
DIPLOMARBEIT

Herr Ing.

Hubert Ignaz Walter Emmerstorfer

**Ladeinfrastruktur und die
Problematik in der
Elektromobilität**

Mittweida, 2019

Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen

DIPLOMARBEIT

Ladeinfrastruktur und die Problematik in der Elektromobilität

Autor:

Herr Ing. Hubert Ignaz Walter Emmerstorfer

Studiengang:

Elektrotechnik (Vertiefung Energietechnik)

Seminargruppe:

KE15wWA

Erstprüfer:

Herr Prof.Dr.rer.pol. Andreas Schmalfuß, LL.M.

Zweitprüfer:

Herr Prof. Dr.rer.nat. Thoralf Gebel

Einreichung:

Weiz, 14.08.2019

Verteidigung/Bewertung:

-

Bibliografische Beschreibung:

Ing. Emmerstorfer, Hubert Ignaz Walter:

Ladeinfrastruktur und die Problematik in der Elektromobilität.

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen,
Fachbereich Elektrotechnik, Diplomarbeit, 2019

Referat:

Bei dieser Arbeit soll die Problematik der Ladeinfrastruktur von Elektromobilität veranschaulicht werden. Am Anfang werden die verschiedensten Ladetechniken gezeigt. Weiteres wird auch die Ladeinfrastruktur für den privaten und öffentlichen Bereich betrachtet.

Hierbei soll der Aufbau einer Ladestation erklärt werden, die dadurch resultierenden Erkenntnisse dienen der Veranschaulichung wie eine solche Ladestation am sinnvollsten umgesetzt werden kann.

Inhaltsverzeichnis

I. Bibliographische Beschreibung	III
II.Referat	III
III.	
Inhaltsverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis	VII
1. Einleitung	13
1.1. <i>Motivation</i>	13
1.2. <i>Einführung in die Problemstellung</i>	14
1.3. <i>Substrate und Gliederung</i>	14
2. Elektromobilität und Ihre Vielfalt.....	15
2.1. <i>Definition Energie</i>	15
2.1.1. <i>Wirkungsgrad</i>	16
2.1.2. <i>Globale Emissionen</i>	18
2.1.3. <i>Elektromobilität als Treiber für die CO₂-Reduktion.....</i>	19
2.1.4. <i>Energiequellen</i>	19
2.1.5. <i>Ressourcen</i>	21
3. Elektromobilität	27
3.1. <i>Was ist der Unterschied zwischen herkömmlichen Fahrzeugen und Elektrofahrzeugen</i>	27
3.1.1. <i>Vorteile der Elektromobilität.....</i>	28
3.1.2. <i>Nachteile der Elektromobilität</i>	30
3.2. <i>Antriebsarten und Bauformen</i>	31
3.2.1. <i>Elektro PKW</i>	31
3.2.2. <i>Elektromotoren.....</i>	34
3.2.3. <i>Leistung und Drehzahl - Drehmomentverhalten der Elektroantriebe.....</i>	36
3.3. <i>Elektronutzfahrzeuge</i>	38
3.4. <i>Elektrofahrräder.....</i>	38
3.5. <i>Weitere Elektrofahrzeuge.....</i>	38

4.	Ladetechnik.....	40
4.1.	<i>Was benötigt man für die Errichtung einer Ladestation im Privatbereich?</i>	40
4.2.	<i>Ladearten für die Elektromobilität</i>	41
4.2.1.	<i>PKW Stecksysteme für die Elektromobilität.....</i>	45
4.2.2.	<i>Anforderung beim Laden von Lithium-Ionen-Akkus</i>	48
4.3.	<i>Ladesäulen</i>	48
4.3.1.	<i>Einsicht in die Ladesäulenverordnung.....</i>	49
4.3.2.	<i>Sollte man eine Ladestation selber bauen oder eine auf dem Markt erhältliche Ladestation kaufen</i>	52
4.3.3.	<i>Berechnung einer Ladestation</i>	54
4.4.	<i>Berechnung einer Privatanlage für die eigene Ladestation</i>	57
5.	Infrastruktur	66
5.1.	<i>Allgemeine Ladeinfrastruktur</i>	66
5.2.	<i>Generelle Netzinfrastruktur</i>	66
5.3.	<i>Welchen Mehraufwand bedeutet das für die Energieversorgungen.....</i>	68
5.4.	<i>Dynamisches oder intelligentes Lastmanagement.....</i>	70
5.5.	<i>Entwicklung der Ladeinfrastruktur.....</i>	72
5.6.	<i>Weiterentwicklung der Ladeinfrastruktur</i>	73
6.	Umweltaspekte von Elektrofahrzeugen.....	75
6.1.	<i>Beurteilungsmöglichkeiten für eine Umweltbilanz</i>	75
6.2.	<i>Herstellung und Verwertungsphase von Elektrofahrzeugen</i>	76
6.3.	<i>Nutzungsdauer von Elektrofahrzeugen</i>	77
7.	Zusammenfassung.....	78
8.	Quellenverweis	79
8.1.	<i>Glossar</i>	79
8.2.	<i>Bücher und Skripten.....</i>	82
8.3.	<i>Internet.....</i>	83
	Selbstständigkeitserklärung.....	87

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Willkürlicher Kreisprozess im T,s-Diagramm	16
Abbildung 2 Einzel- und Gesamtwirkungsgrade des Hubkolbenmotors	17
Abbildung 3 Konventionelle und unkonventionelle Ressourcen und Reserven in Jahren	20
Abbildung 4 Beispielbild für einen Elektromotor mit Neodym Material verbaut.....	21
Abbildung 5 Beispielbild für einen Aufbau einer Lithium Batterie	24
Abbildung 6 Beispielbild für Lithium Batterieformen	25
Abbildung 7 Tabelle Einsatz Consumer-Lithium-Ionen-Zellen	25
Abbildung 8 Tabelle Einsatz von Automotive Lithium-Ionen-Zellen	26
Abbildung 9 Verbrennungsmotor durch einen Elektromotor ersetzt.....	27
Abbildung 10 Aufbau Mercedes EQC	31
Abbildung 11 BMW i3 mit Range Extender.....	32
Abbildung 12 Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle	34
Abbildung 13 Tabelle Überblick der Drehstrommotoren	36
Abbildung 14 Typische Drehmomentverläufe Elektro- und Dieselmotor.....	37
Abbildung 15 Typischer Leistungsverlauf Elektro- und Dieselmotor	37
Abbildung 16 Elektro Scooter	39
Abbildung 17 Lastverbrauch in einem viertel Stunden Tagesverlauf aufgezeichnet	40
Abbildung 18 Lademodus 1	41
Abbildung 19 Lademodus 2 mit CEE-Steckdosen und ICCB Verbindung	42
Abbildung 20 Lademodus 3, Varianten Ladestation mit festem Kabel oder Kupplung	43
Abbildung 21 Kodierwiderstände im Typ 2 Stecker	43

Abbildung 22 Lademodus 4 Gleichstromladung	44
Abbildung 23 Stecker Typ 1.....	45
Abbildung 24 Stecker Typ 2.....	46
Abbildung 25 Stecker Typ CCS Combo-Stecker Wechselstrom	46
Abbildung 26 CHAdeMO Stecker	47
Abbildung 27 900 kW Stecker von Japan und China.....	47
Abbildung 28 Tabelle Auflistung der Bauteile	52
Abbildung 29 Schaltplan für die Ladestation	53
Abbildung 30 Ladezeiten mit drei Akkugrößen	55
Abbildung 31 Produktbild Mennekes	55
Abbildung 32 Tabelle Kostenvergleich Ladestationen	56
Abbildung 33 Grafikübersicht Ladezeiten.....	57
Abbildung 34 Zeitaufwand zum Pendeln.....	58
Abbildung 35 Tabelle verschiedener Elektroautos.....	59
Abbildung 36 Diagramm Energieangebot	60
Abbildung 37 Tabelle Auflistung einer Photovoltaikanlage	61
Abbildung 38 Kostenübersicht Photovoltaikanlage	63
Abbildung 39 Kostenübersicht Diagramm	63
Abbildung 40 Kostenaufstellung	64
Abbildung 41 Kostenaufstellung Diagramm	65
Abbildung 42 Netzebenen	67
Abbildung 43 Ladesteuerung.....	68
Abbildung 44 Hausanschluss Tabelle ohne Warmwasserbereitung	70

Abbildung 45 Lastverteilung 71

Abkürzungsverzeichnis

A	Strom in A (Ampere) angegeben
Abs.	Absatz
Al	Aluminium
bar	Luftdruck
bzw.	beziehungsweise
CARB – Gesetz	California Air Resources Board
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
Cu	Kupfer
DIN	Deutsches Institut für Normung
h	Stunde
H ₂	Wasserstoff
H0	Lastprofil Haushalt
KMU	kleine und mittlere Betriebe
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kW	Kilowatt
kW/h	Kilowatt pro Stunde
Li	Lithium
LKW	Lastkraftwagen
Mg	Magnesium
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
R	Widerstand in Ω (Ohm) angegeben
Si	Silicium
Ti	Titan
U	Spannung in V (Volt) angegeben
W	Watt
ZEV	Zero Emission Vehicle
z.B.	zum Beispiel
§	Paragraph

Danksagung

Als Erstes möchte ich mich bei meinem geschätzten Herrn Prof. Dr. rer. Pol Andreas Schmalfuß, für seine inhaltliche und fachliche Unterstützung bei dieser Arbeit bedanken.

Ein weiteres Dankeschön gilt dem Studien- und Technologietransferzentrum Weiz, für die Ermöglichung eines berufsbegleitenden Studiums und Ihre Unterstützung.

Und natürlich möchte ich mich bei meiner Familie und meiner Freundin für Ihre Geduld, für Ihre stets aufbauenden Worte und für die Motivation als auch die Unterstützung in allen Lebenslagen bedanken. Euch ist diese Arbeit gewidmet.

Danke!

1. Einleitung

1.1. Motivation

Bei meiner Arbeit geht es um die Problematik der Ladeinfrastruktur von Elektromobilität. Der Elektroantrieb wird als wesentliche Chance von der Regierung genutzt, um die Emissionen zu verringern und die Abhängigkeit von fossilen Treibstoffen zu senken. Das Ziel der Elektromobilität ist die Umwelt weniger zu belasten und den Verbrauch von Öl zu reduzieren. Die Idee eines elektroangetriebenen Fahrzeuges gab es schon vor 100 Jahren, jedoch war die Umsetzung zur damaligen Zeit noch nicht möglich. Die Problematik ist nach wie vor die Reichweite, die man mit dem Akku bewältigen kann, sowie die Herstellung von Akkus und die anschließende Entsorgung. Zusätzlich spielt auch das Geld eine starke Rolle, da hohe Investitionen für die Infrastruktur zu bewältigen sind. Diese Kosten fallen auf den privaten sowie auf den öffentlichen Bereich zurück. Dies gilt ebenfalls für die Problematik der Lademöglichkeiten sowie die Aufnahmeleistung der Akkus. Um die Ladefähigkeit garantieren zu können, müssen die Energieversorger die benötigte Energie individuell liefern. Diese Anforderung wird eine Herausforderung für die Energiebetreiber sowie für die Netzbetreiber sein, denn die Energiebetreiber müssen mehr Energie generieren und hätten dadurch mehr Lastspitzen. Durch die Erhöhung der Elektromobilität wird das Stromnetz deutlich höher belastet. Bei Schnellladungen wird in kürzerer Zeit mehr Energie über die Netze gezogen und diese sind nicht für solche Leistungen ausgelegt. In der heutigen globalisierten Welt sind Energieversorgung und Verkehrsmittel unabdingbar. Die dazu bestehende Komponente für eine funktionierende Elektromobilität ist die Ladestation und auf diese möchte ich genauer in dieser Arbeit eingehen.

1.2. Einführung in die Problemstellung

In der Automobilindustrie herrscht momentan ein Wandel - Elektromobilität gewinnt immer mehr an Bedeutung. Zahlreiche Autohersteller zeigen hohes Interesse an der Zukunft und Weiterentwicklung der Fahrzeugkonzepte. In der Automobilentwicklung ändern sich nun die Antriebs- und Fahrzeugkonzepte nach 125 Jahre grundlegend.

Ein wichtiger Faktor der Elektromobilitätsentwicklung ist die Errichtung einer notwendigen Infrastruktur. Die Entstehung einer Ladeinfrastruktur sowie der Ausbau des vorhandenen Stromnetzes muss vorangetrieben werden. Da Elektrofahrzeuge eine noch stark begrenzte Reichweite haben, ergeben sich hier neue Geschäftsmodelle, welche die Energieversorgung sichern sollen. Für Fuhrparkbetreiber ist es auf Grund der geringen Haltungskosten interessant, Carsharing-Modelle anzubieten. Ein wichtiger Punkt ist die Wettbewerbsfähigkeit von Elektrofahrzeugen, da die Kosten ohne Förderungen im Vergleich zum normalen Verbrennungsmotor zu hoch sind. Die Mehrkosten sind auf die Batterien und deren Herstellung zurückzuführen. Dem zu Folge unterliegen die Hersteller einem hohen Kostendruck, um die Fahrzeuge attraktiv für den Markt zu machen.

1.3. Substrate und Gliederung

Für diese Diplomarbeit soll anschließend in den nächsten Hauptkapiteln die Grundlage für diese Arbeit gelegt werden. In diesem Bereich soll die wissenschaftliche Vorgehensweise betrachtet werden. Aus den bestehenden Literaturanalysen wird im ersten Teil die Weiterentwicklung von den Fahrzeugen beschrieben. Weiteres soll die derzeitige Vielfalt von Elektromobilität aufgezeigt werden.

Der Kostenvergleich wird anhand von gegebenen Daten und dem jetzigen Marktpreis dargestellt.

In erster Linie soll es um die Ladeinfrastruktur sowie um die Energie- und Netzversorgung aufgrund der vermehrt benötigten Ladestationen im öffentlichen und privaten Bereich gehen.

2. Elektromobilität und Ihre Vielfalt

2.1. Definition Energie

Ungefähr im Jahre 1850 verwendete Lord Kelvin zum ersten Mal den Begriff „Energie“. Damals wurde die kinetische Energie noch als „lebende Kraft“ bezeichnet. Für die potentielle Energie war die Bezeichnung Fallkraft oder Spannkraft in Verwendung. Durch den Vorschlag von Lord Kelvin wurde der Begriff „Energie“ eingeführt und seither versteht man den klassischen Energiebedarf, als eine Möglichkeit Arbeit von einem System abzuführen. Jedoch wird der Begriff „Kraft“ weiterhin verwendet und ist bei gewissen Bereichen gleichgesetzt. Ein Beispiel dafür sind die Begriffe „Kraftwerk“ oder „Kraftstoff“, in welchen das Wort „Kraft“ anstelle von „Energie“ verwendet wird.

Es werden verschiedene Energieformen unterschieden:

- Mechanische Energie
- Elektrische Energie
- Thermische Energie
- Chemische Energie

Mitte des 19. Jahrhunderts entstand die Formulierung „Energie“. Maßgebend beteiligt daran waren folgende Personen:

Robert Mayer (1842) war der Erste, der Energie in ihren verschiedenen Formen erkannte. Diese waren Fallkraft, Wärme, Licht, Elektrizität und Bewegung. James Prescott Joule (1843) führte Experimente durch, um den Beweis vom Energieerhaltungssatz darzustellen. Die dritte Person war Hermann von Helmholtz (1847). Er schrieb ein Buch mit dem Titel „Erhaltung der Kraft“, in welchem er sich mit diesem Thema beschäftigte.

Energie kann weder vernichtet noch erzeugt werden, sondern nur in andere Energieformen umgewandelt werden.¹ Man kann nur das vorhandene natürliche Energieangebot umwandeln. Bei jeder Energieumwandlung wird als Nebenprodukt Wärme erzeugt. Die Elektrischen und Mechanischen Energieformen lassen sich fast beliebig oft umwandeln und bei jeder Umwandlung entsteht thermische Energie, die als Verlust gerechnet werden.

¹Zahoransky: Energietechnik, Systeme zur konventionellen und erneuerbaren Energieumwandlung – 8.Auflage – Offenburg, 2018, S.10

Diese Umwandlungsfähigkeit von Wärme in Arbeit bezeichnet man als den Thermodynamischen Kreisprozess (Carnot -Wirkungsgrad²).

Beim Thermodynamischen Kreisprozess wird die vorhandene Energie thermisch geändert und durch die Änderung des Zustandes kann Arbeit entnommen werden. Im folgenden Bild wird ein Fluid gezeigt, dass einen Kreisprozess durchläuft. Dieses Fluid besteht in diesem Bild aus Gas und zeigt im T,S-Diagramm die Zustandsänderung an.

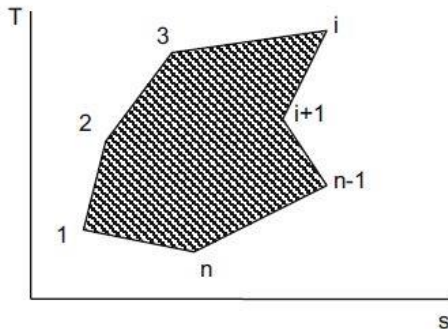


Abbildung 1 Willkürlicher Kreisprozess im T,s-Diagramm

2.1.1. Wirkungsgrad

Unter dem Begriff „Wirkungsgrad“ versteht man die Umsetzung der Ziel-Energie zur Einsatz-Energie. Dieser wird von der Qualität bestimmt. Im Idealfall wäre ein Prozess ohne Verluste wünschenswert. Dies ist jedoch leider nicht möglich, da zwischen Güte und der Effektivität bestimmte Einflussfaktoren mitwirken und diese den Wirkungsgrad beeinflussen. Man kann keinen Wirkungsgrad von 100 % erreichen. Es wird immer Energie bei der Umwandlung in Wärme verbraucht. Der Energieerhaltungssatz dient als Grundlage und sagt aus, dass es unmöglich ist einen Wirkungsgrad von 100 % zu erzielen. Es ist trotzdem erwünscht einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen um die Verluste von nicht genutzter Energie so gering wie möglich zu halten. Mittlerweile wird bei Geräten oder Fahrzeugen immer mehr darauf geachtet, dass sie einen hohen Wirkungsgrad aufweisen, da Energie immer kostspieliger wird. Die Verbrennungsmotoren weisen einen Wirkungsgrad von 25 bis 40 % auf, hierbei erzielen die Dieselmotoren einen höheren Wirkungsgrad als die Ottomotoren. Als Gegenüberstellung erzielen Elektromotoren einen Wirkungsgrad von ungefähr 90 %³.

²Nicolas Leonard Sadi Carnot, franz. Physiker, 1796-1832.

³<https://www.energie-lexikon.info/elektroauto.html>

Als thermodynamisch idealer Vergleichsprozess wird ein Gleichraumprozess angenommen⁴. Dieser besteht aus isentroper Verdichtung (1 zu 2), isochorer Wärmezufuhr (2 zu 3), isentroper Expansion (3 zu 4) und isochorer Rückführung (3 zu 4).

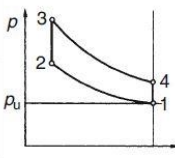
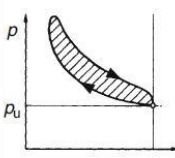
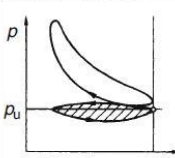
Arbeitsdiagramm	Bezeichnung	Randbedingungen	Definition	Wirkungsgrade
	theoretischer Vergleichs-„Gleichraumprozess“	ideales Gas, konstante spezifische Wärme, unendlich schnelle Wärmezufuhr und -abfuhr usw.	$\eta_{thv} = 1 - \epsilon^{1-\kappa}$ theoretischer oder thermischer Wirkungsgrad	η_{thv}
	realer Hochdruck-Arbeitsprozess	Wandwärmeverluste, reales Gas, endliche Wärmezufuhr und -abfuhr, Geschwindigkeiten, veränderliche spezifische Wärmen	η_{GHP} Gütegrad des Hochdruckprozesses	η_i
	realer Ladungswechsel (4-Takt)	Strömungsverluste, Aufheizung des Gemisches oder der Luft usw.	η_{GLW} Ladungswechselwirkungsgrad	η_G
mechanische Verluste	Verluste wegen Reibung, Nebenaggregate	realer Motor	η_m	η_m
				η_e

Abbildung 2 Einzel- und Gesamtwirkungsgrade des Hubkolbenmotors

⁴Pischinger, Seiffert: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik– 8. Auflage – Wiesbaden, 2016, S.259

2.1.2. Globale Emissionen

Für die Bundesregierung (Deutschland) ist die zukunftsfähige Mobilität ein wichtiger Faktor. Durch die Elektrifizierung der Antriebssysteme soll die Energiequelle Öl reduziert werden und so gleichzeitig die Abhängigkeit von Öl abnehmen. Ein wichtiger Bestandteil ist die Abnahme von Emissionen, die durch das Verkehrssystem verursacht werden. Der jetzige Treibstoffverbrauch von herkömmlichen Verbrennungsmotoren, lässt die Ressourcenquelle Öl in absehbarer Zeit schwinden. Fahrzeuge verbrennen den Treibstoff und erzeugen so ein klimaschädliches Gas (CO₂) sowie Stickoxide und Kohlenmonoxid.

Stickoxide sind eine Stickstoffverbindung, diese entsteht durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern. Bei der Verbrennung entsteht eine Vielzahl von Gasen, die sich negativ auf die Umwelt und auf die Gesundheit auswirken⁵. Die gasförmige Verbindung Stickoxid besteht aus zwei Verbindungen, Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂). Die Industrie verursacht einen großen Teil der Verschmutzung. Im Gegensatz zum Verkehr werden diese Abgase über Schornsteine in großer Höhe ausgeblasen. Aus diesem Grund ist die NO₂ Luftverschmutzung in Städten schädlicher für die menschliche Gesundheit, als der Schadstoffausstoß vom Verkehr in Bodennähe. Des Weiteren sind Stickoxide Vorläufersubstanzen, die in Folge Feinstaub entstehen lassen. Feinstaub ist auch indirekt mitverantwortlich für die Bildung von Ozon. Dieser entsteht durch die Verbindung von Kohlenwasserstoff und ist ein Hauptverursacher des schädlichen Smogs. Durch den Smog empfinden wir ein Augenbrennen und ebenso ist es für die Lunge schädlich. Gewässer und Böden werden durch Stickstoffoxide versauert.

Kohlenmonoxid entsteht hauptsächlich bei der unvollständigen Verbrennung von Energiequellen (fossile Energie) in der Industrie sowie dem Verkehr⁶. Dabei wird auf die richtige Einstellung zwischen Treibstoff und Luftgemisch geachtet, um beim CO-Ausstoß den vorgegebenen Messwert nicht zu überschreiten. Kohlenmonoxid ist für sich selbst nicht stabil und wandelt sich nach der Zeit in der Umgebungsluft zu Kohlendioxid (CO₂) um. Dieses Endprodukt „Kohlendioxid“ ist mitverantwortlich für die Klimaerwärmung, es wird auch als Treibhausgas bezeichnet. Die Europäische Union will in Zukunft die entstehenden Emissionen senken und hat dafür bereits Maßnahmen ergriffen.

⁵<https://www.vcoe.at/service/fragen-und-antworten/was-sind-stickoxide-und-wie-schaedlich-sind-sie>

⁶<https://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/co/>

2.1.3. Elektromobilität als Treiber für die CO₂-Reduktion

Laut einer Verordnung des EU Parlaments, müssen die CO₂-Emissionen bei neuen Fahrzeugen verringert werden. Diese wurde im Dezember 2008 verordnet und anschließend am 23. April 2009 auch schriftlich verabschiedet, mit dem verbindlichen Rechtsrahmen der EU⁷.

In dieser Verordnung steht, dass die Fahrzeughersteller ihre Grenzwerte für die gesamte Flotte verringern müssen und dieses Ziel soll in den nächsten Jahren erreicht werden. Der Grenzwert für die gesamte Flotte soll einen Wert von 95 g CO₂/km betragen. Dieses Ziel soll für alle Neuwagen der Flotte gelten. Dieser CO₂-Ausstoß entspricht demnach einem Kraftstoffverbrauch von 4,1 l/100 km für einen Benzinmotor und 3,6 l/100 km für einen Dieselmotor.

Den Gesamtverbrauch einer Flotte zu reduzieren, wird mit herkömmlichen Mitteln sehr schwierig werden. Nach Aussagen von Fachleuten, kann dieser Wert derzeit nur durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen erreicht werden. Elektroautos haben laut der EU keinen CO₂-Ausstoß und werden im Flottenwert berücksichtigt. Auch Plug-In-Hybrid Fahrzeuge werden bei der Berechnung einbezogen. Aufgrund ihrer Reichweite im elektrischen Zustand verringert sich die CO₂ Bilanz. Für das Erreichen vom CO₂ Ziel in der Flotte, müssen die Hersteller mehr Elektrofahrzeuge und Plug-In-Hybride verkaufen. Im Vergleich zu anderen Nationen ist der Grenzwert in der EU am niedrigsten und daher auch schwerer zu verwirklichen. Zum Beispiel gilt in Japan ein Grenzwert von 105 g, in China liegt der Wert bei

117 g und in der USA beträgt der Wert 121 g CO₂ pro km.

2.1.4. Energiequellen

Die Primärenergie bestand, laut einer Erhebung aus dem Jahr 2012, größtenteils aus **fossilen Quellen**. Der Globale Bedarf an fossilen Energiequellen erstreckte sich auf 87 %. Zu diesen Quellen zählt man Kohle, Kernkraft, Erdgas und Erdöl, wobei der Anteil von Erdöl 31 % beträgt. Dieses wird hauptsächlich für die Mobilität eingesetzt. In der Mobilität beansprucht Erdöl einen Bedarf von 93 %. Die Dominanz von fossilen Energieträgern wird sich in den nächsten Jahren nur minimal ändern. Ein Ausblick auf die Reichweite der Ressourcen zeigt uns, dass Erdöl nicht mehr lange zur Verfügung steht⁸.

⁷Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.25

⁸Pischinger,Seiffert: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik– 8.Auflage – Wiesbaden, 2016, S.528

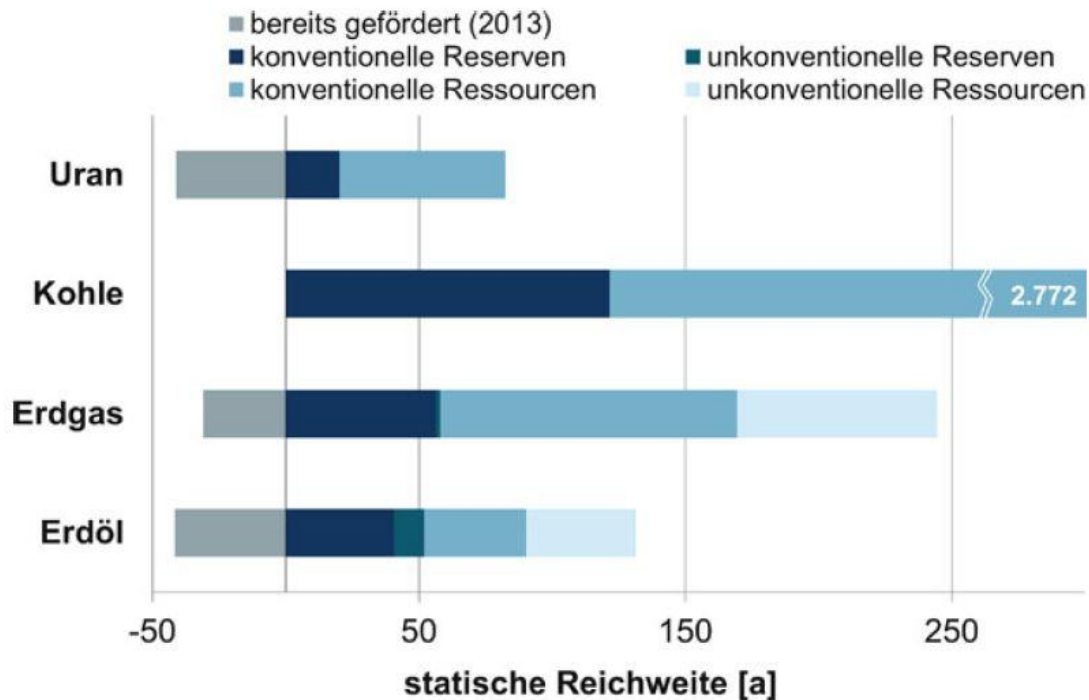


Abbildung 3 Konventionelle und unkonventionelle Ressourcen und Reserven in Jahren

In der Abbildung 3 „Konventionelle und unkonventionelle Ressourcen und Reserven“ ist der Stand aus dem Jahr 2013 zu sehen. Erdöl hat ungefähr noch eine Reichweite von 42 Jahren und danach kann es nur noch mit einem erheblichen Aufwand gefördert werden. Die Ressourcen von Erdöl können theoretisch noch auf zirka 140 Jahre ausgeweitet werden. Erdgas steht uns noch fast 250 Jahre zur Verfügung. Für die Herstellung von Kernenergie ist das Uran etwa noch für 80 Jahre vorhanden. Kohle haben wir noch in der konventionellen Variante etwa für 130 Jahre und bei der unkonventionellen Variante ist Kohle noch für 2.772 Jahre vorhanden.

Seit 2008 erlebt die USA einen Erdgas- und Erdöl-Boom, dieser beruht auf der Förderung von konventionellen Schieferöl und Schiefergas. Nach Saudi-Arabien und Russland ist jetzt die USA der drittgrößte Erdölproduzent.

Die anderen fossilen Energiequellen teilen sich in den Bereich Stromerzeugung und Wärmeerzeugung auf. Dabei kann leider nicht die gesamte Energie umgewandelt werden, da ein Teil in Wärme umgewandelt wird.

Eine andere Energiequelle ist die **regenerative** Energiequelle. Der Vorteil von regenerativen Energiequellen ist die Nachhaltigkeit, da es darum geht, die vorhandenen Energien in nutzbare Energieformen umzuwandeln und so gut wie möglich Verluste zu vermeiden. Die so genannten Energien sind Wasserkraft, Windenergie und Sonnenenergie.

Eine andere regenerative Energiequelle ist die Biomasse. Hier dient die Sonne als Ursprungsquelle - durch die Photosynthese speichern Pflanzen die erhaltene Energie ab.

Der Nachteil dieser Energieform ist ein sehr niedriger Wirkungsgrad. Die Pflanzen besitzen einen Wirkungsgrad von zirka 1 %, deshalb benötigt man eine große Fläche um die notwendige Energie zu erzeugen.

2.1.5. Ressourcen

Dabei unterscheidet man zwischen Rohstoffen und Energie, jedoch werden beide für eine Produktion der Industrie benötigt. Sie kommen in der Natur nur in begrenzter Menge vor und deswegen sollen die Ressourcen nicht verschwendet werden. Die Ressourcen können durch Recycling und Rückgewinnung geschont werden. Für die Verwendung von industriellen Rohstoffen wird viel Energie benötigt und die Einsparung von Rohstoffen führt auch zur Einsparung von Energie. Durch das steigende Spektrum von genutzten Rohstoffen und dessen Preisentwicklung, muss immer öfter mit Engpässen gerechnet werden. Die Preisentwicklung der Ressourcen wird ebenfalls von politischer Seite beeinflusst.

Ein wichtiger Rohstoff für die Verwendung von Elektromotoren und Generatoren sind die Dauermagnete. Diese werden aus Seltenerdmetallen gewonnen, jedoch sind diese in Europa nur schwer zu gewinnen, da es hier nur einen kleinen Anteil an Bodenschätzen gibt. Die Seltenerdmetalle werden sehr oft in modernen Hightech Produkten verwendet. Wegen der enormen Nachfrage sowie der geringen Verfügbarkeit, werden diese Metalle sehr teuer am Markt verkauft. Die Erzeugung von grünem Strom und die Vermarktung von Elektromobilität steigen, deshalb erhöht sich auch die Nachfrage für diese Seltenerdmetalle. Mit dem Recycling von Dysprosium und Neodym Materialien, beschäftigt sich derzeit die Fraunhofer-Forschung. Diese zwei Metalle haben eine hervorragende Eigenschaft für den Einsatz bei Dauermagneten⁹.



Abbildung 4 Beispielbild für einen Elektromotor mit Neodym Material verbaut

⁹Neugebauer: Vieweg Ressourceneffizienz– 1.Auflage – Berlin, 2017, S.15

Aluminium (Al) sowie Aluminiumlegierungen werden überall dort eingesetzt, wo es darum geht Gewicht zu sparen. Der Anteil von Aluminium pro Fahrzeug wird bis 2020 weiter steigen, dieser soll dann 180 kg statt 160 kg betragen. Er zählt zur Gewichtsreduzierung von Fahrzeugen und wird auch in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. In den letzten Jahren wurde der Anteil von Aluminium immer mehr. In den 60er Jahren verbaute man zirka 19 kg pro Fahrzeug, im Zeitraum von 1990 bis 2014 wurden 50 kg bis 140 kg Aluminium in den Fahrzeugen verbaut¹⁰. Aluminium wird nicht nur im Karosseriebereich verbaut, sondern auch in anderen Bereichen, wie zum Beispiel beim Motor und Getriebe sowie beim Fahrwerk und im Rahmenbereich.

Aluminium wird insbesondere beim Flugzeugbau verwendet, da aufgrund des Gewichtsvorteils weniger Energie verwendet werden muss, um einen Flieger in die Luft zu bekommen. Des Weiteren wird dieser Werkstoff auch als Verpackungsmaterial eingesetzt.

Magnesium (Mg) ist ebenfalls ein Bestandteil in der Automobilbranche. Magnesiumlegierungen werden vorwiegend bei schwingenden Belastungen eingesetzt. Diese besitzen eine höhere Festigkeit als Aluminiumlegierungen. Anwendungsbereiche sind Getriebegehäuse und als Ersatz von Aluminiumfelgen.

Titan (Ti) hat eine besondere Festigkeit mit einer geringeren Dichte. Die Festigkeit übertrifft festen Stahl und das nur etwa bei der halben Dichte. Das Material besitzt auch eine geringe Wärmedehnung sowie eine gute Korrosionsbeständigkeit. Es hat jedoch nicht nur Vorteile, es gibt auch gewisse Nachteile. Titan eignet sich aufgrund des hohen Reibkoeffizienten nicht als Laufpartner. Meistens werden Titanlegierungen verwendet. Aufgrund der genannten Eigenschaften setzt man es in der Luft- und Raumfahrt ein. Im Rennsport werden die bewegten Massen im Motor reduziert. Bekannte Teile aus Titan oder Titanlegierungen sind: Pleuel, Schraubfedern, Motorventile, Wellen, Radnaben und Abgasanlagen.

Kupfer (Cu) verwendet man sehr oft bei elektrischen Verbindungen, aufgrund der hervorragenden Leitfähigkeit, ebenso ist Kupfer ein guter Wärmeleiter. Silber hat eine bessere elektrische Leitfähigkeit als Kupfer, leider ist der Einsatz von Silber teurer als die Verarbeitung mit Kupfer. Eine Alternative ist Aluminium, diese wird oft bei Freileitungen verwendet oder in Bereichen wo das Gewicht und die Elastizität von Kupfer ein wesentlicher Nachteil ist. In einem Auto wird durchschnittlich eine Länge von 1,5 km Kupferdraht verbaut. Diese Menge variiert je nach Fahrzeugtyp und kann zwischen 20 kg und 45 kg liegen.

¹⁰<https://www.blechonline.de/aluminium-2018-leichtbau-in-der-automobilbranche>

Silizium (Si) ist ein Grundbaustein für jeden Elektronikbauteil und wird in der Leistungselektronik verwendet sowie in fast allen Mikrochips. Es zählt zu der Gruppe der Halbmetalle und ist ein hervorragender Halbleiter und durch seinen sehr geringen Preis wird es häufig verwendet. Halbleiter an sich sind bestimmte Stoffe mit besonderen elektrischen Eigenschaften. Sie erlangen ihre Leitfähigkeit durch eine Verunreinigung durch die Ergänzung von Bor oder Phosphor. Diesen Vorgang nennt man Dotierung. Hierbei wird ein Silizium welches 4-Wertig ist, mit einem Bor welches 3-Wertig ist, verunreinigt und daraus entsteht eine p-Dotierung. Für eine n-Dotierung wird das Silizium einfach mit Phosphor 5-Wertig verunreinigt.

Lithium (Li) ist ein Alkalimetall und kommt in Elementarer Form nur selten vor. Das Lithium wird aus Lithiumkarbonat und Lithiummineralen hergestellt¹¹. Aufgrund seiner sehr hohen Energiedichte wird es hauptsächlich für Akkus genutzt. Der Einsatz in Laptops, Handys und in Elektroautos erweist sich wegen der hohen Kapazität und seines geringen Gewichts als ideal. Es besitzt keinen Memory-Effekt wie Nickel-Cadmium-Batterien (NiCd¹²) und ist wesentlich leichter.

Der Aufbau¹³ einer Lithium Batterie besteht aus zwei Stromleitern. Die negative Elektrode besteht aus Kupfer und die positiv geladene Elektrode besteht aus Aluminium. Im Zwischenraum beider Elektroden befindet sich ein ionenleitfähiges Elektrolyt in dem ein dissoziiertes Lithium-Leitsalz enthalten ist¹⁴. Die Isolierung von beiden Elektroden ist der Separator welcher aus einer porösen Membran besteht. Beim Laden oder Entladen wandern die Lithium-Ionen zwischen den negativen und positiven Elektroden von einer Seite zur anderen Seite und dabei werden die Aktivmaterialien eingelagert. Beim Entladevorgang werden Lithium Elektronen von der negativen Kupferelektrode abgegeben. Die positive Elektrode besteht meistens aus amorphen Kohlenstoffverbindungen oder aus Graphiten. In der Endladephase wird das Lithium in der positiven Seite eingelagert. Die Elektrodenwanderung erfolgt von der negativen Elektrode durch den Separator hin zur positiven Elektrode. Zur selben Zeit fließen die Elektronen vom negativen Bereich in den positiven Bereich und dienen als Träger der Elektrizität. Die externe positive Verbindung stellt eine Kabelverbindung dar, die mit dem Aluminium Stromableiter verbunden ist. Beim Wiederaufladen der Batterie geschieht das Gegenteil zur Elektronenwanderung, hier

¹¹Neukirchen, Gunnar: Die Welt der Rohstoffe – 2.Auflage – Heidelberg, 2016, S.70

¹²Trzesniowski: Renntechnik – 4.Auflage – Graz, 2014, S.826

¹³<https://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0810281.htm>

¹⁴Korthauer: Handbuch Lithium-Ionen-Batterien – 1.Auflage – Berlin, 2013, S.14

fließen die Lithium-Ionen von der positiven, durch den Separator hindurch, zur negativen Elektrode. In der Abbildung 5 ist ein Aufbau einer Lithium Batterie dargestellt. Die durchschnittliche Zellspannung liegt bei Lithium-Ionen-Batterien bei 3,6 V.

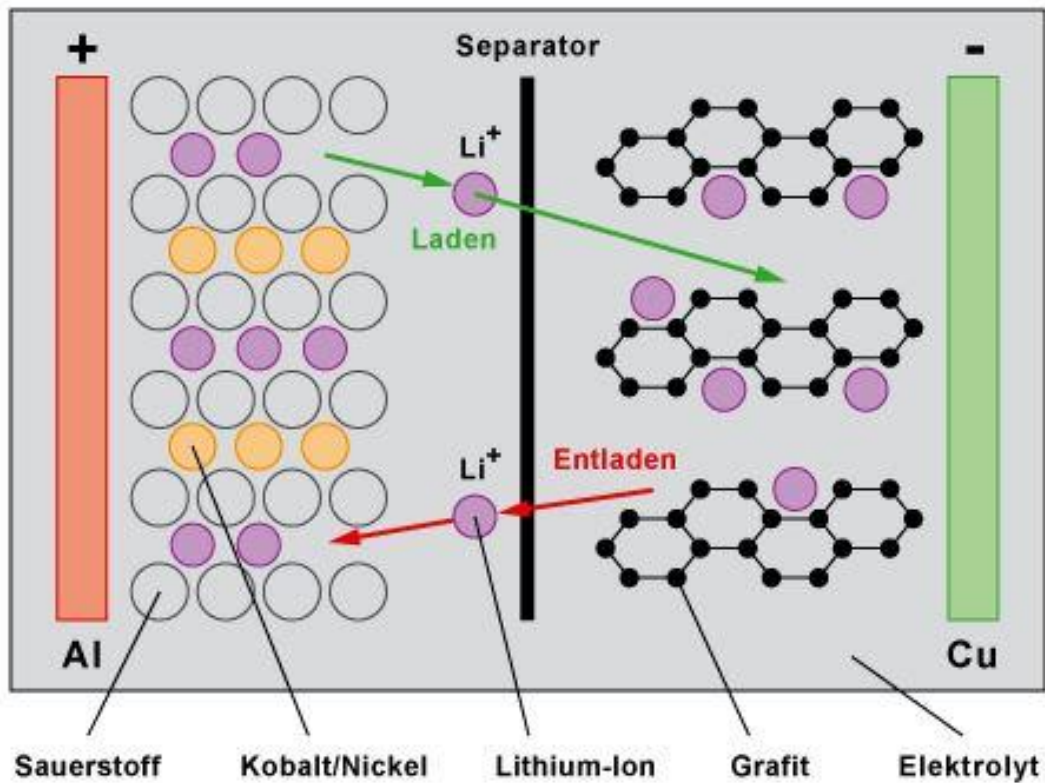


Abbildung 5 Beispielbild für einen Aufbau einer Lithium Batterie

Den Zellaufbau gibt es in verschiedenen Varianten, man unterscheidet zylindrische, laminierte und prismatische Bauformen. Das Gehäuse besteht aus Verpackungsmaterial, welches ausnahmslos Metall-basierend ist. Der Grund für den Einsatz von Metall-basierendem Material hat mit dem Eintritt von Feuchtigkeit zu tun, denn nur Metall lässt keine Feuchtigkeit hinein und es kann kein Lösemittel von der Zelle austreten. Ein rein auf Kunststoff-basierendes Gehäuse kann man nicht verwenden, da jedes Kunststoff Material, sogar das Polypropylen, die Feuchtigkeit nicht dauerhaft ausschließen kann. Bestimmte organische Lösemittel sind nicht diffusionsfest. Die Lithium-Gehäuse werden in drei Typen aufgeteilt, zu sehen sind diese in der folgenden Abbildung 6.

Beim zylindrischen Aufbau werden die Anode, Kathode und der Separator aufgewickelt und das Gehäuse der Rundzelle zählt zum Bereich der Hardcase Schalen.

Bei der Verwendung der prismatischen Bauform werden die Komponenten Anode, Kathode und der Separator flach gewickelt. Diese flache Bauweise kommt häufig bei Mobilgeräten vor.

Die kleinste Einheit ist die Einheitszelle, die aus einer laminierten Bauweise besteht. Mehrere gestapelte Zellen werden als Stack bezeichnet.



Abbildung 6 Beispielbild für Lithium Batterieformen

In der folgenden Tabelle wird eine kleine Übersicht dargestellt, wo bestimmte Bauformen zum Einsatz kommen 15:

Zellengehäuse	Design	Typische Applikation
Rundzelle (Hardcase)	Rundwickel	Laptop, Powertools
Prismatisch (Hardcase)	Flachwickel	Mobil-Telefon
Pouch (Softpack)	Flachwickel	Mobil-Telefon, Macbook, dünne Laptops, iPad
Pouch (Softpack)	Stapel-Zelle	MP3-Player, Smartphone

Abbildung 7 Tabelle Einsatz Consumer-Lithium-Ionen-Zellen

¹⁵Korthauer: Handbuch Lithium-Ionen-Batterien – 1.Auflage – Berlin, 2013, S.115

In der nächsten Tabelle ist der Einsatz von Lithium-Batterien in der Automotive Branche dargestellt:

Zellengehäuse	Design	Typische Applikation
Rundzelle (Hardcase)	Rundwickel	Hybridfahrzeuge (HEV für Hybride-Electrical-Vehicle), Mercedes S400
Prismatisch (Hardcase)	Flachwickel	Plug-in Hybrid (PHEV)
Prismatisch (Hardcase)	Flachwickel	Elektrofahrzeug (EV, electric vehicle)
Pouch (Softpack)	Stapel-Zelle	Elektrofahrzeug (EV, electric vehicle)

Abbildung 8 Tabelle Einsatz von Automotive Lithium-Ionen-Zellen

Die Elektroautos besitzen einen hohen Bedarf an Lithium. Sollte es in der Zukunft möglich sein die Energiegewinnung mit Kernfusion zu generieren, benötigt man wiederum Lithium für die Kernfusion, denn aus Lithium wird Tritium¹⁶ gewonnen. Tritium wird bei der Kernfusion verwendet, da die Fusion mit Tritium einfacher ist als die mit Wasserstoff. Der Hauptgrund dafür ist, dass Tritium im Gegensatz zu Wasserstoff instabil ist.

¹⁶<https://www.welt.de/wissenschaft/innovationen/article145560290/100-Millionen-Grad-Celsius-und-ein-Menschheitstraum.html>

3. Elektromobilität

3.1. Was ist der Unterschied zwischen herkömmlichen Fahrzeugen und Elektrofahrzeugen

Aus einem herkömmlichen Kraftfahrzeug wird ein elektroangetriebenes Fahrzeug:

Bei herkömmlichen Fahrzeugen werden der Verbrennungsmotor und das dazugehörige Antriebssystem gegen einen Elektromotor und dessen dazugehöriges Antriebssystem getauscht. Für die Konstruktion eines Elektrofahrzeuges gibt es verschiedene Wege. Wird der Antriebsstrang neu entworfen und darauf das Fahrzeug neu entwickelt, nennt man diesen Weg „**Purpose Design**“¹⁷. Die andere Alternative ist eine vorhandene Plattform zu verwenden und diese als Basis für die Entwicklung eines elektrischen Antriebskonzeptes zu benutzen, dieses Designkonzept nennt man „**Conversion Design**“¹⁸. Diese Art von Fahrzeugen weiter zu entwickeln, bestreiten derzeit zwei bekannte Hersteller, Daimler-Benz und der VW Konzern. Ein wichtiger Aspekt für diese gemeinsame Nutzung einer Plattform und die Verwendung von Conversion Design, ist die parallele Fertigung und Entwicklung von Plug-In-Hybriden. Auf einen längeren Zeitraum gesehen und unter der Voraussetzung einer höheren Produktionsstückzahl von Elektrofahrzeugen, hat das Purpose Design gewisse Vorteile. Diese Vorteile bieten eine Menge neuer Freiheitsgrade für die Elektrifizierung und eine Optimierung des gesamten Fahrzeuges.

Zusätzlich zum Antriebsstrang muss auch der Energiespeicher ausgetauscht werden. Beim konventionellen Fahrzeug muss der Kraftstofftank gegen einen Akku ersetzt werden. Von der Größe oder vom Volumen her, ist der Akku gleich groß wie der Kraftstofftank, jedoch das Gewicht erhöht sich um zirka 250 kg. Das Mehrgewicht vom Akku wird meistens so angeordnet, dass es am Fahrzeugboden verbaut wird, um einen tieferen Schwerpunkt zu erreichen und damit die Fahrstabilität zu verbessern.

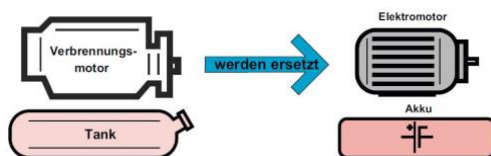


Abbildung 9 Verbrennungsmotor durch einen Elektromotor ersetzt

¹⁷Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.18

¹⁸Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.19

3.1.1. Vorteile der Elektromobilität

Der Antrieb ist energieeffizienter als bei Verbrennungsmotoren, denn der Elektromotor wandelt die elektrische Energie effizienter in mechanisch nutzbare Energie um. Beinahe im ganzen Bereich hat der Elektromotor einen Wirkungsgrad von über 90 %¹⁹. Im direkten Vergleich verfügen die Verbrennungsmotoren nur über einen Wirkungsgrad von ungefähr 30 % und maximal 40 % (In der Formel 1 erreichte man schon auf dem Prüfstand einen Wert von über 50 % thermischen Wirkungsgrades für den Antriebsstrang. Dieser Wert wurde vom Motorenhersteller Mercedes im Jahr 2017 erreicht²⁰). Zusätzlich kann der Elektromotor beim Bremsvorgang elektronisch in den Generatorbetrieb gehen und so die entstehende Bremsenergie wieder in den Akku laden. Diese Form von Energienutzung nennt man „Rekuperation“ und mit der Verbindung von einem hoch effizienten Elektromotor, erreicht man einen geringeren Energieverbrauch als bei konventionellen Fahrzeugen. Die Unterhaltskosten sind sehr gering. Bei Elektromotoren ist fast keine Wartung von Nöten und diese sind beinahe verschleißfrei. Im direkten Vergleich zu den Verbrennungsmotoren sind sie viel einfacher konstruiert.

In der Stadt selbst verursachen die Elektroautos keine Schadstoffe. Elektroautos die nur mit reiner elektrischen Energie fahren nennt man „Zero Emission Vehicle“ (ZEV). Im US-amerikanischen Bundestaat Kalifornien gibt es ein Gesetz, dass dem strengen Abgasstandard unterliegt. Das CARB-Gesetz (California Air Resources Board) sagt aus, dass Elektrofahrzeuge nicht zum CO₂-Ausstoß der Fahrzeugflotte beitragen. Dieser Gesetzesvorschlag dient zur strengen Luftreinhaltung und dieser richtet sich auch nach den Richtlinien der Europäischen Union²¹. Für diese Emissionsfreiheit muss die Stromerzeugung von Elektrofahrzeugen miteinbezogen werden. Es soll somit die gesamte Energiekette vom Erzeuger bis zum Verbraucher („Well-to-Wheel“) weniger Schadstoffe erzeugen. Im Idealfall erfolgt die Stromerzeugung von regenerativen Energiequellen und damit könnte man die Akkus der Elektroautos laden. Bei dieser Vorgehensweise hätte das Elektrofahrzeug, bei Gesamtbetrachtung, keine nennenswerten Emissionen.

Das Losfahren von Elektromotoren bietet schon ab den ersten Umdrehungen ein hohes Drehmoment. Aufgrund dieser Eigenschaft wird beim Elektromotor kein Schaltgetriebe und keine Schaltkupplung mehr benötigt. Es wird dafür ein einstufiges Untersetzungsgetriebe genutzt, um die Drehzahl für den verlangten Fahrbereich zu ermöglichen. Daraus folgt die Eigenschaft schnell beschleunigen zu können. Das bekannte schleifen lassen der Kupplung

¹⁹Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.21

²⁰<https://www.motorsport-total.com/formel-1/news/mercedes-motor-1000-ps-marke-soll-bald-fallen-17122101>

²¹Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.21

wird nicht mehr gebraucht und die Schaltvorgänge sind nicht mehr vorhanden. Mit dieser Antriebsweise ist eine dynamische Fahrweise möglich. Fahrzeuge mit Automatikgetriebe bieten so einen Fahrkomfort nicht.

Die Geräuschunterschiede vom Elektroantrieb und Verbrennungsmotor sind enorm. Durch den leisen Antrieb entsteht beim Fahren mit höherer Geschwindigkeit ein angenehmer Lärmpegel für die Insassen. Für die Umgebung sinkt der Lärmpegel ebenfalls. Im Gegensatz zu herkömmlichen Fahrzeugen sind die Elektroautos bei niedriger oder sogar mittlerer Geschwindigkeit kaum mehr zu hören.

Im Vergleich zu anderen Bauweisen von Verbrennungsmotoren, sind die reinen Elektrofahrzeuge einfacher zu bewerkstelligen. Bei gleicher Leistung sind die Motoren kleiner und leichter. Durch die Elektronik lässt sich die Vorwärts- und Rückwärtsrichtung leichter regeln. Es fallen mehrere Komponenten weg, die für einen Verbrennungsmotor erforderlich sind, zum Beispiel:

- Benzinpumpe und Tank
- Öl und Öltank
- Auspuffsystem und Katalysator
- Starterbatterie, Anlasser und Lichtmaschine

Allerdings ist ein großer Unterschied bei der Steuerungselektronik vorhanden. Aufgrund der hohen Ströme und Spannungen, ist eine aufwendigere Steuerungselektronik von Nöten als bei herkömmlichen Motoren.

Die Bremsen werden im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen auch nicht mehr so beansprucht, da durch die Rekuperation eine Unterstützung der Bremsanlage entsteht. Diese Unterstützung führt zu einer längeren Lebensdauer der Bremsanlage und sorgt auch im Service-Aufwand für geringere Kosten. Generell bieten die Elektrofahrzeuge einen einfacheren Aufbau und eine verbesserte Recyclingmöglichkeit am Ende ihres Lebens.

3.1.2. Nachteile der Elektromobilität

Für die Anschaffung eines Elektrofahrzeuges fällt ein höherer Anschaffungspreis an, als bei einem herkömmlichen Fahrzeug. Die wesentlichen Antriebsteile, wie der Elektromotor und die Leistungselektronik, sind im Vergleich zu einem Verbrennungsmotor und der dazugehörigen Komponenten etwa gleich kostspielig. Grund für den höheren Preis ist der benötigte Li-Ionen-Akku für die Elektroautos. Die Akkukapazität bewegt sich in einer Größe von 20 kWh²² (Stand 2014). Dafür kann man mit ungefähr 10.000,00 € Aufpreis rechnen.

Ein wesentlicher Nachteil von Elektrofahrzeugen ist die eingeschränkte Reichweite und die lange Ladedauer. Bei normalen und bezahlbaren Akkukapazitäten, erreichen die Autos eine Reichweite von 150 bis 200 km. Bei einem Reichweitentest wurde ermittelt, welche Distanz heutige Elektroautos erreichen. Bei einem Hyundai Ioniq Elektrofahrzeug, erreichte man eine Distanz von 241 km und das mit einer Akkukapazität von 28 kWh²³. Bei einem größeren Elektrofahrzeug, wie dem Tesla Model S 90D, erreichte man eine Reichweite von 632 km. Jedoch liegt die Kapazität des Tesla bei 90 kWh²⁴. Man sieht, in der Praxis hängt die Reichweite sehr davon ab, welche Streckentypen gefahren werden, ob es sich um Kurzstrecken, Langstrecken oder Autobahnfahrten handelt. Weiteres kann die Reichweite verkürzt werden, indem man die Klimaanlage oder Fahrzeugheizung verwendet. Dieser Zusatzverbrauch kann die Reichweite bis zu einem Drittel verkürzen. Für normale Tagesfahrten sollten diese Reichweiten genügen und das Fahrzeug kann über Nacht geladen werden. Das Laden an der Haushaltssteckdose dauert mehrere Stunden.

Die Ladezeiten können leider nicht ganz reduziert werden und mit der Zeit für das Auftanken eines herkömmlichen Fahrzeuges verglichen werden. Bei Gleichstrom-Schnellladungen mit einer sehr hohen Leistung, benötigt die Ladezeit ungefähr 30 Minuten. Sollte nach einer längeren Autofahrt mal nachgeladen werden müssen, muss man mit einer Wartezeit von mindestens 30 Minuten rechnen. Dazu kommt, dass nicht überall schon Schnellladestationen aufgebaut sind. Für Autofahrer mit dem Wunsch einer größeren Reichweite, gibt es als Alternative Plug-In-Hybrid Fahrzeuge.

²²Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.23

²³<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/reichweite-elektroautos-batteriekapazitaet/>

²⁴<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/reichweite-elektroautos-batteriekapazitaet/>

3.2. Antriebsarten und Bauformen

In diesem Abschnitt werden die Antriebsarten und Bauformen beschrieben. Der Hauptteil liegt beim Elektro-PKW. Ergänzend werden auch Nutzfahrzeuge, Elektrofahräder und verschiedene Elektrofahrzeuge angesprochen. Weiteres wird ein kleiner Überblick über den Elektromotor und dessen Leistungsentfaltung sowie Drehmomentenverlauf gezeigt.

3.2.1. Elektro PKW

Zu dieser Kategorie zählen Fahrzeuge, die einen oder mehrere Elektromotoren besitzen. Zu einem anderen Antriebskonzept zählt auch die Kombination von zwei Motorentypen, also die Zusammenarbeit von Verbrennungsmotor und Elektromotor²⁵.

- Battery Electric Vehicle (BEV)
- Range-Extender (REX)
- Hybrid Electric Vehicle (HEV)
- Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV)
- Fuel Cell Vehicle (FCV)

Bei reinen Elektrofahrzeugen bestehen die Antriebskomponenten aus dem Elektromotor, der Leistungselektronik und dem Akku. Diese nennt man Batterieelektrische Fahrzeuge **(BEV)**.

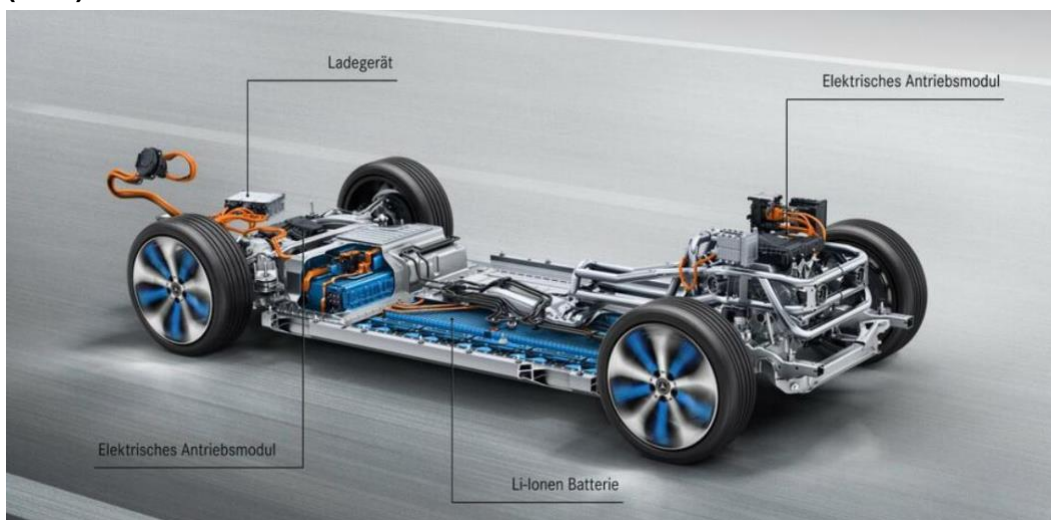


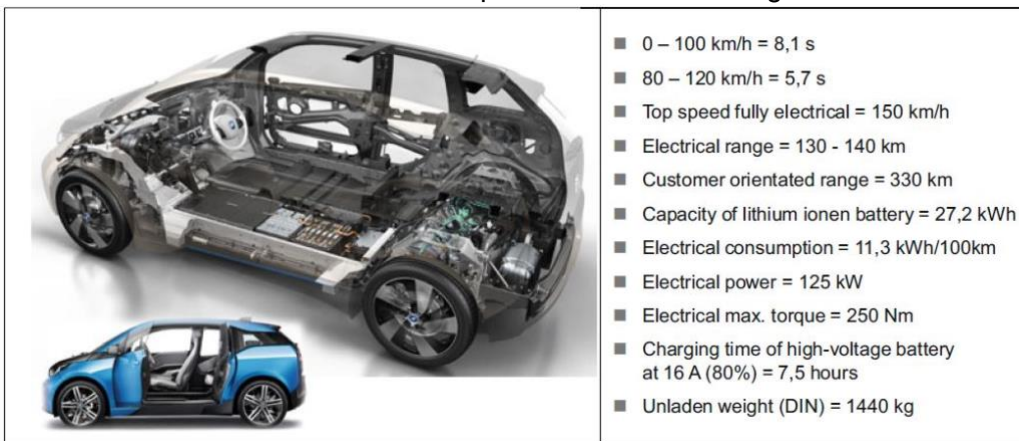
Abbildung 10 Aufbau Mercedes EQC ²⁶

²⁵Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.26

²⁶<https://edison.handelsblatt.com/erklaren/mercedes-eqc-die-batterie-im-detail/23004130.html>

Bei den Elektromotoren haben sich die Drehstrommotoren durchgesetzt. Um die Leistungsanpassung der Motoren zu optimieren, müssen mehrere Faktoren variabel veränderbar sein. Die Motoren werden mit vergleichbarer Spannung versorgt, wie bei dem stationären Drehstromsystem. Die Höhe der Spannung liegt ebenfalls bei 400 V. Für Sportwagen soll dieses Jahr (2019) die 800 Volt-Technik eingesetzt werden. Derzeit sind bei Elektrofahrzeugen 400 V üblich²⁷. Für den dementsprechenden Fahrbetrieb muss die Leistung sowie das Drehmoment geregelt werden. Die Regelung betrifft die Spannung sowie die Stromstärke und die Frequenz vom Drehstrommotor. Realisiert wird diese Steuerung von einem Umrichter und man nennt diesen Antrieb „umrichtergespeister Drehstrommotor“²⁸. Dieses Antriebskonzept hat einen hohen Wirkungsgrad von über 90 % und dient als Basis für Elektrofahrzeuge.

Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung nennt man **Range Extender Electric Vehicle (REEV)** oder **Range Extender (REX)**. Diese zusätzliche Verlängerung der Reichweite wird durch einen kleinen Verbrennungsmotor ermöglicht. Der Verbrennungsmotor schaltet sich bei Bedarf ein und treibt einen Generator an. Dieser Generator wird genutzt um die Batterie vom Fahrzeug während der Fahrt zu laden²⁹. Auf dem Markt wird das Fahrzeug als Elektrofahrzeug mit dem Zusatz „Range Extender“ verkauft. Das Fahrzeug wird nur vom Elektromotor angetrieben und der Verbrennungsmotor dient nur zur Stromerzeugung. Der Vorteil von diesem System ist der gute Wirkungsgrad vom gesamten Fahrzeug. Der Nachteil bei diesem Konzept ist, dass zwei Antriebssysteme benötigt werden. Das bedeutet wiederum ein erhöhtes Gewicht und einen erhöhten Platzbedarf. Als Beispiel ist in der Abbildung 11 der BMW i3 samt Angaben



zu sehen³⁰.

Abbildung 11 BMW i3 mit Range Extender

²⁷<https://ecommento.de/2018/07/11/erster-porsche-800-volt-schnellladepark-geht-ans-netz/>

²⁸Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.26

²⁹Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.28

³⁰Pischinger, Seiffert: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik– 8.Auflage – Wiesbaden, 2016, S.270

Die Hybridfahrzeuge (**Hybrid Electric Vehicle HEV**) haben laut Definition zwei verschiedene Energiewandler. Diese bestehen aus einem Elektromotor und einem Verbrennungsmotor. Das Gleiche gilt auch für den Speicher, sie besitzen sowohl einen Akku als auch einen Treibstofftank³¹.

Mit dieser Kombination nutzt man jeweils beide Vorteile der Antriebskonzepte, um die Nachteile vom jeweils anderen System auszugleichen. Beim Verbrennungsmotor wird die höhere Reichweite hervorgehoben. Der Elektromotor gleicht die Nachteile vom Verbrennungsmotor aus. Als Beispiel, das Anfahren mit dem notwendigen Kupplungsschleifen. Der Elektromotor kann aus dem Stand ohne Trennkupplung beschleunigen. Beim Bremsvorgang kann die Energie teilweise über die Rekuperation vom Elektromotor zurück gewonnen werden³². Durch diese Energiezurückgewinnung steigt die Energieeffizienz des gesamten Antriebstranges.

Beim **Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV)** werden im Gegensatz zu den konventionellen Hybriden, die Akkus nicht nur intern vom Verbrennungsmotor geladen, sondern können auch extern an einer Ladesäule geladen werden.

Fuel Cell Vehicle (FCV) auch genannt Brennstoffzellenfahrzeug: Diese Bezeichnung hat nichts mit dem Antrieb und dem Akku zu tun, sondern mit der Umwandlung von Wasserstoff in elektrische Energie³³. Der Wasserstoff ist der Energieträger und diese Energie wird entweder in einem Li-Ionen-Akku zwischengespeichert oder die umgewandelte Energie wird direkt dem Elektromotor zugeführt.

Hauptkomponenten für ein Brennstoffzellenfahrzeug sind:

- Elektromotor
- Li-Ionen-Akku
- Wasserstoff-(H₂) Speicher
- Brennstoffzelle

Die ersten zwei Aspekte „Elektromotor“ und „Li-Ionen-Akku“ sind wie vorher schon erläutert gleich. Ein Unterschied besteht hauptsächlich bei den letzten beiden Aspekten. Hier wird die Kombination Brennstoffzelle und Wasserstofftank verwendet, statt einem Verbrennungsmotor und einem dazugehörigen Treibstofftank. Die Funktionsweise ist gleich wie bei einem Range Extender. Reichweiten von 500 km sollen damit erreicht werden. Die

³¹Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.29

³²Tschöke: Springer Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs- 1.Aufl. – Wiesbaden, 2015, S.5

³³Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.36

Zeit für die Betankung ähnelt der Zeit für das Betanken mit Benzin oder Diesel. Leider sind Tankstellen mit Wasserstoff noch nicht weit verbreitet.

Die Brennstoffzelle wandelt durch eine elektrochemische Reaktion Wasserstoff und die vorhandene gespeicherte Energie in Elektrizität und Wärme um. Dieser Vorgang wird in mehreren Einzelzellen bewerkstelligt. Bei der Elektrolyse-Reaktion im Vergleich zur klassischen Form, läuft dies umgekehrt ab. Durch die Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff entsteht Elektrizität und Wärme. Das Reaktionsprodukt ist Wasser in Form von Wasserdampf und ist lokal bezogen emissionsfrei. Es erfordert eine Betriebstemperatur von 60 bis 90 °C in den Zellen.

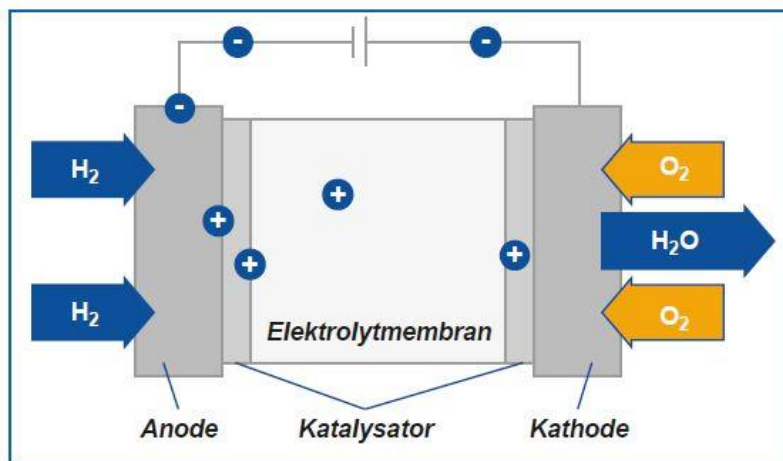


Abbildung 12 Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle³⁴

Die Speicherung von Wasserstoff erfolgt in einem Druckbehälter mit einem Druck von 700 bar. Bei größeren Nutzfahrzeugen wird nur ein Druck von 350 bar benötigt, da aufgrund der Bauform mehr Platz vorhanden ist als bei einem PKW.

3.2.2. Elektromotoren

Die Elektromotoren erfüllen mehrere Funktionen bei einem Fahrzeug. Elektromotoren werden auch als Antriebsstrang genutzt.

Grundsätzliche Elektromotoren Typen sind:

- Gleichstrommotor
- Synchronmotor

³⁴Kampker, Vallee, Schnettler: Springer Elektromobilität - 2.Aufl. – Wiesbaden, 2018, S.61

➤ Asynchronmotor

Diese Motoren werden schon seit längerer Zeit in der Industrie verwendet und dementsprechend besitzt man hierbei mehr Erfahrung als bei den anderen Motorvarianten. Jedoch muss der Elektromotor für die Antriebstechnik bestimmte Anforderungen erfüllen.

Kurze Erläuterung zu der jeweiligen Funktionsweise der Elektromotoren Varianten:

Die **Gleichstrommotoren** sind vom Aufbau her sehr einfach und können direkt mit Gleichstrom betrieben werden und durch die Spannung kann man leicht die Drehzahl ändern. Die Funktionsweise geschieht durch die Anziehung und Abstoßung der Magnetfelder Nord- und Südpol. Die Felder bestehen im Stator und Rotor, das stehende Feld ist im Stator enthalten, das durch einen Magneten oder einer Spule erzeugt wird. Beim Rotor wird ebenfalls ein Feld erzeugt und die Richtung vom Feld wird über den Kommutator bestimmt. Diese Elektromotoren werden nicht im Fahrzeugbetrieb als Antrieb verwendet³⁵.

Hauptsächlich zum Einsatz in Elektrofahrzeugen kommen **Drehstrommotoren**. Im Gegensatz zum Gleichstrommotor erzeugen diese die Rotation über die drei Phasen die jeweils um 120 ° versetzt sind. Diesen Versatz bezeichnet man als „Phasenverschiebung“ und dieser wird beim normalen Drehstromnetz verwendet. Durch diese Phasenverschiebung und in Kombination mit dem sinusförmigen Verlauf, entsteht ein drehendes Rechtfeld³⁶.

Den Drehstrommotor kann man konstruktiv auf zwei Typen beziehen, einmal als Synchron- oder als Asynchronmotor. Bei Synchronmotoren sind die äußeren und inneren Drehfelder gleich und beim Asynchronmotor hängt das innere Drehfeld dem äußeren hinterher. Diese Differenz vom Ständerdrehfeld und Rotordrehfeld wird beim Asynchronmotor „Schlupf“ genannt ³⁷. Beim Synchronmotor gibt es zwei Ausführungen, einen **stromerregten Synchronmotor** und einen **permanentmagneterregten Synchronmotor**.

Die permanentmagneterregten Synchronmotoren werden mit sehr starken Neodym Magneten verbaut. Diese Magnete werden aus seltenen Erden gewonnen und sind auch sehr kostspielig. Sie ermöglichen eine kompakte Bauweise und besitzen einen hohen Wirkungsgrad. Beim Bremsvorgang kann durch diese Bauweise Energie wiedergewonnen werden (Rekuperation), wie im Abschnitt 3.1.1 erläutert.

Beim stromerregten Synchronmotor wird über die Spule, die sich direkt im Rotor befindet, das Magnetfeld erzeugt. Nachteile bei dieser Bauweise, es gibt Schleifkontakte die mit dem rotierenden Rotor verbunden sind. Aufgrund der Schleifkontakte für die benötigte Stromübertragung und der Spulenwicklung am Rotor, ist der Wirkungsgrad niedriger als beim permanentmagneterregten Synchronmotor. Die Strombelastung im Rotor ist nicht mit

³⁵Rolf: Hanser Elektrische Maschinen- 15.Aufl. – München, 2011, S.32

³⁶Rolf: Hanser Elektrische Maschinen- 15.Aufl. – München, 2011, S.141

³⁷Rolf: Hanser Elektrische Maschinen- 15.Aufl. – München, 2011, S.289

der Leistung von einem Gleichstrommotor zu vergleichen. Dieser benötigt die gesamte Leistung am Rotor und der Übergang über die Kohlenbürsten muss eine höhere Belastung aushalten, als beim stromerregten Synchronmotor.

Drehstrommotoren		
Permanenterregter Synchronmotor	Stromerregter Synchronmotor	Asynchronmotor
+ hoher Wirkungsgrad + kleinere Bauform + hohe Effektivität bei Rekuperation	+ hoher Wirkungsgrad + geringe Kosten	+ robust + kostengünstig
- höhere Kosten - Schleppverluste im Leerlauf	- Schleifringübertragung notwendig - größerer Bauraum erforderlich	- Wirkungsgrad vor allem bei kleineren Drehzahlen geringer

Abbildung 13 Tabelle Überblick der Drehstrommotoren

Die Tabelle zeigt eine Übersicht der verschiedenen Drehstrommotoren mit deren jeweiligen Vor- und Nachteilen.

3.2.3. Leistung und Drehzahl - Drehmomentverhalten der Elektroantriebe

Der Elektromotor hat einen anderen Drehmomenten- und Leistungsverlauf als ein Dieselmotor oder Ottomotor. Der folgende Inhalt soll einen kurzen Überblick über die Arbeitsbereiche der Elektromotoren schaffen. Es werden zwei grundsätzliche Bereiche unterschieden, Dauerleistung und Spitzenleistung sowie Dauermoment und Spitzenmoment³⁸. Spitzenwerte werden nur für einen kurzen Zeitraum zur Verfügung gestellt. Die Dauerleistung steht unter bestimmten Beschränkungen. Diese thermische Belastung vom Motor und Umrichter verringert die Dauerleistung. Für eine bessere Übersicht folgen Abbildungen mit dem Drehmomentenverlauf und Leistungsverlauf.

³⁸Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.66

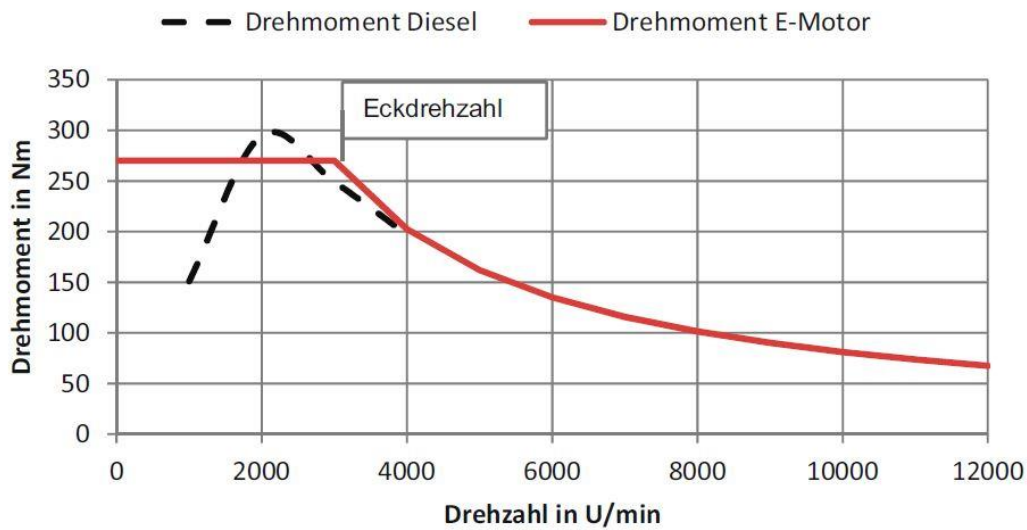


Abbildung 14 Typische Drehmomentverläufe Elektro- und Dieselmotor³⁹

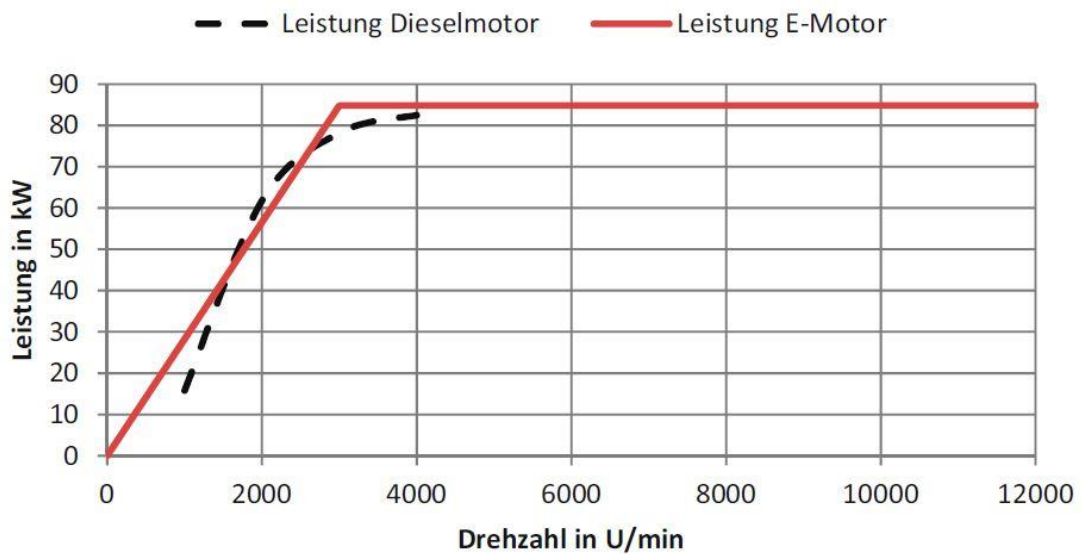


Abbildung 15 Typischer Leistungsverlauf Elektro- und Dieselmotor⁴⁰

Der Elektromotor hat schon vom Stand weg sein gesamtes Drehmoment, im Vergleich dazu entwickelt der Dieselmotor erst ab einem bestimmten Drehzahlbereich sein volles Drehmoment. Bei Betrachtung der Leistungskurve sieht man, der Elektromotor zieht sehr linear an und bleibt dann ab einem bestimmten Punkt konstant. Genau bei diesem Punkt nimmt auch das Drehmoment vom Elektromotor ab.

³⁹Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.66

⁴⁰Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.68

3.3. Elektronutzfahrzeuge

Ein Beispiel wäre der Einsatz von Elektrobussen für den Personenverkehr statt herkömmlichen Bussen mit Dieselmotoren. Gleich wie die Elektroautos sollen auch die Elektrobusse mit Elektromotoren angetrieben werden. Sie bieten für den Stadtverkehr nahezu keine schädlichen Emissionen und besitzen eine geringe Geräusentwicklung. Das mehrfache Anfahren sowie das ständige Bremsen wäre mit dem Elektromotor effizienter, anstatt wie bisher die Kupplung des Dieselmotors beim Losfahren schleifen zu lassen. Für den reinen Stadtverkehr würde als Energiequelle ein Akku reichen. Für größere Reichweiten wäre die Lösung ein Hybrid Bus mit einem Zusatzmotor zur Stromerzeugung.

Der Einsatz im Güternahverkehr mit Elektro LKWs, könnte wesentlich zum Umweltschutz in Städten beitragen. Sie hätten die gleichen Vorteile wie Elektrobusse beim Stadtverkehr. Ein Beispiel wäre ein Müllwagen in Wien, für welchen sich die Anwendung eines Elektro LKWs hervorragend eignen würde⁴¹.

3.4. Elektrofahrräder

Die Elektrofahrräder erleben derzeit einen großen Hype. Bereits im Jahr 2012 wurde schon die Millionenstückgrenze überschritten. Durch die Unterstützung vom Elektromotor können Reichweiten von 50 bis 100 km erreicht werden. Die Unterstützung endet bei einer Geschwindigkeitsüberschreitung von mehr als 25 km/h, diese Abschaltung soll als Sicherheit für den Radfahrer dienen. Jedoch sehe ich als Nachteil, dass mit dem Elektrofahrrad Touren gefahren werden, die man im Normalfall nicht bewältigen würde und dies dann zu gefährlichen Unfällen führen kann.

Für den Antrieb von E-Bikes gibt es drei Varianten, Nabenmotor für hinten oder im seltenen Fall auch für vorne, sowie die Elektromotorunterstützung direkt beim Pedal (Mittelmotor). Die Leistung beträgt 250 Watt und während des Tretens wird die Leistung maximal auf 500 Watt angehoben. Die Spannung vom Akku bzw. vom System beim Elektrofahrrad liegt bei 24 bis 48 V⁴².

3.5. Weitere Elektrofahrzeuge

Es gibt auch andere Arten von Elektromobilität. Das **Segway** ist eine besondere Variante von Elektrofahrzeugen. Die Steuerung des Segways erfolgt über die Gewichtsverlagerung des Fahrers. Mit der Neigung nach vorne wird das Fahrzeug beschleunigt, neigt man sich nach hinten verlangsamt es sich. Der Antrieb besteht aus zwei Gleichstrommotoren die

⁴¹Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.66

⁴²Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.42

jeweils ein Rad antreiben. Will man nach links oder rechts steuern, muss die Lenkstange vom Segway bewegt werden, so wie bei einem Kettenfahrzeug.

Im Trend steht derzeit der **E-Scooter**, dieser ist wesentlich günstiger und kompakter als ein E-Bike. Ebenfalls mit einer Reichweite von 5 bis 35 km ist er ideal für den Stadtverkehr. Leider ist die Fahrweise nicht so einfach wie bei einem Fahrrad. Aufgrund der Sturzgefahr wegen der kleineren Räder sowie beim plötzlichen abbremsen, passieren auch schwere Unfälle⁴³.



Abbildung 16 Elektro Scooter⁴⁴

Die **Formel E** soll eine Marketing-Plattform für die Elektroautos sein. Damit soll gezeigt werden, dass auch Elektroautos sportlich sein können. Deswegen waren die ersten marktreifen Elektroautos von Tesla so stark, um zu zeigen was alles mit dem Elektroantrieb möglich ist. Es soll attraktiv für den Markt sein.

Nur für diese Rennserie fehlt noch die richtige Infrastruktur, denn bei einer grünen Rennserie denkt man auch, dass die Energie grün sei. Dabei werden im Hintergrund die Akkus von großen Dieselgeneratoren geladen⁴⁵.

⁴³<https://www.faz.net/aktuell/gesellschaft/experten-sehen-hohes-verletzungsrisiko-beim-e-roller-fahren-16250129.html>

⁴⁴<https://www.rideside.at/blog/2016/e-scooter-vergleich-e-twow-s2-booster-vs-egret-one-s/>

⁴⁵<https://www.motorsport-magazin.com/formel1/news-256046-tost-formel-1-ist-technik-der-zukunft-nicht-formel-e/>

4. Ladetechnik

4.1. Was benötigt man für die Errichtung einer Ladestation im Privatbereich?

Für die Errichtung einer Ladestation im Privatbereich müssen zuvor einige essentielle Bedingungen erfüllt werden.

- Ist die Hausanschlussleistung ausreichend?
- Ist die notwendige Energie abzüglich der Grundlast vorhanden?
- Sind die bestehenden Leitungen noch ausreichend dimensioniert?

Diese Grundbedingungen müssen erfüllt werden, um eine Ladestation zu errichten. Bei einem normalen typischen Haushalt wird ungefähr ein Jahresverbrauch von 3.000 kWh⁴⁶ angenommen. Die Absicherung beträgt bei einer typischen Wohneinheit 50 A⁴⁷. Im folgenden Bild wird jeweils ein Tagesverlauf gezeigt:

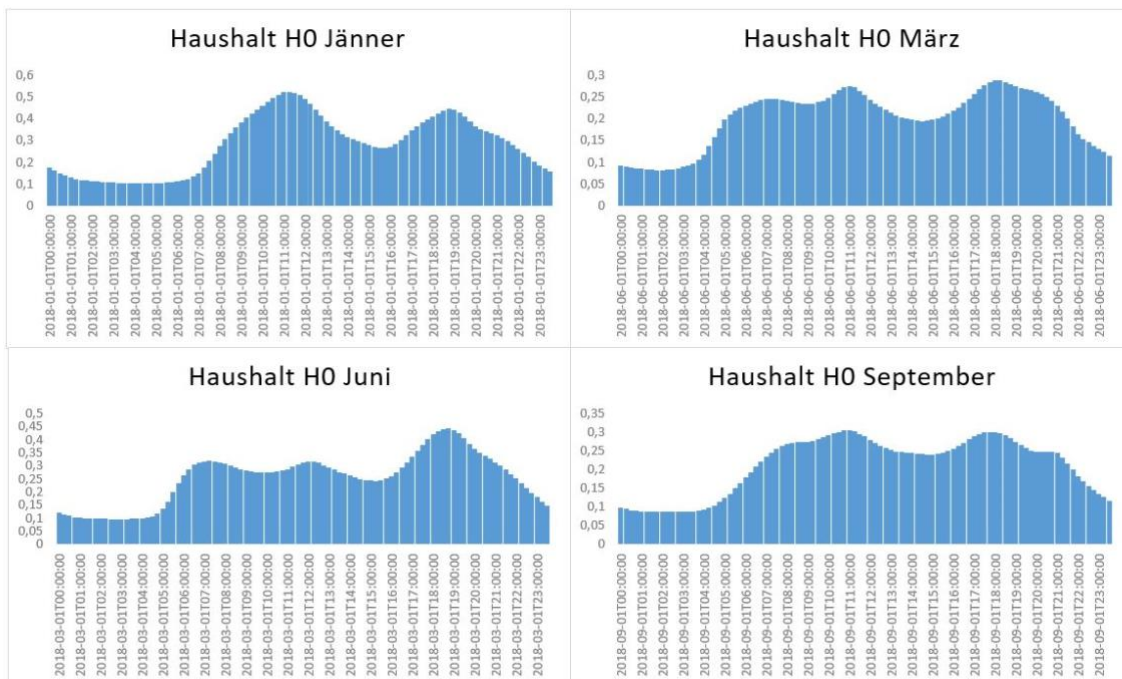


Abbildung 17 Lastverbrauch in einem viertel Stunden Tagesverlauf aufgezeichnet

⁴⁶<https://stromliste.at/nuetzliche-infos/durchschnittlicher-stromverbrauch#stromverbrauch-2-personen-haushalt>

⁴⁷<https://www.e-netze.at/downloads-data/Strom/1.%20Allgemeines/Ausf%C3%BChrungsrichtlinien%20f%C3%BCr%20Niederspannungsanschl%C3%BCsse.pdf>

In der vorigen Abbildung ist zu erkennen, dass sich der Strombedarf je nach der Tageszeit und der Jahreszeit ändert.

4.2. Ladearten für die Elektromobilität

Es werden vier Ladebetriebsarten unterschieden, vom einfachen Hausanschluss als Schuko Steckdose bis zur Ladebetriebsart Gleichstrom. Für eine kurze Wartezeit bei der Ladung wäre es möglich den leeren Akku gegen einen vollen zu tauschen. Somit könnte man anschließend direkt weiterfahren. Um einen Akkutausch zu ermöglichen, müsste diese Vorgehensweise standardisiert werden und der Akku Typ müsste ident sein.

Des Weiteren gäbe es die Möglichkeit einer induktiven Ladung, jedoch müssten hier noch bestimmte Situationen geklärt werden.

Lademodus 1 (Ladebetriebsart 1)

Lademodus 1 bedeutet, das Fahrzeug wird direkt an die Haushaltssteckdose angeschlossen. Die Spannung liegt bei 230 V einphasig und 400 V dreiphasig. Die Absicherung liegt bei 16 A. Wegen der geringen Schutzfunktion wäre es zu empfehlen, zusätzlich eine Fehlerstromschutzeinrichtung für den vorgesehenen Abgang zu verbauen⁴⁸.

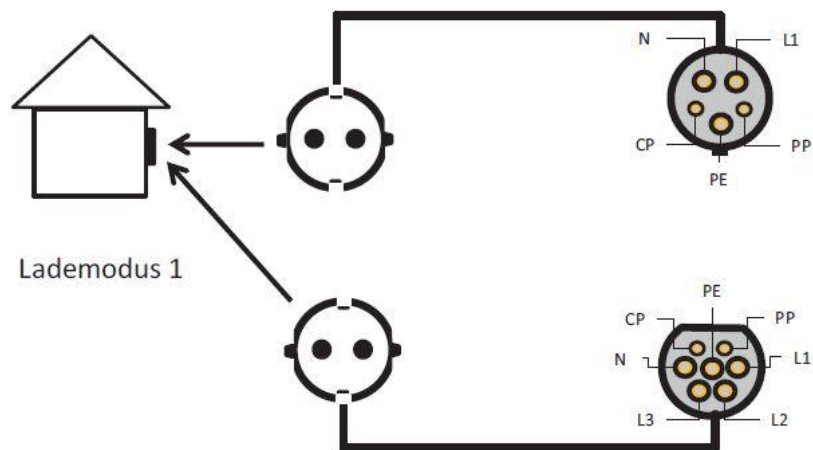


Abbildung 18 Lademodus 1

Lademodus 2 (Ladebetriebsart 2)

Beim Lademodus 2 wird das Fahrzeug ebenfalls über eine Haushaltssteckdose angeschlossen. Es wird zwischen Fahrzeug und Haushaltssteckdose eine Ladebox In-Cable

⁴⁸Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.64

Control Box (ICCB) zwischengeschaltet⁴⁹. Diese Ladebox sorgt für die Kommunikation. Für die Übertragung sollte der Ladestrom auf 6 bis 10 A begrenzt werden, da die Leitungen im Haus einer hohen thermischen Belastung ausgesetzt werden. Um eine bessere Ladeleistung zu gewähren, wäre der Einsatz von CEE Steckern zu empfehlen. Für den einphasigen Betrieb muss der blaue Stecker verwendet werden und für den dreiphasigen Betrieb der rote Stecker. Mit dem dreiphasigen CEE Stecker wäre auch theoretisch ein Ladestrom von 63 A möglich. Ebenfalls sollte dieser Abgang im Haus mit einem eigenen RCD (Fehlerstromschutzschalter) versehen werden. Die Installation muss ordnungsgemäß verbaut und überprüft werden.

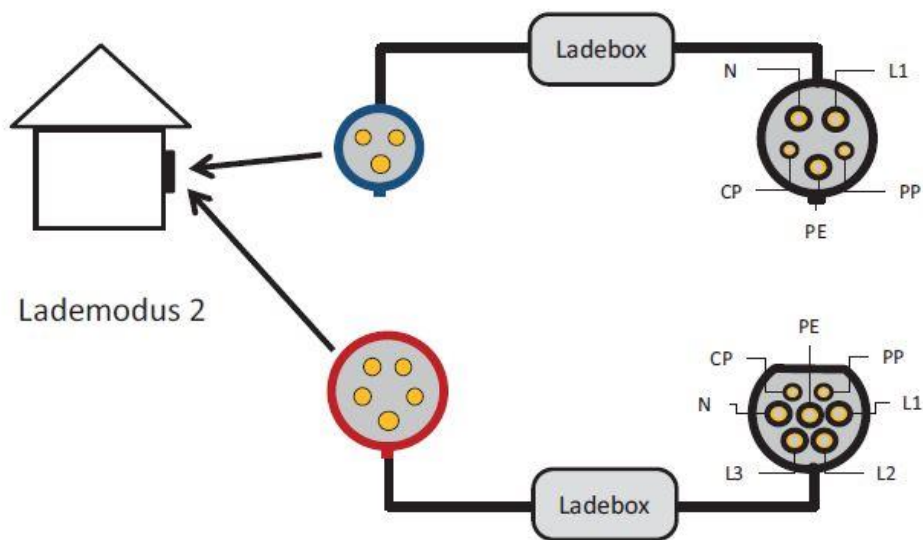


Abbildung 19 Lademodus 2 mit CEE-Steckdosen und ICCB Verbindung

Lademodus 3 (Ladebetriebsart 3)

Beim Lademodus 3 wird ein fest angeschlossenes Kabel mit Stecker oder Kupplung verwendet. Für diesen Lademodus benötigt man eine Ladesäule in welcher die Überstromschutzorgane bereits integriert sind.

Weiteres kommuniziert die Ladesäule mit dem Elektrofahrzeug bevor die Ladung beginnt. Die Ladefreigabe wird erst nach einer vorgegebenen Reihenfolge von Messungen der angeschlossenen Komponenten⁵⁰ erteilt.

Es wird für die Kommunikation ein PWM-Signal (Pulsweitenmodulation) auf moduliert. Das Ladekabel ist mit dem Stecker Typ 1 oder 2 verbaut (diese Stecker Typen sind in der folgenden Abbildung zu sehen).

⁴⁹Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.65

⁵⁰Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.67

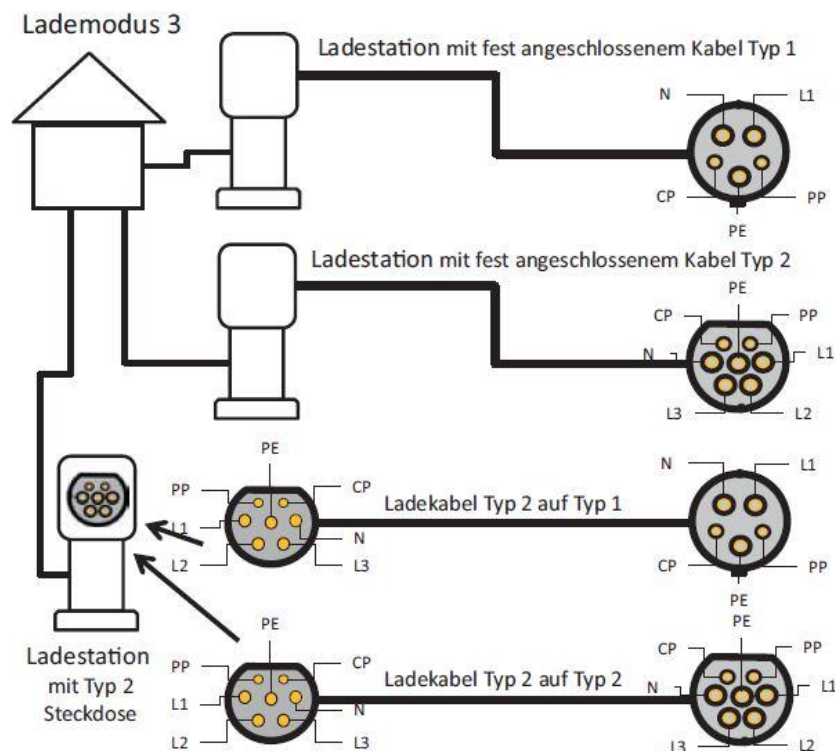


Abbildung 20 Lademodus 3, Varianten Ladestation mit festem Kabel oder Kupplung

Im Stecker befinden sich die Kodierwiderstände und dadurch werden die Messwerte ermittelt und die jeweilige Ladeleistung von der Ladesäule abgegeben. Dies dient dazu, dass kein Fahrzeug mit einer Ladeleistung von 22 kW geladen wird, wenn es nur für 11 kW freigegeben ist.

Widerstand R	1500 Ohm	680 Ohm	220 Ohm	100 Ohm
Stromstärke I	13 A	20 A	32 A	63 A
Mindest-Leitungsquerschnitt Cu	1,5 mm ²	2,5 mm ²	6 mm ²	16 mm ²

Abbildung 21 Kodierwiderstände im Typ 2 Stecker

In der Tabelle ist zu sehen, wie die Einteilung der Ladeströme vom Widerstand und Querschnitt der Leitung abhängt. Als Sicherheit wird auch die Verriegelung in der Reihenschaltung verwendet. Das bedeutet, sollte die Verriegelung offen sein, wird die Ladung nicht frei gegeben.

Der Pilotkontakt PP (Proximity-Pilot) dient der Ermittlung des Kodierwiderstandes über den Schutzleiter PE. Beim zweiten Pilotkontakt CP (Contact-Pilot) wird beim Anschlusskabel geprüft, ob eine Verbindung vorhanden ist.

Die Ladeleistung ergibt sich aus dem Zusammenspiel der Elektronik der Ladesäule und den Widerständen im Ladestecker⁵¹.

Lademodus 4 (Ladebetriebsart 4)

Beim Lademodus 4 befindet sich das Ladegerät in der Ladesäule. Die Ladestation lädt direkt die Fahrzeugbatterie mit Gleichstrom⁵². Bei diesem Lademodus gibt es auch eine Kommunikation über die Pilotkontakte. Die Pilotkontakte sind beim CCS-Stecksystem noch vorhanden und beim CHAdeMO-Stecker erfolgt die Kommunikation über mehrere Kontakte. Diese Kontakte sind in zwei Einheiten aufgeteilt und die Überwachung findet über ein Can-BusSystem statt.

Der Vorteil einer Gleichstromladung ist, dass durch die verlustfreie Übertragung mehr Energie als bei Wechselstrom übertragen werden kann. Bei dieser Gleichstromladestation ist das Kabel bereits bei der Ladestation verbaut, da es für den Transport im Fahrzeug zu groß wäre. In den nächsten Jahren wird diese Form der Lademöglichkeit noch steigen und es sollen Leistungen von 450 kW erreicht werden⁵³.

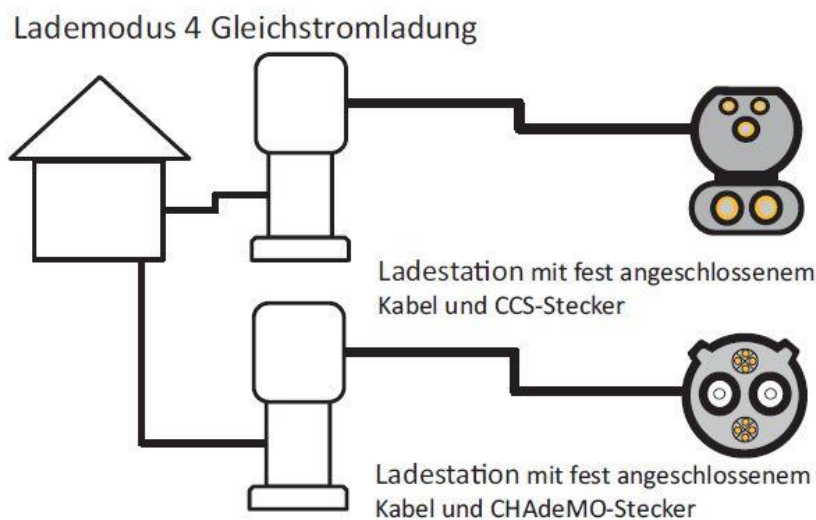


Abbildung 22 Lademodus 4 Gleichstromladung

⁵¹Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.67

⁵²Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.69

⁵³<https://ecomento.de/2018/12/13/forschungsprojekt-fastcharge-porsche-erprobt-laden-mit-bis-zu-450-kw/>

4.2.1. PKW Stecksysteme für die Elektromobilität

Die Stecksysteme sind genormt und sollen in erster Linie sicher und benutzerfreundlich sein. In öffentlichen und halb öffentlichen Bereichen sollen die Stecker überall kompatibel sein. Hiermit soll für eine rasche Weiterfahrt ein reibungsloses und schnelles Laden ermöglicht werden.

Wechselstromstecker Typ 1

Dieser Wechselstromstecker ist in asiatischen und amerikanischen Fahrzeugen sehr verbreitet. Entwickelt wurde der Stecker von dem japanischen Unternehmen „Yazaki“, gemeinsam mit diversen Versorgungsunternehmen von Japan⁵⁴. Zusätzlich ist der Stecker nach dem amerikanischen Automobilstandard genormt (SAE J1772). Die Stecker werden außerhalb von Europa einphasig verwendet. Je nach Land ändert sich die Spannung und Frequenz. Der Spannungsbereich vom Stecker liegt bei 120 V und 208 V bis 230 V, bei einer Strombelastung von 12 A bis 32 A. Die maximale Abgabeleistung beträgt 7,4 kW einphasig mit Wechselspannung.

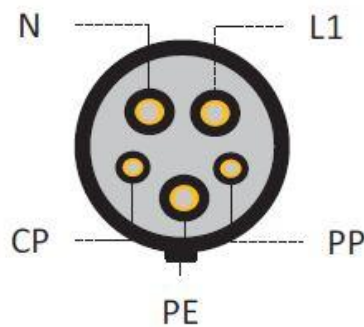


Abbildung 23 Stecker Typ 1

Wechselstromstecker Typ 2

Der Stecker Typ 2 ist als europäischer Standardstecker zu sehen und wurde von der Firma Mennekes in Deutschland entwickelt. Dieser Stecker wird schon von vielen Herstellern angeboten. Das Stecksystem ist maximal für eine Leistung von 43 kW und für eine Strombelastung von 63 A vorgesehen. Im privaten Bereich wird die Leistung auf 22 kW reduziert⁵⁵. Die Spannung liegt bei 230 V Wechselstrom und 400 V Drehstrom. Durch die zweiseitige Einsatzmöglichkeit kann das Stecksystem für Wechselstrom und Drehstrom genutzt werden. Deswegen ist dieser Stecker Typ in Deutschland und in Europa bei öffentlichen Ladestationen sehr verbreitet. Beim Laden wird der Stecker oder die Kupplung

⁵⁴Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.22

⁵⁵Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.23

verriegelt. Diese Sicherheitsvorkehrung ist von der Ladesäulenverordnung vorgeschrieben (Abschn. 1.5.2).

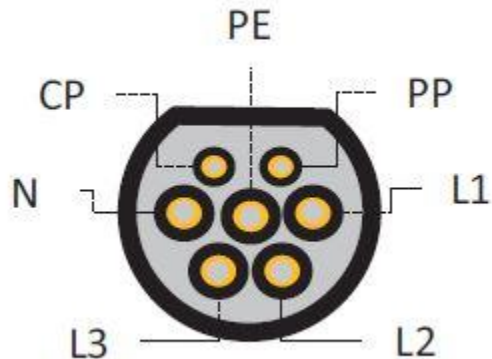
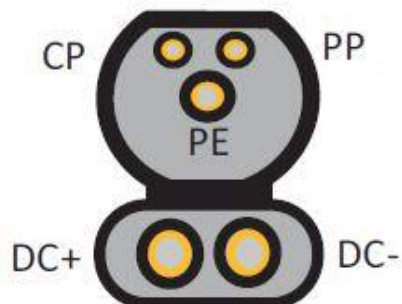


Abbildung 24 Stecker Typ 2

Gleichstrom-Combo-Stecker oder CCS-Stecker

Die Weiterentwicklung vom Stecker Typ 2 ist der CCS Stecker (Combined Charging System). Beim Fahrzeugkauf kann die Option gewählt werden, dass die Steckvorrichtung zweifach genutzt werden kann. Die obere Steckvorrichtung bei der Gleichstromaufladung wird nur als Schutzleiter und als zwei Pilotkontakte genutzt⁵⁶. Die unteren Kontakte dienen als Übertragung vom Gleichstrom. Die Ladeleistung des Gleichstromes beträgt jedoch maximal 170 kW, da die Lademöglichkeiten der Hersteller noch deutlich darunterliegen.

Abbildung 25 Stecker Typ CCS Combo-Stecker Wechselstrom

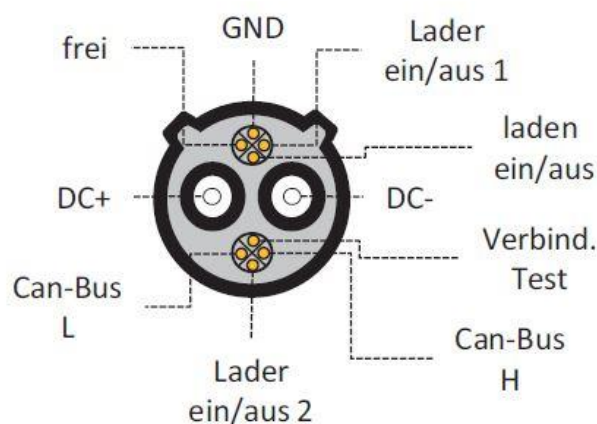


⁵⁶Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.23

Gleichstromstecker CHAdeMO

Der Stecker Typ CHAdeMO (Charge de Move) wurde in Japan entwickelt⁵⁷. Er wurde für große Strombelastungen gebaut und in Deutschland werden derzeit Ladeleistungen von 50 kW bereitgestellt. Statt den zwei bekannten Pilotkontakten gibt es hier eine andere Variante mit mehreren Kontakten. Diese haben eine weitere Funktion, nicht nur das Überwachen vom Ladevorgang, sondern auch eine Rückspeisung kann jetzt verarbeitet werden. Diese Funktion ermöglicht es dem Akku vom Fahrzeug, als Speicher (Home-Speicher Vehicle-To-Grid V2G) für das Zuhause zu dienen und ihn als Beispiel mit der Photovoltaikanlage zu kombinieren. Die Verriegelung vom Stecker muss noch über einen Handhebel erfolgen.

Abbildung 26 CHAdeMO Stecker



Zukunftsansicht

Derzeit wird von Japan und China ein Stecksystem entwickelt, welches eine Leistung von 900 kW bewältigen soll. Die Spannung liegt bei 1.000 V und einem Strom von 900 A. Mit so einer Ladeleistung soll die derzeit mögliche Ladedauer um das fast 2,5-fache verkürzt werden⁵⁸. Des Weiteren soll es für die Ladung von Elektro LKW's geeignet sein.



Abbildung 27 900 kW Stecker von Japan und China

⁵⁷Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Auf. – Berlin, 2018, S.24

⁵⁸<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/elektroauto-ladesysteme-standard-ccs-chademo-chaoji-gbt-china/>

4.2.2. Anforderung beim Laden von Lithium-Ionen-Akkus

In der folgenden kurzen Zusammenfassung, werden die wichtigsten Merkmale für das Laden eines Lithium-Ionen-Akku's erläutert.

Es gibt die „Laderate C“ welche aussagt, mit welchen Ladeströmen der Akku geladen oder entladen werden kann. Die Laderate 1C gibt an, dass der Akku in einer Stunde geladen wird. Das bedeutet, dass der Strom so groß ist wie die Akkukapazität vom Akku. Bei einer Laderate von 2C verkürzt sich die Ladezeit auf eine halbe Stunde. Wichtig ist, dass der Akku nie komplett leer werden soll, sondern schon bei 20 bis 30 % wieder aufgeladen wird, um die Lebensdauer des Akku's zu verlängern⁵⁹.

Randbedingungen für die Zellenspannung:

- Nennspannung: 3,6 V bis 3,7 V
- Ladeschlussspannung: 4,2 V
- Tiefentladungsgrenze: 2,5 V

Die Zellenspannung soll 4,2 V nicht überschreiten und nicht unter die Tiefentladungsgrenze von 2,5 V kommen. Der Arbeitsbereich liegt zwischen 2,5 V und 4,2 V je Zelle.

4.3. Ladesäulen

Zum Thema Ladesäulen möchte ich gerne meine persönliche Meinung äußern. Es ist nicht wirklich zwingend notwendig eine Ladesäule zuhause zu errichten, es kommt auf die Anwendung an. Wenn man das Fahrzeug über Nacht lädt, benötigt man keine Ladesäule und diese würde sich somit auch nicht rentieren. Wenn jedoch eine Schnellladung auch tagsüber erwünscht ist, führt kein Weg an einer Ladesäule vorbei.

Sollte die Ladung über Nacht ausreichen, sowie die vorhandene Leistung einer normalen Hausteckdose, würde ich diesen Kreis separat absichern und nicht auf einen bestehenden Stromkreis hängen. Alleine wegen einem Fehlerfall und zu Gunsten vom Personenschutz.

Die Variante mit der Ladesäule würde ich nach der folgenden Berechnung 4.4 beurteilen, welche aussagekräftige Werte vorlegt.

⁵⁹Korthauer: Springer Handbuch Lithium-Ionen-Batterien- 1.Aufl. – Berlin, 2013, S.177

4.3.1. Einsicht in die Ladesäulenverordnung

In der Ladesäulenverordnung steht wie der standardisierte Aufbau einer Ladestation aussehen soll. Diese Verordnung gilt für den öffentlichen sowie halb öffentlichen Bereich⁶⁰. Am 17.03.2017 wurde die Ladesäulenverordnung in Kraft gesetzt und diese wurde am 14.06.2017 geändert und ist bis heute (2019) gültig.

§ 1 Verordnung Anwendungsbereich

In diesem Absatz stehen die Bedingungen für einen sicheren und kompatiblen Aufbau und Betrieb. Weiteres wird die Nutzung sowie die Bezahlung von Ladepunkten⁶¹ beschrieben. Das europäische Parlament und der europäische Rat, gibt die EU Richtlinie „2014/94/EU über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ vor, die am 22. Oktober 2014 erfasst wurde.

§ 2 Verordnung Begriffsbestimmungen

Zusammengefasst wird in diesem Absatz beschrieben, dass dieser Paragraph nur für Fahrzeuge die von außen über Ladekabel geladen werden gültig ist. Elektrofahrzeuge mit reinem Elektroantrieb oder Hybridantrieb die mit der Führerscheinklasse B⁶² gefahren werden können, fallen in diese Verordnung.

Der Ladepunkt wird in zwei Bereiche aufgeteilt, auf einen Normalladepunkt und einen Schnellladepunkt. Leistungen bis 22 kW sind Normalladepunkt Stationen, ab 22 kW handelt es sich um Schnellladestationen.

§ 3 Verordnung Mindestanforderungen an die technische Sicherheit und Interoperabilität

Für die Verwendung von Wechselstrom muss der Stecker Typ 2 sowie eine Steckdose vom Typ 2 verwendet werden. Der Stecker Typ CCS-Stecker muss bei einer Gleichstromladung

⁶⁰Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.52

⁶¹http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/__1.html

⁶²http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/__2.html

verwendet werden. Bei Verwendung von kabellosen Systemen gelten diese Stecksysteme nicht, da sie induktiv geladen werden⁶³.

§ 4 Verordnung Punktueller Aufladen

Für Nutzer eines Elektrofahrzeuges soll ein punktueller Aufladen ermöglicht werden und der Betreiber einer Ladestation ist für deren Funktion verantwortlich. Gleichzeitig muss der Betreiber einen Vertrag über die Genehmigung der Ladestation mit seinem Elektrizitätsversorgungsunternehmen abschließen.

Die Bezahlung soll in Form von Bargeld oder durch Kartensystem ermöglicht werden und die Menüführung dieser Anlage soll zweisprachig ausgeführt werden. Folgende Sprachen sind zu empfehlen, Deutsch und Englisch⁶⁴.

§ 5 Verordnung Anzeige- und Nachweispflichten

Hierbei wird festgehalten, dass Betreiber von Normal- und Schnelladepunkten unter der Ladesäulenverordnung, Informationen an die Behörden in schriftlicher oder elektronischer Form weitergeben müssen, bevor eine Station gebaut wird. Zugleich müssen auch die Stecksysteme bei Schnellladestationen bekannt gegeben werden⁶⁵. Sollte es nach einer gewissen Zeit zu Änderungen kommen, müssen diese wiederum der Behörde bekannt gegeben werden.

§ 6 Verordnung Kompetenzen der Regulierungsbehörde

Diese Verordnung sagt aus, dass der Betreiber einer Station die technischen Anforderungen an Schnelladepunkten regelmäßig prüfen muss und bei nicht Einhaltung der Rahmenbedingungen hat die Regulierungsbehörde das Recht, den Betrieb dieser Station zu untersagen⁶⁶.

⁶³http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/__3.html

⁶⁴http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/__4.html

⁶⁵http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/__5.html

⁶⁶http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/__6.html

§ 7 Verordnung Ladepunkte mit geringer Leistung

Ladestationen mit einer Leistung geringer als oder maximal 3,7 kW sind in den §§ 3 bis 6 ausgenommen⁶⁷.

§ 8 Verordnung Übergangsregelung

Dieser Paragraph sagt aus, dass Stationen die vor dem 14. Dezember 2017 errichtet und auch in Betrieb genommen wurden, nicht die Vorgaben des § 4 erfüllen müssen⁶⁸.

⁶⁷http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/__7.html

⁶⁸http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/__8.html

4.3.2. Sollte man eine Ladestation selber bauen oder eine auf dem Markt erhältliche Ladestation kaufen

In diesem Absatz möchte ich eine selbstgebaute Ladestation und ein fertiges System gegenüberstellen bzw. vergleichen.

Für den Bau einer eigenen Ladestation gehe ich von der Situation aus, dass bei einer Neuinstallation im Haus schon die Komponenten für eine Ladestation mitverbaut wurden. Also ist der Wandschrank oder der Schaltschrank schon vorhanden und es werden noch folgende Elektronikteile benötigt (Kosten siehe Abbildung 28):

- Ladesteuerung
- Steckdose Typ 2 (speziell für das Ladekabel)
- Ladekabel
- Ladeschütz
- Klemmsset 22 kW
- LED-Set 12 V
- Differenzstrom Überwachung

Artikel	Stück	Preis
Bauteil-Set Ladestation Typ2-Dose bis 22 kW ⁶⁹	1	359,00 €
enercab Typ2-Typ2 1x32 A 7,4 kW ⁷⁰	1	161,10 €
Differenzstrom- Überwachung 1-kanalig ⁷¹	1	245,71 €

Abbildung 28 Tabelle Auflistung der Bauteile

In Summe ergeben sich Kosten von 765,81 €, dabei handelt es sich um eine Einsteigerkonfiguration. Im direkten Vergleich zu einem fertigen System kommt die selbst gebaute Ladestation etwa gleich teuer wie das fertige System.

⁶⁹<https://www.enercab.at/bauelemente/158-bauteil-set-ladestation-typ2-dose-bis-22kw.html>

⁷⁰<https://www.enercab.at/ladekabel/9-enercab-typ2-typ2-1x32a-74kw.html>

⁷¹https://www.voltus.de/?cl=details&anid=99c2c540e1355432a390c395eec62978&gclid=EAlaIQobChMIndLYuqKs4wIVDOJ3Ch36Bwn9EAQYBCABEgJFoPD_BwE

Aufgrund dieser Berechnung und der daraus resultierenden Kosten, wäre ein fertiges System sinnvoller, da hierbei nur eine geringe Arbeitsleistung anfällt. Aufgrund des großen Angebotes am Markt, lohnt es sich nicht die Station selber zu bauen. Außer man bekommt das Material zum Einkaufspreis und man rechnet nicht die benötigte Arbeitszeit dazu.

Dennoch erkläre ich den Aufbau einer selbst gebauten Ladestation samt dazugehörigem Schaltplan.⁷².

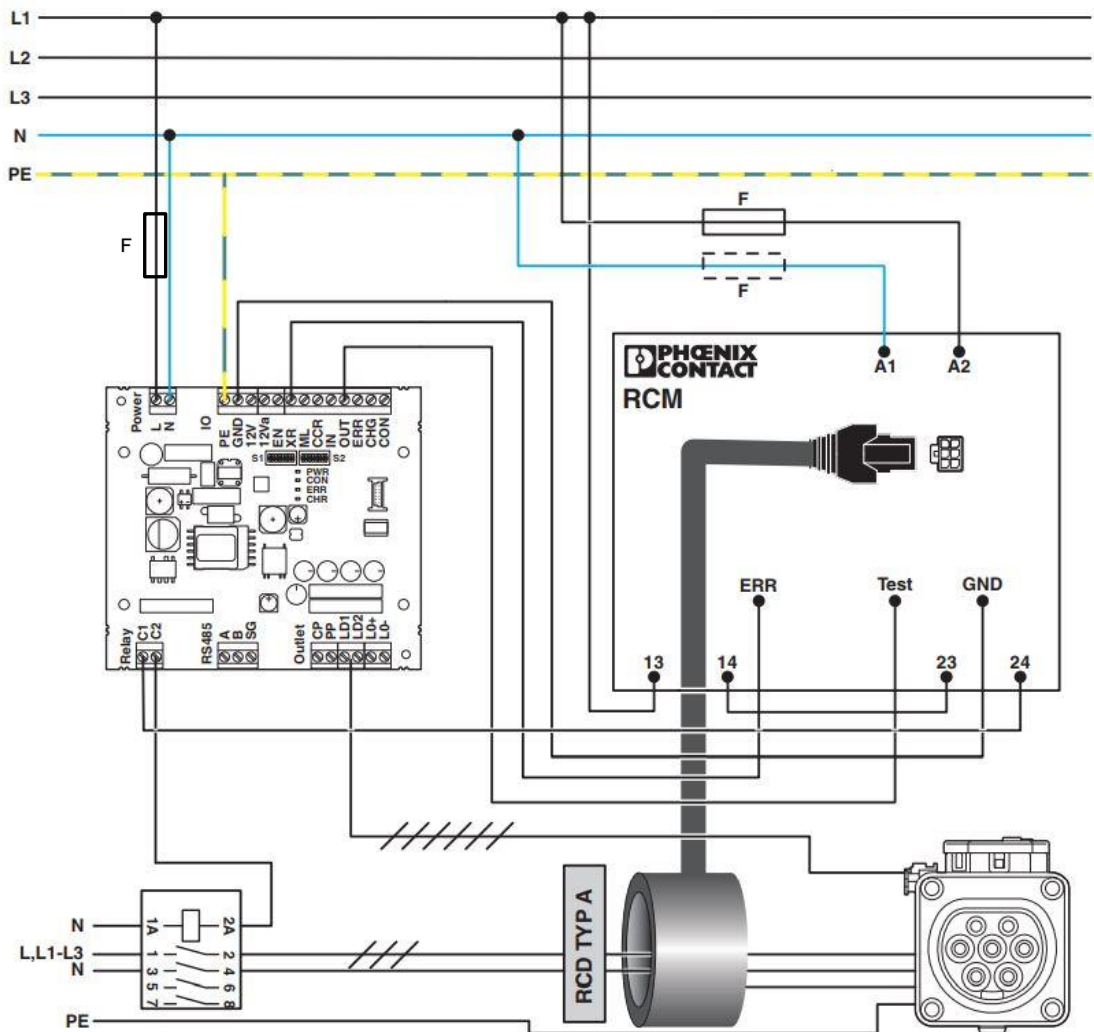


Abbildung 29 Schaltplan für die Ladestation

Bei diesem Schaltbild ist die Ladesteuerung sowie Ladeschutz, Differenzstromüberwachung und Ladebuchse zu sehen. Die Versorgung des Ladereglers und der Überwachung muss angemessen abgesichert werden. Die Absicherung vom Laderegler sollte eine 32 A Sicherung mit der Klasse B sein. Beim Schalter Typ 1 DIP 5 kann der Ladestrom von 32 A auf 20 A umgeschaltet werden. Empfehlenswert wäre eine

⁷²Phoenix Contact: EV Charge Control Basic- 1.Aufl. – Berlin, 2015, S.47

20 A Einstellung, da diese Anwendung für Ladungen auf längere Zeit gedacht ist. Weiteres gehört ein Fehlerstromschutzorgan (RCD) mit 40 A und 30 mA Fehlerstrom eingebaut.

4.3.3. Berechnung einer Ladestation

Aus der Tabelle 11, Spalte 5 „Strombelastbarkeit von Leitungen bis 1.000 V“ wurde der Querschnitt 6 mm² gewählt und es ergibt sich eine Strombelastung von 44 A⁷³.

Als Faktor wurde die Temperatur berücksichtigt und diese wird aus der Tabelle 17, Spalte 3 bei 40 °C um den Faktor 0,82 weniger⁷⁴.

$$I * f = I_{neu} \quad 44 \text{ A} * 0,82 = 36,08 \text{ A}$$

Dadurch ergibt sich eine Strombelastung bei 6 mm² von 36,08 A. Zusammengefasst werden folgende Eckdaten benötigt, um den Eigenbau einer Ladestation zu errechnen:

- Fehlerstromschutzorgan (RCD) 40 A 30 mA Fehlerstrom
- Leitungsschutzorgan (LSS) 32 A Klasse B
- Verdrahtungsquerschnitt (Kupfer) 6 mm²

Es folgt eine Berechnung der Ladedauer von drei verschiedenen Akkukapazitäten, einmal mit 20 kWh, 60 kWh und einmal mit 100 kWh.

Ladeleistung_{max}:

$$P_{Lademax} = I_{Lade} \times U_{230V} = 20 \text{ A} \times 230 \text{ V} = 4,6 \text{ kW}$$

In Zusammenhang mit dem Ladewirkungsgrad von 90 % ergibt sich ein höherer Wert.

Ladeleistung eine Ladevorganges:

$$E_{Lade20} = \frac{E_{20}}{\eta} = \frac{20 \text{ kWh}}{90 \%} = 22,22 \text{ kWh}$$

$$E_{Lade60} = \frac{E_{60}}{\eta} = \frac{60 \text{ kWh}}{90 \%} = 66,67 \text{ kWh}$$

$$E_{Lade100} = \frac{E_{100}}{\eta} = \frac{100 \text{ kWh}}{90 \%} = 111,11 \text{ kWh}$$

$$t_{Lade20} = \frac{E_{Lade20}}{P_{Lademax}} = \frac{22,22 \text{ kWh}}{4,6 \text{ kW}} = 4,83 \text{ h}$$

⁷³Meinhart: Technische Listen und Tabellen- 1.Aufl. – Österreich, 2010, S.2

⁷⁴Meinhart: Technische Listen und Tabellen- 1.Aufl. – Österreich, 2010, S.7

$$t_{Lade60} = \frac{ELade60}{PLademax} = \frac{66,67 \text{ kWh}}{4,6 \text{ kWh}} = 14,5 \text{ h}$$

$$t_{Lade100} = \frac{ELade100}{PLademax} = \frac{111,11 \text{ kWh}}{4,6 \text{ kWh}} = 24,15 \text{ h}$$

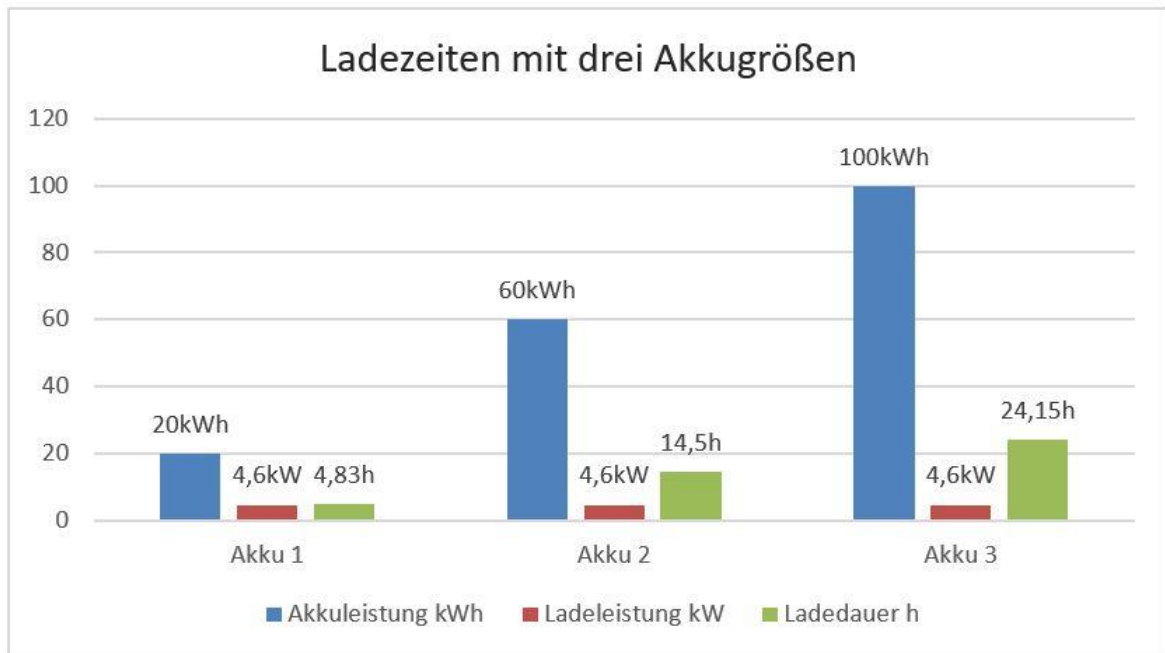


Abbildung 30 Ladezeiten mit drei Akkugrößen

Durch diese Berechnung ist zu sehen, dass mit dem selbst gebauten Ladegerät die Ladezeit je nach Akkugröße länger wird. Bei einer Akkukapazität von 60 kWh oder mehr, benötigt man mit diesem Ladegerät zu lange für eine vollständige Ladung. Es gibt auch stärkere Modelle zum selber bauen, leider sind diese teurer als die fertigen Modelle. Aus diesem Grund wird für die weitere Berechnung eine am Markt zu erwerbende Ladestation bzw. Wallbox gewählt.



Folgende Anforderungen sollen erfüllt werden: der Betrieb soll dreiphasig sein mit einer Ladeleistung von 11 kW. Dieses Produkt wurde von der Firma Mennekes gewählt: das Ladegerät Amtron Basic E/R C2⁷⁵.

Abbildung 31 Produktbild Mennekes⁷⁶

⁷⁵<https://www.nic-e.shop/produkt/mennekes-amtron-basic-r-c2-22-kw/>

⁷⁶<https://e-iserlohn.de/fahrzeugeuebersicht/mennekes-amtron-basic-22-c2/>

Kostenvergleich von der Eigenbauladestation und der fertigen Ladestation:

Ladegerät	Ladeleistung	Kosten
Eigenbau Typ 1	4,6 kW	765,81 €
Eigenbau Typ 2 ⁷⁷	12,6 kW	1.171,98 €
Fertiges Produkt	12,6 kW	1.359,00 €

Abbildung 32 Tabelle Kostenvergleich Ladestationen

In der oberen Tabelle ist der Preisunterschied zwischen der fertigen und den selbstgebaute Ladestationen zu sehen. Das Produkt von Mennekes wirkt auf den ersten Blick teurer. Zusätzlich wird bei der Eigenbauvariante noch ein Schaltschrank⁷⁸ sowie ein Schlüsselsystem⁷⁹ benötigt, dies war noch nicht in der Kostenübersicht berücksichtigt. Zählt man noch diese Extrakosten von 72,30 € dazu, kommt man auf einen Wert von **1.244,28 €** für die Eigenbau Variante Typ 2. Die Differenz zwischen einer Mennekes und einer Eigenbau Ladestation liegt bei 114,72 €. Dazu fehlen noch die Arbeitszeiten bei der Eigenbau Ladestation. Unter dem Strich kommt man in Summe auf den gleichen Preis wie bei einer fertigen Station.

Nach dem recherchieren von fertigen Ladestationen, komme ich zum Entschluss, dass sich eine selbst gebaute Ladestation nicht auszahlt, es sei denn, man will die Station individuell mit bestimmten Komponenten bestücken.

Berechnung der Ladezeit mit einer Ladeleistung von 12,6 kW:

$$t_{Lade20} = \frac{ELade20}{PLademax2} = \frac{22,22 \text{ kWh}}{12,6 \text{ kWh}} = 1,77 \text{ h}$$
$$t_{Lade60} = \frac{ELade60}{PLademax2} = \frac{66,67 \text{ kWh}}{12,6 \text{ kWh}} = 5,3 \text{ h}$$
$$t_{Lade100} = \frac{ELade100}{PLademax2} = \frac{111,11 \text{ kWh}}{12,6 \text{ kWh}} = 8,82 \text{ h}$$

⁷⁷<https://www.voltus.de/elektromaterial/e-mobilitaet/phoenix-contact/ladetechnik-fuer-elektromobilitaet-o/ladetechnik-sets/phoenix-1628081-ladetechnik-set-home-ev-set-t2ac-adv-rcm2-32ac5mes.html>

⁷⁸<https://www.automation24.at/e-box-rittal-eb-1577-500-300-x-400-x-155>

⁷⁹<https://www.automation24.at/knebelgriff-mit-sicherheitszylinder-einsatz-rittal-sz-2575-000>

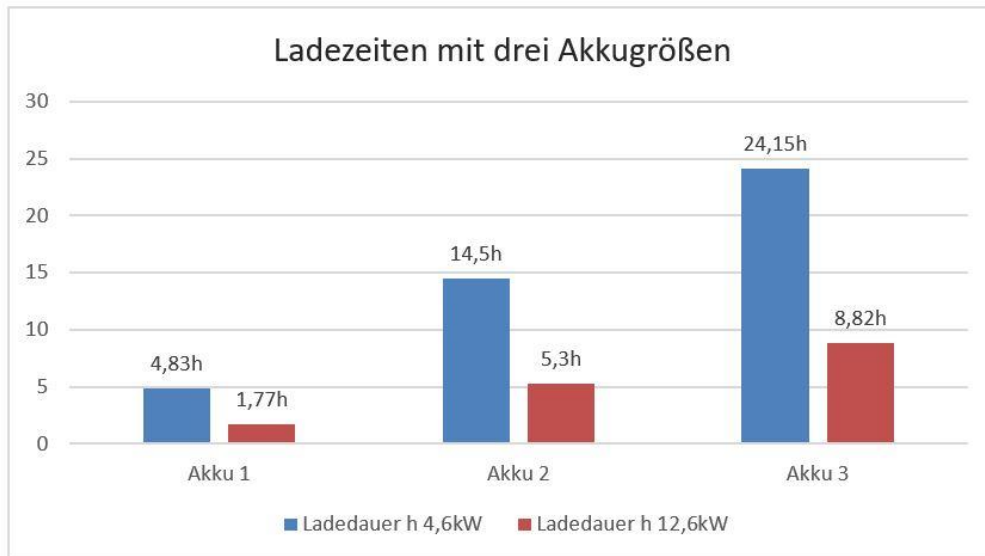


Abbildung 33 Grafikübersicht Ladezeiten

In der Abbildung 33 sind die Ladeleistungen von 4,6 kW und 12,6 kW mit den dazu gehörigen Ladezeiten zu sehen. Bezogen auf drei genannte Akkugrößen ist in der Übersicht zu sehen, wie lange die Ladedauer für die Kapazität 20, 60 und 100 kWh wäre. Mit einer Ladedauer von zirka neun Stunden, kann ein Elektrofahrzeug über Nacht geladen werden.

4.4. Berechnung einer Privatanlage für die eigene Ladestation

Hier folgt eine Berechnung für eine Photovoltaikanlage, die eine Ladestation versorgen soll. Ein durchschnittliches Einfamilienhaus verbraucht im Jahr ungefähr 4.000 kWh⁸⁰. Bei Einfamilienhäusern werden immer öfters Photovoltaikanlagen errichtet und je nach Auslegung könnte ein Haus damit ganz oder teilweise versorgt werden.

Wie würde die Situation aussehen, wenn man sein Elektroauto selbst mit Sonnenenergie versorgen will, also mit einem Speichersystem und einer Photovoltaikanlage?

Als Erstes muss man die Rahmenbedingungen festlegen, für welchen Einsatz die Anlage ausgelegt werden soll.

⁸⁰<https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/stromverbrauch-im-haushalt/>

Als Durchschnittswert nehme ich den Wert an, den wir vom Wohnort zur Arbeitsstätte zurücklegen müssen.

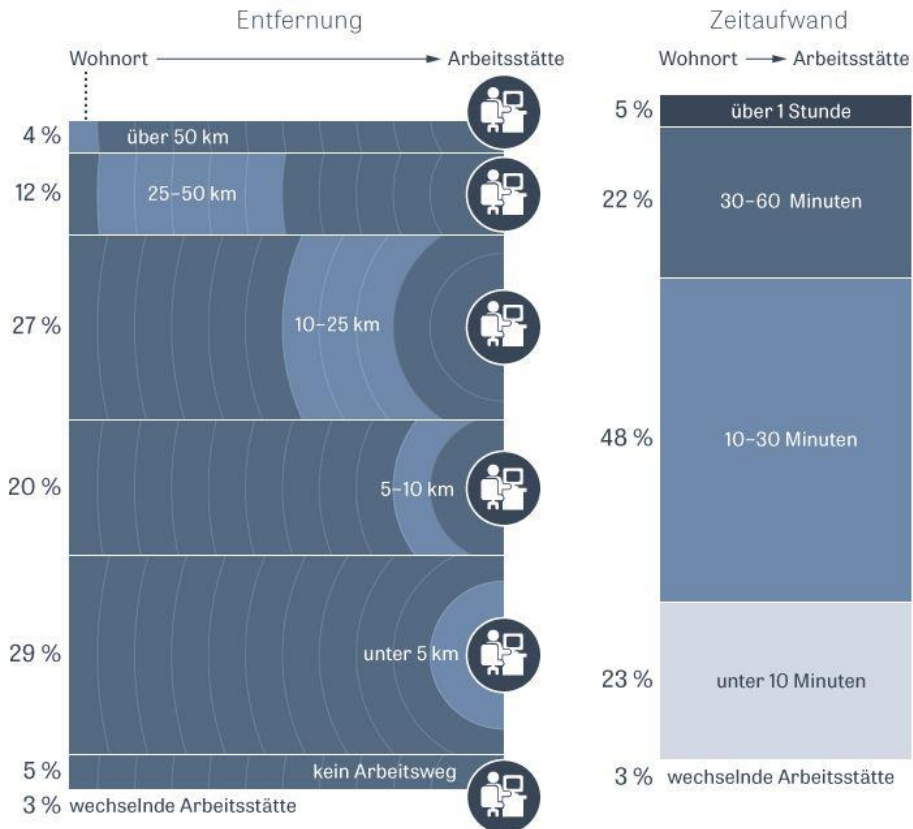


Abbildung 34 Zeitaufwand zum Pendeln⁸¹

Ausgehend von Studien, habe ich für Deutschland und Österreich einen Mittelwert von 30 km errechnet⁸². In Summe ergibt sich so ein Wert von 60 km pro Tag, der für die Arbeit zurückgelegt werden muss.

In der folgenden Tabelle will ich eine Übersicht über die Reichweiten von Elektroautos darstellen. Der Inhalt der Tabelle ist aus dem Sachbuch „Praxisbeispiele von Elektroautos“ verschiedenster Hersteller entnommen.

⁸¹<https://www.zeit.de/feature/pendeln-stau-arbeit-verkehr-wohntort-arbeitsweg-ballungsraeume>

⁸²https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20180920_OTS0016/mehr-als-20-der-oesterreicher-pendeln-mindestens-90-minuten-taeglich-anhang

Marke und Modell	Leistung und Drehmoment kW / Nm	Max. Reichweite und Max. Geschwindigkeit km / km/h	Kapazität kWh	Energiebedarf kWh/100km
Citroën C-ZERO	35 / 180	150 / 130	16	13,5
Ford Focus Electric	107 / 250	162 / 130	23	15,4
Kia Soul EV	81 / 285	212 / 145	27	14,7
Mercedes-Benz B-Klasse Electric Drive	65 / 340	200 / 160	28	16,6
Nissan Leaf	80 / 254	250 / 144	30	15
Peugeot iOn	35 / 180	150 / 130	16	13,5
Renault Kangoo Z.E.	44 / 226	170 / 130	22	15,5
Renault ZOE Q210	43 / 220	210 / 135	22	14,6
smart fortwo electric drive	55 / 143	145 / 125	17,6	15,1
Tesla Model S 60	285 / 440	390 / 190	60	18,1
Tesla Model S 85D	515 / 990	502 / 250	85	18,1
VW e-Golf	85 / 270	190 / 140	24,2	12,7

Abbildung 35 Tabelle verschiedener Elektroautos⁸³

Für die Berechnung nehme ich den arithmetischen Mittelwert der oberen Tabelle an. Der durchschnittliche Energiebedarf beträgt **15 kWh/100 km** (aufgerundet).

⁸³Lenz, Tober: Springer Praxisbericht Elektromobilität und Verbrennungsmotor- 1.Aufl. – Wiesbaden, 2016, S.9

Für die Berechnung einer Photovoltaikanlage nehme ich die oben angeführten Werte an. Die privaten Kilometer wurden nicht berücksichtigt, da diese Angaben je nach Situation und Person variieren. In einem Monat ergibt sich ca. ein Weg von 1.300 km, welcher für die Arbeit benötigt wird. Die Monatsberechnung erfolgt mit 5 Tagen und 4,33 Wochen. Für das ganze Jahr, abzüglich 5 Wochen Urlaub und einer Woche Feiertage, komme ich auf 46 Wochen und einen gesamten Kilometerbedarf von 13.800 km.

- Durchschnittsreichweite pro Tag 60 km
- Durchschnittsenergiebedarf liegt bei 15 kWh/100 km
- Durchschnittskilometer pro Jahr 13.800 km

Energiebedarf:

$$E_a = \frac{S}{S_{100km}} \times E_{auto} = \frac{13800 \text{ km}}{100 \text{ km}} \times 15 \text{ kWh} = 2070 \text{ kWh}$$

Aufgrund dieser Angaben liegt der Energiebedarf für ein Elektrofahrzeug bei 2.070 kWh pro Jahr.

Natürlich gilt dieser Wert nur für die Arbeitsfahrten und die Freizeitnutzung ist noch nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund nehme ich einen Wert von 50 % für die private Nutzung an.

Energiebedarf gesamt:

$$S_{gesamt} = S \times E_{1,5} = 13800 \text{ km} \times 1,5 = 20700 \text{ km}$$

$$E_a = \frac{S_{gesamt}}{S_{100km}} \times E_{auto} = \frac{20700 \text{ km}}{100 \text{ km}} \times 15 \text{ kWh} = 3105 \text{ kWh}$$

Daraus ergibt sich für die Ladung eines Elektroautos ein Wert von 3.105 kWh pro Jahr. Mit diesen ermittelten Daten lege ich die Photovoltaikanlage aus.

Energieangebot aus Diagramm

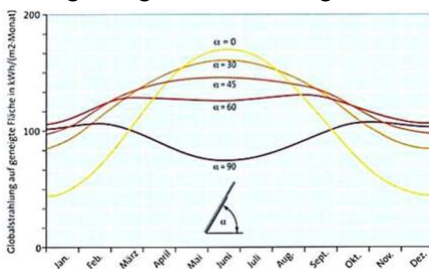


Abbildung 36 Diagramm Energieangebot⁸⁴

⁸⁴<https://www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/technologie/>

Juni	150 kWh/(m ² m), 5 kWh/(m ² d)
März/September	120 kWh/(m ² m), 4 kWh/(m ² d)
Dezember	100 kWh/(m ² m), 3,3 kWh/(m ² d)

Folgende Komponenten stehen zur Verfügung:

Komponente	Technische Daten	Kosten
Solarmodul ⁸⁵	280Wp	154,00 €
Energiespeicher ⁸⁶	LiFePo4 240V 12kWh	7.849,00 €
Hybridwechselrichter ⁸⁷	3Phasen 6.0T	3.429,00 €
Energiespeicher ⁸⁸	LiFePo4 288V 14,4kWh	9.119,00 €
Hybridwechselrichter ⁸⁹	3Phasen 10.0T	4.017,00 €

Abbildung 37 Tabelle Auflistung einer Photovoltaikanlage

Energiebedarf:

$$E_{\text{BedarfTag}} = \frac{E_{\text{jährlich}}}{\text{Tage}} = \frac{3105 \text{ kWh}}{365 \text{ d}} = 8,5 \text{ kWh/d}$$

$$E_{\text{BedarfTagges}} = \frac{E_{\text{jährlich}}}{\text{Tage}} = \frac{7105 \text{ kWh}}{365 \text{ d}} = 19,5 \text{ kWh/d}$$

PV- Anlage: 17,1 % Wechselrichter: 97 % Laderegler: 96 %

Der Gesamtwirkungsgrad einer PV-Anlage:

$$\eta = \eta_{Pv} \times \eta_W \times \eta_L = 0,171 \times 0,97 \times 0,96 = 15,92 \%$$

⁸⁵<https://greenakku.de/Solarmodule/Solarmodule-ab-200Wp/Trina-Honey-280Wp-TSM-280-PD05A-Solarmodul::67.html>

⁸⁶<https://greenakku.de/Batterien/Lithium-Batterien/Pylontech-Hochvolt-LiFePO4-Powercube-12-0kWh-240V::1552.html>

⁸⁷<https://greenakku.de/Wechselrichter/Hybridwechselrichter/solaX-X-HYBRID-HV-Wechselrichter-3-PHASEN-X3-Hybrid-10-0T::1519.html>

⁸⁸<https://greenakku.de/Batterien/Lithium-Batterien/Pylontech-Hochvolt-LiFePO4-Powercube-14-4kWh-288V::1549.html>

⁸⁹<https://greenakku.de/Wechselrichter/Hybridwechselrichter/solaX-X-HYBRID-HV-Wechselrichter-3-PHASEN-X3-Hybrid-10-0T::1519.html>

Das Energieangebot der PV-Anlage:

$$WPV = \frac{E}{d\text{Dezember}} \times \eta = 3,3 \text{ kWh/m}^2\text{d} \times 0,1592 = 0,5253 \text{ kWh/dm}^2$$

Flächenbedarf der Anlage:

$$APV = \frac{E\text{BedarfTag}}{E\text{bez auf } \eta} = \frac{8,5 \text{ kWh/d}}{0,5253 \text{ kWh/m}^2\text{d}} = 16,19 \text{ m}^2$$
$$APV_{\text{ges}} = \frac{E\text{BedarfTagges}}{E\text{bez auf } \eta} = \frac{19,5 \text{ kWh/d}}{0,5253 \text{ kWh/m}^2\text{d}} = 37,06 \text{ m}^2$$

Anzahl der Module:

$$NPV = \frac{A}{A \text{ Modul}} = \frac{16,19 \text{ m}^2}{1,65 \text{ m} \times 1 \text{ m}} = 9,82 \approx 10 \text{ Module}$$
$$NPV_{\text{ges}} = \frac{A_{\text{ges}}}{A \text{ Modul}} = \frac{37,06 \text{ m}^2}{1,65 \text{ m} \times 1 \text{ m}} = 22,46 \approx 23 \text{ Module}$$

Dimensionierung des Speichers der Anlage für 1,5 Autonomietage und eine Entladetiefe von 50 %:

Benötigter Speicher:

$$W_{\text{Akku}} = E\text{BedarfTag} \times t_{\text{Autonom}} = 8,5 \text{ kWh} \times 1,5 = 12,75 \text{ kWh}$$

$$W_{\text{Akku}_{\text{ges}}} = E\text{BedarfTagges} \times t_{\text{Autonom}} = 19,5 \text{ kWh} \times 1,5 = 29,25 \text{ kWh}$$

Berücksichtigung der Entladetiefe:

$$W_{\text{Akku}50\%} = \frac{W_{\text{Akku}}}{\text{Entladetiefe}} = \frac{12,75 \text{ kWh}}{0,5} = 25,5 \text{ kWh}$$
$$W_{\text{Akku}50\%_{\text{ges}}} = \frac{W_{\text{Akku}_{\text{ges}}}}{\text{Entladetiefe}} = \frac{29,25 \text{ kWh}}{0,5} = 58,5 \text{ kWh}$$

Batterieanzahl:

$$n = \frac{W_{\text{Akku}50\%}}{\text{Batteriekapazität 1}} = \frac{25,5 \text{ kWh}}{12 \text{ kWh}} = 2,125 \approx 2 \text{ Batteriemodule}$$
$$n_{\text{ges}} = \frac{W_{\text{Akku}50\%_{\text{ges}}}}{\text{Batteriekapazität 2}} = \frac{58,5 \text{ kWh}}{14,4 \text{ kWh}} = 4,06 \approx 4 \text{ Batteriemodule}$$

Für die Verschaltung der Photovoltaikanlage der Variante 1 mit dem Hybridwechselrichter 6.0T, werden die zehn Module in Serie geschaltet. Bei der Variante 2 mit dem Hybridwechselrichter 10.0T werden zwei Stränge mit je zwölf Modulen benötigt. Anstatt 23 werden 24 Module, aufgrund der Symmetrie der Eingangsspannung vom Hybridwechselrichter, verwendet.

Leerlaufspannung der Photovoltaikanlage:

$$U_{VOCT6.0} = U_{VOC} \times n = 38,7 \text{ V} \times 10 = 387 \text{ V}$$

$$U_{VOCT10.0} = U_{VOC} \times n = 38,7 \text{ V} \times 12 = 464,4 \text{ V}$$

Spannung im MPP (Maximum Power Point) der Photovoltaikanlage:

$$U_{VOCT6.0} = U_{VOC} \times n = 31,4 \text{ V} \times 10 = 314 \text{ V}$$

$$U_{VOCT10.0} = U_{VOC} \times n = 31,4 \text{ V} \times 12 = 376,8 \text{ V}$$

Mit diesen zwei Werten liegen wir optimal im Arbeitsfenster vom Hybridwechselrichter.

Für beide Varianten soll eine Kostengegenüberstellung für eine bessere Übersicht sorgen. Mit den berechneten Ergebnissen sollen jetzt die Kosten für beide Varianten ermittelt werden.

Komponente	Typ	Anzahl	Kosten pro Stück	Kosten Summe
Hybridwechselrichter	6.0T	1	3.429,00 €	3.429,00 €
Solarmodule	280Wp	10	154,00 €	1.540,00 €
Energiespeicher	12kW	2	7.849,00 €	15.698,00 €
Gesamtkosten				20.667,00 €

Komponente	Typ	Anzahl	Kosten pro Stück	Kosten Summe
Hybridwechselrichter	10.0T	1	4.017,00 €	4.017,00 €
Solarmodule	280Wp	24	154,00 €	3.696,00 €
Energiespeicher	14,4kW	4	9.119,00 €	36.476,00 €
Gesamtkosten				44.189,00 €

Abbildung 38 Kostenübersicht Photovoltaikanlage

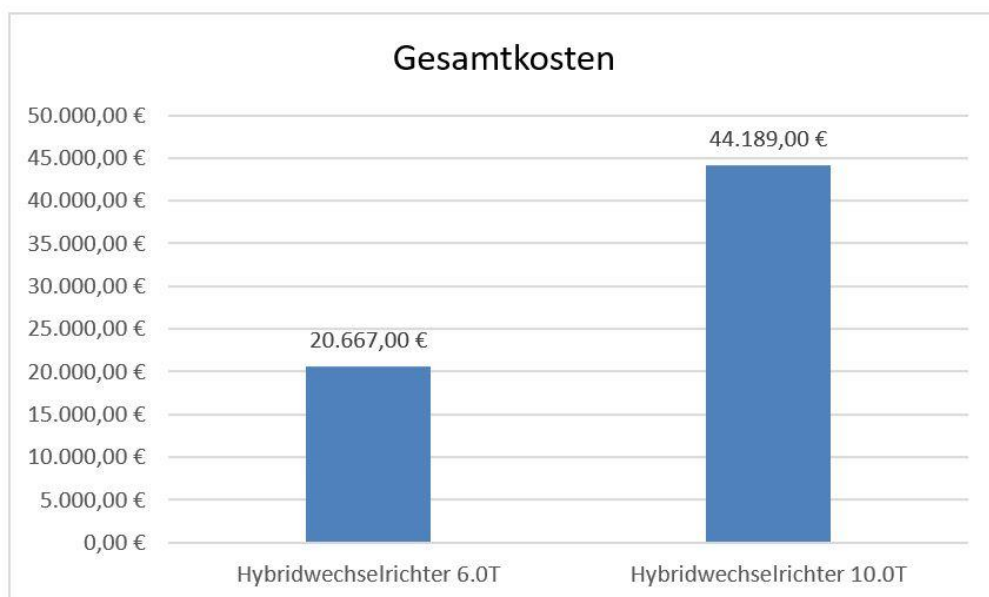


Abbildung 39 Kostenübersicht Diagramm

In der vorigen Abbildung ist der Wert der Investitionen veranschaulicht. Für die normale Ladestation in Kombination mit einer Photovoltaikanlage, belaufen sich die Kosten auf 20.667,00 €. Sollte die Variante das ganze Haus mit Energie zu versorgen gewählt werden, fallen Kosten von 44.189,00 € an. Diese Kosten sind vom Tagespreis der Komponenten abhängig. Es wurden für die Berechnung nur Materialkosten verwendet.

	kWh	3105 kWh	7105 kWh	10 Jahre	
Deutschland	min	841,46 €	1.925,46 €	8.414,55 €	19.254,55 €
	mittel	929,95 €	2.127,95 €	9.299,48 €	21.279,48 €
	max	1.018,44 €	2.330,44 €	10.184,40 €	23.304,40 €
Österreich	min	465,75 €	1.065,75 €	4.657,50 €	10.657,50 €
	mittel	558,90 €	1.278,90 €	5.589,00 €	12.789,00 €
	max	652,05 €	1.492,05 €	6.520,50 €	14.920,50 €

7105 kWh / Jahr	AUT	DEU	AUT	DEU	PV - Anlage
	statischer Strompreis		dynamischer Strompreis		
2019	1.278,90 €	2.127,95 €	1.278,90 €	2.127,95 €	44.189,00 €
2020	1.278,90 €	2.127,95 €	1.479,88 €	2.332,48 €	
2021	1.278,90 €	2.127,95 €	1.545,59 €	2.398,19 €	
2022	1.278,90 €	2.127,95 €	1.611,31 €	2.463,91 €	
2023	1.278,90 €	2.127,95 €	1.677,02 €	2.529,62 €	
2024	1.278,90 €	2.127,95 €	1.742,73 €	2.595,33 €	
2025	1.278,90 €	2.127,95 €	1.808,45 €	2.661,05 €	
2026	1.278,90 €	2.127,95 €	1.874,16 €	2.726,76 €	
2027	1.278,90 €	2.127,95 €	1.939,87 €	2.792,47 €	
2028	1.278,90 €	2.127,95 €	2.005,58 €	2.858,18 €	
2029	1.278,90 €	2.127,95 €	2.071,30 €	2.923,90 €	
Summe 10 Jahre	14.067,90 €	23.407,42 €	19.034,79 €	28.409,84 €	44.189,00 €
Summe 20 Jahre	28.135,80 €	46.814,85 €	43.377,58 €	61.282,18 €	44.189,00 €

Abbildung 40 Kostenaufstellung

Die Stromkosten wurden von Deutschland⁹⁰ und Österreich⁹¹ herangezogen, ebenso wurde die Preisentwicklung aufgrund der vergangenen Jahre berücksichtigt⁹².

Mit der folgenden Berechnung möchte ich klären, ob es sich auszahlt die Ladestation und eventuell einen Haushalt über eine Photovoltaikanlage zu versorgen.

⁹⁰<https://www.stromauskunft.de/strompreise/>

⁹¹https://durchblicker.at/kwh-preis?adgroupid=71097700454&gclid=EAlaIqobChMlvaGy2cLI4wIVh-J3Ch0hswSSEAAAYASAAEgJISvD_BwE

⁹²<https://www.finanztip.de/stromvergleich/strompreis/>

Auf die von mir gewählte Photovoltaikanlage gewährt der Hersteller eine Garantie von zehn Jahren. Auf diesen Zeitraum gerechnet, kommt die Photovoltaikanlage leider teurer als die steigenden Stromkosten (Voraussetzung ist, dass der Strompreis gleichermaßen ansteigt wie bisher). Laut der Ausschreibungsvorgabe des Herstellers wird eine Photovoltaikanlage jedoch mit einer Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren kalkuliert⁹³.

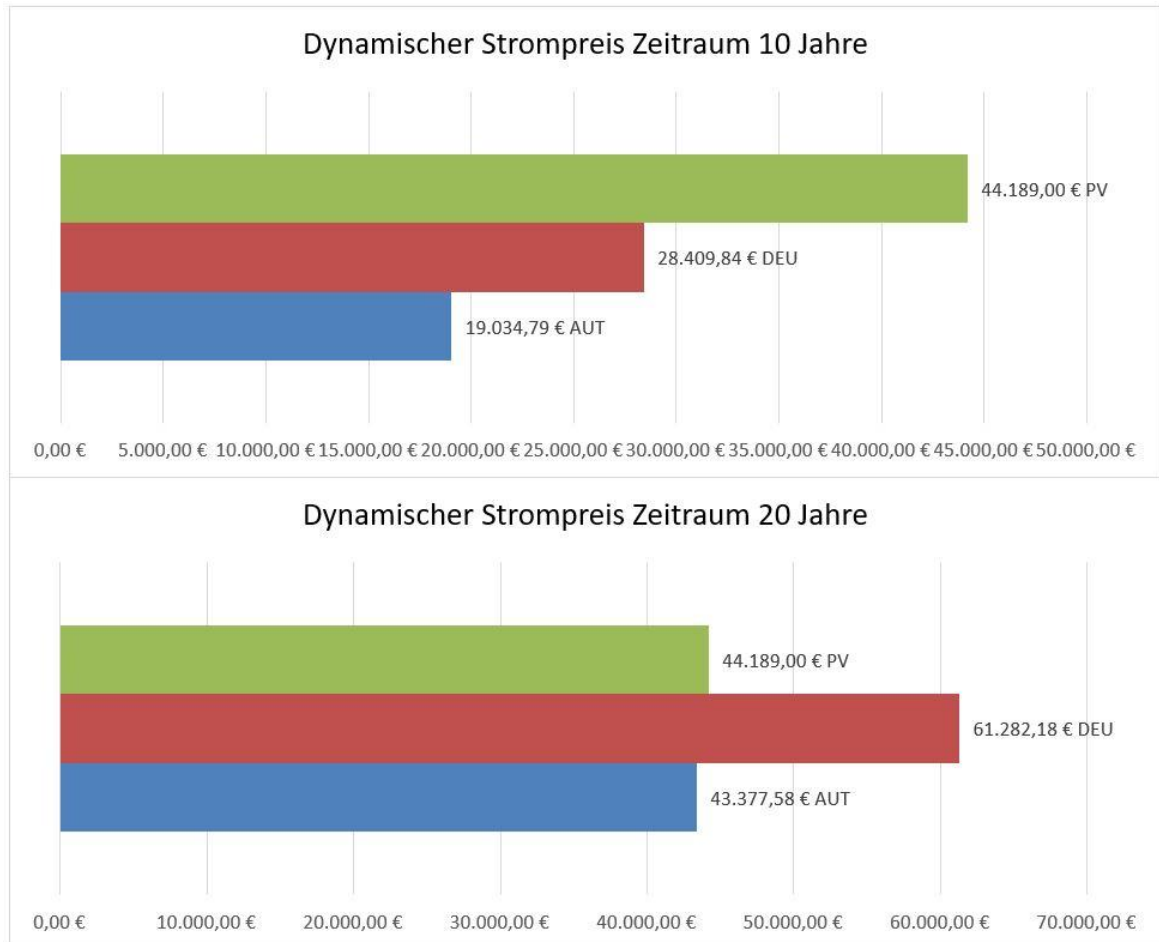


Abbildung 41 Kostenaufstellung Diagramm

⁹³<https://www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/faq/>

5. Infrastruktur

5.1. Allgemeine Ladeinfrastruktur

Die Nutzbarkeit der Elektromobilität kann nur innerhalb einer zuverlässigen und sicheren Ladeinfrastruktur funktionieren und existieren⁹⁴. Zu der Infrastrukturkopplung von Elektrofahrzeugen zählen die Ladeanschlusspunkte sowie die Ladestationen. Durch die Systemkomponenten werden nicht nur Energie zur Verfügung gestellt, sondern auch prozessbezogene und personenbezogene Daten übermittelt. Mit diesen Daten soll die Ladeinfrastruktur je nach Standort und Eigenschaft der Ladestation optimal betrieben werden. Der Standort beeinflusst die Ladeinfrastruktur und dessen Nutzungsart bezogen auf die Ladestation. Bei diesen Bereichen unterscheidet man zwischen privatem und öffentlichem Aufstellungsort.

Private Aufstellungsorte können Einzel- oder Doppelgaragen, eventuell auch Stellplätze und auch Firmenparkplätze sein. Die öffentlichen Parkplätze wären z.B. Autobahnraststätten, Autohöfe, Einkaufszentren und öffentlich zugängliche Parkplätze. Bei jedem Aufstellungsort einer Ladestation gehören gewisse Anforderungen erfüllt. Dazu zählen die Absicherung im privaten Bereich gegen Diebstahl und im öffentlichen Bereich gegen Vandalismus⁹⁵. Für die Planung einer Ladestation zählt die Wirtschaftlichkeit und diese hängt von der Auswahl und Anforderung an die Komponenten ab. Dadurch entstehen sehr variable Kosten und diese spielen eine wesentliche Rolle in der Planung. Die wirtschaftliche Betriebsweise muss von Situation zu Situation genau beurteilt werden.

5.2. Generelle Netzinfrastuktur

Die Energielieferanten erzeugen die elektrische Energie, diese Energie wird über das Verteilungsnetz dem Verbraucher mit einer sehr hohen Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zur Verfügung gestellt⁹⁶. Zukünftig soll die Energieerzeugung nicht mehr von Kernkraftwerken und Kohlekraftwerken abhängig sein, sondern der Anteil von erneuerbarer Energie soll größer werden. Das Ziel ist bis zum Jahr 2020 einen Anteil von mehr als 30 % der Energiequellen aus erneuerbarer Energie zu erzeugen.

⁹⁴Komarnicki, Haubrock, A Styczynski: Elektromobilität und Sektorenkopplung- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.146

⁹⁵Komarnicki, Haubrock, A Styczynski: Elektromobilität und Sektorenkopplung- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.146

⁹⁶Kampker, Vallee, Schnettler: Elektromobilität - 2.Aufl. – Berlin, 2018, S.31

Durch die Einspeisung von Windenergieanlagen und Photovoltaikanlagen, entsteht ein ständiger Richtungswechsel vom Lastfluss. Der uns bevorstehende Stromerzeugungsmix wird diesen Trend verstärken, es wird einen Überschuss oder einen Mangel an elektrischer Energie geben. Um dieser Situation entgegen zu wirken, müssen die elektrischen Netze ausgebaut werden, sogleich müssen die Verbraucher steuerbarer und Speichereinheiten entwickelt werden. Diese Maßnahmen dienen als Versorgungssicherheit für das elektrische Netz. In der folgenden Abbildung ist die Netzebene zu sehen und in der Ebene 230/400 V bis 10/20 kV, werden sich die Anlagen größtenteils befinden.

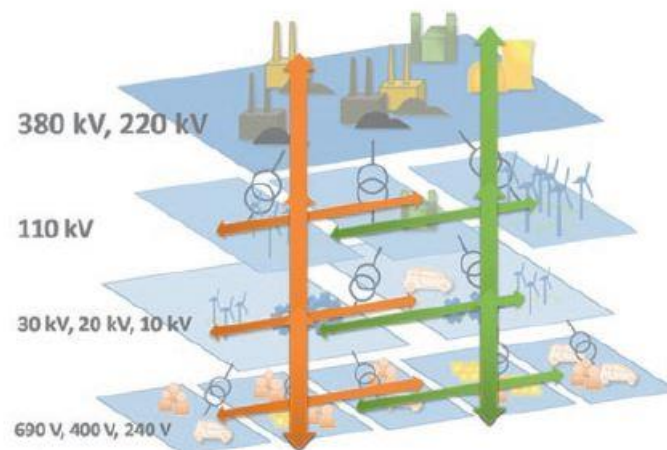
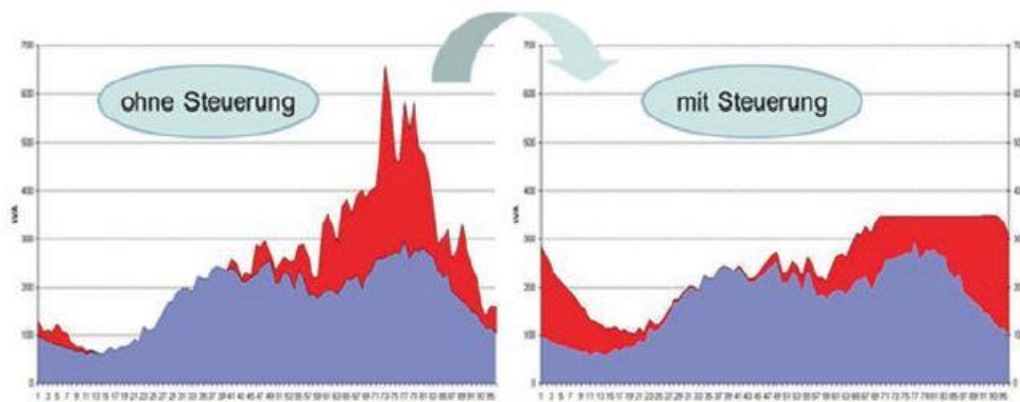


Abbildung 42 Netzebenen

Durch die unterschiedlichsten Elektrofahrzeuge kann man jetzt noch nicht genau sagen, welche Anschlussleistungen für Haushalte benötigt werden. Die Netze sind unterschiedlich gestaltet und es ist mit einer inhomogenen Verteilung von Elektrofahrzeugen zu rechnen. Die Auswirkungen der Netzauslastung lassen sich derzeit nur mit Systemstudien und Szenarien simulieren. Als weiteren Input wird bei der Simulation des Energiebedarfs der Verkehrsfluss miteinbezogen. Bei der Berücksichtigung der Verteilungsnetzkomponenten wird der zeitabhängige Energiebedarf einer Region betrachtet. Durch die Aufsummierung von mehreren leistungsstarken Betriebsmitteln wird die Erzeugung des maximalen Stromes eine Herausforderung darstellen. Durch die Erhöhung der Leistung auf der Verbraucherseite, müssen Leitungen/Kabeln und Transformatoren auf ihre Grenzwerte geprüft werden oder eventuell sogar ausgetauscht werden. Der in der Norm (DIN EN50160) vorgegebene Grenzwert liegt bei 10 % minimale und maximale Spannung⁹⁷. Durch den kurzzeitigen Mehrverbrauch von Schnellladungen und die daraus folgenden erhöhten Anschlussleistungen, kann es zu einer unzulässigen Beanspruchung vom Netz kommen. Für dieses Szenario sind Gegenmaßnahmen zu ergreifen und die Ladeleistung zu

⁹⁷Kampker, Vallee, Schnettler: Elektromobilität - 2.Aufl. – Berlin, 2018, S.32

verringern oder andere Verbraucher wahlweise abzuschalten. Es folgte eine Darstellung, wie das Lastprofil mit einer Ladesteuerung aussieht⁹⁸.



Beispiel: (1 Tageslastgang, Takt 15 min) Auswirkung:

- Durchdringungsgrad 80 %
- Anschlussleistung: 20 kW
- Verschiedene Fahrerklassen (Pendler etc.)
- deutliche Reduzierung der Lastspitzen → Vermeidung von Überlastungen der Assets
- Vergleichmäßigung der Tagesganglinie möglich

Abbildung 43 Ladesteuerung

Durch eine Steuerung der Ladeleistung lassen sich unzulässige Betriebszustände vermeiden. Diese Steuerung kann nur funktionieren, wenn der aktuelle Zustand des Verteilernetzes bekannt ist. Um diese Informationen zu erlangen, müssen Sensoren und Kommunikationseinrichtungen bis zu den Niederspannungsnetzen (230 V) errichten werden.

5.3. Welchen Mehraufwand bedeutet das für die Energieversorgungen

In diesem Kapitel geht es darum, welchen Mehraufwand es für die Energieversorgung, durch den erhöhten Bedarf von Stromtankstellen, bedeutet und es stellen sich folgende Fragen:

Welche Auswirkungen haben die Stromtankstellen für das bestehende Lastprofil?

Was passiert, wenn in einer Wohnsiedlung jeder eine Schnellladestation bauen und diese mit maximaler Leistung betreiben möchte?

⁹⁸Kampker, Vallee, Schnettler: Elektromobilität - 2.Aufl. – Berlin, 2018, S.33

Was bedeutet es für die Energieversorgungen, wenn zum Beispiel ein Fußballstadion, während eines Fußballspiels, 1.000 Gästen eine Schnellladung anbieten würde?

Durch die politische Energiewende in Deutschland, wird vermehrt auf erneuerbare Energiequellen gesetzt. Weiteres sollen bestehende fossile Energiequellen abgeschaltet werden, das gleiche gilt auch für die Kernkraft die zukünftig wieder zurück gerüstet werden soll. Der Einsatz von Windparks und Biokraftwerken, sowie der Einsatz von Photovoltaikanlagen und der Ausbau von Verteilungsnetzen, wird als erste Instanz gesetzt um die notwendige Infrastruktur zu bieten. Durch die Energieverschiebung und den Einsatz von mehreren kleineren Energielieferanten statt bisher großer Energielieferanten, muss das System dementsprechend ausgebaut werden, um ein flächengroßes Blackout zu verhindern⁹⁹. Dieses Blackout Szenario könnte passieren, wenn die größeren Energielieferanten die Versorgung abschalten sowie bei einer nicht intelligenten Steuerung von Lasten, so dass die kleineren Energielieferanten überfordert wären und deswegen ebenfalls die Versorgung abschalten würden. Bei mehreren kleineren Abschaltungen bricht dann die Versorgungssicherheit vom Netz ein.

Die dafür vorgesehenen Netzausbauten wurden in Deutschland im Jahr 2004 von der DENA erfasst und im Jahr 2010 dementsprechend untersucht. Der Ausbau von der 380 kV Leitung wurde ursprünglich auf 900 km angedacht und nach der Untersuchung erhöhte sich der Bedarf jedoch auf 4.500 km¹⁰⁰. Wesentlich wurde der Bedarf für die 110 kV Leitung erhöht. Der Anfangswert war bei 2.100 km und nach der Untersuchung wurde der Wert korrigiert und auf einen Längenausbau von 15-20.000 km ausgebessert.

Zukünftig wird mehr Energie von den unteren Ebenen hinauf gespeist in die obere 380 kV Ebene¹⁰¹. Durch die neueren Energiequellen wird auf der unteren Ebene Energie erzeugt und eingespeist und die 380 kV Ebene wird als Übertragungsnetzwerk verwendet. Für die gesamte Leistung zwischen den Ebenen muss das Speichersystem vergrößert werden.

⁹⁹Zahoransky: Energietechnik - 8.Aufl. – Offenburg, 2018, S.38

¹⁰⁰Zahoransky: Energietechnik - 8.Aufl. – Offenburg, 2018, S.503

¹⁰¹Zahoransky: Energietechnik - 8.Aufl. – Offenburg, 2018, S.505

5.4. Dynamisches oder intelligentes Lastmanagement

Beim Thema Dynamisches Lastmanagement spielt auch die Dimensionierung der Hauptstromversorgung eine Rolle. In der EDN_TAB Tabelle unter dem Kapitel 6.2.1, sieht man eine Dimensionierung vom Hausanschluss mit den zusätzlichen Informationen. Die folgende Tabelle gibt die Hausanschlusssicherung, das Hausanschlusskabel und die dazu gehörigen Wohneinheiten an¹⁰².

Wohneinheiten (WE)	Hausanschlusssicherung	Hausanschlusskasten	Hausanschlusskabel / Hausanschlussleitung
1 – 3 4 – 5 6 – 10 11 – 17	50 A 63 A 80 A 100 A	NH 00 NH 00 NH 00 NH 00	Kabelanschluss: NAYY 4 x 35 mm ² Freileitungsanschluss: NYDY 4 x 16 / 25 mm ²
18 – 36 37 – 100	125 A 160 A	NH 2/1 (a) NH 2/1 (a)	NAYY 4 x 70 mm ²

Abbildung 44 Hausanschluss Tabelle ohne Warmwasserbereitung

Für ein Einfamilienhaus mit einer Wohneinheit und ohne Warmwasserbereitung, wird der Anschluss mit 50 A abgesichert und entspricht einer Leistung von 20 kW.

Für den Verbrauch muss zukünftig ein dynamisches intelligentes Lastmanagement installiert werden, damit es automatisch die Ladeleistung je nach Situationen korrigieren kann¹⁰³. Über ein Messgerät soll die Information ermittelt und über die Datenleitung zum Lastmanagement weitergegeben werden, damit keine Überlastung vom Hausanschluss entsteht.

Zum Beispiel können solche Lastspitzen beim gleichzeitigen Laden, Kochen und Waschen entstehen. In folgender Abbildung wird ein Szenario bei einem Unternehmen mit vier Elektroautos dargestellt. Man sieht wie die Aufteilung vom Lastprofil aussehen könnte, wenn die benötigte Leistung höher ist, als die vorhandene Leistung¹⁰⁴.

¹⁰²ED Netze: Netzanschluss – Blatt 03. –, 2017, S.9

¹⁰³Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.99

¹⁰⁴Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.100

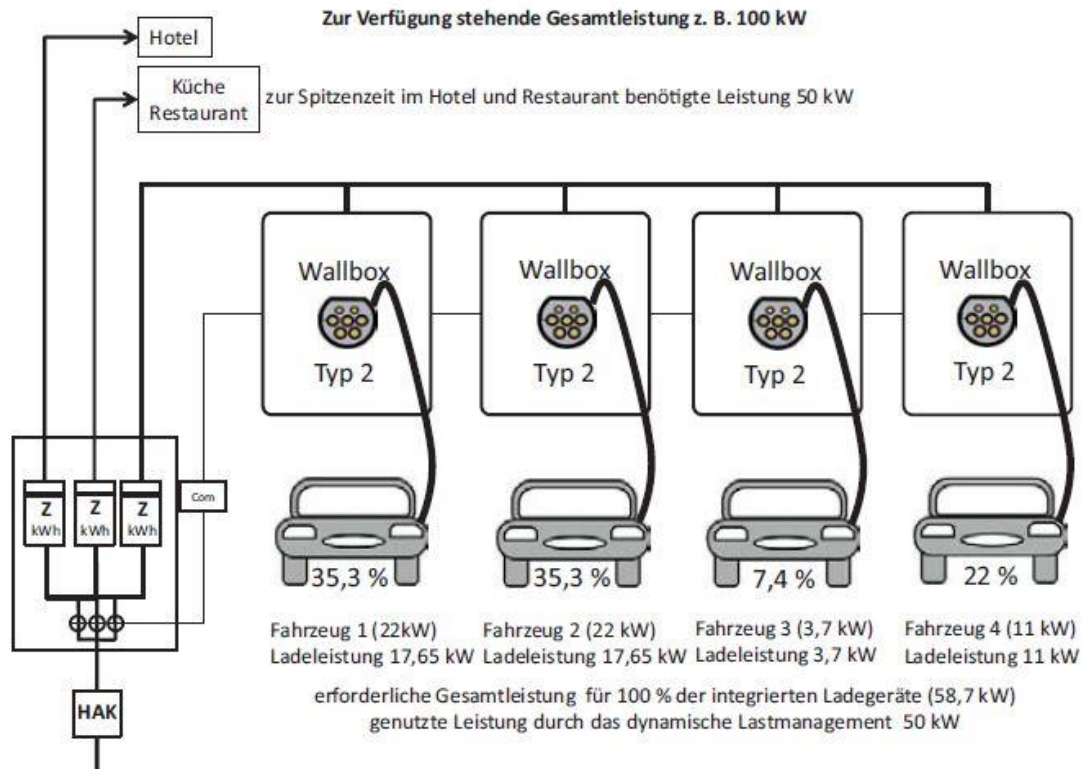


Abbildung 45 Lastverteilung

Eine weitere Variante vom Dynamischen Lastmanagement, wäre die Beurteilung nach Prioritäten. Durch die Möglichkeit der Priorisierung von Ladepunkten, würde auch die Ladeleistung je nach Wertigkeit variieren¹⁰⁵. Zum Beispiel würden Einsatzfahrzeuge immer mit der möglichst höchsten Leistung geladen werden und die Leistung bei anderen „Elektrofahrzeugen“ würde reduziert werden. Ist das Einsatzfahrzeug voll geladen, wird anschließend die Ladeleistung der anderen Elektrofahrzeuge erhöht.

Eine reizvolle Alternative wäre generell die Ladung über den Nachtтарif. Im Kapitel 4. unter Abschnitt 4.3.3 „Berechnungen“, wurde angedacht die Ladeenergie über den Nachtтарif zu beziehen. Mit einem eigenen Nachtтарif und Zähler hätte man eine bessere Übersicht, wie viel Energie man verbraucht hat¹⁰⁶.

¹⁰⁵Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.100

¹⁰⁶Klinger: VDE Ladeinfrastruktur- 1.Aufl. – Berlin, 2018, S.101

5.5. Entwicklung der Ladeinfrastruktur

Die derzeit relativ geringe Reichweite, bedeutet eine deutlich häufigere Beladung von Elektrofahrzeugen. Damit Elektrofahrzeuge reizvoller werden, müssen die Fahrzeughersteller und die Politik Lösungen finden und ebenfalls auch vollziehen. Der Ausbau von Ladesäulen wird dabei eine wesentliche Rolle spielen, dem zu Folge müssen sich auch die Energielieferanten vorbereiten. Damit die Lastverteilung noch genauer analysiert werden kann, müssen intelligente Stromzähler eingebaut werden¹⁰⁷. Deswegen muss das Stromnetz ausgebaut werden. Diese Maßnahmen würden eventuell die Kaufentscheidung potentieller Käufer beeinflussen und daraus würde sich ein wirtschaftlicher Nutzen ergeben.

Die Ladesäulen im Öffentlichen Bereich sind angedacht um für eine Nachlademöglichkeit aufgrund der geringen Reichweite zu sorgen. Dabei soll eine geringe Ladezeit ermöglicht werden und um diese gewährleisten zu können, müssen hohe Ladeleistungen erbracht werden. Diese Ladeleistungen können erst ab dem Lademodus 3 ermöglicht werden (Ladearten wurden im Kapitel 4.2 beschrieben).

Bei einem Projekt der Fa. TESLA soll derzeit entlang der Autobahnen ein flächendeckendes Schnellladernetzwerk entstehen. Die Ladedauer soll unter 30 Minuten bleiben und für Tesla S Modell Besitzer soll die Beladung kostenlos sein (für einen gewissen Zeitraum). Der Ausbau von Tesla Ladestationen erfolgt nicht nur in Nordamerika sondern auch in Asien und Europa¹⁰⁸.

Ein weiteres bekanntes Projekt für den Ausbau von Schnellladestationen in Deutschland ist das Projekt „SLAM“ und heißt Schnellladenetz für Achsen und Metropolen¹⁰⁹. Bei diesem Großprojekt arbeiten folgende Hersteller zusammen: BMW, Daimler, Porsche und VW. Das Energieversorgungsunternehmen „EnBW Vertrieb GmbH“ ist ebenfalls involviert, sowie folgende Institute: Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart und die RWTH Aachen University. Als Standardstecksystem wird das Combined Charging System (CCS) verwendet.

¹⁰⁷Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.98

¹⁰⁸Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.99

¹⁰⁹Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.99

5.6. Weiterentwicklung der Ladeinfrastruktur

Es gibt verschiedene Forschungs- und Entwicklungsprojekte, wie das Laden von Elektrofahrzeugen schneller und einfacher gehen soll. Diese Entwicklungsmöglichkeiten sollen als Alternative zum bereits bekannten System dienen¹¹⁰.

Induktives Laden

Beim Induktiven Laden soll die Ausführung mit zwei Spulen erfolgen. Durch die Primärspule soll die Induktive Energie auf die Sekundärspule übertragen werden. Für diesen Ladevorgang wird kein Kabel mehr benötigt. Diese Art des Ladens bedeutet für den Anwender ein komfortableres Laden, ohne aus dem Fahrzeug aussteigen und eine Verbindung von der Ladesäule zum Elektrofahrzeug herstellen zu müssen. Diese Ladeart wurde schon im Jahr 2014 bei Prototypen getestet und dabei wurde mit einer Ladeleistung von 3,6 kW geladen. Der Ladevorgang wurde in Zusammenarbeit von BMW und Daimler für ein einheitliches System entwickelt.

Wechsel Akku

Eine interessante Alternative ist das System mit einem Wechsel Akku zu versehen und das Laden vom Akku außerhalb des Fahrzeuges zu ermöglichen. So besteht die Möglichkeit bei Bedarf einfach den leeren Akku gegen einen vollen Akku auszutauschen und eine Weiterfahrt zu ermöglichen. Nur ist dieses System, aufgrund der unterschiedlichsten Vorgehensweisen der Hersteller, nicht realisierbar. Dieses System mit einem Wechsel Akku kann nur funktionieren, wenn die Akkubaugröße sowie die Einsetzbarkeit in jedem Elektrofahrzeug gleich wäre.

Intelligentes Laden, Vehicle to Grid

Das Intelligente Laden von Fahrzeugen kann teilweise schon über das Internet oder eine Smartphone App gestartet und kontrolliert werden. Mit dieser Funktion wird nicht nur der aktuelle Stand der Ladekapazität angezeigt, sondern es ist auch möglich zu erkennen, wann das Fahrzeug vollgeladen ist. Diese erweiterte Möglichkeit bietet dem Energielieferanten den Ladevorgang zu bestimmen und somit das Lastmanagement noch besser zu optimieren. Mit dieser Systemoptimierung könnte man die Lastspitzen verschieben und das Stromnetz würde weniger belastet werden.

Eine weitere Idee ist die Fahrzeugbatterie als Energiespeicher zu nutzen. Fahrzeuge die nicht in nächster Zeit abfahrbereit sein müssen, könnten ihre Energie zur Verfügung stellen. Die Energie soll nur dann zur Verfügung gestellt werden, wenn das Angebot der Nachfrage nicht nachkommt.

Das Konzept wird als Vehicle to Grid (V2G) Technik bezeichnet. Die Voraussetzung für dieses System soll eine ausgeklügelte Kommunikation zwischen Ladestation und Fahrzeug

¹¹⁰Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.100

sowie der Steuerungselektronik sein. Dabei soll die Lebensdauer vom Akku nicht beeinflusst werden.

6. Umweltaspekte von Elektrofahrzeugen

6.1. Beurteilungsmöglichkeiten für eine Umweltbilanz

CO₂ Bilanz

Bei der Auswertung eines Produktes werden die Auswirkungen auf die Umwelt beurteilt. Es werden im Produktzyklus die verursachten Treibhausgase ermittelt, die dabei entstehen. Weitere Gase die dabei entstehen sind CO₂, Methan und Flurkohlenwasserstoff¹¹¹. Damit die verschiedensten Treibhausgase miteinander vergleichbar sind, werden sie in die CO₂ – Äquivalente umgerechnet. Diese Bilanzierung wird in der Fachsprache als „Carbon Footprint“ (klimarelevanter Fußabdruck) bezeichnet. Weiteres gibt es diese Bezeichnung auch für ein Produkt und man nennt es „Product Carbon Footprint“ und für ein ganzes Unternehmen lautet die Bezeichnung dann „Corporate Carbon Footprint“¹¹².

Umweltauswirkung und dessen Beurteilung

Mit der Verknüpfung von Elektromobilität und der Energiewende, rücken ebenfalls Umweltaspekte mehr in den Fokus, sowie der Bau von Windkraftanlagen und Solarkraftanlagen¹¹³. Die Frage in diesem Bereich ist, wieviel Primärenergie benötigt wird, damit zum Schluss der Energieaufwand nicht viel höher ist, als die Energieernte

Berücksichtigt wird die energetische Amortisationszeit, die angibt wie lange die Anlage erneuerbare Energie abgibt und diese Abgabe dem kumulierten Energieaufwand entspricht. Man benutzt dafür den Ausdruck „Erntefaktor“. Dieser Faktor gibt an, wie oft die Anlage in seiner Lebenszeit erneuerbare Energie abgibt.

Als Beispiel gibt man an, dass der Erntefaktor bei einer Photovoltaikanlage bei 10 und größer liegt. Bei einer Windkraftanlage spricht man von einem Faktor von 50.

¹¹¹Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.159

¹¹²Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.159

¹¹³Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.160

6.2. Herstellung und Verwertungsphase von Elektrofahrzeugen

Bei der Verwertungsphase geht man von zwei Teilphasen aus, diese sind:¹¹⁴

- Recycling
- Entsorgung

Die erste Herstellungsphase eines Elektrofahrzeuges ist aufgrund der dynamischen Weiterentwicklung innerhalb weniger Jahre besonderes komplex zu beurteilen.

Von dem ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung wurde eine umfassende Analyse sowie eine sehr differenzierte Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen erstellt¹¹⁵. Die Veröffentlichung hat im Oktober 2011 stattgefunden. Bei dieser Bilanz kam man zum Ergebnis, dass die Elektrofahrzeuge und Verbrennungsfahrzeuge eine ähnliche Klimabilanz in der Gesamtbetrachtung haben. Dafür wurde der deutsche Strom Mix hergenommen. Das Ergebnis bei den Elektrofahrzeugen kann noch wesentlich verbessert werden, wenn die Energie regenerativer erzeugt wird. Der Anteil an erneuerbaren Energieerzeugern wächst ständig und dieser wird die Bilanz der Elektromobilität noch mehr optimieren.

Ein wichtiger und wesentlicher Aspekt ist die Betrachtung des Einflusses der Batterieherstellung auf die Klimabilanz. Hier ist noch genügend Potenzial vorhanden um die Haltbarkeit und Leistungsfähigkeit zu verbessern. Die ständige Verbesserung der Batterien wirkt sich positiv auf die Klimabilanz aus. In der Klimabilanz wurden noch keine Recyclingmöglichkeiten der Akkus berücksichtigt und daher bietet dieser Bereich noch ein großes Potenzial bei der Gesamtbetrachtung des Elektrofahrzeuges an. Vom Bundesumweltministerium wird ein Projekt genannt „LithoRec II“ gefördert, durch welches die Entwicklung von Recyclingmethoden von Lithium-Ionen-Batterien vorangetrieben wird.

¹¹⁴Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.161

¹¹⁵Karle: Hanser Elektromobilität Grundlagen und Praxis- 1.Aufl. – Leipzig, 2015, S.161

6.3. Nutzungsdauer von Elektrofahrzeugen

Aus den derzeitigen Erfahrungen mit Elektroautos kann man schwer einschätzen, wie schnell die Abnutzung von Batterien erfolgt. Jedoch kann man schon behaupten, dass es in absehbarer Zeit ein zunehmendes Wachstum an Elektrofahrzeugen geben wird. Die Technik wird ständig optimiert und ausgereift. Ebenfalls sinken die Preise der Batterien und die Lebensdauer steigt auch an¹¹⁶.

Bei der Lebensdauer der Batterien geht man bei der heutigen Bauart von zirka 8 Jahren oder 160.000 km aus. Die Batterien sind jedoch nicht nach 8 Jahren erschöpft, sondern in der Regel ist die Gesamtkapazität auf 70 - 80 % gesunken.

In einem Beitrag aus einem Dauertest des ADACs, wurden mehrere Elektrofahrzeuge über einen längeren Zeitraum getestet und folgende Erkenntnisse dadurch in Erfahrung gebracht: Bei einem Nissan Leaf wurde nach 100.000 km ein Rückgang der Akkugesamtleistung von 24,5 % festgestellt. Der ursprüngliche Wert war 24,4 kWh und nach den gefahrenen Kilometern hatte der Akku noch eine Kapazität von 19,1 kWh¹¹⁷. Im gleichen absteigenden Prozentsatz sank auch die Aufnahme der Rekuperationsenergie.

Weitere Verwendung finden die gebrauchten Akkus der Elektroautos in Photovoltaikanlagen. Als Beispiel wurde schon ein Projekt realisiert, in dem bei einem Fußballstadion 148 ehemalige Fahrzeug Akkus bei einem Energiesystem weiter verwendet wurden¹¹⁸. In Summe ergibt sich ein Energiespeicher von drei Megawatt.

Beim Elektrofahrzeug selbst, sind die Nutzungsphasen gleich wie bei einem herkömmlichen Fahrzeug. Es variieren bestimmte Komponenten die entweder mehr oder weniger beansprucht werden. Die Bremsanlage wird bei normaler Fahrweise beim Elektroauto zum Beispiel weniger beansprucht.

Die Laufleistung kann natürlich selbst noch in gewisser Weise beeinflusst werden. Durch eine regelmäßige Wartung und Beachtung der optimalen Akkubedingungen, hält dieser länger als üblicherweise. Damit die Autos noch länger halten als derzeit üblich, müssen die Hersteller mehr investieren, jedoch wäre die Folge höhere Preise¹¹⁹.

¹¹⁶<https://ecomento.de/ratgeber/wie-hoch-ist-die-lebensdauer-von-batterien-elektroautos/>

¹¹⁷<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/e-mobilitaet/fahrbericht-test/dauertest-elektroauto-leaf-i3-ampera-2018/>

¹¹⁸<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/elektroauto-akku-haltbarkeit/>

¹¹⁹https://praxistipps.focus.de/lebensdauer-von-autos-alle-infos-zu-verschleiss-und-haltbarkeit_97525

7. Zusammenfassung

In meiner Arbeit geht es um die Problematik der Elektromobilität und ihre Auswirkungen auf die Ladeinfrastruktur. Grundsätzlich ist die Idee der Elektromobilität eine saubere und effizientere Umwelt, durch die Vielfalt der Elektromobilität und ihre Einsatzmöglichkeiten in vielen Varianten, von kleineren Fortbewegungsmitteln bis hin zum großen Sattelzug. Der im Einsatz betriebene elektrische Antriebsmotor, hat im Gegensatz zum herkömmlichen Verbrennungsmotor einen weit höheren Wirkungsgrad. Nur für das Gesamtbild zählen auch die anderen verwendeten Komponenten für die Elektromobilität und hier ist der Akku nach wie vor die Schwachstelle vom System. Die Herstellung und das Recycling stellen für den Hersteller eine große Herausforderung dar. Dazu kommt noch die Problematik des Schnellladens für die Akkus.

Diese Thematik betrifft vor allem die Netzinfrastruktur und den Energielieferanten. Durch die kurzzeitig auftretenden Spitzenlasten, kommt es zu einer Herausforderung an die Netzstabilität. Zusätzlich wird die Situation durch Abschaltungen von größeren Energieerzeugern und den Zuwachs von kleineren Energieerzeugern erschwert.

Anhand der gegebenen Daten vom Verkehrsweg und vorhandenem Lastprofil, wurde eine Photovoltaikanlage ausgelegt. Die Idee ist, aufgrund der steigenden Strompreise, einen eigenen Stromerzeuger zu bauen, um einen Haushalt zu versorgen. Die vorhandene Berechnung deutet darauf hin, dass sich eine Anlage in Deutschland derzeit mehr auszahlt als in Österreich. Der Preis für ein Elektroauto wurde leider nicht berücksichtigt, da der Preis nur so lange relevant ist, so lange es noch eine Förderung dafür gibt. Sonst ist das Elektroauto noch viel teurer und mit dem jetzigen Stand auch nicht viel effizienter als ein neueres Dieselfahrzeug.

Daher ist meine Meinung dazu, dass man auf den Energieverbrauch vom gesamten Bereich und nicht nur im mobilen Sektor schauen muss. Durch den Energiewandel wird sich in Zukunft bestimmt noch einiges tun.

Ich glaube jedoch, dass die Elektromobilität derzeit nur eine Übergangslösung ist und dadurch ein lukrativer Markt entstanden ist. Schlussendlich denke ich, dass auf lange Sicht gesehen, Wasserstoff die Lösung für den mobilen Sektor sein wird.

8. Quellenverweis

8.1. Glossar

AC	Alternating Current (Wechselstrom)
AR	Anwendungsregel, z. B. VDE Anwendungsregel VDE-AR-N 4102
BEV	Battery Electric Vehicle – Batterie betriebenes Elektrofahrzeug
CCS – Stecker	DC – Gleichstromstecker nach europäischer Norm IEC 62196-3
C	Laderate
CEE – Stecker	Internationale Steckernorm mit verpolungssicherem Stecker für einphasige und dreiphasige Netze nach IEC 60309, in verschiedenen Größen und unterschiedlichen Stiftanordnungen.
DC	Direct Current (Gleichstrom)
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DIN EN 61851-1 VDE 0122-1	Elektrische Ausrüstung von Elektro – Straßenfahrzeugen – Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge
DIN VDE 0100-520	Errichten von Niederspannungsanlagen, Auswahl und Errichtung von elektrischen Betriebsmitteln – Kabel und Leitungsanlagen
DIN VDE 0100-410	Errichten von Niederspannungsanlagen, Schutzmaßnahmen, Schutz gegen elektrischen Schlag
DIN VDE 0100-600	Errichten von Niederspannungsanlagen, Erstprüfungen
DIN VDE 0105-100	Betrieb von elektrischen Anlagen
DIN VDE 0298-4	Verlegeart und Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen
DIN VDE 0701-0702	Prüfung nach der Instandsetzung, Änderung elektrischer Geräte, Wiederholungsprüfung elektrischer Geräte
DIN VDE 0100-443	Schutzmaßnahmen – Schutz bei transienten Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder von Schaltvorgängen
DIN VDE 0100-722	Errichten von Niederspannungsanlagen, Anforderungen an Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Stromversorgung von Elektrofahrzeugen
EEG	Erneuerbare – Energien – Gesetz
EmoG	Elektromobilitätsgesetz

EnWG	Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz § 49 Anforderungen an Energieanlagen)
EV	Electric Vehicle
FI - Schutzschalter	Fehlerstromschutzschalter, Differenzstromschalter, siehe auch RCD oder RCCB für die Ladeinfrastruktur
FCV	Fuel Cell Vehicle
HEV	Hybrid Electric Vehicle – alternativ elektrisch und mit fossilen Brennstoffen betriebenes Fahrzeug ohne Fremdeinspeisung (der Verbrennungsmotor lädt den Akku auf)
ICCB	In-Cable Control Box, Ladeeinrichtung im Kabel integriert (zwischen geschaltet)
IEC	Internationale Steckernorm für Stecker und Steckdosen, z. B. CEE- oder CeKon-Stecker
IP – Schutzart	Internal Protection, International Protection. Schutz gegen eindringende Fremdkörper und eindringende Feuchtigkeit in das Betriebsmittel. Gekennzeichnet durch Ziffern, die 1. Kennziffer gibt den Schutz gegen feste Fremdkörper an und die 2. Kennziffer steht für den Schutz gegen Feuchtigkeit. Es können weitere Buchstaben folgen
ISO	Internationale Organisation für Normung
kVA	Kilovoltampere, Einheit der Scheinleistung beim Wechselstrom
kW	Kilowatt, Einheit der Wirkleistung beim Wechselstrom
LSS	Leistungsschutzschalter
LSV	Ladesäulenverordnung
MessEG	Mess- und Eichgesetz
MessEV	Mess- und Eichverordnung
NAV	Niederspannungsanschlussverordnung
Pedelec	Pedal Electric Cycle, Fahrrad mit Elektroantrieb
PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicle – alternativ mit Batterie und fossilen Brennstoffen betriebenes Fahrzeug mit Fremdeinspeisung an der Ladeeinrichtung
Pilotkontakt CP	(Contact – Pilot) zusätzlicher Kontakt im Ladestecker
Pilotkontakt PP	(Proximity – Pilot oder Plug – Present) zusätzlicher Kontakt im Ladestecker

REX	Range – Extender
Recycling	Abfallprodukte wiederverwerten
RCCB	Residual Current operated Circuit – Breaker, Differenzstromschalter, Fehlerstromschutzschalter
RCD	Residual Current Device, Fehlerstromschutzschalter
REEV	Alternativ und parallel mit Batterie und fossilen Brennstoffen betriebenes Fahrzeug mit Fremdeinspeisung an der Ladeeinrichtung
Schutzkontaktsteckdose	In bestimmten Länder eingesetzter Wechselstrom – Haushaltssteckdose mit Schutzkontakt, nicht verpolungssicher
Stecker CHAdeMO	Charge de Move, DC-Stecker, Entwicklung aus Japan
Stecker Typ 1	AC-Stecker, Wechselstromstecker (einphasig), Stecker nach SAE J1772
Stecker Typ 2	AC-Stecker, Drehstromstecker (ein- und mehrphasig), auch Mennekes-Stecker genannt, Europäische Norm nach EN 62196 Typ 2
StVO	Straßenverkehrsordnung
SLAM	Schnellladestationen Ausbau in Deutschland
TAB	Technische Anschlussbestimmungen des Versorgungsnetzbetreibers
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
Vehicle-to-Grid V2G	Der Akku im Fahrzeug dient als Home- Speicher oder kann als Schwarm Speicher genutzt werden.
VNB	Versorgungsnetzbetreiber, früher EVU (Energieversorgungsunternehmen)

8.2. Bücher und Skripten

Jürgen Klinger (Hrsg.); Ladeinfrastruktur, für Elektromobilität im privaten und halböffentlichen Bereich - 1.Aufl.- Berlin, 2018

Hans-Peter Lenz, Werner Tober (Hrsg.); Praxisbericht Elektromobilität und Verbrennungsmotor, Analyse elektrifizierter Pkw-Antriebskonzepte 1.Aufl.- Wiesbaden, 2016

Achim Kampker, Dirk Vallee, Armin Schnettler (Hrsg.); Elektromobilität, Grundlagen einer Zukunftstechnologie 2.Aufl.- Wiesbaden, 2018

Anton Karle (Hrsg.); Elektromobilität, Grundlagen und Praxis 1.Aufl.- Leipzig, 2015

Przemyslaw Komarnicki, Jens Haubrock, Zbigniew A Styczynski (Hrsg.); Elektromobilität und Sektorenkopplung, Infrastruktur- und Systemkomponenten 1.Aufl.- Berlin, 2018

Reiner Korthauer (Hrsg.); Handbuch Lithium-Ionen-Batterien 1.Aufl.- Berlin, 2013

Richard Zahoransky (Hrsg.); Energietechnik, Systeme zur konventionellen und erneuerbaren Energieumwandlung. 8.Aufl.-Offenburg, 2018

Stefan Pischinger, Ulrich Seiffert (Hrsg.); Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik 8.Aufl.- Wiesbaden, 2016

Florian Neukirchen, Gunnar Ries (Hrsg.); Die Welt der Rohstoffe, Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte 2.Aufl.- Heidelberg, 2016

Michael Trzesniowski (Hrsg.); Rennwagentechnik, Grundlagen, Konstruktion, Komponenten und Systeme 4.Aufl.- Graz, 2014

Helmut Tschöke (Hrsg.); Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs, Basiswissen 1Aufl.- Wiesbaden, 2015

Richard Marenbach, Dieter Nelles, Christian Tuttas (Hrsg.); Elektrische Energietechnik, Grundlagen, Energieversorgung, Antriebe und Leistungselektronik 2.Aufl. – Wiesbaden, 2013

Rolf Fischer (Hrsg.); Elektrische Maschinen 15.Aufl. – München, 2011

8.3. Internet

<http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/>

<https://www.leifiphysik.de/mechanik/arbeit-energie-und-leistung/geschichte>

https://www.sachsen.schule/~physikms/material/pruefung/loesung/energie/e_formen/lsgauf1.htm

<https://www.apcs.at/de/clearing/technisches-clearing/lastprofile>

<https://www.e-netze.at/downloads-data/Strom/1.%20Allgemeines/Ausf%C3%BChrungsrichtlinien%20f%C3%BCr%20Niederspannungsanschl%C3%BCsse.pdf>

<https://ecomento.de/2018/12/13/forschungsprojekt-fastcharge-porsche-erprobt-laden-mit-bis-zu-450-kw/>

<http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/BJNR045700016.html>

<https://www.energie-lexikon.info/elektroauto.html>

<https://www.vcoe.at/service/fragen-und-antworten/was-sind-stickoxide-und-wie-schaedlich-sind-sie>

<https://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftschadstoffe/co/>

<https://www.blechonline.de/aluminium-2018-leichtbau-in-der-automobilbranche>

<https://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0810281.htm>

<https://www.welt.de/wissenschaft/innovationen/article145560290/100-Millionen-Grad-Celsius-und-ein-Menschheitstraum.html>

<https://www.motorsport-total.com/formel-1/news/mercedes-motor-1000-ps-marke-soll-bald-fallen-17122101>

<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/reichweite-elektroautos-batteriekapazitaet/>

<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/reichweite-elektroautos-batteriekapazitaet/>

<https://edison.handelsblatt.com/erklaeren/mercedes-eqc-die-batterie-im-detail/23004130.html>

<https://ecomento.de/2018/07/11/erster-porsche-800-volt-schnellladepark-geht-ans-netz/>

<https://www.faz.net/aktuell/gesellschaft/experten-sehen-hohes-verletzungsrisiko-beim-e-roller-fahren-16250129.html>

<https://www.rideside.at/blog/2016/e-scooter-vergleich-e-twow-s2-booster-vs-egret-one-s/>

<https://www.motorsport-magazin.com/formel1/news-256046-tost-formel-1-ist-technik-der-zukunft-nicht-formel-e/>

<https://stromliste.at/nuetzliche-infos/durchschnittlicher-stromverbrauch#stromverbrauch-2-personen-haushalt>

<https://www.e-netze.at/downloads-da-ta/Strom/1.%20Allgemeines/Ausf%C3%BChrungsrichtlinien%20f%C3%BCr%20Niederspannungsanschl%C3%BCsse.pdf>

<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/elektroautoladesysteme-standard-ccs-chademo-chaoji-gbt-china/>

http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/___1.html

http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/___2.html

http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/___3.html

http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/___4.html

http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/___5.html

http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/___6.html

http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/___7.html

http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/___8.html

<https://www.enercab.at/bauelemente/158-bauteil-set-ladestation-typ2-dose-bis-22kw.html>

<https://www.enercab.at/ladekabel/9-enercab-typ2-typ2-1x32a-74kw.html>

https://www.voltus.de/?cl=details&anid=99c2c540e1355432a390c395eec62978&gclid=EA1aIQobChMIIndLYuqKs4wIVDOJ3Ch36Bwn9EAQYBCABEgJFoPD_BwE

<https://www.nic-e.shop/produkt/mennekes-amtron-basic-r-c2-22-kw/>

<https://e-iserlohn.de/fahrzeugebersicht/mennekes-amtron-basic-22-c2/>

<https://www.voltus.de/elektromaterial/e-mobilitaet/phoenix-contact/ladetechnik-fuer-elektromobilitaet-o/ladetechnik-sets/phoenix-1628081-ladetechnik-set-home-ev-set-t2ac-adv-rcm2-32ac5mes.html>

<https://www.automation24.at/e-box-rittal-eb-1577-500-300-x-400-x-155>

<https://www.automation24.at/knebelgriff-mit-sicherheitszylinder-einsatz-rittal-sz-2575-000>

<https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/stromverbrauch-im-haushalt/>

<https://www.zeit.de/feature/pendeln-stau-arbeit-verkehr-wohnt-ort-arbeitsweg-ballungsraeume>

https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20180920_OTS0016/mehr-als-20-der-oesterreicher-pendeln-mindestens-90-minuten-taeglich-anhang

<https://www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/technologie/>

<https://greenakku.de/Solarmodule/Solarmodule-ab-200Wp/Trina-Honey-280Wp-TSM-280-PD05A-Solarmodul::67.html>

<https://greenakku.de/Batterien/Lithium-Batterien/Pylontech-Hochvolt-LiFePO4-Powercube-12-0kWh-240V::1552.html>

<https://greenakku.de/Wechselrichter/Hybridwechselrichter/solaX-X-HYBRID-HV-Wechselrichter-3-PHASEN-X3-Hybrid-10-0T::1519.html>

<https://greenakku.de/Batterien/Lithium-Batterien/Pylontech-Hochvolt-LiFePO4-Powercube-14-4kWh-288V::1549.html>

<https://greenakku.de/Wechselrichter/Hybridwechselrichter/solaX-X-HYBRID-HV-Wechselrichter-3-PHASEN-X3-Hybrid-10-0T::1519.html>

<https://www.stromauskunft.de/strompreise/>

https://durchblicker.at/kwh-preis?adgroupid=71097700454&gclid=EA1aIQobChMIvaGy2cLI4wIVh-J3Ch0hswSSEAAAYASAAEgJISvD_BwE

<https://www.finanztip.de/stromvergleich/strompreis/>

<https://www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/faq/>

<https://ecomento.de/ratgeber/wie-hoch-ist-die-lebensdauer-von-batterien-elektroautos/>

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/e-mobilitaet/fahrbericht-test/dauertest-elektroauto-leaf-i3-ampera-2018/>

<https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/elektroauto-akku-haltbarkeit/>

https://praxistipps.focus.de/lebensdauer-von-autos-alle-infos-zu-verschleiss-und-haltbarkeit_97525

Selbstständigkeitserklärung

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

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

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

Vordernberg, am 09.08.2019

Ing. Hubert Ignaz Walter Emmerstorfer