

Johannes Paul Nußbaumer

Technische und wirtschaftliche Analyse von Ladestationen für Elektrofahrzeuge

Diplomarbeit

Wirtschaftsingenieurwesen Maschinenbau

Technische Universität Graz

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Ramsauer

Graz, 2013

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am 20. März 2013

.....

(Unterschrift)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Heimo T. Blattner von der Energie Steiermark AG und dem Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung der TU Graz für die Ermöglichung und Betreuung dieser Diplomarbeit bedanken.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich während meines ganzen Studiums unterstützt haben.

Kurzfassung

Die Elektromobilität erlebte in den letzten Jahren einen wahren Hype. Der Wunsch nach einer umweltfreundlichen und zugleich individuellen Mobilität und einer Unabhängigkeit von Rohöl sowie steigende Treibstoffpreise sind dabei die Triebfedern. Hohe Kosten, Sicherheitsbedenken, geringe realisierbare Reichweiten und eine fehlende Ladeinfrastruktur führten allerdings dazu, dass der Hype der letzten Jahre abgeflacht ist.

Einen wesentlichen Einfluss auf den Erfolg der Elektromobilität hat dabei die Ladeinfrastruktur. Die vorliegende Arbeit widmet sich den Fragen, wie eine Ladung durchgeführt werden kann, welche Kosten für die Errichtung und den Betrieb von Ladestationen anfallen und wie diese Kosten an den Endnutzer weitergegeben werden können. Das Ziel dabei ist, unterschiedliche Ladeszenarien anhand technischer Merkmale zu vergleichen und ökonomisch zu bewerten.

Um die technischen Möglichkeiten sowie Standards und Normen der Ladung zu erfassen, werden im ersten Teil eine Literaturrecherche sowie Interviews mit Experten aus der Branche durchgeführt. Der zweite Teil befasst sich mit den Kosten für die Errichtung und den Betrieb von Ladestationen für unterschiedliche Ladeszenarien. Es wird ein Investitionszuschlag ermittelt, der vom Endnutzer zusätzlich zum Strompreis zu entrichten ist, damit alle Kosten der Ladestation abgedeckt sind. Ein Vergleich der Total Cost of Ownership von Autos mit Elektro- und Verbrennungsmotor dient zur Abschätzung, ob der ermittelte Investitionszuschlag vom Kunden akzeptiert wird.

Es zeigt sich, dass aufgrund ökonomischer Überlegungen die Ladung im privaten Bereich über Nacht die wichtigste Ladestrategie bleiben wird. Vor allem für Plug-In Hybridfahrzeuge erscheint die halböffentliche Ladung wie in Einkaufszentren oder am Arbeitsplatz sinnvoll. Der für reine Elektroautos geforderte Ausbau einer öffentlichen Ladestation bedarf einer hohen Auslastung, die momentan jedoch nur schwierig erreicht werden kann.

Abstract

Due to rising oil prices and the wish for a clean and individual mobility, the e-mobility has gained much attention recently. Nevertheless, high costs, safety concerns, limited operating ranges and a lack of charging infrastructure caused the hype to slow down.

The charging infrastructure is a critical factor for the success of the e-mobility. The thesis deals with the questions how electric vehicles can be charged, how much the installation and operation of charging stations cost and how these costs can be passed to the user. The object is to assess different charging scenarios.

The first part of the thesis includes a literature research and interviews with field experts. The aim is to find out technical possibilities and standards how to charge electric vehicles. In the second part the costs for installing and operating charging stations for different scenarios are raised. An calculated investment-surcharge helps to compare the different scenarios. The investment-surcharge indicates what customers have to pay in addition to the electricity price, so that all costs of the charging stations are covered. By comparing the total cost of ownership of vehicles with electric and combustion engines it should be determined, if customers are willing to pay the calculated investment-surcharge.

This thesis shows that due to economic aspects, the best place to charge electric vehicles is and will be in the private domain at low power levels and overnight. Especially for plug-in hybrid vehicles a semi-public charging like in shopping centers or at work makes sense. The demanded development of a public charging infrastructure needs a good workload which hardly can be achieved in the next years.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Die Unternehmung Energie Steiermark.....	1
1.2	Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	1
1.3	Vorgehensweise	2
2	Elektromobilität.....	4
2.1	Die Geschichte und Entwicklung der Elektromobilität	5
2.2	Die Stakeholder der Elektromobilität	8
2.3	Fahrzeugkonzepte und Marktübersicht	10
2.4	Strombedarf und -erzeugung für die Elektromobilität	13
3	Einführung in das Innovationsmanagement.....	16
3.1	Das Innovationsmanagement.....	16
3.2	Die Systeminnovation	19
3.3	Systeminnovation: Elektromobilität.....	21
4	Ladesysteme	25
4.1	Die Ladestation.....	25
4.2	Die Batterie	26
4.3	Standards und Normen.....	30
4.4	Ladeorte.....	35
4.5	Ladetechnologien	37
4.5.1	Konduktives Laden.....	38
4.5.2	Induktives Laden.....	49
4.5.3	Batterietausch	52
4.6	Kommunikation und Netzintegration.....	53
4.7	Authentifizierung und Bezahlung.....	58
4.8	Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	62
5	Ladeinfrastruktur	63
5.1	Vorhandene Ladeinfrastruktur	63
5.2	Allgemeine Entwicklung in Europa	71

5.3	Rechtlicher Hintergrund in Österreich.....	73
5.4	Geschäftsmodelle	75
6	Kostenermittlung	78
6.1	Referenzladeszenarien.....	78
6.2	Ermittlung der Kosten	82
6.2.1	Kosten der Ladestation	83
6.2.2	Netzentgelte und Behördenkosten.....	86
6.2.3	Arbeiten an der Ladestation	90
6.2.4	Extras und sonstige Kosten	92
6.3	Zusammenfassung und wesentliche Ergebnisse	93
7	Ökonomische Analyse.....	95
7.1	Grundlagen und Annahmen.....	95
7.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	98
7.3	Sensitivitätsanalyse	102
7.4	Total Cost of Ownership EV und ICEV.....	106
7.5	Schlussfolgerungen	111
7.6	Wesentliche Ergebnisse	115
8	Zusammenfassung und Ausblick	117
8.1	Die Elektromobilität.....	117
8.2	Ladesysteme für Elektrofahrzeuge	118
8.3	Ökonomische Bewertung von Ladestrategien	120
8.4	Ausblick	123
9	Literaturverzeichnis	125
10	Internetquellenverzeichnis	131
11	Abbildungsverzeichnis	136
12	Tabellenverzeichnis	138
13	Formelverzeichnis.....	139
14	Abkürzungsverzeichnis.....	140
	Anhang: Auszug aus dem Berechnungstool.....	i

1 Einleitung

Die Elektromobilität bietet die Möglichkeit unabhängig vom Import fossiler Treibstoffe zu werden und den Kohlendioxidausstoß von Fahrzeugen zu reduzieren. Geringe elektrische Reichweiten und lange Ladedauern der Batterien erfordern jedoch hohe Investitionen in die Ladeinfrastruktur.¹

1.1 Die Unternehmung Energie Steiermark

Die Diplomarbeit wurde im Auftrag der Energie Steiermark AG verfasst. Die Energie Steiermark AG ist das viertgrößte Energieunternehmen Österreichs mit den Kerngeschäftsfeldern Strom, Erdgas und Fernwärme. Das Geschäftsfeld Strom stellt den größten und umsatzstärksten Bereich dar, wobei der Jahresverkauf im In- und Ausland 29.000 GWh beträgt. Mit knapp 1.750 Mitarbeitern erreichte der Konzernumsatz 2011 1,37 Milliarden Euro.²

Die Energie Steiermark AG ist im Bereich der Elektromobilität präsent. Neben Forschungs- und Entwicklungskooperationen mit anderen Unternehmungen betreibt die Energie Steiermark AG einen Verleih von Elektroautos und -rädern. Sie ist auch kompetenter Partner für den Vertrieb und Betrieb von Ladestationen.³

1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Diplomarbeit beschäftigt sich mit Ladestationen für Elektrofahrzeuge. Wie in Abbildung 1 ersichtlich, stehen Ladestationen in engem Zusammenhang mit Stromerzeugung, Stromnetz, Netzanschluss, Batterie und Fahrzeug. Deshalb ist es notwendig, auch diese Punkte in die Betrachtung einzuschließen. Das Hauptaugenmerk gilt der Ladestation.

¹ vgl. Lienkamp (2012), S.1; vgl. Richter/Lindenberger (2010), S.1

² vgl. Energie Steiermark AG (2012), S.69ff.

³ Interview mit Heimo T. Blattner, Energie Steiermark AG, Projektleiter E-Mobility

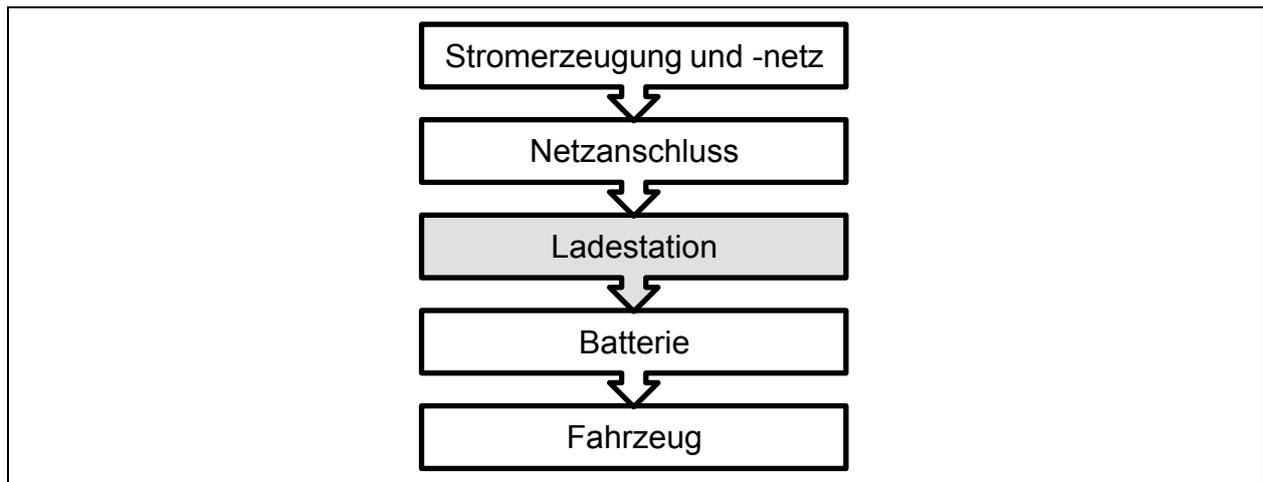


Abbildung 1: Untersuchungsbereich⁴

Der Untersuchungsbereich umfasst die Abbildung von technischen Möglichkeiten der Ladung, Standards und Normen von Ladesystemen und eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der Elektromobilität.

Das Ziel der Arbeit ist eine wirtschaftliche Analyse von induktiven⁵ Ladestationen. Dabei steht im Fokus, wie viel die Errichtung und der Betrieb von Ladestationen kostet und wie diese Investitionen dem Kunden weiterverrechnet werden können. Ein Vergleich unterschiedlicher Ladeszenarien soll zeigen, welche Ladestrategien geringe Mehrkosten im Vergleich mit einer Ladung an der Haushaltssteckdose aufweisen und wie sich die Gesamtkosten der Ladeszenarien auf die Total Cost of Ownership von Elektrofahrzeugen auswirken.

1.3 Vorgehensweise

Viele Komponenten, die für die Ladung von Elektrofahrzeugen notwendig sind, durchlaufen gerade einen Normierungsprozess bzw. wurden viele Normen unlängst verabschiedet. Weltweit finden sich auch je nach Region andere Ladestandards.⁶

Aus diesen Gründen gibt es kaum eine klassische Literatur zu diesem Thema. Für die Recherche werden deshalb eine Vielzahl aktueller Artikel in Fachzeitschriften, Studien sowie Fachportale im Internet ausgewertet um den Ist-Stand von Ladesystemen abzubilden. Darüberhinaus werden mit Herstellern von Ladestationen,

⁴ in Anlehnung an Naunin (2007), S.20

⁵ Darunter versteht man das kabelgebundene Laden.

⁶ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012), S.4f.

Energieversorgern und Dienstleistern Interviews geführt um auch Trends und neue Entwicklungen zu erfassen.

Für die Kostenermittlung, die in Kapitel 6 durchgeführt wird, werden Referenzladestrategien entwickelt, auf Basis deren Angebote von Ladestationsherstellern und Dienstleistern eingeholt werden. Um ein vollständiges Kostenbild zu erhalten, werden darüberhinaus auch Netzbetreiber, Energieversorger und Behörden interviewt.

In Microsoft Excel wird auf Basis der Ergebnisse der Literaturanalyse, der Interviews und der Kostenanfragen ein Berechnungstool erstellt, mit dem die Kosten übersichtlich abgebildet und ausgewertet werden können. Das Tool lässt sich einfach auf geänderte Ausgangsbedingungen adaptieren. Um den Einfluss der Parameter und der notwendigen getroffenen Annahmen festzustellen, werden die Ergebnisse auf Sensitivitäten überprüft und mit möglichen Entwicklungen der Elektromobilität verknüpft. Die wesentlichen Ergebnisse werde in Kapitel 7 dargestellt und diskutiert.

2 Elektromobilität

In den letzten Jahren erlebte die Elektromobilität einen wahren Hype, der aber inzwischen abgeflacht ist. Was allerdings macht die Elektromobilität so interessant?

Der Wunsch nach einer energieeffizienten Fortbewegung mit reduziertem CO₂-Ausstoß ist sicherlich ein wichtiger Punkt. Aber auch andere Aspekte wie die Sicherheit der Energieversorgung durch Diversifikation der Energiequellen bei stark steigenden Rohölpreisen und die geräuscharme und lokal schadstofffreie Fortbewegung machen die Elektromobilität erstrebenswert. Für die Industrie eröffnen sich darüberhinaus neue Möglichkeiten der Wertschöpfung.⁷

Der Erfolg der Elektromobilität hängt ganz entscheidend von fünf Faktoren ab. Abbildung 2 zeigt diese.

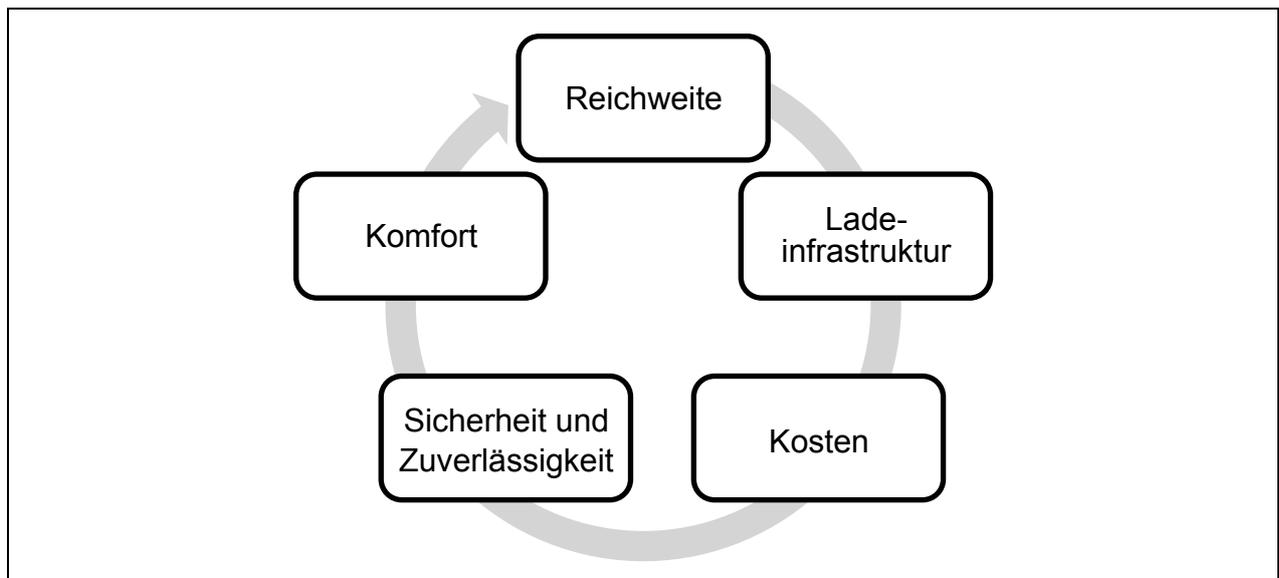


Abbildung 2: Kritische Faktoren der Elektromobilität⁸

Das Kernproblem der Elektromobilität ist die begrenzte Reichweite und aktuell auch die hohen Kosten für den Kunden. Obwohl der Großteil aller Fahrten problemlos rein elektrisch zurückgelegt werden könnte, ist die Angst mit leeren Batterien stehenzubleiben bei vielen Autofahrern tief verwurzelt. Dieses Phänomen wird in der Psychologie als Reichweitenangst definiert. Der kleine Aktionsradius, die lange Batterieladedauer und die daraus resultierende Angst der Autofahrer mit leeren

⁷ vgl. Lienkamp (2012), S.1; vgl. Richter/Lindenberger (2010), S.1

⁸ in Anlehnung an PwC/Fraunhofer LBF/FH FFM (2012), S.126

Batterien festzusitzen, erfordern eine gut ausgebaute Ladeinfrastruktur um den Nutzern diese Eintrittsbarriere so gut wie möglich zu nehmen.⁹

Beim Fahrkomfort können Elektroautos heutzutage schon punkten. So wird von vielen Nutzern das leise Fahrgeräusch und der unterbrechungsfreie Antrieb sehr positiv bewertet. Das hohe Drehmoment, das schon beim Anfahren voll verfügbar ist, verleiht den Elektroautos ein neues und angenehmes Fahrgefühl. Demgegenüber steht allerdings ein geändertes „Tankverhalten“. Durch den kleinen Aktionsradius ist es erforderlich oft und an unterschiedlichen Orten zu laden.¹⁰

Das kritischste Bauteil bei der Sicherheit von E-Autos ist die Batterie. Momentan wird intensiv geforscht, um bei Unfällen Brände und Stromschläge auszuschließen. Für den Fahrer sind diese Risiken jedoch minimal. Es werden aber spezielle Schulungen und Equipments für Rettungskräfte und Mechaniker erforderlich.¹¹

Noch sind Elektroautos in der Anschaffung teuer, was vor allem durch den hohen Preis der Batterie aber auch durch die niedrigen Fertigungsvolumina zu erklären ist. Auch zur Lebensdauer der Batterie sind noch keine eindeutigen Aussagen möglich. Dadurch werden Käufer von einem hohen Wiederbeschaffungspreis der Batterie und einem eventuellen hohen Wertverlust abgeschreckt. Kaum ein Käufer wird bereit sein mehr Geld für ein Elektroauto auszugeben, als er es für eines mit Verbrennungsmotor tun würde. Wirtschaftlich ist die Elektromobilität heutzutage hauptsächlich für Vielfahrer oder Flotten interessant. Sie eignet sich aber auch um das eigene Image zu prägen und liefert innovativen Unternehmen neue Geschäftsfelder.¹²

Dass das Elektroauto keine neue Erfindung ist sondern gerade einen zweiten Frühling erfährt, zeigt folgendes Unterkapitel.

2.1 Die Geschichte und Entwicklung der Elektromobilität

Als Geburtsstunde des Elektroautos gilt das Jahr 1881 in dem Gustave Trouvé sein dreirädriges Elektroauto mit Bleiakкумуляator, welches eine Geschwindigkeit von zwölf km/h erreichte, präsentierte.¹³

Nach Trouvé fingen immer mehr Unternehmer und Ingenieure an, Elektroautos zu entwickeln. 1899 durchbrach der belgische Rennfahrer Camille Jenatzy mit seinem

⁹ vgl. Forschungsstelle der Energiewirtschaft e.V. (2010), S.60

¹⁰ vgl. Wietschel et al. (2012), S.24f.

¹¹ vgl. e-connected (2010), S.13

¹² vgl. PwC/Fraunhofer LBF/FH FFM (2012), S.128f.

¹³ vgl. Austrian Mobile Power, www.austrian-mobile-power.at, Zugriffsdatum 20.08.2012

Elektroauto erstmals die symbolische Grenze von 100 km/h. Im Jahr 1900 kam der Lohner-Porsche auf den Markt, der Dank Radnabenmotoren weder Getriebe noch andere mechanische Komponenten für die Kraftübertragung benötigte. Ferdinand Porsche erkannte das Problem der geringen Reichweite und schuf ein Modell, das zusätzlich zum Elektromotor einen Verbrennungsmotor hatte, mit dem die Batterien mittels eines Generators geladen werden konnte – das erste Hybridauto war geboren.¹⁴

Obwohl schon kurz nach der Erfindung des Verbrennungsmotors 1886 erste Benzinfahrzeuge zur Verfügung standen, hatten Elektrofahrzeuge im frühen 20. Jahrhundert ihre Blütezeit. In den USA wurden damals 40% der Fahrzeuge mit Dampf, 38% elektrisch und nur 22% mit Benzin betrieben. 1913 wurde der erste Entwurf eines Ladesteckers vorgestellt, der in der Norm British Standard 74 übernommen wurde.¹⁵

Durch extrem billiges Öl, einer schnell verbesserten Tankstelleninfrastruktur und vor allem durch die Erfindung des elektrischen Anlassers durch Charles F. Kettering im Jahr 1911 wurden Verbrennungsmotoren immer populärer und so kam die Produktion von Elektroautos in den 1920er Jahren nahezu zum Erliegen.¹⁶

Durch den Clean-Air-Act in Kalifornien traten Elektrofahrzeuge im Jahr 1990 wieder aus ihrem Schattendasein hervor. Steigende Ölpreise, stärkerer Umweltschutzmaßnahmen und Fortschritte in der Batterietechnologie führten dazu, dass die Elektromobilität wieder als zukunftsweisend gilt. Heute gibt es schon einige Elektrofahrzeuge am Markt und kaum einen Autohersteller, der nicht an der Entwicklung arbeitet.¹⁷

Den Zulassungszahlen zur Folge spielen Elektroautos heutzutage aber noch kaum eine Rolle. Der Markt für elektrisch betriebene Zweiräder wächst jedoch sehr stark.¹⁸

Im Juni 2012 waren in Deutschland 4.541 Elektroautos zugelassen.¹⁹ Die deutsche Bundesregierung hat das Ziel ausgegeben, im Jahr 2020 eine Million, das entspricht 2,4 % des heutigen Fahrzeugbestandes, und im Jahr 2030 sechs Millionen Elektroautos auf den Straßen zu haben.²⁰ Dieses Ziel wurde im Oktober 2012, trotz unplanmäßiger schwacher Absatzzahlen, bekräftigt.²¹ Um das Ziel zu erreichen wurden drei Phasen definiert, die in Abbildung 3 dargestellt sind.

¹⁴ vgl. Austrian Mobile Power, www.austrian-mobile-power.at, Zugriffsdatum 20.08.2012

¹⁵ vgl. Britannica Online, www.britannica.com, Zugriffsdatum 20.08.2012; vgl. Van den Bossche (2010), S. 518

¹⁶ vgl. Austrian Mobile Power, www.austrian-mobile-power.at, Zugriffsdatum 20.08.2012

¹⁷ ebenda

¹⁸ vgl. Götze/Rehme (2011), S.2

¹⁹ vgl. Kraftfahrt-Bundesamt, www.kba.de, Zugriffsdatum 21.08.2012

²⁰ vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Deutschland (2011), S.8

²¹ vgl. Deutsche Bundesregierung, www.bundesregierung.de, Zugriffsdatum 05.10.2012



Abbildung 3: Entwicklungsphasen des Leitmarktes²²

Die Phase der Marktvorbereitung hat den Schwerpunkt auf Forschung und Entwicklung sowie auf Schaufensterprojekten, die den Modellregionen folgen sollen. Der Markthochlauf schließt 2017 darauf an. In dieser Phase liegt der Fokus auf einem Marktaufbau bei Fahrzeugen und der Infrastruktur. 2017 soll dann der Massenmarkt mit tragfähigen Geschäftsmodellen folgen.²³

In Österreich waren im Juni 2012 1.211 reine Elektroautos zugelassen.²⁴ Das Umweltbundesamt schätzt die Zahl der Elektroautos und Plug-In Hybriden unter optimalen Bedingungen im Jahr 2020 auf ca. 210.000 Stück.²⁵ Bei geschätztem Gesamtbestand von ca. 5.350.000 Fahrzeugen entspricht das in etwa 4%.²⁶ Andere Studien prognostizieren eine unterschiedliche Entwicklung, wie Tabelle 1 zeigt.

Quelle	Jahr 2020		Annahmen bzw. Szenario
	Marktanteil	Anzahl	
VCÖ²⁷ Verkehrsclub Österreich	9%	405.000	steigender Ölpreis, Ladeinfrastruktur wird aufgebaut
Umweltbundesamt²⁸	4%	210.000	optimistisches Szenario
	1,2%	64.000	Business as Usual
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie²⁹		400.000*	Szenario Umwelt
		135.300*	Szenario Realistisch
		5.700*	Worst-Case Szenario
		*... nur Vollhybride	

Tabelle 1: Prognosen zum Potential von Elektroautos³⁰

²² in Anlehnung an Nationale Plattform Elektromobilität (2011b), S.5

²³ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2011), S.5

²⁴ vgl. Statistik Austria, www.statistik.at, Zugriffsdatum 21.08.2012

²⁵ vgl. Umweltbundesamt (2010), S.28

²⁶ ebenda

²⁷ vgl. VCÖ (2008), S.31f.

²⁸ vgl. Umweltbundesamt (2010), S.29

²⁹ vgl. BMVIT (2010), S.25

³⁰ eigene Darstellung

Auch wenn die Prognosen ein divergentes Bild zeichnen, so wird sich der Anteil von Elektrofahrzeugen auf lange Sicht stark erhöhen. Trotzdem besteht noch immer die Gefahr, dass die Elektromobilität nicht über Nischenanwendungen hinauskommt.³¹

2.2 Die Stakeholder der Elektromobilität

Die Elektromobilität hat eine Vielzahl von Stakeholdern in verschiedenen Interessensgebieten. Dabei kann eine Einteilung in Marktteilnehmer, Unternehmensumfeld und dem Nutzer vorgenommen werden, wie in Abbildung 4 ersichtlich ist.³² Freeman definiert den Begriff Stakeholder folgendermaßen: "A stakeholder [...] is any group or individual who can affect or is affected by the achievement of the organization's objectives."³³ Es werden also alle Interessensgruppen einer Organisation darunter verstanden.³⁴

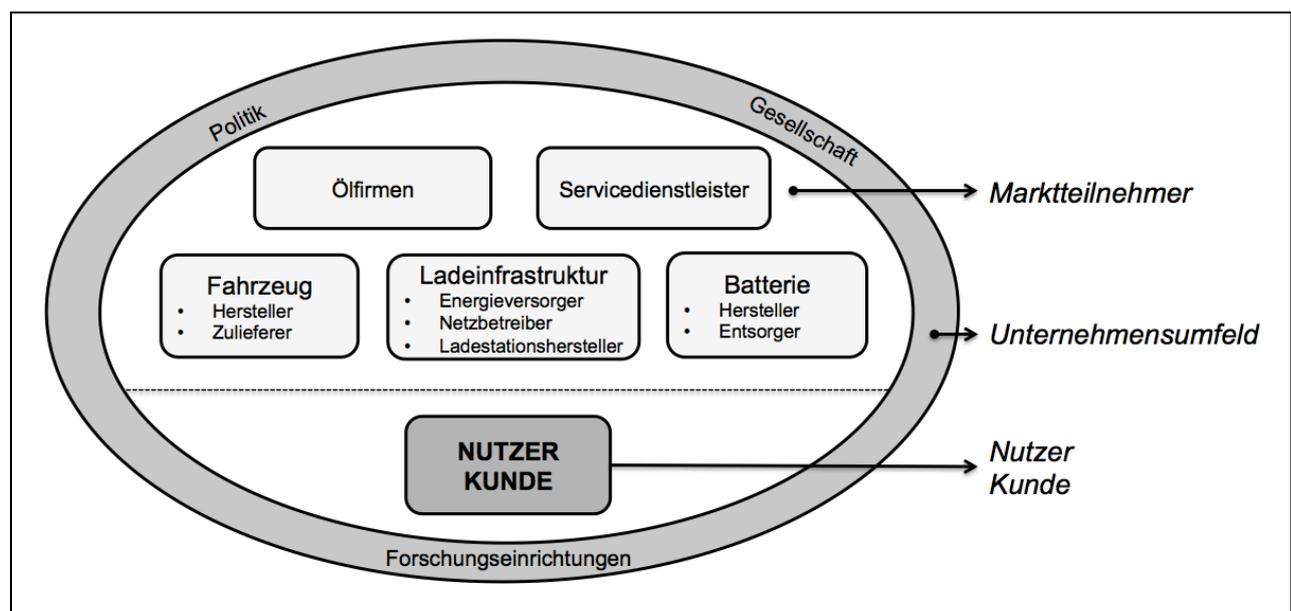


Abbildung 4: Stakeholder der Elektromobilität³⁵

Um eine technische und wirtschaftliche Bewertung von Ladestationen durchführen zu können, sind in dieser Diplomarbeit die Stakeholder rund um die Ladeinfrastruktur, im Speziellen Energieversorgungsunternehmen (EVU), sowie der Nutzer von Relevanz. Sie stehen in einem Netzwerk mit den anderen Stakeholdern. Im Rahmen der

³¹ vgl. CE Delft (2011), Teil 1 S.62

³² vgl. Plankenauer (2012), S.6

³³ Freeman (1984), S.46

³⁴ vgl. Freeman (1984), S.46

³⁵ in Anlehnung an Nationale Plattform Elektromobilität (2012), S.13; in Anlehnung an Talke/Salomo/Trommsdorff (2007); in Anlehnung an Plankenauer (2012a), S.46

Diplomarbeit wurden mit unterschiedlichen Stakeholdern der Elektromobilität Interviews geführt. Darunter Ladestationshersteller, Netzbetreiber, Dienstleister und Behörden.

Um von der Elektromobilität zu profitieren, können Energiekonzerne einen passiven oder aktiven Ansatz wählen. Beim passiven Ansatz konzentriert sich das Energieversorgungsunternehmen auf seine Kernkompetenzen und hofft einen zusätzlichen Umsatz durch den Verkauf von Strom zu lukrieren. Beim aktiven Ansatz wird ein neues Geschäftsfeld in Konkurrenz mit anderen Unternehmen eröffnet. Das kann von der Errichtung und Betrieb von Ladestationen bis hin zum Auftreten als Mobilitätsanbieter reichen. Je weiter man sich in neue Geschäftsfelder wagt, desto größer ist auch das Potential und damit verbunden das Risiko. Die frühe Phase der Elektromobilität ist das Zeitfenster, in dem EVUs ihre Position gegenüber Mitbewerbern festigen können.³⁶

Mögliche Geschäftsmodelle werden in Kapitel 5.4 vorgestellt und diskutiert. In Tabelle 2 sind die Perspektiven, welche die Elektromobilität einem Energieversorgungsunternehmen bietet, zusammengefasst.

Positive Aspekte	Negative Aspekte
Höheres Volumen beim Stromverkauf...	... limitiert und abhängig von der Penetration mit Elektroautos
Positiver Imageeffekt für Energieversorger, noch Themenführerschaft möglich	Komplexität neuer Geschäftsmodelle
Möglichkeit für Business Development	Hohe Investitionskosten
Möglichkeit mittel- bis langfristig das Netz-Management zu verbessern	

Tabelle 2: Positive und negative Aspekte der E-Mobility aus Sicht eines EVU³⁷

Durch die hohen Investitionskosten, verbunden mit einer unklaren Zukunft der Elektromobilität, ist es wichtig, „stranded investments“³⁸ zu vermeiden.³⁹ Bei der Ladeinfrastruktur gilt es, auf die richtige Technologie zu setzen.⁴⁰ Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden deshalb Ladetechnologien auf technische Merkmale, Investitionskosten und deren Einfluss auf den Nutzer analysiert um Fehlinvestitionen zu vermeiden.

³⁶ vgl. Roland Berger (2010), S.29, S.31

³⁷ in Anlehnung an Roland Berger (2010), S.28

³⁸ Darunter versteht man Investitionen, die sich im Nachhinein gesehen als unnötig herausstellen.

³⁹ vgl. BMLFUW/BMVIT/BMWFJ (2012), S.14

⁴⁰ ebenda

2.3 Fahrzeugkonzepte und Marktübersicht

Die Elektromobilität tritt in vielfältigen Formen auf, wie in Abbildung 5 gezeigt wird. Während elektrische Busse oder Straßenbahnen schon seit jeher zum Stadtbild gehören, sind Fahrräder mit Elektromotor stark im Kommen. Das Vollelektroauto ist aber noch immer selten anzutreffen.⁴¹

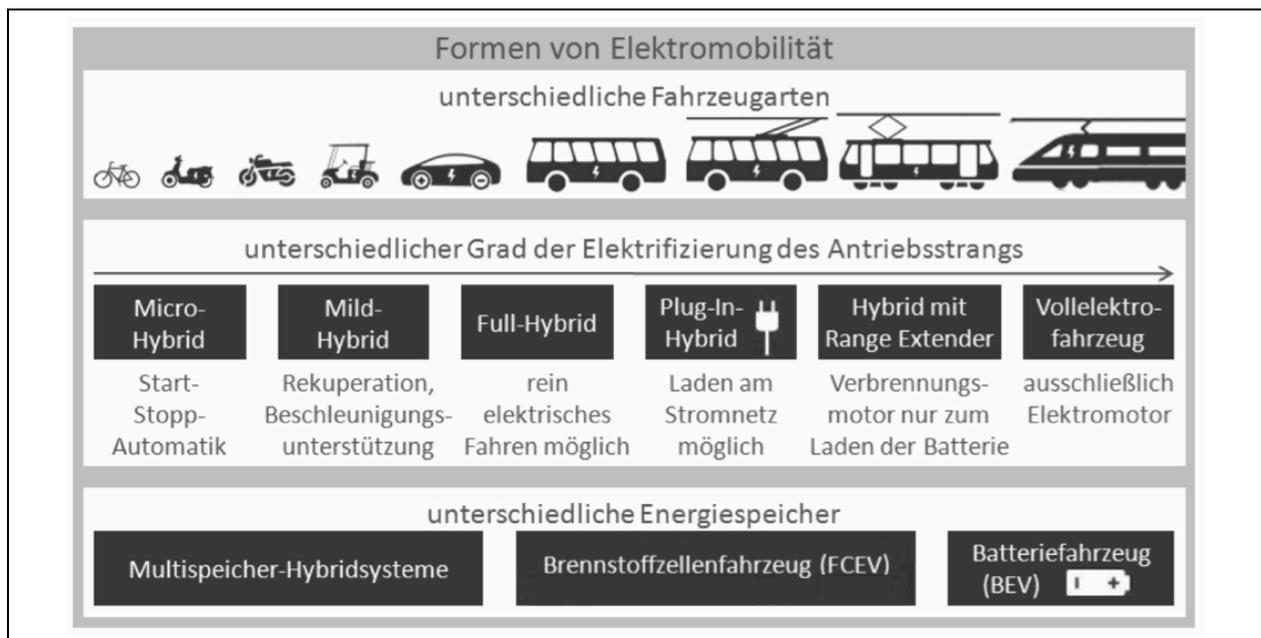


Abbildung 5: Unterschiedliche Ausprägungen der Elektromobilität⁴²

Das Hauptaugenmerk gilt Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen, die ihre Batterien über das Stromnetz laden können. Es werden ebenso einspurige Elektrofahrzeuge behandelt. Die dazu relevanten Fahrzeugkonzepte sind im Folgenden beschrieben.⁴³

- **BEV (Battery Electric Vehicle - Vollelektrofahrzeug)**

Die Antriebsenergie wird mittels Batterie bereitgestellt, die über das Stromnetz geladen wird. Der Antrieb erfolgt rein elektrisch.

- **PHEV (Plug-In-Hybrid Vehicle)**

Zusätzlich zum Elektroantrieb steht ein Antriebsstrang mit Verbrennungsmotor zur Verfügung. Die elektrische Reichweite ist üblicherweise geringer als bei BEVs. Die Batterie kann über das Stromnetz geladen werden. Es ist sowohl ein reiner elektrischer

⁴¹ vgl. Austrian Energy Agency (2009), 31ff.

⁴² Götze/Rehme (2011), S.3

⁴³ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012a), S.7; vgl. Energy Agency (2009), S.30ff.

Betrieb, ein ausschließlicher Einsatz des Verbrennungsmotors oder ein Mischbetrieb möglich.

- **REEV (Range Extended Electric Vehicle)**

Bei Bedarf erzeugt ein Generator, der mittels einer Verbrennungskraftmaschine angetrieben wird, Strom um die Reichweite zu verlängern.

- **Pedelec (Hybridfahrrad)**

Ein Pedelec ist ein einspuriges Fahrzeug mit Elektromotor und Batterie. Die Muskelkraft wird durch einen Elektromotor unterstützt. Eine rein elektrische Fahrt ist aber nicht möglich. Meist ist die Bauartgeschwindigkeit unter 20 km/h und die elektrische Leistung unter 400 Watt. Damit gelten sie nach § 1 Abs. 2a KFG 1967 als Fahrräder.

- **E-Bike**

E-Bikes sind ähnlich wie Pedelecs, allerdings ist auch eine rein elektrische Fahrt möglich.

- **E-Moped/E-Motorrad**

Entsprechen einem konventionellen Moped/Motorrad, bei denen der Antrieb rein elektrisch ausgeführt ist.

Laut Herstellerangaben liegt der elektrische Verbrauch von Kleinwagen bei ca. 15 kWh/100km. Bei PHEVs und REEVs bewegt sich der kombinierte Normverbrauch nach VO (EG) Nr. 715/2007 zwischen 1,6 und 2,6 l/100km, ein elektrischer Verbrauch bei zugeschaltetem Verbrennungsmotor ist nicht angegeben.⁴⁴

Im Jahr 2012 standen schon einige in kleiner Serie gefertigten Elektroautos mit unterschiedlichen Antriebskonzepten zur Verfügung.⁴⁵ Tabelle 3 zeigt eine Auswahl unterschiedlicher Konzepte.

⁴⁴ vgl. Smart, www.smart.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Renault, www.renault.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Opel, www.opel.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Toyota, www.toyota.de, Zugriffsdatum 20.11.2012

⁴⁵ vgl. Verkehrsclub Deutschland, www.vcd.org, Zugriffsdatum 20.11.2012

Typ	Modell	Besonderheit	Kaufpreis inkl. Steuern
BEV	Renault Twizy	- Kabinenroller - 100 km Reichweite	€ 7.690 zzgl. € 50 monatlicher Batteriemiete
BEV	Smart ed	- Kleinwagen, - 145 km Reichweite - max. Ladeleistung 3,3 kW	€ 24.590 oder € 19.420 zzgl. € 65 monatlicher Batteriemiete
BEV	Mitsubishi i-MiEV	Kleinwagen, 150 km Reichweite	€ 29.500
BEV	Renault Fluence Z.E.	185 km Reichweite	€ 25.950 zzgl. € 96 monatlicher Batteriemiete
REEV	Opel Ampera Chevrolet Volt	Reichweite: 40-80 km elektrische + 500 km über Range Extender	€ 45.900
PHEV	Toyota Prius Plug-In	Reichweite: 40 km elektrisch + 500 km mit Verbrennungsmotor	€ 38.000

Tabelle 3: Auswahl von Elektroautos⁴⁶

In den Jahren 2013/14 werden viele Elektroautos namhafter Hersteller folgen. Volkswagen bringt den Kleinwagen Up in einer Elektroversion und den Golf sowohl als Elektrofahrzeug als auch als Plug-In Hybrid. Renault startet mit der Auslieferung des Zoe als erster großer Hersteller ein Modell, das speziell als Elektroauto entwickelt wurde, BMW folgt mit dem i3. Toyota adaptiert den Kleinwagen iQ als Elektroversion, Ford startet in den USA mit einem Focus electric.⁴⁷

Die Preise für Pedelecs beginnen mittlerweile schon bei € 800. Für ein Marken-Modell beläuft sich der Preis auf € 1.500 aufwärts. Die elektrisch unterstützte Reichweite bewegt sich um die 100 km.⁴⁸

Einspurige Elektrofahrzeuge werden in Zukunft eine immer bedeutendere Rolle spielen und in gewissen Einsatzgebieten auch Autos ersetzen. So ist beispielsweise in China die Verbreitung von Elektrorädern und -scootern schon jetzt sehr hoch. Liefer- und

⁴⁶ vgl. Smart, www.smart.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Renault, www.renault.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Opel, www.opel.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Toyota, www.toyota.de Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Mitsubishi, www.mitsubishi-motors.at, Zugriffsdatum 20.11.2012

⁴⁷ vgl. Spiegel online, www.spiegel.de, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Renault www.renault.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Toyota, www.toyota.de, Zugriffsdatum 20.11.2012

⁴⁸ vgl. Geizhals Preisvergleich, www.geizhals.at, Zugriffsdatum 11.10.2012

Botendienste stellen ihre Flotte dabei weltweit immer mehr auf vorwiegend einspurige Elektrofahrzeuge um. In den Niederlanden beispielweise sind 10% aller Fahrräder bereits elektrifiziert und dieser Trend ist auch in ganz Europa erkennbar.⁴⁹

Der Großteil der in den nächsten Jahren verkauften zweispurigen Elektrofahrzeuge werden Plug-In Hybride sein. Zum einen liegt das daran, dass der Kunde sein Fahrverhalten nicht ändern muss. Zum anderen daran, dass Hybrid Fahrzeuge als bewährte Technik gelten. Auch wenn durch die doppelte Ausführung des Antriebes, elektrisch und konventionell, Mehrkosten entstehen, so ist die Kapazität der teuren Batterie deutlich geringer als bei rein batteriebetriebenen elektrischen Fahrzeugen. Auch der Wertverlust von PHEVs ist dadurch niedriger anzunehmen.⁵⁰

2.4 Strombedarf und -erzeugung für die Elektromobilität

PricewaterhouseCoopers kam in einer Studie zu dem Ergebnis, dass der österreichische Strombedarf bei 20% Marktanteil von Elektrofahrzeugen, das entspricht einer Anzahl von ca. einer Million, im Jahr 2020 um 3% steigen würde. Punktuell werden leistungsfähigere Netzanbindungen zwar erforderlich sein, wie zum Beispiel bei Parkhäusern oder Schnellladestationen, ein Ausbau von Kraftwerken oder des Stromnetzes wäre auf Grund der Elektromobilität jedoch nicht notwendig. Bei gleicher Stromherkunft wie heute würde sich die Klimabilanz Österreichs um zwei Millionen Tonnen Kohlendioxid (CO₂) verbessern. Das entspricht einer Reduktion von 16% des durch Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen emittierten Kohlendioxids.⁵¹

Obwohl auch schon bei jetziger Aufteilung der Energieträger bei der Stromerzeugung die Verwendung eines Elektroautos anstatt eines Fahrzeugs mit Dieselmotor 47% CO₂-Einsparung bedeutet, ist die Herkunft des Stroms aus Marketinggründen besonders wichtig. Denn die Primärenergieträger, die zur Stromerzeugung verwendet werden, bestimmen letztendlich wie hoch die Gesamtemissionen von Elektrofahrzeugen sind.⁵²

Damit die Elektromobilität als besonders umweltfreundlich vermarktet werden kann, wird bestenfalls Strom aus erneuerbaren Energiequellen und aus heimischer Produktion verwendet. Die Elektromobilität tritt daher oft als Gesamtkonzept von Mobilitäts- und Energiebereitstellung auf. Um dem grünen Image gerecht zu werden,

⁴⁹ vgl. CE Delft (2011), Teil 1 S.62

⁵⁰ vgl. IEA (2011), S.10ff.

⁵¹ vgl. Klima- und Energiefonds (2009), S.4f.

⁵² vgl. Beermann et al. (2010), S.74f.

wird es darüberhinaus erforderlich, dass Elektrofahrzeuge Bestandteil in einem intelligenten Stromnetz sind.⁵³

Ist eine große Anzahl von Elektroautos unregelmäßig mit dem Stromnetz verbunden, so kann sich die benötigte Spitzenleistung der Stromerzeugung erhöhen, die meist durch Kraftwerke mit fossilem Brennstoff betrieben werden. Auch gilt es, das Netz zu Spitzenzeiten nicht zu überlasten. Deshalb sind auch aus dieser Sichtweise bei einer hohen Anzahl oder einer örtlich hohen Dichte von Elektrofahrzeugen intelligente Ladesteuerungen unabdingbar. Selbst bei einer geringen Verbreitung von Elektroautos sind zumindest einfache Lösungen zum Lastmanagement zu empfehlen. Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen ein typisches Lastprofil einer Winterwoche. In Abbildung 6 werden eine Million Elektroautos ungesteuert geladen, d.h. sobald der Nutzer sein Elektrofahrzeug mit dem Stromnetz verbindet. In Abbildung 7 findet eine intelligente Steuerung Anwendung. Mittels diesem sogenannten „peak-shaving“ oder „load-balancing“, werden Lastspitzen vermieden und die Fahrzeuge bei einer niedrigeren Netzauslastung geladen. Dadurch ist nur eine sehr geringe Mehrleistung in der Abendspitze notwendig ist. Bei höherer Verbreitung der Elektromobilität erscheint eine Steuerung deshalb notwendig zu sein, um das Stromnetz punktuell nicht ausbauen zu müssen und Spitzenlasten zu vermeiden.⁵⁴

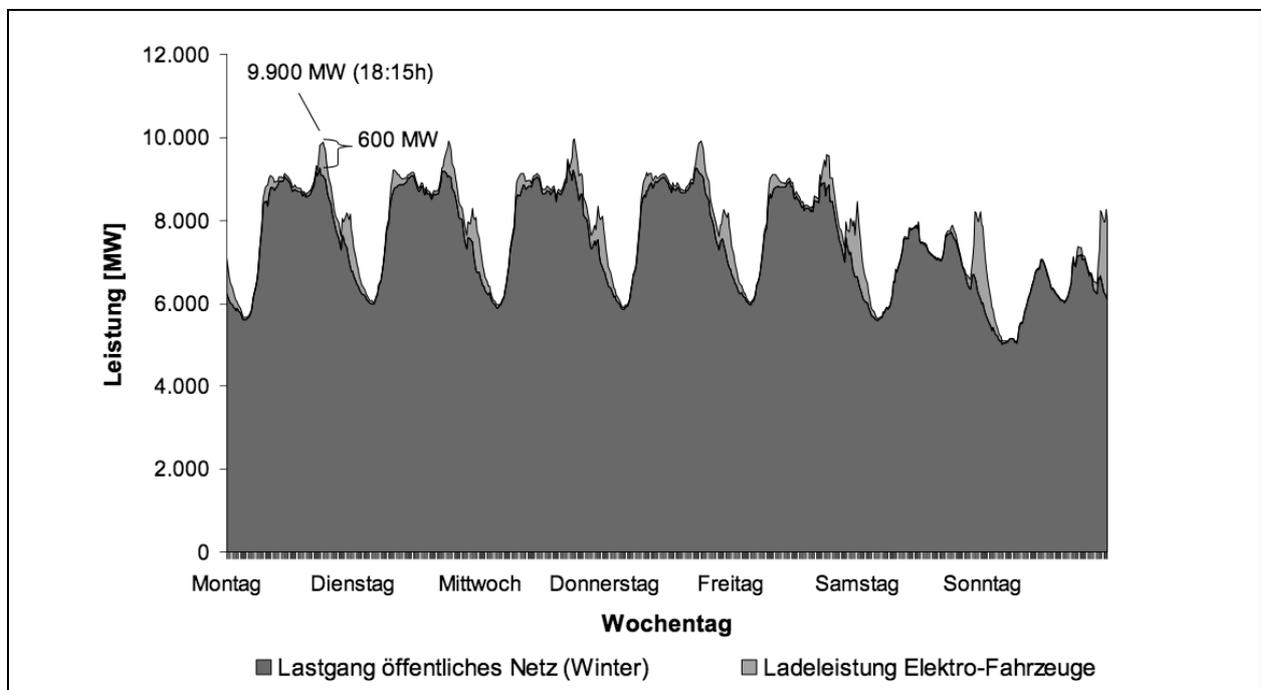


Abbildung 6: Gesamtnetzlast einer Winterwoche – 1 Million Elektrofahrzeuge ungesteuert⁵⁵

⁵³ vgl. BMVIT (2010), S.64

⁵⁴ vgl. Stigler et al. (2010), S.106; vgl. Beermann et al. (2010), S.97ff.

⁵⁵ Beermann et al. (2010), S.98

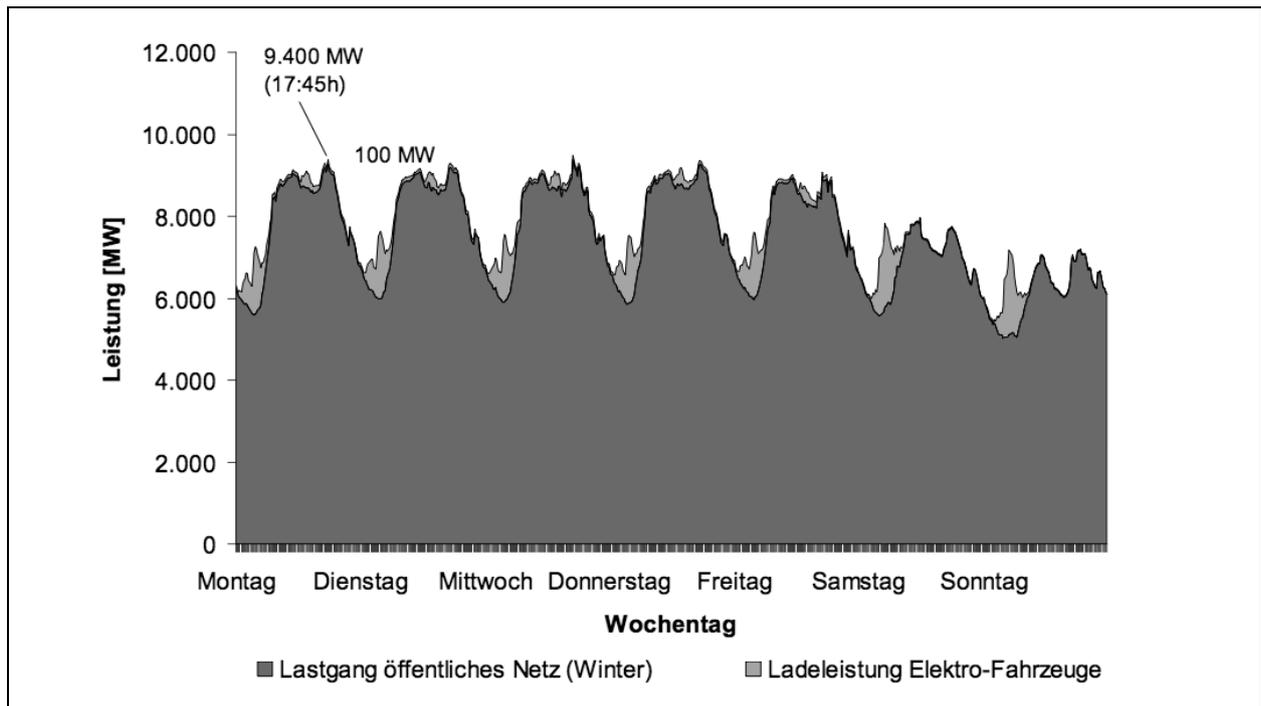


Abbildung 7: Gesamtnetzlast einer Winterwoche – 1 Million Elektrofahrzeuge flexibel gesteuert ⁵⁶

Ein intelligentes Lastmanagement setzt eine funktionierende Kommunikation von Elektrofahrzeug über die Ladestation mit dem Netz voraus.⁵⁷ Da dieser Sachverhalt sowohl auf Energieversorger, Netzbetreiber, Ladestationsbetreiber als auch auf den Endkunden Auswirkungen hat, wird in Kapitel 4.6 noch genauer auf die Kommunikation und die Möglichkeiten eines Lastmanagements eingegangen.

⁵⁶ Beermann et al. (2010), S.100

⁵⁷ vgl. Hardt (2012), S.213; vgl. IEC, www.iec.ch, Zugriffsdatum 19.02.2013

3 Einführung in das Innovationsmanagement

*„Innovation, that is the process of finding economic application for the inventions.“*⁵⁸

Diese Definition des Innovationsbegriffs, die der Ökonom und Politiker Schumpeter aufgestellt hat, zeigt deutlich, dass zwischen Innovation und Invention unterschieden werden muss. Invention, abgeleitet aus dem lateinischen Wort inventio – Erfindung, ist demnach die Erfindung an sich.⁵⁹ Innovation, von lateinisch innovatio – Erneuerung, schließt hingegen auch als wesentlichen Punkt die ökonomische Verwertung mit ein.⁶⁰ Dieses Kapitel gibt eine Einführung in das Innovationsmanagement und zeigt, wie sich die Elektromobilität darin einordnet.

3.1 Das Innovationsmanagement

In den Wirtschaftswissenschaften gibt es viele Versuche den Begriff Innovation zu definieren. Unter Innovation im Allgemeinen versteht man Änderungsprozesse, die eine Unternehmung zum ersten Mal durchführt. Die Neuartigkeit ist dabei ein wesentliches Schlagwort.⁶¹

Innovationsmanagement umfasst die Durchsetzung gefällter Entscheidungen durch eine Führungskraft in Bezug auf diese Veränderungsprozesse⁶², es ist demnach die dispositive Gestaltung von Innovationsprozessen. Innovationsmanagement ist abzugrenzen von Forschungs- und Entwicklungsaufgaben, welche zwar unstrittig Innovationsprozesse sind, aber einen Umkehrschluss nicht zulassen. Während sich F&E-Aufgaben leichter institutionalisieren lassen und auch in begrenztem Maße plan- und wiederholbar sind, muss das Innovationsmanagement auch einmalige und unwiederholbare Prozesse meistern, egal ob technischer oder administrativer Art. Die Entscheidungsträger in Unternehmungen müssen festlegen, welche Neuerungen die Bezeichnung Innovation verdienen, wer entscheidet ob ein Problem der Routineaufgabe entzogen wird und wie Innovationen zu managen sind. Ob es sich wirklich um Innovationen handelt wird erst im Nachhinein klar. Innovationsmanagement

⁵⁸ Schumpeter (1942) zitiert in Roy (1969), S.46

⁵⁹ vgl. Schumpeter (1939), S.84f.

⁶⁰ ebenso

⁶¹ vgl. Hauschildt/Salomo (2011), S.3ff.

⁶² vgl. Schumpeter (1912), S.177f.

setzt ein Innovationsbewusstsein voraus. Die Merkmale einer Innovation sind in Abbildung 8 dargestellt.⁶³

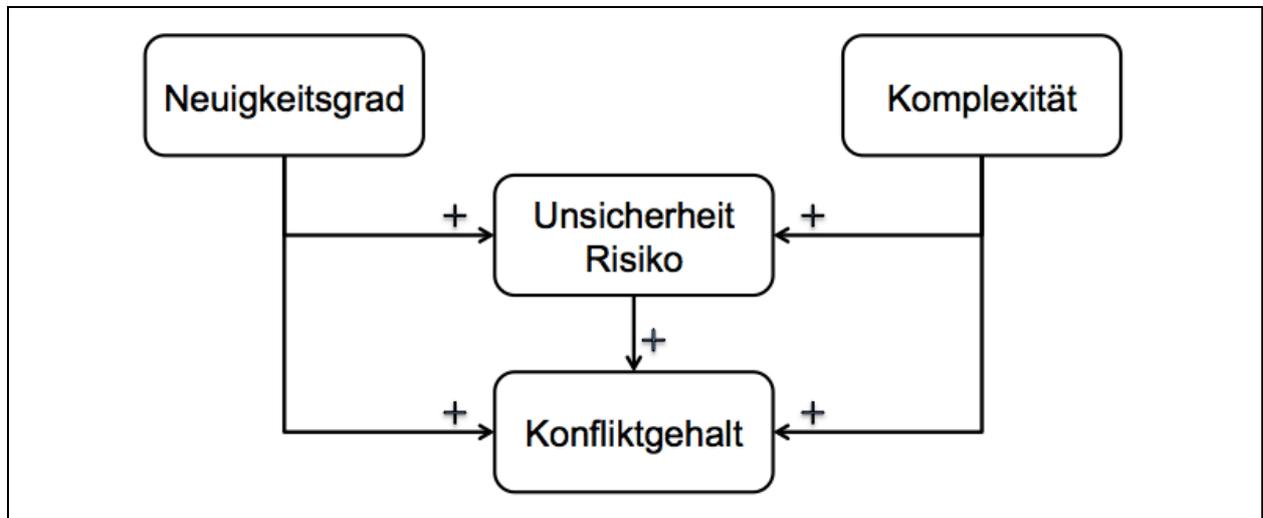


Abbildung 8: Die typischen Merkmale einer Innovation⁶⁴

Innovationen lassen sich in verschiedene Kategorien gliedern, wobei in der Literatur dafür unterschiedliche Ansätze verfolgt werden.⁶⁵ Für diese Arbeit ist der Ansatz des „integrierten Innovationsmanagements“ nach Zahn/Weidler zweckmäßig, da sich hierbei sofort erkennen lässt, dass sich Innovationen nicht nur auf Produkte beschränken.⁶⁶

- Technische Innovationen: Produkte, Prozesse, technisches Wissen
- Organisatorische Innovationen: Strukturen, Kulturen, Systeme, Management
- Geschäftsbezogene Innovationen: Geschäftsmodell, Branchen, Märkte

Die Elektromobilität umfasst alle dieser drei Dimensionen. Im Kapitel 3.3 wird erörtert um welchen speziellen Fall der Innovation es sich bei der Elektromobilität handelt.

Ein Innovationsmanagement ist die dispositive Gestaltung von Innovationsprozessen.⁶⁷ Sie umfassen drei Phasen: die Ideengenerierung, die Ideenakzeptierung und die Ideenrealisierung.⁶⁸ Abbildung 9 zeigt diese Phasen eines betrieblichen Innovationsprozesses.

⁶³ vgl. Hauschildt/Salomo (2011), S.22f. und S.29f.

⁶⁴ in Anlehnung an Thom (1980), S.31

⁶⁵ vgl. Trott (2002), S.14; vgl. Thom (1980), S.32ff.

⁶⁶ vgl. Zahn/Weidler (1995), S.359ff.

⁶⁷ vgl. Hauschildt/Salomo (2011), S.29

⁶⁸ vgl. Thom (1980), S.53

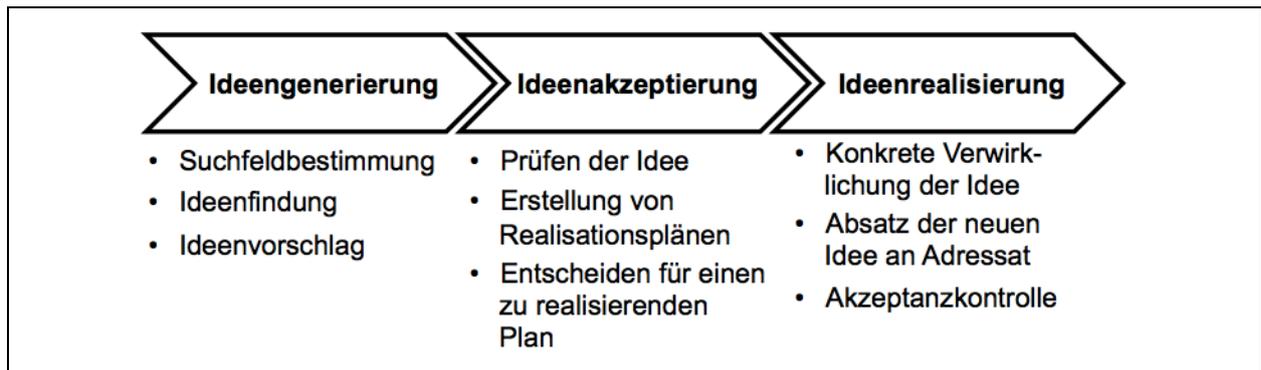


Abbildung 9: Phasenmodell für betriebliche Innovationsprozesse⁶⁹

Die Ideen, die zu Innovationen bzw. neuen Produkten führen, stammen nur zu einem kleinen Prozentsatz aus der eigenen Unternehmung. Der Kunde ist mit ca. 30% aller Ideen die beste Innovationsquelle. Werden Innovationen durch einen unbefriedigten Zustand des Marktes ausgelöst so spricht man von „Demand Pull“. Werden Innovationen auf Basis neuer technischer oder wissenschaftlicher Erkenntnis angestoßen spricht man von „Technology Push“.⁷⁰

Innerhalb von Unternehmungen stoßen Innovationen meist auf Widerstand unterschiedlicher Art.⁷¹ Hauschildt und Salomo gliedern diese Widerstände in drei Kategorien:⁷²

- Barriere des Nicht-Wissens
- Barriere des Nicht-Wollens
- Administrative und organisatorische Widerstände

In der Literatur gibt es unzählige Rollen im Innovationsmanagement, die teils übereinstimmen und sich teils widersprechen.⁷³ Witte verwendete erstmals den Begriff „Promotor“. Die Aufgabe des Fachpromotors ist es die Barriere des Nicht-Wissens zu überwinden. Der Machtpromotor soll die Barriere des Nicht-Wollens bewältigen.⁷⁴ Hauschildt und Chakrabarti erweiterten dieses Gespann um einen Prozesspromotor, der die Barriere des Nicht-Dürfens, also administrative und organisatorische Widerstände, überwinden soll.⁷⁵

⁶⁹ in Anlehnung an Thom (1980), S.53

⁷⁰ vgl. Trott (2002), S.17f.

⁷¹ vgl. Schumpeter (1912), S.108f.

⁷² vgl. Hauschildt/Salomo (2011), S.107ff.

⁷³ vgl. Hauschildt/Chakrabarti (1988), S.378

⁷⁴ vgl. Witte (1973), S.14f.

⁷⁵ vgl. Hauschildt/Chakrabarti (1988), S.384ff.

3.2 Die Systeminnovation

Um vom klassischen Begriff der Innovation auf Systeminnovation überzuleiten müssen zwei wesentliche Merkmale der traditionellen Innovationsbetrachtung überdacht werden. Waren bisher Innovationen vorzugsweise als ein Problem industrieller Unternehmungen und als innerbetriebliches Entscheidungs- und Durchsetzungsproblem angesehen worden, so spielen sich Innovationen in der modernen Denkweise in einem Netzwerk vielfältiger Kooperationspartner ab. Innovationen sind nicht mehr industriellen Unternehmungen vorbehalten sondern umfassen sämtliche Branchen. Diese Sichtweise wird als Postindustrielle Systeminnovation verstanden. Ihr Erfolg ist in der dauerhaften Nutzung begründet.⁷⁶

Laut Grün, Hauschildt und Jonasch ist von Systeminnovation die Rede, „wenn aus den

- innovationsspezifischen Teilleistungen,
- von rechtlich und wirtschaftlich unabhängigen Innovatoren (Enabler),
- in einem inter-organisationalen Arrangement (Governance),
- eine neuartige Zweck-Mittel-Kombination entsteht,
- die bei den Nutzern (Usern) zu einer nachhaltigen Änderung ihres Verhaltens führt.“⁷⁷

Wie bereits erwähnt liegt der Unterschied zur klassischen Innovation bei den Initiatoren (Enabler) und den Nutzern (User). Eine große Anzahl von Enablern steht dabei in Interaktion. Die Systeminnovation führt bei den Usern zu einer nachhaltigen und weit verbreiteten Änderung des Nutzerverhaltens, d.h. es kommt zu einem „Game Changing“. Als Beispiel seien Transportcontainer, LKW-Maut und Satellitennavigation erwähnt.⁷⁸

Als Enabler werden die Initiatoren, Entwickler und Betreiber der Systeminnovation verstanden, welche die Verwendung der Systeminnovation ermöglichen. Enabler treten als eine Vielzahl von Institutionen auf, die sich durch Größe, Branchenzugehörigkeit, Trägerschaft und Interessen unterscheiden. Da die Enabler bewusst in einem Netzwerk, der Community, agieren ist auch von „Multi-Organization Innovation“ die Rede. In der klassischen Innovationsbetrachtung wird oft von „Innovationskooperation“ gesprochen, welche jedoch im Normalfall die vertikale Kooperation der Wertschöpfungskette, also die Kooperation zwischen Lieferanten und Kunden, versteht. Die Systeminnovation führt zu komplexen organisatorischen Beziehungen zwischen

⁷⁶ vgl. Hauschildt/Salomo (2011), S.10f.

⁷⁷ Grün/Hauschildt/Jonasch (2008), S.178

⁷⁸ vgl. Grün/Hauschildt/Jonasch (2008), S.178

den Enablern und stellt daher erheblich höhere Anforderungen in das Innovationsmanagement. Auch das Konfliktpotential zwischen den Enablern ist erheblich größer. Als Enabler können auch Behörden und Verwaltungen agieren.⁷⁹ Das Zusammenwirken der Enablern in diesem Netzwerk wird in Abbildung 10 dargestellt.

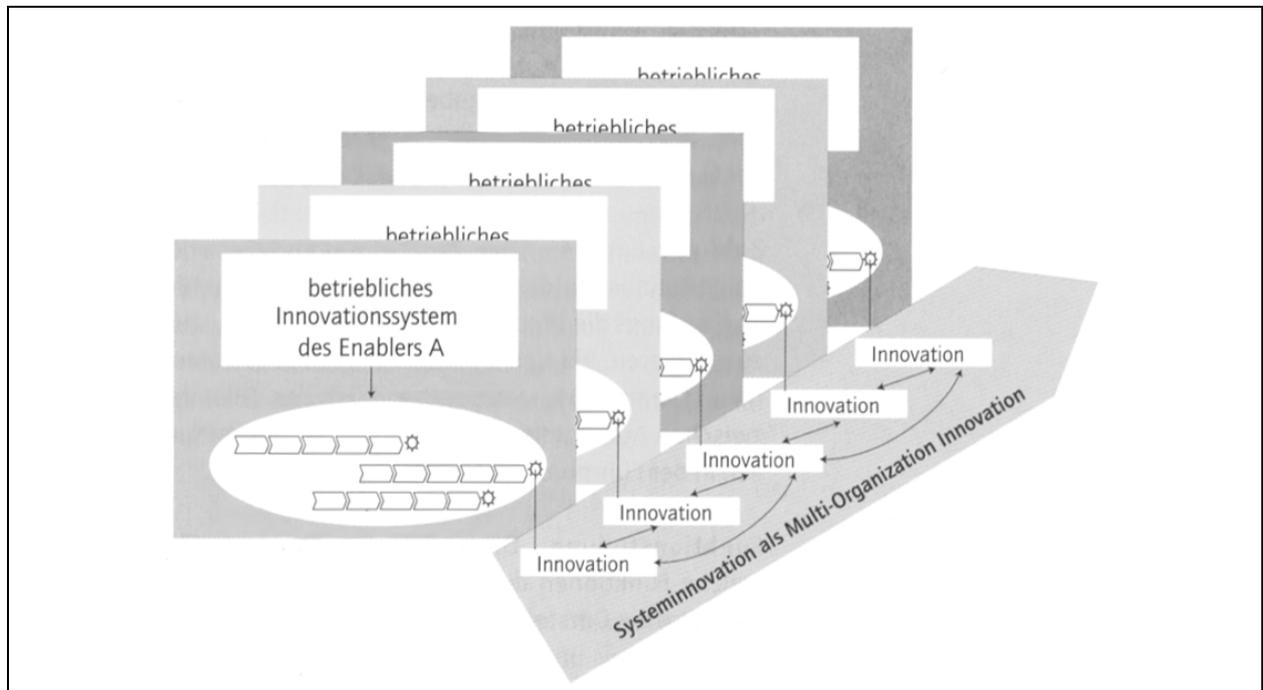


Abbildung 10: Zusammenwirken der Enabler bei einer Systeminnovation⁸⁰

Als User werden die Nutzer der Innovation verstanden, welche ebenso in einer Community agieren wie die Enabler. Die Akzeptanz einer Systeminnovation durch die User-Community führt zu einer Adoption und Diffusion eben dieser. Systeminnovationen führen zu einem anderen Verhalten bzw. einem Paradigmenwechsel der Nutzer. Der Anspruch der User-Community an die Enabler ist dadurch wesentlich höher als bei klassischen Innovationen. Dies gilt vor allem bei verordneten Systeminnovationen wie z.B. der e-card⁸¹. Systeminnovationen können auch user-getrieben sein. Dabei fallen die Rollen der Enabler und User teilweise zusammen.⁸²

Es gibt auch dynamische Aspekte, welche die Systeminnovation von der klassischen Innovation unterscheiden. So ist der Lebenszyklus einer Systeminnovation aufgrund der komplexen Interaktionen der Systempartner und auch eines oftmaligen Mitwirkens des Staates deutlich länger. Da die Entwicklungen von vielen verschiedenen

⁷⁹ vgl. Grün/Hauschildt/Jonasch (2008), S.178f.

⁸⁰ Salomo (2007) zitiert in Grün/Hauschildt/Jonasch (2008), S.179

⁸¹ So wird die Sozialversicherungskarte in Österreich genannt.

⁸² vgl. Pleschak/Sabisch (1996), S.6; vgl. Grün/Hauschildt/Jonasch (2008), S.179

Systempartnern durchgeführt werden, ergibt sich ein hoher Anspruch an das Zeitmanagement. Die Entwicklungen müssen nicht nur gleichzeitig, sondern auch rechtzeitig erfolgen um nicht auf ein geändertes technisches oder ökonomisches Umfeld zu stoßen. Durch den langen Lebenszyklus von Systeminnovationen ist es auch möglich, dass sich die Ur-Idee der Innovation im Laufe der Zeit verändert. So dient zum Beispiel der Container heutzutage nicht mehr ausschließlich Transportzwecken sondern wird auch als Element im Wohn- und Bürobau verwendet.⁸³

3.3 Systeminnovation: Elektromobilität

Die Elektromobilität ist ein gutes Beispiel einer Systeminnovation. Wie in Kapitel 2.1 bereits erwähnt, ist die Invention des Elektrofahrzeuges schon vor mehr als 100 Jahren erfolgt, die Innovation spiegelt jedoch auch die derzeitigen Anstrengungen, die in der Elektromobilität unternommen werden, wider.⁸⁴

Anhand der Definition der Systeminnovation lässt sich die Elektromobilität mittels folgender Merkmale als solche einstufen:⁸⁵

- Innovationsspezifische Teileleistungen

Die Innovationen in der Elektromobilität erstrecken sich über viele Bereiche. Aus technischer Sicht beispielsweise innovative Konzepte wie Range-Extender, intelligente Ladestationen, neue Batterien u.v.m..⁸⁶ Auch neue Kommunikationsformen werden Teil des Individualverkehrs.⁸⁷ So ermöglicht erst eine intelligente Ladesteuerung eine lokal hohe Dichte an Ladestationen, da sonst das Stromnetz punktuell überlastet werden könnte. Dazu sind wiederum Innovationen aus der Telekommunikationsbranche nötig.⁸⁸ Es fließen neue Geschäftsmodelle ein, wie z.B. Car-Sharing oder Batterie-Leasing.⁸⁹

- Rechtlich und wirtschaftlich unabhängige Innovatoren (Enabler)

Automobilhersteller haben nicht das Know-how und die Möglichkeiten alleine als Enabler zu agieren. Es kommt zum Auftreten vieler Unternehmungen die zur Elektromobilität beitragen. So sind neben dem Fahrzeug an sich auch noch viele andere Komponenten wie Batterie, Ladestationen, Lastmanagement,

⁸³ vgl. Grün/Hauschildt/Jonasch (2008), S.181f.

⁸⁴ vgl. Plankenauer (2012), S.2

⁸⁵ vgl. Grün/Hauschildt/Jonasch (2008), S.178

⁸⁶ vgl. Wettengel (1999), S.28ff.

⁸⁷ vgl. Klima- und Energiefonds (2009), S.4f.; vgl. Beermann et al. (2010), S.97ff.

⁸⁸ ebenda

⁸⁹ vgl. Roland Berger (2009), S.20f.

Kommunikationsformen, etc. erforderlich. Neben der Automobilindustrie treten also auch Batterie- und Ladezubehörhersteller, Energieversorger, Netzbetreiber, IT- und Telekommunikationsunternehmen etc. als Akteure auf. Auch der Staat ist Enabler, indem er Innovationen forciert bzw. sie durch Gesetzgebung beeinflusst.⁹⁰

- Inter-organisationales Arrangement (Governance)

Die Enabler treten gemeinsam in einem Netzwerk auf, wie zum Beispiel der österreichischen Initiative e-connected, der deutschen Nationalen Plattform für Elektromobilität (NPE) oder in Modellregionen.⁹¹

- Neuartige Zweck-Mittel-Kombination

Elektromotoren, Ladegeräte und Elektroauto per se stellen keine neue Erfindung dar.⁹² Für die Elektromobilität werden aber viele Innovationen, die auf anderen Gebieten gemacht wurden, adaptiert und neu kombiniert. Man denke an Lithium-Ionen Akkus, die zuerst in Videokameras eingesetzt wurden oder Kommunikationsprotokolle für Heimcomputer, die nun zum Lastmanagement von Ladestationen dienen.⁹³

- Änderung des Verhaltens der Nutzer (User)

Die Änderung des Verhaltens ist vor allem durch die kürzeren Reichweiten und andere Tankgewohnheiten geprägt.⁹⁴ Es wird aber auch erwartet, dass sich das Mobilitätsverhalten ändert.⁹⁵ Zum Beispiel werden neue Miet- und Car-Sharing-Konzepte forciert, die in ihren Grundzügen den Fahrradverleihen in Städten ähneln.⁹⁶

Die Dimensionen und Ausprägungen von Systeminnovationen lassen sich in einem morphologischen Kasten darstellen. Es werden beispielhaft die drei Systeminnovationen Transportcontainer, LKW-Maut und Elektromobilität dargestellt, wie in Tabelle 4 ersichtlich ist. Dadurch lässt sich erklären, wie die Enabler und Nutzer untereinander vernetzt sind und wer die treibende Kraft für die Innovation ist. Stakeholdern hilft dieser Framework ihre Position und Möglichkeiten bei einer Systeminnovation zu definieren.

⁹⁰ vgl. Roland Berger (2009), S.5ff.; vgl. Roland Berger (2010), S.20.; vgl. e-connected (2010), S.3ff.

⁹¹ vgl. e-connected (2010), S.3; vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2011), S.5

⁹² vgl. Plankenauer (2012), S.2

⁹³ vgl. Jossen/Weydanz (2006), S.101ff.; vgl. Adegbite et al. (2011), S.66ff.

⁹⁴ vgl. Wietschel et al. (2012), S.24f.

⁹⁵ ebenda

⁹⁶ vgl. e-connected (2010), S.18f.

Die LKW-Maut ist besonders stark durch das Mitwirken des Staates geprägt, was auch erklärt, dass es dabei sowohl nur wenige Enabler, die darüberhinaus in einem geschlossenem Netzwerk agieren, als auch eine geschlossene User-Community (UC) gibt. Der Staat ist dabei ganz klar der dominante Partner. Bei der Systeminnovation Elektromobilität gibt es eine Vielzahl von Enabler wie Automobil-, Ladestation- und Batteriehersteller, Zulieferer, Energieversorger, Telekommunikationsunternehmen etc.. Automobilhersteller, aber auch der Staat, sind dabei die dominanten Partner, welche die Entwicklungsrichtung vorgeben. Nur der Container unterliegt keinerlei Regulierung durch den Staat und stellt damit die einzige marktliche Koordination der Systeminnovation dar. Der Container hat sich zum Standard im Transportwesen entwickelt. Dementsprechend ist auch die Zahl der Nutzer sehr groß. Durch staatliche Regulation muss jeder LKW über ein LKW-Maut-System verfügen, es nutzen demzufolge alle User diese Systeminnovation. Bei der Elektromobilität gibt es momentan zwar nur sehr wenige Nutzer, da jedoch alle Fahrzeughalter Zielgruppe der Elektromobilität sind und das Marktpotential sehr hoch ist, wird die Zahl der Nutzer als „viele“ bewertet.⁹⁷

⁹⁷ vgl. Grün/Hauschildt/Jonasch (2008), S.180f.; vgl. Ergebnisse der Literaturrecherche in Kapitel 2 und 4

Enabler	Zahl der Enabler	wenige €	mehrere		viele ■ 🚗	
	Netzwerk-Exklusivität	geschlossen €		offen ■ 🚗		
	Funktionsakkumulation*	i, e, b	i, (e+b) €	(i+e), b ■ 🚗	e, (i+b)	(i+e+b)
	Art der Verknüpfung	nur informativ	informativ + güterlich ■ 🚗		informativ + güterlich/finanziell €	
Governance	Machtverteilung	1 dominanter Partner €	mehrere dominante Partner 🚗		gleich mächtige Partner ■	
	Art der Koordination	regulativ	hybrid € 🚗		marktlich ■	
User	Zahl der Nutzer	einer/wenige	mehrere		viele/alle 🚗 ■ €	
	Netzwerk-Exklusivität (UC)	geschlossen €		offen ■ 🚗		
<p>* [i]... Initiieren, [e]... Entwickeln, [b]... Betreiben: [i, e, b]: Jede Funktion wird von unterschiedlichen Partnern exklusiv wahrgenommen; [i, (e+b)]: Die Initiative geht von einem Partner aus, die anderen übernehmen Entwicklung und Betrieb; [(i+e), b]: Innovationsprozesse und laufender Betrieb sind getrennt; [(e, (i+b)]: Die Entwicklung wird bei einem Partner konzentriert; [i+e+b]: Alle Partner übernehmen gemeinschaftlich alle Funktionen;</p>						

Tabelle 4: Merkmale Systeminnovation von Container (■), LKW-Maut (€) und Elektroauto (🚗)⁹⁸

⁹⁸ in Anlehnung an Grün/Hauschildt/Jonasch (2008), S.181; vgl. Ergebnisse der Literaturrecherche in Kapitel 2 und 4

4 Ladesysteme

Dieses Kapitel behandelt Ladesysteme, die in der Elektromobilität eingesetzt werden. Ausgehend von der Ladestation und dem Energiespeicher der Elektrofahrzeuge, der Batterie, werden technische Möglichkeiten aufgezeigt, wie eine Ladung durchgeführt werden kann und durch welche Kriterien eine Unterscheidung vorgenommen wird.

Dabei werden technische Standards dargelegt, der normative Hintergrund beleuchtet und vorhandene Ausführungen in Elektrofahrzeugen und Ladestationen zusammengefasst. Weiters werden auch die zu erwarteten Trends und die technische Entwicklung erfasst.

4.1 Die Ladestation

Für Ladestationen gibt es viele Ausdrücke. Stromtankstelle, Elektro-Tankstelle, E-Station, Ladesäule, E-Ladestation, Stromstelle, Elektro-Zapfsäule, Ladepunkt, Ladestelle etc. und eine Vielzahl von Markennamen die daran angelehnt sind.⁹⁹

Um die Vielfalt der Begriffe einzugrenzen, werden die Gebräuchlichsten kurz erklärt. Der umfassendste Begriff ist Ladestation, der auch in dieser Diplomarbeit verwendet wird und alle Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeuge beschreibt. Mit Attributen wird der Ladeort oder die Ladeleistung bestimmt, wie Heimpladestation oder Schnellladestation. Unter Stromtankstelle ist vielmehr eine Ladestation im öffentlichen oder halböffentlichen Bereich zu verstehen, auch wenn der Begriff im Grunde genommen alle Ladestationen umfasst. Wird von Ladesäulen oder Ladeboxen gesprochen, wird dabei auch die Ausführung definiert. Ladesäulen entsprechen meist öffentlichen oder halböffentlichen Ladestationen, welche am Boden montiert und optisch Zapfsäulen von Tankstellen oder Parkscheinautomaten nachgeahmt sind. Ladeboxen werden hingegen an der Wand oder auf einem Standfuß installiert und finden bevorzugt im privaten Bereich oder in Parkgaragen Anwendung. Abbildung 11 zeigt beispielhaft eine Ladebox mit integriertem Kabel und eine Ladesäule.¹⁰⁰

⁹⁹ vgl. Keba (2012), S.2ff.; vgl. Bernegger/Mesecke (2012), S.193f.; vgl. Elsta Mosdorfer (2012)

¹⁰⁰ vgl. e-connected (2010), S.50

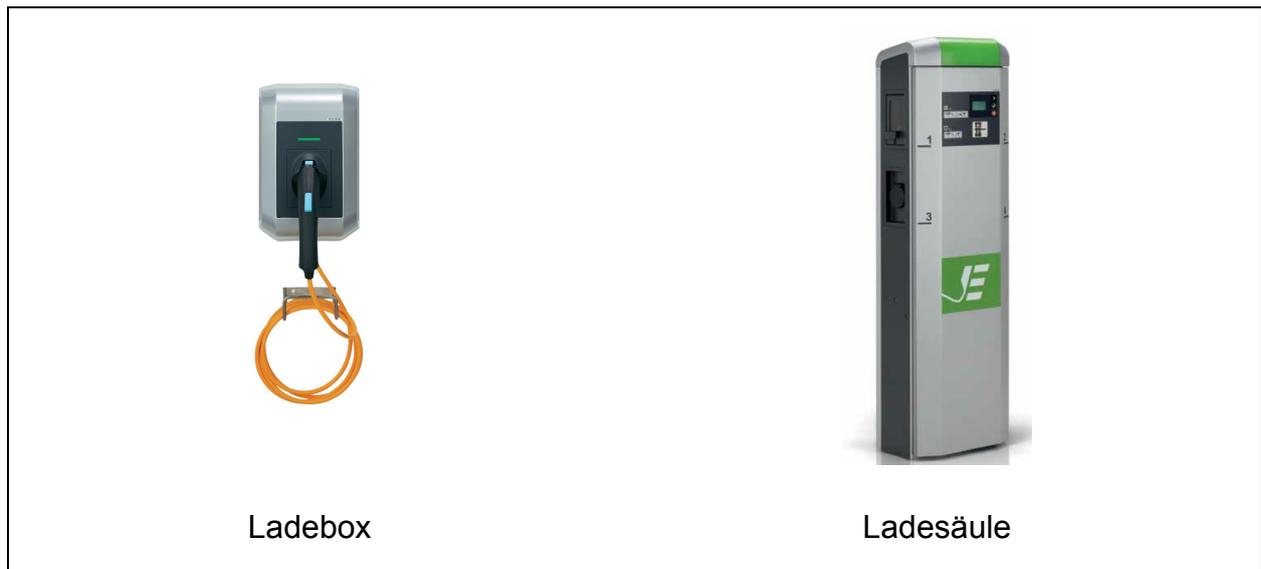


Abbildung 11: Ladestationen in unterschiedlicher Ausführung¹⁰¹

Wichtiger als eine Unterscheidung zwischen diesen genannten Bezeichnungen ist die Abgrenzung zu dem Begriff Ladepunkt. Ein Ladepunkt ist gleichzusetzen mit einer Anschlussmöglichkeit, sei es per Steckdose oder per fixem Ladekabel. Eine Ladestation kann daher über mehrere Ladepunkte verfügen.¹⁰²

Ladestationen lassen sich nach folgenden Kriterien unterscheiden:¹⁰³

- Anschlussleistung und dadurch bedingter Ladedauer
- Ladeort
- Technische Lösungen wie konduktives oder induktives Laden sowie Batterietausch
- Verwendete Stecker
- Intelligenz der Ladestation im Hinblick auf Kommunikation, Abrechnung etc.

Das Gliederung des weitere Kapitels ist nach diesen Unterscheidungsmerkmalen aufgebaut.

4.2 Die Batterie

Die Reichweite und damit auch die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen ist maßgeblich von der Größe des Energiespeichers abhängig. In dieser Arbeit werden nur Fahrzeuge, die mit einem elektrisch wiederaufladbaren Speicher, dem sogenannten Akkumulator,

¹⁰¹ in Anlehnung an Keba (2012), S.10f.

¹⁰² Interview mit Gernot Freisinger, Projektierung E-Mobility, Elsta Mosdorfer GmbH am 26.11.2012

¹⁰³ vgl. Stigler et al. (2010), S.32

betrieben werden, behandelt. Eine alternative Technologie sind Brennstoffzellen.¹⁰⁴ Der Akkumulator ist die Schnittstelle des Elektrofahrzeuges zur Ladestation und mit Kosten von bis zu 1.500 €/kWh die kritische Komponente.¹⁰⁵ Die Nennkapazitäten der Akkus von BEVs liegen bei in etwa 20 - 30 kWh, bei PHEVs und REEVs liegen sie zum Vergleich bei ca. 5 - 15 kWh¹⁰⁶. Zur besseren Verständlichkeit werden die Begriffe „Batterie“ und „Akkumulator“ in der Praxis synonym verwendet.

Die Batterie ist momentan der einzige Energiespeicher, der in Serienelektrofahrzeugen zum Einsatz kommt. Eine weitere Möglichkeit ist die Brennstoffzelle, welche einen Brennstoff, bei Fahrzeugen meist Wasserstoff, in elektrische Energie umwandelt. Es wird zurzeit intensiv an Brennstoffzellen geforscht, da sie viele Automobilhersteller als wichtige Zukunftstechnologie betrachten.¹⁰⁷

Erste Serienfahrzeuge mit Brennstoffzelle werden für 2015 erwartet.¹⁰⁸ In Österreich wurde in Wien im Oktober 2012 die erste öffentliche Wasserstofftankstelle eröffnet.¹⁰⁹ Welche der beiden Möglichkeiten eines Energiespeichers für Elektrofahrzeuge – Batterie oder Brennstoffzelle – sich durchsetzen wird, wird kontrovers diskutiert.¹¹⁰ Es ist auch durchaus denkbar, dass sich beide Technologien ergänzen werden.¹¹¹

Moderne Elektroautos verwenden vorwiegend Lithium-Ionen (Li-Ionen) Batterien, deshalb liegt der Fokus der weiteren Betrachtung auf diesem Typ. Hinsichtlich der untersuchten Ladestationen sind Ladedauer und maximale Speicherkapazität von Bedeutung, die sich je nach Batterietyp unterscheiden. Neben den Li-Ionen Batterien sind Nickel-Metallhydrid (NiMH) und Natrium-Nickelchlorid (ZEBRA) Batterien in Gebrauch. Als Hoffnungsträger neben der Lithium-Ionen Batterie gilt die Lithium-Titan Batterie und generell alle, die auf Lithium basieren.¹¹²

Gegenüber NiMH- und ZEBRA-Batterien bieten Li-Ionen Batterien hohe Energiedichten, sowohl auf das Volumen als auch auf das Gewicht bezogen. Außerdem weisen sie eine hohe Zellspannung und keinen Memory Effekt auf. Die Nachteile der Li-Ionen Batterien sind neben hohen Kosten, Gefahr von Beschädigung der Zellen bei Überladung, hohe Streuung bei der Zyklenfestigkeit und

¹⁰⁴ vgl. Lebensministerium (2011), S.28

¹⁰⁵ vgl. Stigler et al. (2010), S.1

¹⁰⁶ vgl. Smart, www.smart.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Renault, www.renault.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Opel, www.opel.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Toyota, www.toyota.de, Zugriffsdatum 20.11.2012

¹⁰⁷ vgl. Lebensministerium (2011), S.28

¹⁰⁸ vgl. Financial Times Deutschland, www.ftd.de, Zugriffsdatum 12.11.2012

¹⁰⁹ vgl. OMV, www.omv.at, Zugriffsdatum 12.11.2012

¹¹⁰ vgl. PwC/Fraunhofer (2010), S.37

¹¹¹ ebenda

¹¹² vgl. Stigler et al. (2010), S.27ff.

Sicherheitsbedenken bei Unfällen. Das verwendete Lithium ist sehr reaktiv und kann bei internem Kurzschluss oder Unfällen in Brand geraten.¹¹³

Laut einer aktuellen Studie sind die Kosten von Li-Ionen Batterien durch starken Preisdruck im Sinken. Durch aggressive Preispolitik mancher Hersteller sind die Batterien momentan schon um 700 US-\$/kWh erhältlich. Bis 2020 sollen die Preise sogar schon unter 200 US-\$/kWh liegen. Bei dem aktuellen Treibstoffpreisen zeigt der Total Cost of Ownership Vergleich zwischen Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren bei einem Batteriepreis von unter 220 US-\$/kWh schon Vorteile für das Elektrofahrzeug. Bis 2025 soll der Preis der Batterien um weitere 34 US-\$/kWh sinken, was letztendlich weitreichende Konsequenzen für Automobilhersteller, Mineralölindustrie und Nutzer hätte.¹¹⁴

Es ist wichtig zwischen Ladegerät und Ladestation zu unterscheiden. Ladegeräte modulieren den Eingangsstrom und die Eingangsspannung so, dass sie die geforderten Ausgangsgrößen für den jeweiligen Batterietyp bereitstellen. Li-Ionen Batterien werden mit dem IUa-Ladeverfahren, bei dem für die Hauptladung ein konstanter Strom I und für die finale Ladephase eine konstante Spannung U anliegt, geladen. Das a steht für ein Abschaltkriterium, wie beispielsweise einer definierten maximalen Ladedauer um die Batterie nicht zu schädigen. Die Ladedauer von Li-Ionen Batterien hängt vor allem von der Dauer der Hauptladephase ab. Je höher die Leistung des Ladegerätes desto kürzer die Hauptladephase. Die finale Ladephase dauert üblicherweise mehrere Stunden und benötigt keine hohen Ströme. Deshalb handelt es sich bei dem Laden an öffentlichen Ladestationen meist um das Hauptladen. Abbildung 12 zeigt dieses Schema.¹¹⁵

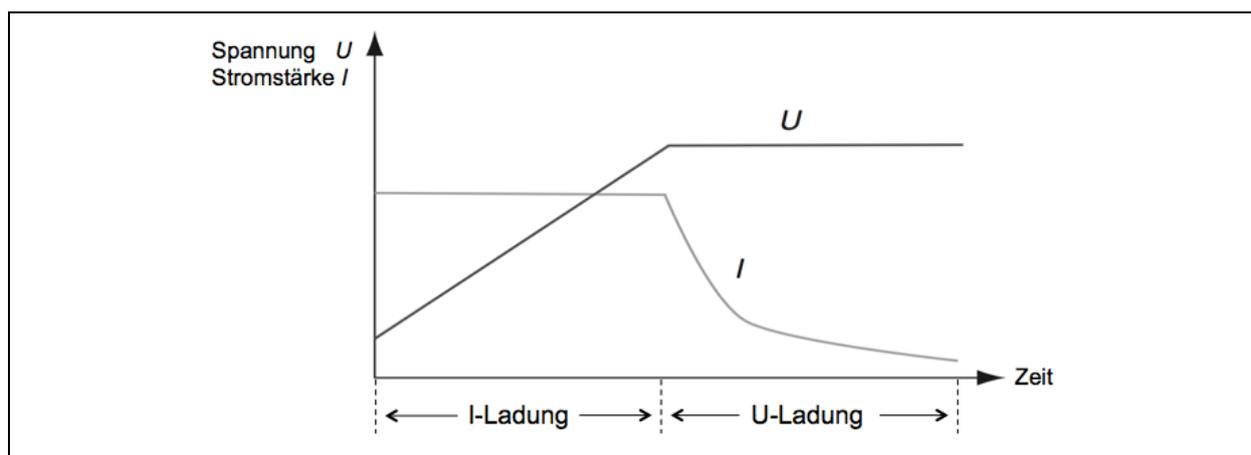


Abbildung 12: IUa-Laden¹¹⁶

¹¹³ vgl. Jossen/Weydanz (2006), S.133f.

¹¹⁴ vgl. McKinsey zitiert in VDI-Nachrichten (2012)

¹¹⁵ vgl. Hatton et al. (2009), S.3; vgl. Van den Bossche (2010), S.518; vgl. Jossen/Weydanz (2006), S.199f.

¹¹⁶ in Anlehnung an Van den Bossche (2010), S.519

Obwohl folgende Begriffe nicht genormt sind und je nach Autor auch abweichen, so wird häufig die nachfolgende Einteilung verwendet, um die Ladedauer zu beschreiben. Die Anschlussleistung der Ladestation und die Leistung des Ladegerätes sind dabei die wesentlichen Einflussfaktoren. Die Kapazität und der Typ der Batterie spielen jedoch auch eine Rolle:¹¹⁷

- **Langsamladung**, auch Normalladung genannt, dauert üblicherweise sechs bis acht Stunden und findet meist über Nacht statt. Der Netzanschluss ist einphasig mit 230 V und 16 A ausgeführt, was einer Anschlussleistung von 3,7 kW entspricht.
- **Beschleunigte Ladung** wird entweder mit einer Ladeanschlussleistung von 7,4 kW (230 V, 32 A, einphasig) oder von 11,1 kW (400 V, 16 A, dreiphasig) definiert.
- **Schnellladung** erfordert Leistungen von mehr als 10 kW, ist somit üblicherweise dreiphasig zu realisieren.

Schnellladen lässt sich nur konduktiv ausführen. Zwar lassen sich auch induktiv Ladeleistungen von 11 kW erzielen, die Auswirkungen des elektromagnetischen Feldes verhindern dabei allerdings die Zulassung.¹¹⁸

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Ladung mit Wechselstrom (AC) oder Gleichstrom (DC). Das AC-Laden erfordert eine AC/DC-Umwandlung im Fahrzeug. Aus diesem Grund wird das Ladegerät im Fahrzeug integriert, was zu niedrigeren Kosten für AC-Ladestationen führt. Beim Schnellladen ist man bestrebt, das Ladegerät in der Ladestation unterzubringen, da die Abmessungen recht groß und Anforderungen an die Kühlung hoch sind. DC-Laden wird deshalb hauptsächlich zum Schnellladen verwendet. Um die Batterie nicht nachhaltig zu schädigen, sollte die Schnellladung, egal ob mit AC oder DC, nur selten (5% der Ladezyklen) angewandt werden.¹¹⁹

Renault verkauft die Elektrofahrzeuge nur ohne Batterien, welche ergänzend vermietet wird. Für jede durchgeführte Schnellladung werden € 2 zusätzlich zur Miete berechnet.¹²⁰

Bei Lithium-Ionen Batterien verringert sich aufgrund des IUa-Ladeverfahrens der Ladestrom und somit auch die Ladeleistung, ab einem Ladezustand von etwa 80%, was dem Erreichen der maximalen Zellspannung entspricht, stark. Bis zur dieser Schwelle kann von einem linearen Zusammenhang zwischen Ladezustand der Batterie

¹¹⁷ vgl. Van den Bossche (2010), S.520ff; vgl. Stiegler et al (2010), S.30ff.; vgl. e-connected (2009), S.35

¹¹⁸ vgl. Schraven/Kley/Wietschel (2010), S.6; vgl. Kley (2012), S.10f.

¹¹⁹ vgl. Mathoy (2008), S.4 ; vgl. Hatton et al. (2009), S.3f.; vgl. Stiegler et al. (2010), S.30ff.

¹²⁰ vgl. Renault, www.renault.at, Zugriffsdatum 20.11.2012

und der Ladezeit ausgegangen werden. Der Ladezustand wird in der Literatur oft mit SOC (englisch für state of charge) abgekürzt. Abbildung 13 zeigt diesen Zusammenhang für verschiedene Anschlussleistungen für eine Li-Ionen Batterie mit einer Kapazität von 25 kWh und einem Übertragungswirkungsgrad von 85%.¹²¹

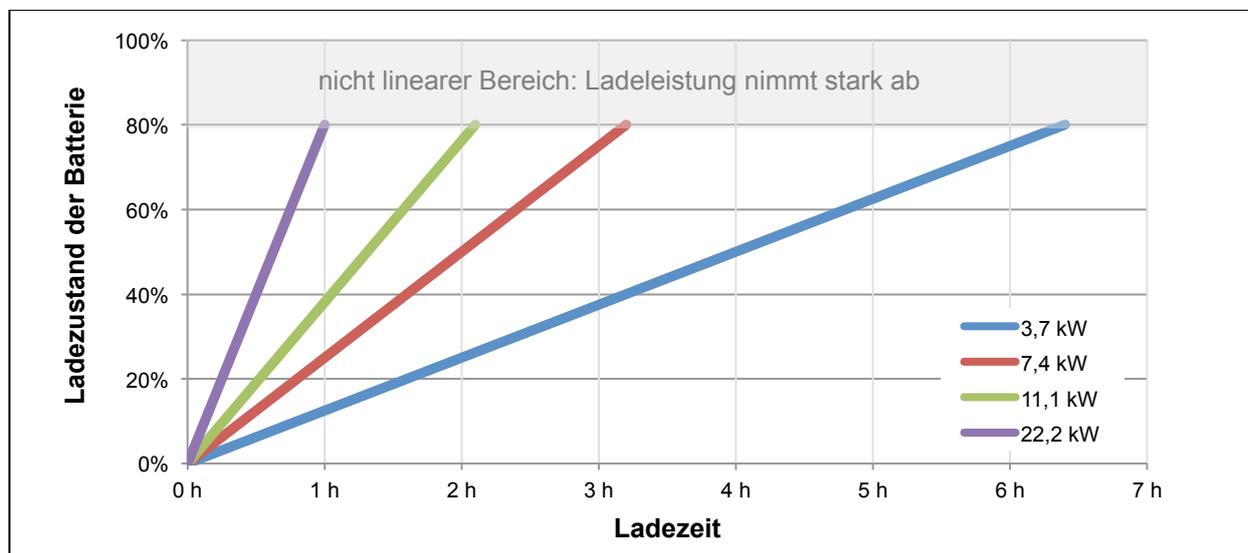


Abbildung 13: Ladezustand einer Li-Ionen Batterie in Abhängigkeit der Anschlussleistung (Übertragungswirkungsgrad 85%, Batteriekapazität 25 kWh)¹²²

Aus diesem Diagramm lässt sich schnell die Ladedauer für einen erwünschten Ladezustand, bei vorgegebener Kapazität, herauslesen. Für den Konsumenten ist die sogenannte Ladegeschwindigkeit interessant. Sie gibt an, wie viele Kilometer Reichweite man durch eine Stunde Ladung gewinnt. Die Einheit ist km/h-Ladung. Die Ladegeschwindigkeit ist vom Verbrauch des Fahrzeugs, dem Übertragungswirkungsgrad und der Anschlussleistung der Ladestation abhängig. Deshalb ist sie zwar für den Nutzer interessant, kann aber nicht als Unterscheidungskriterium für Ladestationen herangezogen werden.¹²³

4.3 Standards und Normen

Damit der Markterfolg von Elektroautos nicht an einer Vielzahl unterschiedlicher Stecker und Ladestationen scheitert, sollen die wesentlichen Teile, welche Elektrofahrzeuge mit dem Stromnetz verbinden, international standardisiert und genormt sein. Dazu gehören Stecker und Steckdosen, Ladestationen per se,

¹²¹ vgl. Stiegler et al. (2010), S.38; vgl. Hatton et al. (2009), S.4

¹²² in Anlehnung an Stigler et al. (2010), S.38

¹²³ vgl. Van den Bossche (2010), S.520f.

Kommunikationsprotokolle zwischen Ladestation und Elektrofahrzeug sowie Sicherheitsvorrichtungen.¹²⁴

Für die wesentlichsten Teile für das Laden von Elektrofahrzeugen sind bereits internationale Normen vorhanden.¹²⁵ Der Normungsprozess für Ladeequipment und Ladestationen ist aber noch im Gange und somit liegen viele Normen nur als Entwurf vor.¹²⁶ Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die Normungsaktivitäten für das Ladeequipment und den Fortschritt der bereits erzielt wurde.

Die Normung für Elektroautos setzt auf eine getrennte Betrachtung von Elektrotechnik und Verkehrstechnologie. Während für das Fahrzeug an sich die ISO zuständig ist, werden elektrotechnische Komponenten, einschließlich Ladezubehör, vom IEC genormt.¹²⁷ Auf nationale Gremien wird nicht weiter eingegangen. Die wichtigsten Normen, die in Tabelle 5 dargestellt sind, werden in den folgenden Unterkapiteln genauer betrachtet.

¹²⁴ vgl. Stigler et al. (2010), S.40

¹²⁵ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2011), S.31

¹²⁶ vgl. Slowak (2012), 38ff.

¹²⁷ vgl. ISO/IEC (2011), S.1f.

Ladetopologie	IEC 61851-XX	Electric vehicle conductive charging system Part 1: General requirements Part 21: Electric vehicle requirements for conductive connection to an AC/DC supply Part 22: AC electric vehicle charging station Part 23: DC electric vehicle charging station
Stecker	IEC 62196-X	Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles Part 1: General requirements Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for AC pin and contact-tube accessories Part 3: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for pin and contact-tube couplers with rated operating voltage up to 1000 V (DC), and rated current up to 400 A, and rated operating voltage up to 690 V (AC) and rated current up to 250 A, for combined AC/DC charging
Kommunikation	ISO/IEC 15118-X	Road vehicles - Vehicle to grid communication interface Part 1: General information and use-case definition Part 2: Network and application protocol requirements Part 3: Powerline-Communication Technology and Timings

Tabelle 5: Übersicht über die wichtigsten Normen¹²⁸

IEC 61851

Die Norm beschreibt die elektrische Ausrüstung von Elektrofahrzeugen und konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge.¹²⁹

- Teil 1 der Norm (IEC 61851-1:2010) beinhaltet verschiedene Anschlusskonfigurationen sowie die Basiskommunikation zwischen Ladestation und Fahrzeug. Eine Überarbeitung (ed 3.0) der Norm wird für 2014 erwartet.
- Teil 21 der Norm (IEC 61851-21:2001) legt die Anforderungen eines Elektrofahrzeuges für die konduktive Verbindung an eine AC/DC-Versorgung fest. Eine überarbeitete Version (ed 2.0) ist derzeit in Erstellung. Weiters werden für 2014 zwei Varianten erwartet: IEC 61851-21-1 beschreibt die Anforderungen an On-board Ladegeräte, IEC 61851-21-2 die Anforderungen an Off-board Ladegeräte.

¹²⁸ in Anlehnung an IEC, www.iec.ch, Zugriffsdatum 19.02.2013

¹²⁹ vgl. IEC, www.iec.ch, Zugriffsdatum 19.02.2013

- Teil 22 der Norm (IEC 61851-22:2001) beschreibt Wechselstrom-Ladestationen für Elektrofahrzeuge. Eine überarbeitete Version (ed 2.0) wird für 2014 erwartet.
- Teil 23 ist derzeit in Erarbeitung und handelt von Gleichstrom-Ladestationen für Elektrofahrzeuge. Die finale Version wird für Ende 2013 erwartet.
- Teil 24 ist derzeit in Erarbeitung und definiert das Kontroll-Kommunikations-Protokoll zwischen dem Off-board Ladegerät bei Gleichstromladestationen und dem Elektrofahrzeug. Als Publikationsdatum ist Anfang 2014 vorgesehen.

IEC 62196

Eine der wichtigsten Normen in Bezug auf Ladestationen ist die IEC 62196. Die Norm beschreibt Stecker, Steckdosen, Fahrzeugsteckvorrichtungen und Fahrzeugstecker für konduktives Laden von Elektrofahrzeugen. Die Ladestecker, die in dieser Norm beschrieben sind, werden in Kapitel 4.5 vorgestellt:¹³⁰

- Teil 1 der Norm (IEC 62196-1:2011) beinhaltet allgemeine Anforderungen für Wechselspannung und Gleichspannung. Im Jahr 2014 wird mit der ed.3 gerechnet.
- Teil 2 (IEC 62196-2:2011) beschreibt Anforderungen, Abmessungen und Kompatibilität von Steckvorrichtungen für AC-Laden. Es werden drei Typen von Ladesteckern definiert.
- Teil 3 (IEC 62196-3) ist derzeit in Bearbeitung und wird voraussichtlich 2014 veröffentlicht. Es behandelt Steckverbindungen für DC-Laden und kombiniertes AC/DC-Laden.

ISO/IEC 15118

Die Normenreihe ISO/IEC 15118 liegt als Norm-Entwurf vor. Sie behandelt die Kommunikationsschnittstelle von Straßenfahrzeugen zum Stromnetz. Sie ist daher von großer Wichtigkeit für ein Lademanagement:¹³¹

- Teil 1 der Norm (ISO/IEC 15118-1) ist derzeit in Erarbeitung. Teil 1 beinhaltet allgemeine Informationen und Anwendungsfälle.
- Teil 2 (ISO/IEC 15118-2) ist ebenfalls in Erarbeitung. Die fertige Version ist für Herbst 2013 geplant. Teil 2 behandelt die technische Protokollbeschreibung und Anforderungen an die offenen Systemverbindungen.
- Teil 3 (ISO/IEC 15118-3) liegt als „1st Committee Draft“ vor und behandelt das Übertragungsprotokoll.

¹³⁰ vgl. IEC, www.iec.ch, Zugriffsdatum 19.02.2013

¹³¹ ebenda

IEC 61980

Die Normenreihe IEC 61980 liegt als Normentwurf vor und behandelt das induktive Laden von Elektrofahrzeugen:¹³²

- Teil 1 ist eine „Approved New Work“ und definiert die allgemeinen Anforderungen.

IEC 61439

Die Normenreihe IEC 61439 beschäftigt sich mit Niederspannungsschaltgerätekombinationen:¹³³

- Teil 7 liegt als Normentwurf vor. Er beschäftigt sich u.a. mit Ladestationen für Elektrofahrzeuge. Die Fertigstellung wird für 2013 erwartet.

Abbildung 14 zeigt abschließend einen Überblick der Normungsaktivitäten für das Laden von Elektrofahrzeugen.

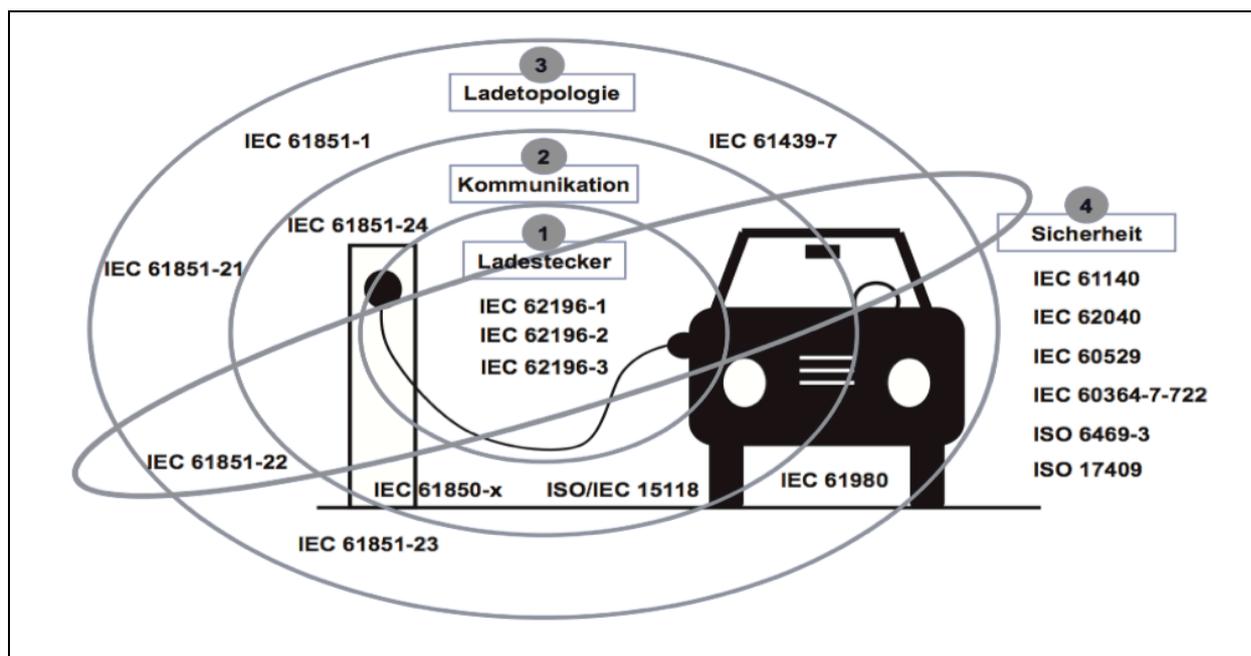


Abbildung 14: Auszug relevanter Normen und Projekte zur Ladeschnittstelle¹³⁴

Obwohl für viele Komponenten schon Normen veröffentlicht sind, hat sich noch immer kein einheitlicher Standard durchgesetzt. In den Normen sind teilweise unterschiedliche Ausführungen für identische Funktionen beschrieben. In Kapitel 4.5.1 werden die Normen für die konduktive Ladung vorgestellt.

¹³² vgl. IEC, www.iec.ch, Zugriffsdatum 19.02.2013

¹³³ ebenda

¹³⁴ Nationale Plattform Elektromobilität (2011), S.31

4.4 Ladeorte

Eine wichtige Frage in der Elektromobilität ist der Ladeort. An dieser Stelle werden die örtlichen Möglichkeiten beschrieben, der Bedarf der Nutzer festgestellt und die Entwicklungstendenz aufgezeigt.

Prinzipiell wird dort geladen wo länger geparkt wird. Dabei kann man folgenden Orte unterscheiden:¹³⁵

- Privat: Laden zu Hause, z.B. in der Garage
- Halbprivat: Laden auf Privatgrund für mehrere Personen zugänglich, wie z.B. Firmenparkplätze
- Halböffentlich: Laden auf Privatgrund aber öffentlich zugänglich, wie z.B. Parkplätze bei Supermärkten oder Parkhäusern
- Öffentlich: Laden auf öffentlichem Grund wie Straßen, Bahnhöfen, etc.

Von halbprivater Ladung wird nur selten gesprochen, da die Abgrenzung zu privatem und halböffentlichem Laden oft verschwimmt.¹³⁶

Laut dem Begleitforschungsbericht der Modellregion VLOTTE in Vorarlberg werden Elektrofahrzeuge hauptsächlich an einem Ort geladen, nämlich zu Hause oder in der Firma. Öffentliche Ladestationen wurden kaum angefahren. Darüber hinaus waren die Elektroautos nur bei 8% aller Standzeiten nicht an eine Ladestation angeschlossen. Auf die Standanzahl bezogen stellt dieser Wert jedoch 64% aller Stopps dar. Es wird allerdings ausdrücklich darauf hingewiesen, dass eine Studie mit mehr Fahrzeugen und einer längeren Beobachtungszeit erforderlich ist, um eine genaue Analyse der Ladestandorte zu erstellen.¹³⁷

Für Deutschland schätzt die Nationale Plattform Elektromobilität die Ladestationen im Jahr 2014 auf knapp über 100.000, wobei es sich fast ausschließlich um Normalladen im privaten (ca. 90%) und öffentlichen (ca. 10%) Bereich handelt. Für das Jahr 2020 liegt die Schätzung für eine Million Elektrofahrzeuge bei insgesamt 950.000 Ladestationen, aufgeteilt auf ca. 82 % Normalladestationen im privaten, 15% Normalladestationen im öffentlichen Bereich und einer geringen Anzahl von Schnellladestationen (7.000 Stück).¹³⁸

¹³⁵ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2011), S.36

¹³⁶ vgl. ebenda

¹³⁷ vgl. Schuster/Leitinger/Brauner (2010), S.33f.

¹³⁸ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012a), S.50

Viele Studien gehen davon aus, dass der Hauptladeort der private Parkplatz zu Hause ist und das Laden hauptsächlich während der Nacht erfolgt. Die meisten Fahrzeugbesitzer in Europa verfügen aber gar nicht über einen eigenen Autoabstellplatz sondern parken auf der Straße. Für diese erscheint das Laden über Nacht problematisch zu sein. Auch im „Umsetzungsplan für Elektromobilität in und aus Österreich“ wird damit gerechnet, dass 90% aller Ladevorgänge auf privaten und Firmenparkplätzen erfolgen.¹³⁹

Eine Studie, bei der die tägliche Fahrlänge mittels GPS aufgezeichnet wurde, kam zu der Erkenntnis, dass 98% aller Fahrten problemlos mit einem Elektrofahrzeug durchgeführt werden können.¹⁴⁰ Abbildung 15 zeigt die Weglängenverteilung.

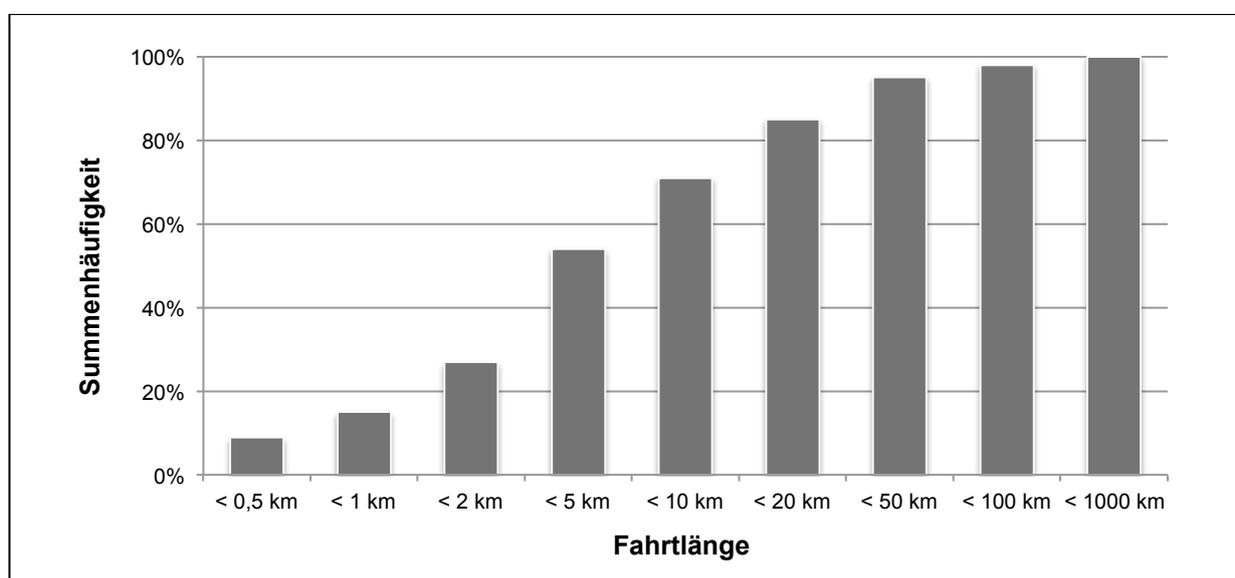


Abbildung 15: Durchschnittliche Fahrlängenverteilung¹⁴¹

Es hat sich aber ebenso gezeigt, dass die Hälfte der Fahrzeuge auch Fahrten mit mehr als 100 Kilometer zurücklegen.¹⁴² Daraus ist zu schließen, dass für 98% aller zurückgelegten Fahrten eine Ladung am privaten Autoabstellplatz über Nacht ausreichend wäre. Jeder zweite Autofahrer ist, ohne Änderung des Mobilitätsverhaltens, jedoch auf eine öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen.

¹³⁹ vgl. Stigler et al. (2009), S.33f.; vgl. CE Delft (2011), Summary Report S.14; vgl. BMLFUW/BMVIT/BMWfJ (2012), S.14

¹⁴⁰ vgl. Leitinger et al. (2011), S.29

¹⁴¹ in Anlehnung an Leitinger et al. (2011), S.29

¹⁴² vgl. Leitinger et al. (2011), S.30

4.5 Ladetechnologien

Im Großen und Ganzen stehen zwei Möglichkeiten für das Laden der Batterie zur Verfügung. Zum einen die konduktive Ladung und zum anderen die Ladung mittels Induktion. Es gibt jedoch auch andere Konzepte, bei denen die Batterie oder das Elektrolyt ausgetauscht wird. Abbildung 16 gibt einen Überblick über die verschiedenen Ansätze.

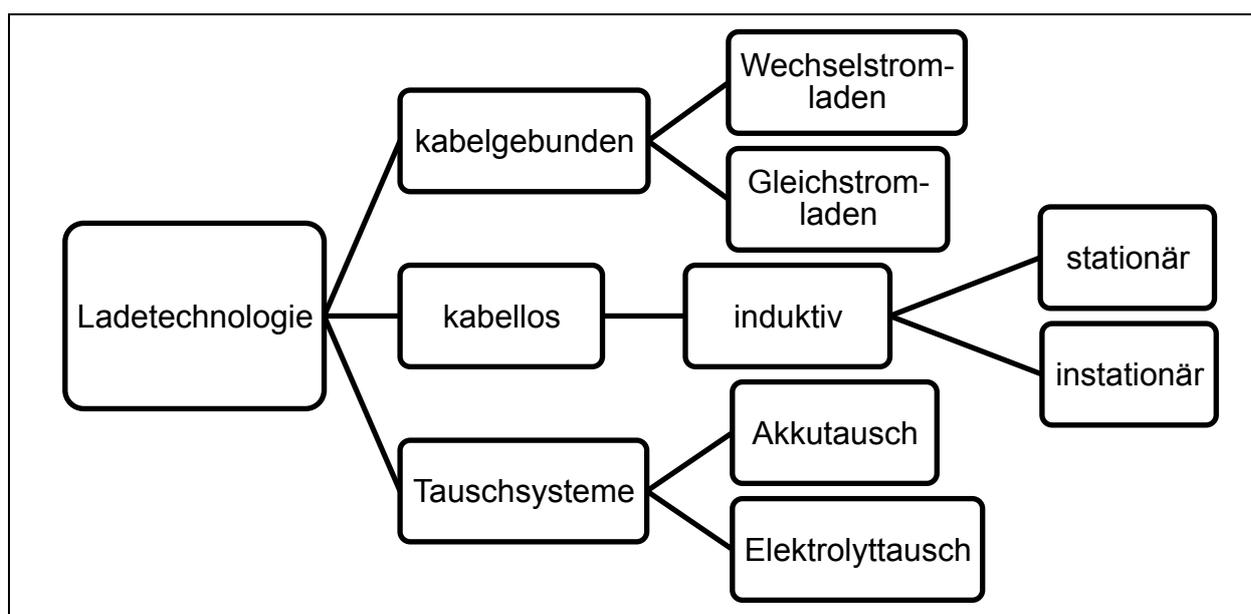


Abbildung 16: Ladetechnologien im Überblick¹⁴³

Die konduktive Ladung per Kabel, Stecker und Buchse ist den Menschen bestens aus dem Haushalt bekannt. Eine einfache Handhabung, eine hohe Ladeeffizienz und die Möglichkeit jede Steckdose zu verwenden, machen die konduktive Ladung zu einem logischen ersten Schritt für Elektrofahrzeuge. Nahezu jedes Elektrofahrzeug wird heute konduktiv geladen. Alternativ lassen sich Elektroautos auch ohne Kabel per Induktion laden. Diese Variante zeichnet sich besonders durch den Ladekomfort aus, ist aber noch mit spürbaren Mehrkosten im Vergleich zur konduktiven Ladung verbunden. Eine induktive Ladung kann nicht nur am Abstellplatz, sondern auch an Ampeln oder gar während der Fahrt erfolgen.¹⁴⁴

Eine andere Möglichkeit bietet ein Tausch der Batterie. Unter anderem in Dänemark, Israel Japan wird dieses Konzept bereits getestet.¹⁴⁵ Nicht betrachtet werden

¹⁴³ in Anlehnung an Nationale Plattform Elektromobilität (2011), S.44

¹⁴⁴ vgl. Schraven/Kley/Wietschel (2010), S.2ff.

¹⁴⁵ vgl. Better Place, www.betterplace.com, Zugriffsdatum 05.09.2012

Elektrofahrzeuge mit Energiespeicher die nicht über das Stromnetz geladen werden, wie Brennstoffzellen oder Elektrolyttausch.

4.5.1 Konduktives Laden

Bei der konduktiven Ladung besteht eine elektrisch leitfähige Verbindung zwischen Elektroauto und Ladestation. 2010 einigte sich die Industrie auf einheitliche Begriffe für die verwendeten Komponenten. Abbildung 17 zeigt das Schema des konduktiven Ladens mit den zu verwendenden Begriffen.¹⁴⁶

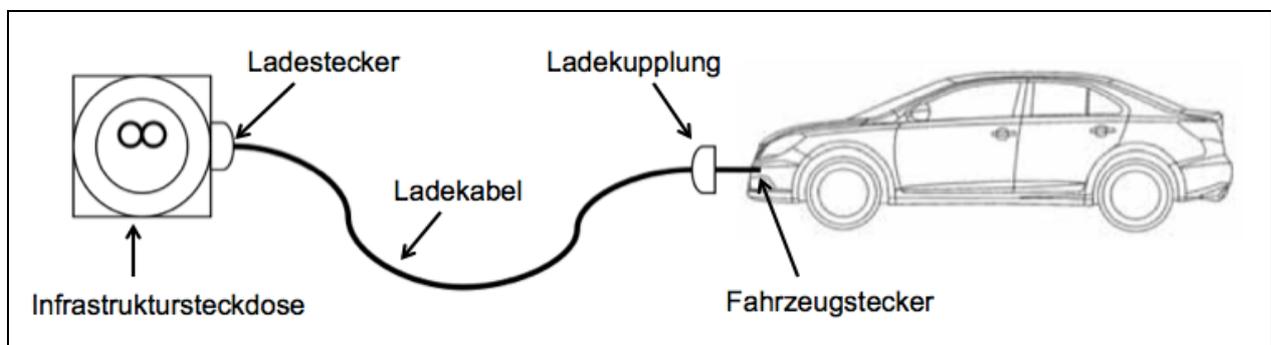


Abbildung 17: Schema konduktives Laden¹⁴⁷

Man unterscheidet beim konduktiven Laden zwischen Wechselstromladen (AC-Laden) und Gleichstromladen (DC-Laden). In der Norm IEC 61851-1 sind vier Ladebetriebsarten definiert:¹⁴⁸

- **Ladebetriebsart 1 (engl. Mode-1):** langsame Ladung an Haushaltssteckdosen mit Schutzkontakt (Schuko)
 - AC-Laden an der Standardsteckdose mit bis zu 16 A
 - 250 V (AC) einphasig oder 480 V (AC) dreiphasig
 - Keine Sicherheitseinrichtung im Ladekabel
 - Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) in der vorgelagerten Hausinstallation wird zwingend vorausgesetzt
 - Ohne Rückspeisung, ohne Kommunikation
 - Nicht zugelassen u.a. für die USA
- **Ladebetriebsart 2 (engl. Mode-2):** langsame Ladung an Haushaltssteckdosen mit Schutzeinrichtung im Kabel

¹⁴⁶ vgl. Slowak (2012), S.15ff.

¹⁴⁷ ACEA (2011), S.2; Übersetzung vgl. Mennekes (2011), S.5

¹⁴⁸ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012), S.41; vgl. IEC, www.iec.ch, Zugriffsdatum 19.02.2013

- AC-Laden an Standardsteckdose mit bis zu 32 A
 - 250 V (AC) einphasig oder 480 V (AC) dreiphasig
 - Ladekabel mit Sicherheitseinrichtung über eine „In-cable control box“ bestehend aus RCD, Control Pilot und Proximity
 - Kommunikation zwischen „In-cable control box“ und Elektrofahrzeug über Control Pilot möglich
- **Ladebetriebsart 3 (engl. Mode-3):** Ladung mit spezifischen Ladestecksystemen für Elektrofahrzeuge mit Pilot- und Kontrollkontakt
 - AC-Laden an speziellen Ladestationen mit bis zu 63 A
 - 250 V (AC) einphasig oder 480 V (AC) dreiphasig
 - Ladekabel mit Stecker nach IEC 62196-2
 - Keine „In-cable control box“ im Ladekabel erforderlich, da Sicherheitseinrichtungen fester Bestandteil der Ladestation
 - Steckerverriegelung ermöglicht unbeaufsichtigten Betrieb auch im öffentlichen Umfeld
 - Im Gegensatz zu den Ladebetriebsarten 1 und 2 ist eine Rückspeisung grundsätzlich möglich, da durchgehende bidirektionale Kommunikation, Steuerung und Steckerverriegelung vorhanden
 - **Ladebetriebsart 4 (engl. Mode-4):** DC-Laden mit Off-Board-Ladegerät
 - DC-Laden an speziellen Ladestationen, zumeist Schnellladestationen
 - Ladespannung und Ladestrom systemabhängig, daher Standardisierungsbedarf
 - Ladekabel mit Energie- und Steuerleitung
 - Komplexe Schutzfunktionen aufgrund DC erforderlich, z.B. Isolationsüberwachung

Obwohl die Haushaltssteckdosen nicht für das Laden von Elektrofahrzeugen konzipiert wurden, sind Mode-1 und -2 in der Rolloutphase der ersten Elektrofahrzeuge noch von Bedeutung. Sie werden jedoch nur als Übergangslösung gesehen bis die Elektromobilität einen höheren Marktanteil erreicht. Mode-1 wird von der nationalen Plattform für Elektromobilität, Energielieferanten und Netzbetreibern jedoch nicht empfohlen, da nicht immer sichergestellt werden kann, dass in der Hausinstallation sowohl Schutzleiter als auch Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) vorhanden sind. Mode-1 und -2 sind für das Laden auf privaten, nicht öffentlich zugänglichen

Abstellplätzen gedacht und in manchen Ländern wie z.B. Italien sogar für öffentliches Laden verboten.¹⁴⁹

Für Neuinstallationen wird Mode-3 empfohlen. Diese Ladebetriebsart bietet ein hohes Maß an Sicherheit und nur die in Mode-3 realisierbare Steckerverriegelung verhindert unautorisierte Eingriffe und ist deshalb für unbeaufsichtigtes, öffentliches Laden geeignet. Ebenso bietet Mode-3 die Möglichkeit eines Lastmanagements sowie eine Rückspeisung an das Stromnetz. Sie ist deshalb für die Einbindung von Elektrofahrzeugen in ein intelligentes Stromnetz geeignet. Mode-4 ist vor allem für beaufsichtigtes Schnellladen konzipiert.¹⁵⁰

Japanische OEMs setzen auf eine Kombination von Langsam- (Mode-3) und Schnellladen (Mode-4). Welches Konzept sich bei europäischen Herstellern durchsetzen wird kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschließend geklärt werden, da es immer neue und gegenläufige Ankündigungen gibt. Renault setzt zum Beispiel auf Mode-3-Laden mit bis zu 22 kW. Anfangs hatten sich deutsche OEMs auch auf beschleunigtes Mode-3-Laden fokussiert. Vor allem da sie Bedenken hatten, dass Schnellladen die Batterie zu sehr schädigen könnte und weil die Infrastruktur für Schnellladestationen hohe Investitionskosten verursacht. Für 2013 werden die ersten Elektrofahrzeuge deutscher Hersteller erwartet, die mit einer Kombination aus Mode-3/Mode-4-Laden auf den Markt kommen.¹⁵¹

Die Komponenten, die für das konduktive Laden relevant sind, werden im Folgenden beschrieben.

Ladekomponenten

Eine der wichtigsten Komponente für das konduktive Laden ist das Ladekabel und die dazugehörigen Stecker und Buchsen. In der Norm IEC 61851 werden drei verschiedene Anschlussarten (engl. case) von den Kabeln an das Fahrzeug und die Ladestation unterschieden.¹⁵²

- **Case A:** Das Ladekabel und der Ladestecker sind fest mit dem Fahrzeug verbunden. Dieser Fall kommt hauptsächlich bei sehr leichten Fahrzeugen vor.
- **Case B:** Das Kabel wird lose im Fahrzeug mitgeführt und wird für den Ladevorgang mittels Ladestecker mit der Ladestation und mittels Ladekupplung

¹⁴⁹ vgl. Eurelectric (2012), S.10; vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012), S.44 ; vgl. Van den Bossche (2010), S.524f.

¹⁵⁰ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012), S.45

¹⁵¹ vgl. Slowak (2012), S.17

¹⁵² vgl. Van den Bossche (2010), S.533f; vgl. IEC, www.iec.ch, Zugriffsdatum 19.02.2013

mit dem Fahrzeug verbunden. Case B ist am häufigsten anzutreffen und wird vor allem für normales und beschleunigtes Laden verwendet.

- **Case C:** Das Kabel ist fest mit der Ladestation verbunden. Diese Anordnung findet man üblicherweise beim beaufsichtigten Schnellladen (Mode-4) und bei Heimladeboxen. Es bietet den Vorteil, dass man das sperrige und schwere Kabel nicht mitführen muss, kann aber die Gefahr von Vandalismus und Kupferdiebstahl erhöhen.

Für das Laden mit Wechselstrom gibt es zwei Möglichkeiten. Man kann handelsübliche Systeme wie Haushalt- und Industriesteckverbinder oder ein speziell für die Elektromobilität entwickeltes System verwenden. Für Gleichstromladen gibt es nur speziell entwickelte Systeme. Die folgenden Absätze beschreiben die verwendeten Ladesysteme.¹⁵³

Handelsübliche Steckvorrichtungen für Wechselstromladen

Für das Wechselstromladen nach Mode-1 und Mode-2 können handelsübliche Steckdosen oder CEE-Industriesteckdosen nach IEC 60309 verwendet werden. Über die in Österreich verwendeten Schuko-Steckdosen lässt sich so das Elektrofahrzeug mit einer Leistung von 3,7 kW (230 V, 16 A, einphasig) laden. Die Dauerleistung beträgt jedoch nur 2,3 kW (230 V, 10 A). Es können aber auch Industriesteckdosen verwendet werden. Die blaue Variante ermöglicht eine Ladeleistung von 3,7 kW (230 V, 16 A) und die rote Variante für Starkstrom eine von 11,1 kW (400 V, 16 A) oder 22,2 kW (400V, 32 A).¹⁵⁴

Die Schuko-Steckvorrichtung ist nicht für das Laden von Elektrofahrzeugen ausgelegt worden. Unter anderem ist sie nicht für lange Betriebsdauer mit maximal zulässigem Strom, häufiges Ein- und Ausstecken und einem Einsatz im Freien konzipiert. Dadurch kann es sowohl zu kurzen Lebenszeiten als auch zu Kontaktproblemen, die gefährliche Auswirkungen auf Mensch und Technik haben können, kommen. Aus diesen Gründen wird die herkömmliche Haushaltssteckdose von der Industrie nur als Übergangs- oder Notlösung gesehen. Sie eignet sich nur zum Laden geringer Strommengen bei niedriger Leistung oder für leichte und kleine Elektrofahrzeuge wie z.B. Elektrofahrräder. Interessanter sind die Industriesteckdosen. Sie sind in Europa weit verbreitet und haben sich auch schon auf Campingplätzen durchgesetzt. Die blaue einphasige Variante wird deshalb umgangssprachlich auch Campingstecker genannt. Im Vergleich zu speziellen Ladekabeln und -steckern für Elektrofahrzeuge sind sie

¹⁵³ vgl. Van den Bossche (2010), S.536

¹⁵⁴ vgl. Electrosuisse/e'mobile/VSE (2011), S.1

relativ kostengünstig. Die CEE Industriestecker sind robust ausgeführt, mechanisch belastbar und auch für den Dauerbetrieb geeignet. Sie sind auch für den Außeneinsatz geeignet, da sie die geforderte Schutzklasse aufweisen.¹⁵⁵

Die deutsche Firma Mennekes hat einen modifizierten CEE Stecker auf den Markt gebracht. Es handelt sich um den sogenannten CEEplus Stecker, bei dem einfach ein CEE-Stecker um einen Näherungskontakt und einen Pilotleiter erweitert wurde und sich somit auch für Mode 3 eignet. Die Abwärtskompatibilität bleibt dabei aufrecht, so dass er auch für Mode 1 und Mode 2 an CEE Steckdosen geeignet ist. Dieses Stecksystem lässt sich noch immer vereinzelt in Deutschland und der Schweiz finden, der Durchbruch ist aber ausgeblieben.¹⁵⁶ Mennekes modifizierte den Stecker unter Zusammenarbeit mit mehreren OEMs und EVUs zum sogenannten Mennekes-Stecker, aus dem sich wiederum der jetzige Typ-2 Stecker nach IEC 62196 entwickelt hat.¹⁵⁷

Frühere proprietäre Steckvorrichtungen

Mit dem Aufkommen von Elektrofahrzeugen in den 1990er Jahren wuchs auch der Bedarf nach speziellen Ladesteckern. Durch staatlich unterstützte Vorhaben wurden in Frankreich und den USA proprietäre Steckverbinder eingeführt. Der französische Marachel-Stecker war in den 1990er in Europa weit verbreitet. Er war sowohl für Mode-1 und -3 bei 16 A und 230 V Wechselstrom als auch für Mode-4 bei 400 V Gleichstrom vorgesehen, wurde jedoch nie als internationale Norm übernommen. Der Avcon-Stecker, der in den USA zum Einsatz kam, teilt sich mit dem Marachel-Stecker nicht nur Optik und Handhabung, sondern auch das Schicksal.¹⁵⁸

Neue Steckvorrichtungen nach IEC 62196-2

In den letzten Jahren wurden die Bemühungen einen neuen Standard zu finden erhöht. Durch parallele Entwicklungen in verschiedenen Regionen kam es zu vielen Normvorschlägen. Folgende drei Steckerdesigns sind in der Norm IEC 62196-2 definiert:¹⁵⁹

- Der Stecker Typ-1 wurde von Japan für die Fahrzeugseite vorgeschlagen:
 - Einphasig
 - Strom: max. 32 A
 - Spannung: max. 250 V (AC)

¹⁵⁵ vgl. Van den Bossche (2010), S.535

¹⁵⁶ vgl. Van den Bossche (2010), S.536

¹⁵⁷ vgl. Mennekes, Zugriffsdatum 03.09.2012

¹⁵⁸ vgl. Van den Bossche (2010), S.536

¹⁵⁹ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012), S.45f.

- Der Stecker Typ-2 wurde von Deutschland für die Fahrzeug und Infrastrukturseite vorgeschlagen:
 - Ein- oder dreiphasig
 - Strom: max. 63 A (dreiphasig AC) und 70 A (DC und einphasig AC)
 - Spannung: max. 480V
- Der Stecker Typ-3 wurde von Italien in mehreren Varianten vorgeschlagen und besitzt folgende Kennwerte:
 - Ein- bis dreiphasig
 - Strom: max. 16 oder 63 A (AC)
 - Spannung: max. 400 V
 - Shutter

Abbildung 18 zeigt das Design der drei Normstecker.



Abbildung 18: Ladestecker nach IEC 62196-2¹⁶⁰

Typ-1 ist speziell für den japanischen und amerikanischen Markt gedacht. Er wurde für das 120/240-V-Einphasen-Dreileiternetz entwickelt und ist Teil der amerikanischen Norm SAE J1772. Der Stecker ist sehr kompakt und robust ausgelegt, bietet jedoch keine elektromechanische Verriegelung, sodass der Ladevorgang von Dritten unterbrochen werden kann.¹⁶¹

Typ-2 ist auf das europäische Stromnetz ausgelegt und profitiert vom Dreiphasenwechselstrom. Typ-2 ist sowohl für die Fahrzeugseite als auch für die Infrastrukturseite normiert. Er wird von der deutschen Industrie, dem Europäischen Verband der Automobilhersteller (ACEA) sowie zahlreichen Ländern empfohlen. Italien und Frankreich haben sich noch nicht dieser Empfehlung angeschlossen. Die

¹⁶⁰ Phoenix Contact/Mennekes/Scame, Zugriffsdatum 10.10.2012

¹⁶¹ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012), S.45f.

Europäische Kommission hat aber mittlerweile den Typ-2 Stecker als zu verwendende Norm erklärt.¹⁶²

Es ist anzumerken, dass das Steckerdesign, obwohl ursprünglich angedacht, auf Infrastruktur- und Fahrzeugseite nicht identisch ist, sodass das Kabel nicht beliebig eingesteckt werden kann.¹⁶³

Typ-3 wurde von der „EV Plug Alliance“ eingereicht, deren Mitglieder großes Know-how rund um die Ladesäule vereinen. Der Typ-3 Stecker wird jedoch von keinem Autohersteller unterstützt. Deshalb versucht das Konsortium ihn nur noch für die Ladestation zu vermarkten. Als Fahrzeugstecker wurde ebenfalls Typ-2 übernommen. Typ-3 wird sich nach Meinung vieler Experten nicht durchsetzen.¹⁶⁴

Steckvorrichtungen für Gleichstromladen

Im Gegensatz zum Wechselstromladen gibt es für das Gleichstromladen keine vorhandenen Steckverbinder, die verwendet werden können. Alle Systeme, die im Nachfolgenden erklärt werden, sind speziell für die Elektromobilität entwickelt worden.¹⁶⁵

Der schon erwähnte Typ-2 Stecker nach IEC 62169-2 kann auch für Gleichstromladen bis 70 A verwendet werden. Für Ladeströme bis 200 A wurden die Ladestecker Typ-1 und Typ-2 adaptiert. Die Änderungen fließen in den Normentwurf IEC 62169-3 ein, der Stecker für DC-Laden beschreibt. Die fertige Version wird für 2014 erwartet.¹⁶⁶

Amerikanische und europäische Autohersteller haben sich auf ein sogenanntes AC/DC Combined Charging System (CCS) geeinigt. Es handelt sich um einen Typ-1 oder Typ-2 Stecker, der um zwei Kontakte für Gleichstrom erweitert wird. Dadurch ist nur ein Fahrzeugstecker notwendig und es kann Platz gespart werden. Die Stecker werden als Combo-Stecker bezeichnet. Mit Stand Februar 2013 ist dieser Ladestandard allerdings noch nicht in Serienfahrzeugen zu finden. Mitte 2013 sollen mit dem Volkswagen e-up! und der BMW i-Familie die ersten Modelle erscheinen.¹⁶⁷

In Japan existiert mit CHAdeMO bereits ein De-facto-Standard für DC-Laden mit über 1.000 Ladestationen. Dem CHAdeMO-Konsortium gehören mehrere japanische

¹⁶² vgl. ACEA (2011), S.3f.; vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012a), S.33; vgl. Europäische Kommission (2013), S.2

¹⁶³ vgl. Mennekes (2011), S.5

¹⁶⁴ vgl. Slowak (2012), S.24ff.

¹⁶⁵ vgl. Van den Bossche (2010), S.535ff.

¹⁶⁶ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012), S.45f.; vgl. IEC, www.iec.ch, Zugriffsdatum 19.02.2013

¹⁶⁷ vgl. eurelectric (2012), S.15f.; vgl. Verkehrsclub Deutschland, www.vcd.org, Zugriffsdatum 20.11.2012

OEMs¹⁶⁸ und der Energieversorger Tepco an. Auch in Europa und Amerika sind schon einige Ladestationen nach diesem Standard zu finden. Hauptsächlich japanische Autos wie der Nissan Leaf sind mit einer CHAdeMO Schnittstelle ausgerüstet.¹⁶⁹

Abbildung 19 zeigt das Design des Combo-2 Steckers und des für das CHAdeMO-Protokoll verwendeten Yazaki Stecker.

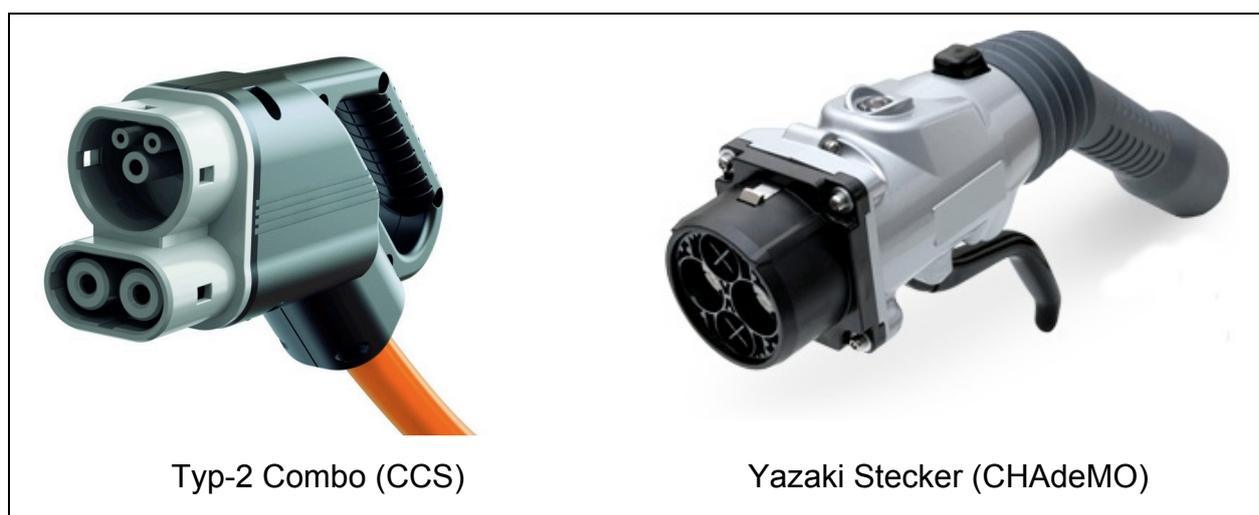


Abbildung 19: Ladestecker für Gleichstromladesystem¹⁷⁰

Welches Gleichstromladesystem sich durchsetzen wird steht noch nicht fest. CHAdeMO ist zwar schon verbreitet, die großen Stecker gelten aber als unhandlich und erfordern am Fahrzeug zwei Fahrzeugstecker. Es gibt auch keinerlei Anzeichen, dass europäische Fahrzeughersteller diesen Standard implementieren werden. Die deutsche Nationale Plattform für Elektromobilität forciert den Combo Stecker (CSS). Die Initiative für Elektromobilität und nachhaltige Energieversorgung (e-connected) ging 2010 von einer weiteren Verbreitung des CHAdeMO Standards aus, zu diesem Zeitpunkt war das CSS aber auch noch nicht vorgestellt.¹⁷¹

Zudem ist für Europa noch gar nicht sicher, ob sich Gleichstromladesystem gegenüber Wechselstromladesystem durchsetzen wird. Für 2013 werden Modelle deutscher Hersteller erwartet, die auf das CCS-System setzen. Dabei wird die Normalladung mit Wechselstrom und die Schnellladung mit Gleichstrom durchgeführt. Es ist aber auch durchaus denkbar, dass auch die deutschen Hersteller in Zukunft wie Renault auf Wechselstromladesystem mit bis zu 22 kW setzen.¹⁷²

¹⁶⁸ darunter Toyota, Mitsubishi Motors, Nissan und Subaru

¹⁶⁹ CHAdeMO, www.chademo.com, Zugriffsdatum 04.09.2012

¹⁷⁰ Goingelectric/Yazaki, Zugriffsdatum 10.10.2012

¹⁷¹ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012a), S.33f.; vgl. e-connected (2010), S.28

¹⁷² Interview mit Gernot Freisinger, Projektierung E-Mobility, Elsta Mosdorfer GmbH am 26.11.2012

Ladeequipment für einspurige Elektrofahrzeuge

Heutzutage werden leichte einspurige Elektrofahrzeuge wie Pedelecs, E-bikes oder E-Scooter mittels proprietären Ladegeräten geladen. Die Ladegeräte und Stecker unterscheiden sich je nach Hersteller und oft auch nach Modell. Deshalb ist eine Kompatibilität untereinander meist nicht gegeben. Im schlimmsten Fall kann ein falsches Ladeverfahren die Batterie schädigen. Die Ladegeräte sind in der Regel sperrig und werden deshalb kaum mit dem Fahrzeug mitgeführt. Geladen wird zu Hause, wofür die Batterien meist wechselbar ausgeführt sind, so dass ein Laden in der Wohnung ermöglicht wird.¹⁷³

Ein Ladestandard für leichte einspurige Elektrofahrzeuge ist Voraussetzung um eine Ladeinfrastruktur aufzubauen. Die meisten Ladegeräte sind jedoch nur für den Betrieb in geschlossenen Räumen konzipiert. Aus diesem Grund wird es für Ladestationen im Freien erforderlich, dass sie über verschließbare Kästen verfügen, damit die Batterie bei der Ladung keinen Witterungseinflüssen ausgesetzt ist. Dadurch, dass aber immer ein schweres und sperriges Ladegerät mitgeführt werden muss, stoßen derartige Ladestationen kaum auf die Akzeptanz der Nutzer. Der Ladestandard von EnergyBus, der 2014 verfügbar sein soll, setzt genau hier an, indem er eine witterungsfeste und einheitliche Lademöglichkeit bietet, die das Mitführen von Ladegeräten obsolet werden lässt. Eine andere Möglichkeit eines nutzerfreundlichen und sicheren Ladens ist die Induktionsladung, die von SEW Eurodrive in Form eines Fahrradständers angeboten wird.¹⁷⁴

EnergyBus e.V. hat sich zum Ziel gesetzt, diese Vielfalt und Inkompatibilitäten bei den Ladegeräten einzudämmen und hat dazu den EnergyBus entwickelt, der Steckerdesign und Kommunikationsprotokoll standardisiert. Dadurch sollen sowohl für Hersteller und Nutzer Kosten gesenkt werden als auch ein höherer Komfort erreicht werden. In Entwicklung ist auch „EnergyBus Charge Lock Cable“, das neben dem Laden auch ein Versperren ermöglicht. Das erste Pilotprojekt wurde Mitte 2012 gestartet und soll bis Mitte 2013 11 Ladeorte in Österreich und Deutschland umfassen. Ladestecker und -buchse sind in Abbildung 20 dargestellt.¹⁷⁵

¹⁷³ vgl. Fuchs (2012), S.33f.

¹⁷⁴ vgl. Neupert (2012)

¹⁷⁵ vgl. Neupert (2012a), S.78f.

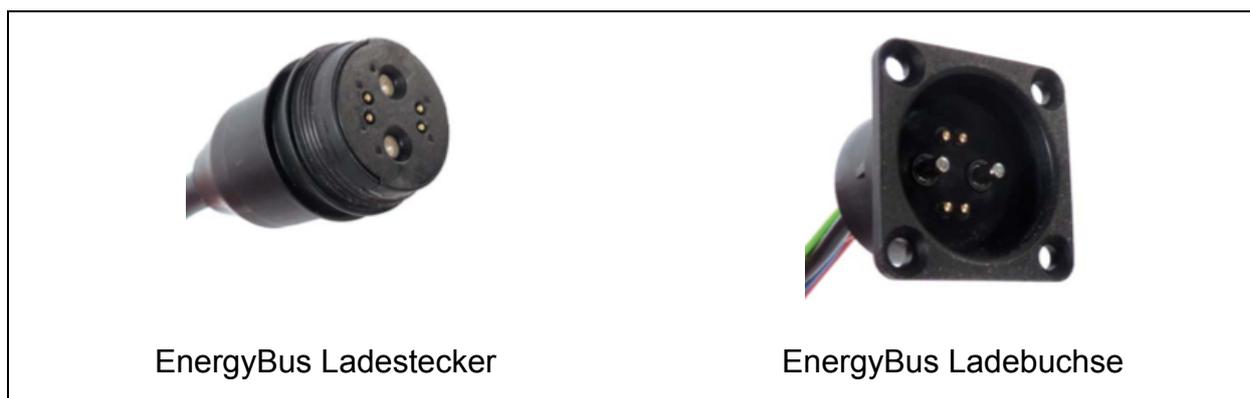


Abbildung 20: EnergyBus Ladestecker und -buchse¹⁷⁶

Die Batterien von Elektromotorrädern und -scootern sind wechselbar oder fix verbaut und werden hauptsächlich mittels proprietären, externen Ladegeräten geladen.¹⁷⁷ Es gibt jedoch auch Hersteller, die On-Board Ladegeräte verbauen. Es existiert auch die Möglichkeit, das On-Board Ladegerät mit einer geringen Ladeleistung auszuführen, um Platz und Gewicht zu sparen und zusätzlich ein Off-Board Ladegerät mit höherer Leistung mitzuliefern.¹⁷⁸

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich bei den einspurigen Elektrofahrzeugen im Vergleich zu Elektroautos noch weniger ein einheitlicher Ladestandard abzeichnet. Es gibt auch keine Norm, die sich speziell an die Ladung von einspurigen Elektrofahrzeugen richtet. Für eine weitere Verbreitung von zweispurigen Elektrofahrzeugen wäre ein Standard sinnvoll.

Steckerposition am Fahrzeug und Parkplatzverbrauch

Es gibt keine Norm, welche die Position des Fahrzeugsteckers festlegt. Dadurch wählt jeder Automobilhersteller die Position anders. Dies hat zur Folge, dass eine optimale Position der Ladestation nicht für alle Parksituationen und jedes Fahrzeugmodell verwirklicht werden kann und dadurch lange Kabeln erforderlich sind. In weiterer Folge kann dies zu einem hohen Parkflächenverbrauch und einer erhöhten Gefahr für Personen, wie Stolpergefahr durch lange frei hängende Kabeln, und Equipment führen. Für eine optimale Positionierung der Ladestationen wäre ein Fahrzeugstecker vorne rechts am passendsten. Um in jeder Parkposition das Auto sicher mit der Ladesäule zu verbinden wird häufig von einer Kabellänge von fünf Metern ausgegangen.¹⁷⁹

¹⁷⁶ EnergyBus, www.energybus.info, Zugriffsdatum 26.11.2012

¹⁷⁷ vgl. KTM, www.ktm.at, Zugriffsdatum 26.11.2012; vgl. ADAC, www.adac.de, Zugriffsdatum 26.11.2012

¹⁷⁸ vgl. Zeromotorcycles, www.zeromotorcycles.com, Zugriffsdatum 26.11.2012; vgl. ADAC, www.adac.de, Zugriffsdatum 26.11.2012

¹⁷⁹ vgl. EnergyBus, www.energybus.info, Zugriffsdatum 26.11.2012

Da mit einer einheitlichen Position des Fahrzeugsteckers aber auch in naher Zukunft nicht zu rechnen ist, muss die Position der Ladepunkte so gewählt werden, dass alle Fahrzeuge sich damit laden lassen und von den Kabeln gleichzeitig keine Gefahr für Passanten ausgeht. In Abbildung 21 sind Autos in typischen Parksituationen, sowie das Ladekabel dargestellt.¹⁸⁰

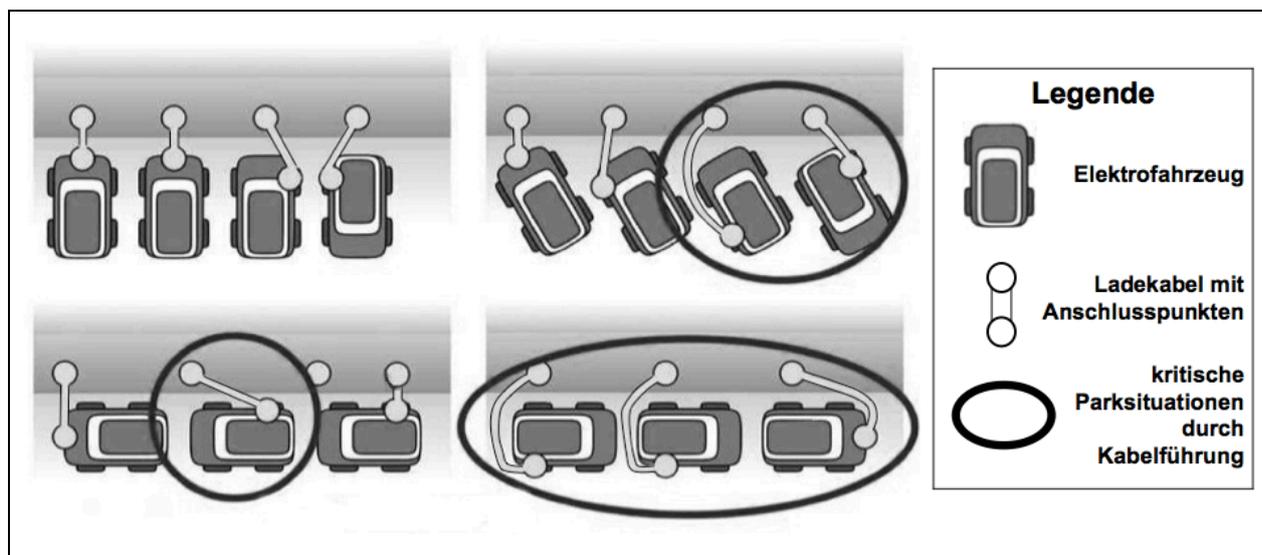


Abbildung 21: Kritische Steckerpositionen am Fahrzeug¹⁸¹

Ladestationen müssen so aufgestellt werden, dass sie nicht im Weg von Fußgängern stehen oder mit dem Auto touchiert werden können. Im öffentlichen Bereich gibt es dafür verschiedene Konzepte. Ladestationen mit integrierter oder unterirdischer Leistungselektronik sowie Ladesäulen mit separatem Gehäuse für die Leistungselektronik. Erstgenannte bilden den Großteil der verfügbaren Ladestationen.¹⁸²

Abbildung 22 zeigt eine öffentliche Ladestation mit zwei Parkplätzen für Elektroautos und einen Abstellplatz für einen Elektroroller. Der Parkplatz ist speziell markiert und mit einem Parkverbotsschild für herkömmliche Fahrzeuge beschildert.

¹⁸⁰ ebenda

¹⁸¹ Bundesverband Solare Elektromobilität, www.bsm-ev.de, Zugriffsdatum 18.09.2012

¹⁸² vgl. Nemeč (2012) S1f.; Interview mit Friedrich Vogel, Everynear GmbH, 19.11.2012



Abbildung 22: Öffentliche Ladestation mit Abstellplätzen¹⁸³

4.5.2 Induktives Laden

Ein Laden mittels Induktion ist eine Form der kontaktlosen Energieübertragung. Im Gegensatz zur konduktiven Ladung ist keine leitfähige Verbindung zwischen Ladestation und Elektrofahrzeug erforderlich. Das Prinzip der induktiven Ladung ist den meisten Leuten schon von der elektrischen Zahnbürste vertraut. Der hohe Komfort des induktiven Ladens führt dazu, dass immer mehr Geräte wie z.B. Handys von dieser Lademöglichkeit Gebrauch machen. In der Industrie wird die induktive Übertragung von Strom mit hoher Leistung schon erfolgreich und verbreitet eingesetzt.¹⁸⁴

In der Elektromobilität sind zwei Ansätze denkbar. Die stationäre und die dynamische induktive Ladung. Bei der stationären Ladung befindet sich das Fahrzeug auf einem Abstellplatz, der mit einer induktiven Ladestation ausgerüstet ist. Dabei können die Spulen entweder in den Boden eingelassen sein oder einfach durch Boden- oder Wandplatte nachgerüstet werden. Die dynamische Ladung findet während der Fahrt oder an Ampeln durch in die Straße eingelassene Spulen statt. Das Nachladen

¹⁸³ eigene Abbildung

¹⁸⁴ vgl. Wiesspeiner (2005), S.1f.

während der Fahrt verlängert die Reichweite von Elektrofahrzeugen. Da die Verlegung von Spulen und Leiterbahnen in öffentlichen Straßen kostenintensiv ist, wird nicht erwartet, dass die dynamische Ladung breitflächig verfügbar sein wird. Für Nischenanwendungen ist dieses Konzept dennoch vielversprechend. Das stationäre induktive Laden ist hingegen technisch machbar und wird schon in der Praxis erprobt. Abbildung 23 zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der induktiven Ladung.¹⁸⁵

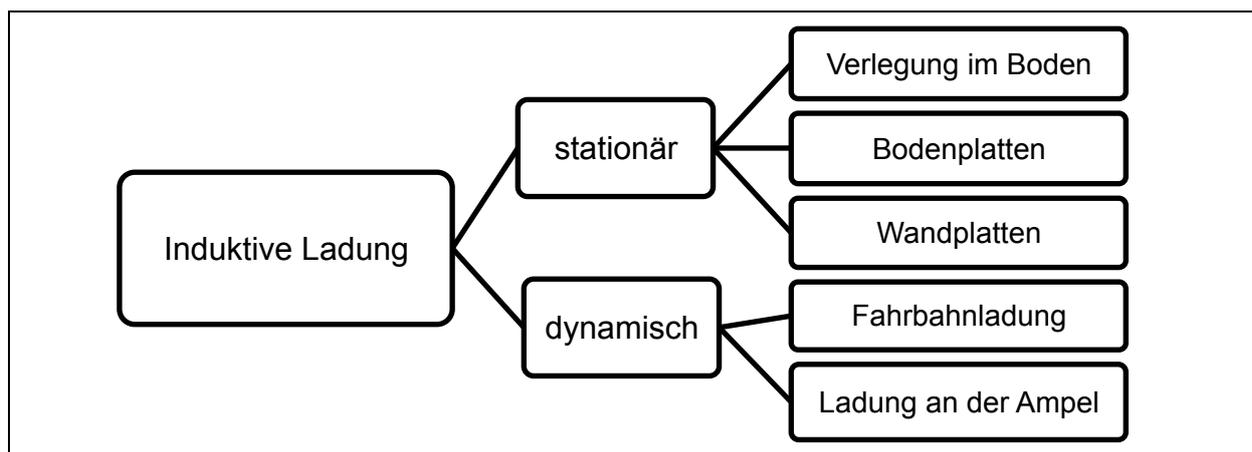


Abbildung 23: Induktive Lademöglichkeiten¹⁸⁶

Durch den Wegfall mechanischer Verbindungen und offener Kabel, die Angriffsfläche für Verschleiß und Vandalismus bieten, wird eine höhere Lebensdauer und ein geringerer Wartungsaufwand induktiver Ladesystem erwartet. Als die größten Vorteile der induktiven Ladung wird die hohe Nutzerfreundlichkeit, der geringe Verschleiß und die hohe Sicherheit gesehen. Das Anstecken und Mitführen des Kabels entfällt. Vor allem in gewissen Situationen, wie etwa bei Regen, erzeugt eine konduktive Ladung kein Komfortgefühl. Das Gleiche gilt auch bei schmutzigen Kabeln. Bei kurzen Stopps wird häufig darauf verzichtet das Fahrzeug mittels Kabel nachzuladen. Hingegen wird auch hier eine Induktionsladung Anwendung finden, da der Ladevorgang vollkommen automatisiert ist. Es ist nur eine halbwegs genaue Positionierung beim Einparken notwendig. Der Komfortgewinn und auch eine immer geladene Batterie können wesentlich zur Verbreitung der Elektromobilität beitragen.¹⁸⁷

Dadurch, dass es keine offenen spannungsführenden Kontakte gibt, wird die Betriebssicherheit stark erhöht. Die Auswirkungen des elektromagnetischen Feldes sind jedoch noch nicht restlos geklärt und bedürfen vor allem bei höheren

¹⁸⁵ vgl. Schraven/Kley/Wietschel (2010), S.8

¹⁸⁶ in Anlehnung an Schraven (2010), S.17

¹⁸⁷ vgl. Barth et al. (2011), S.51ff.

Ladeleistungen noch einer intensiveren Untersuchung. So kann es zu gesundheitlichen Problemen oder Beschädigung elektronischer Geräte kommen.¹⁸⁸

Vor allem die ausstehenden Zulassungen, welche durch die ungeklärten Auswirkungen des elektromagnetischen Feldes bedingt sind, und die höheren Kosten im Vergleich zur konduktiven Ladung werden einen breiten Einsatz induktiver Ladesysteme in den kommenden Jahren verhindern. Zum einen sind die Anschaffungskosten für Ladestationen höher. Und zum anderen ist der Übertragungswirkungsgrad in der Praxis geringerer als bei der konduktiven Ladung. Der Ladewirkungsgrad bei der konduktiven Ladung liegt bei etwa 95%, mittels induktiver Ladung mit 3,7 kW lassen sich Wirkungsgrade von 80% bis bestenfalls 90% erreichen. Ein weiterer Nachteil sind fehlende Standards. Induktive Ladesysteme sind mit heutiger Leistungselektronik bis zu einer Leistung von 11 kW denkbar. Getestet werden bereits welche mit Leistungen von 3,7 kW.¹⁸⁹

Wenn ein induktives Laden zu einer höheren Verbreitung der Elektromobilität führt, sind die Wirkungsgradeinbußen jedoch verkraftbar, da sich die Gesamtbilanz des CO₂-Ausstoßes trotzdem verbessert. Bei den Nutzern lassen sich höhere Kosten durch den gesteigerten Komfort rechtfertigen.¹⁹⁰

Interessant ist das Konzept des kontaktlosen Ladens überdies für Taxis, Linienbusse, Lieferwägen, etc., die regelmäßig kurze Stopps an wenigen, gleichbleibenden Orten einlegen. Induktives Laden eignet sich ebenso für Vehicle-to-Grid und Grid-to-Vehicle Anwendungen, die in diesem Kapitel noch erklärt werden, da das Fahrzeug schon bei kurzen Stehzeiten mit dem Netz verbunden ist und so die Möglichkeit eines Lastmanagements optimal gegeben ist.¹⁹¹

Am Frankfurter und Düsseldorfer Flughafen wurden zwei Elektroautos über ein Jahr erprobt. Eines wurde induktiv, das andere konduktiv geladen. Das Fazit über beide Autos ist durchwegs positiv. Das Fahrtenprofil von Fahrzeugen an Flughäfen ist prädestiniert für den Einsatz von Elektrofahrzeugen. Die Tester favorisierten das induktive Laden, da es vor allem einen viel höheren Komfort bietet. Durch die zahlreichen kurzen Standzeiten ist es hervorragend geeignet, das Auto permanent und ohne lästiges An- und Abstecken fahrbereit zu halten.¹⁹²

¹⁸⁸ vgl. Schraven/Kley/Wietschel (2010), S.14ff.

¹⁸⁹ vgl. Schraven/Kley/Wietschel (2010), S.6, S.14ff.; vgl. Mazza/Hammerschlag (2005), S.3, S.7; vgl. Kley (2012), S.10f.

¹⁹⁰ vgl. Barth et al. (2011), S.49ff.

¹⁹¹ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2010), S.12

¹⁹² vgl. Bundesverband eMobilität, www.emobileticker.de, Zugriffsdatum 06.09.2012

Dynamisches Laden während der Fahrt oder an Ampeln ist vor allem für PHEVs oder REEVs denkbar. Einerseits sind diese Fahrzeuge nicht auf die Batterie angewiesen und andererseits haben die Batterien auch eine niedrigere Kapazität im Vergleich zu reinen Elektroautos. Dadurch ist es möglich geringe Ladeleistungen zu verwenden, die einfacher realisierbar sind. Wenn dem Fahrzeug der Strom „ausgeht“, dann springt der Verbrennungsmotor an, die Batterie muss also nicht notwendigerweise geladen sein.¹⁹³

Die Analyse der Literatur und die Gespräche mit Experten zeigen, dass das induktive Laden in Zukunft stark am Markt vertreten sein wird, gleichgültig ob an öffentlichen oder privaten Ladestationen. Der viel höhere Komfort im Vergleich zur konduktiven Ladung ist das maßgebliche Kriterium warum die induktive Ladung in Zukunft eine bedeutende Rolle einnehmen wird.

4.5.3 Batterietausch

Ein Konzept um leere Batterien schnell wieder einsatzbereit zu haben, ist der Tausch eben dieser. Diese Möglichkeit stellt ein Gegenkonzept zur Schnellladung dar. Als Einsatzgebiet eignen sich vor allem strategisch wichtige Punkte wie Verkehrsknoten oder Fernstraßen. Durch den schnellen Austausch lassen sich weite Strecken mit Elektroautos zurücklegen und ebenso lässt sich das gewohnte Nutzungsverhalten von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor beibehalten.

Das Unternehmen Better Place bietet eine Komplettlösung aus Batterietauschstationen, öffentlichen Ladestationen und Heimladeboxen an. Der Kunde schließt einen Vertrag mit Better Place ab und bekommt durch eine Kundenkarte Zugang zu Ladestationen und Battery Switch Stations, die leere Batterien durch volle ersetzen. Die Batterie befindet sich dabei im Eigentum von Better Place und muss vom Kunden nicht gekauft werden. Der Kunde hat nur über ein Elektrofahrzeug mit austauschbarer Batterie zu verfügen, wie z.B. den Renault Fluence Z.E.. Für einen Batteriewechsel wird das Fahrzeug nur auf eine Art Hebebühne gefahren. Das System erkennt die Batterie und tauscht sie in wenigen Minuten gegen eine aufgeladene. Zur Zeit existieren Battery Switch Stations u.a. in Japan, den Niederlanden, Dänemark, den USA und Israel.¹⁹⁴

Die Nachteile bei diesem Ansatz liegen bei den hohen Investitionskosten sowohl bei den Batterien als auch bei der Infrastruktur. Es gibt noch Standardisierungsbedarf bei auswechselbaren Batterien und es ist nicht vorstellbar, dass Autohersteller ihre Modelle mit solchen ausstatten. Da vermutlich nicht jedes Automodell mit einem Typ Batterie

¹⁹³ vgl. Nissen (2012), S.93ff.

¹⁹⁴ vgl. Better Place, www.betterplace.com, Zugriffsdatum 05.09.2012

(Form, Größe, Kapazität, Zelltechnologie) betrieben werden kann, wird es notwendig, dass die Wechselstationen mehrere Typen vorrätig und vollgeladen haben, was wiederum zu höheren Investitionen führt.¹⁹⁵

Der Start von Better Place verläuft schleppend. In Israel wurden 2.500 Elektroautos verkauft, in Dänemark erst 200. Das hat zur Folge, dass Renault den Zoe vorerst nicht mit Wechselbatterie anbieten wird. Angesichts bereits getätigter Investitionen von ca. 750 Millionen US-\$ ist es fragwürdig, ob sich mit diesem Geschäftsmodell Geld verdienen lässt.¹⁹⁶

Wenngleich aus Sichtweise der Nutzer das Konzept des Batteriewechsels komfortabel ist und einen großen Aktionsradius ermöglicht, so sind sich die meisten Experten einig, dass die hohen Investitionen eine Errichtung einer großflächigen Infrastruktur verhindern.

4.6 Kommunikation und Netzintegration

Während schon für die Ladung moderner Batterien ein einfaches Kommunikationsprotokoll notwendig ist, sind erweiterte Kommunikationsmöglichkeiten für eine intelligente Netzintegration von Elektrofahrzeugen unumgänglich. Dieses Kapitel zeigt die Standards und Normen für die Kommunikation und gibt einen Einblick, welche intelligente Lösungen sich durch eine umfangreiche Kommunikation in Zukunft ergeben können.

Ohne Kommunikation¹⁹⁷ kann keine moderne Batterie geladen werden. Schon sobald das Fahrzeug mittels Ladekabel mit einer Ladestation verbunden wird, also noch bevor die eigentliche Ladung beginnt, stellt das Fahrzeug Kontakt mit der Ladestation (Mode-3, -4) bzw. der In-Cable Control Box (Mode-2) her. Dabei werden verschiedene Parameter abgefragt und abgestimmt. Der Stecker wird verriegelt (nur Typ-2), die Schutzeinrichtungen überprüft und die verfügbare Ladeleistung übermittelt. Erst wenn diese Sicherheitsabfragen positiv sind, kann mit der eigentlichen Ladung begonnen werden. Während der Dauer der Ladung werden die Schutzeinrichtungen überwacht und die Leistung gegebenenfalls angepasst. Das schwächste Glied in der Ladekette bestimmt dabei die Ladeleistung.¹⁹⁸

¹⁹⁵ vgl. Wietschel/Kley/Dallinger (2009), S.36ff.

¹⁹⁶ vgl. Manager Magazin (2012), S.23f.

¹⁹⁷ Unter Kommunikation versteht man das Abgleichen von Parametern und das Übermitteln von Informationen auf Basis eines Kommunikationsprotokolls.

¹⁹⁸ vgl. Mennekes (2012), S.136

Beim Wechselstromladen nach Mode-2, -3 stellt die Ladestation nur den Strom zur Verfügung, und das On-Board Ladegerät stellt die Parameter für die Batterieladung ein. Dadurch ist es möglich, ein recht einfaches Kommunikationsprotokoll zu verwenden. In der Normenreihe IEC 61851 ist das Protokoll für einen solchen Datenaustausch über einen Pilotleiter definiert, der zusätzlich zu den stromführenden Kabeln im Ladestecker integriert ist. Beim Gleichstromladen mittels Off-Board Ladegerät muss hingegen die Ladestation die notwendigen Parameter für die Batterieladung einstellen. Dies macht einen erweiterten Datenaustausch zwischen Ladestation und der Batterie im Fahrzeug notwendig. Die Kommunikation ist also Bestandteil einer aktiven Laderegulierung. Die Norm ISO/IEC 15118 definiert diese Kommunikation. In der Norm wird zwar nur die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladestation beschrieben, es ergibt sich aber ein durchgängiger Datenaustausch bis hin zum Backend-Server, der zur Realisierung unterschiedlicher Abrechnungs- und Lastmanagementszenarien dient. Für die Combo-Stecker wird die Kommunikation als Powerline Communication ausgeführt, d.h. die Kommunikation findet über die stromführenden Kabel statt. Der CHAdeMO-Standard baut hingegen nicht auf ISO/IEC 15118 auf, sondern verwendet einen CAN-Bus zur Kommunikation. Für das induktive Laden ist angedacht, weite Teile der ISO/IEC 15118 zu übernehmen. Anders als beim konduktiven Laden muss die Kommunikation dabei kabellos stattfinden.¹⁹⁹

Durch den Leistungsbedarf von Elektroautos und der Stromspeicherkapazität bietet die Elektromobilität interessante Einsatzmöglichkeiten im „Smart Grid“. Unter Smart Grid versteht man ein intelligentes Stromnetz, das durch zeitnahe und bidirektionale Kommunikation ein abgestimmtes Management zwischen Netzkomponenten, Erzeuger, Speicher und Verbrauchern durchführt. Das Ziel dabei ist einen energie- und kosteneffizienten Betrieb des Stromnetzes zu erreichen. Smart Grids werden als Schlüssel zu einer sicheren und nachhaltigen Energieversorgung in der Zukunft gesehen und dabei spielt die Elektromobilität eine gewichtige Rolle.²⁰⁰

Vehicle to Grid (V2G) und Grid to Vehicle (G2V)

Die Speicherkapazität von Elektroautos kann zur Stabilisierung des Stromnetzes beitragen. Dabei dienen die Batterien von abgestellten Elektroautos als Zwischenpuffer. Besonders erneuerbare Energieformen wie die Windenergie oder Photovoltaik machen solche Zwischenspeicher notwendig. Dieses Konzept nennt man „Vehicle to Grid“ oder kurz „V2G“.

¹⁹⁹ vgl. Hardt (2012), S.211ff.; vgl. IEC, www.iec.ch, Zugriffsdatum 19.02.2013

²⁰⁰ vgl. Smart Grids Austria (2010), S.14

Berechnungen zeigen, dass 82% der Batteriekapazitäten aller Elektroautos nicht gebraucht werden, weil die Autos abgestellt sind und zeitnah nicht benötigt werden. Bei 20% Elektroautos im Jahr 2020 macht die jährlich verfügbare Kapazität rechnerisch knapp 17.000 GWh aus, die für V2G-Anwendungen bereit stehen. Voraussetzung für die Rückeinspeisung sind intelligente Zähler (Smart Meter), die ein anreizbasierendes Preismodell ermöglichen. Durch die zusätzlichen Belastungszyklen, welche die Lebensdauer der Batterie verkürzen, ist aber nicht klar, ob bei den aktuell hohen Batteriepreisen das Vehicle to Grid Konzept bei den Nutzern auf Akzeptanz stößt. Zudem will ein Fahrzeugbesitzer sein Auto immer fahrbereit haben. Wird dieser Komfort aufgegeben um ein paar Cent durch die Bereitstellung der Batteriekapazität zu verdienen? Außerdem sind noch rechtliche Fragen, die durch die Benutzung der Batterie durch Dritte entstehen, nicht geklärt. Aus diesen Gründen und auch weil ein theoretischer Nutzen erst bei einer höheren Verbreitung der Elektromobilität zu erwarten ist, wird dieses Konzept kurz- oder mittelfristig nicht umgesetzt werden. V2G wird möglicherweise noch lange eine Vision bleiben.²⁰¹

Interessanter und mittelfristig unumgänglich ist das Konzept des „G2V“ (Grid to Vehicle). Darunter wird die Anwendung eines Lastmanagement verstanden, besser gesagt handelt es sich um ein geregeltes Laden. In der Literatur ist meist von geregelter Laden die Rede, G2V wird seltener benutzt. Es gibt auch den Ausdruck des „Demand Side Management“. Wie in Kapitel 2.4 gezeigt, ergibt sich die Notwendigkeit aus der Lücke zwischen Leistungsangebot und Leistungsbedarf im Stromnetz.²⁰²

Aber nicht nur das beschränkte Leistungsangebot des Stromnetzes macht ein geregeltes Laden notwendig. Ein Netzanschluss mit höherer Leistung ist teuer. Deshalb ist ein Lastmanagement im Speziellen sinnvoll, wenn viele Elektroautos an einem Anschluss geladen werden, wie z.B. in Parkhäusern oder bei Flotten. Ein Lastmanagement kann notwendig werden um Transformatoren nicht zu überansprechen. G2V-Anwendungen sorgen dafür, dass keine Überlastungen auftreten und die vorhandene Leistung bestmöglich ausgenutzt wird. Selbst wenn durch die Elektromobilität keine Überlastung der Hoch- und Mittelspannungsnetze zu erwarten ist, so kann eine Ladesteuerung auch hier zu einer Wirtschaftlichkeitssteigerung führen. Abbildung 24 zeigt verschiedene Strategien der Ladesteuerung.²⁰³

²⁰¹ vgl. Klima- und Energiefonds/PricewaterhouseCoopers (2009), S.13ff.; vgl. e-connected (2009), S.13, S.25ff.

²⁰² vgl. Adegbite, D. et al. (2011), S.9; vgl. Rezania/Prügler (2012), S.151f.; vgl. Fraunhofer-IWES/Offis (2010), S.23ff.

²⁰³ vgl. Leitinger et al. (2011), S.44ff.

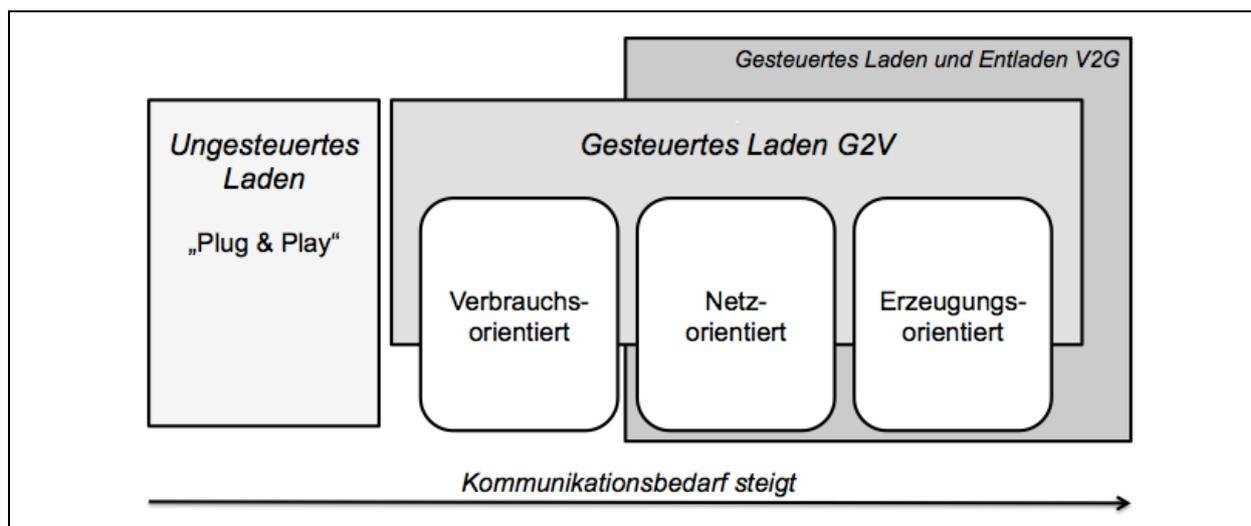


Abbildung 24: Strategien Ladesteuerung²⁰⁴

Der Ladestationshersteller Ecotech gibt die Einsparungen durch ein lokales Lastmanagement, einem „Micro-Smart-Grid“, mit € 900 - € 5.000 für die Lebensdauer einer Ladestation an. Die Einsparung kommt dadurch zustande, dass keine zusätzliche Anschlussleistung zugekauft werden muss.²⁰⁵

Um die Kommunikation verbunden mit einem Lastmanagement optimal zu gestalten, werden in Zukunft verstärkt Smartphones eingebunden sein. Dabei lassen sich Ladestationen finden und reservieren sowie die Ladung bezahlen. Der Nutzer kann einstellen, wann er sein Auto wieder benötigt um dadurch netzschonend und damit für ihn kostengünstig zu laden. Dies erfordert ein Bepreisungsmodell, das sich nach dem Leistungsangebot richten, wie es im Haushalt mit dem Tag- und Nachtstromtarif üblich ist.²⁰⁶

Generell gibt es zwei Möglichkeiten für die Durchführung einer Lastanpassung. Ein anreizbasiertes System oder eine direkte Steuerung durch den Aggregator²⁰⁷. Bei der anreizbasierenden Steuerung nimmt das Fahrzeug die Anpassung durch, bei der direkten Steuerung wird die Anpassung vom Aggregator durchgeführt, der Fahrzeugnutzer hat darauf keinen Einfluss.²⁰⁸

Smartphoneapplikationen werden dem Nutzer weitere Innovationen bieten. So ist es denkbar, dass neben den Möglichkeiten den Ladezustand abzufragen und zu steuern ebenso andere Funktionen wie Klimatisierung, Serviceinformationen, Routenplanung etc. ferngesteuert werden können, was teilweise auch schon Anwendung findet.

²⁰⁴ in Anlehnung an Leitinger et al. (2011), S.46

²⁰⁵ Interview mit Vitaliy Kryvoruchko, Ecotech e.U. am 19.11.2012

²⁰⁶ vgl. Kley (2011), S.172

²⁰⁷ Unter Aggregator versteht man den Anbieter der Ladestation.

²⁰⁸ vgl. Fraunhofer-IWES/Offis (2010), S.23ff.

Informations- und Kommunikationstechnik spielen für den Erfolg der Elektromobilität eine ganz entscheidende Rolle. Nur wenn die Steuerung des Ladevorgangs, die Vernetzung der Infrastruktur und die Einbindung alternativer Mobilitätsdienstleistungen reibungslos funktioniert, kann die Elektromobilität ihre Stärken ausspielen.²⁰⁹

Das Zusammenspiel von Nutzer, Fahrzeug, Ladestation und Aggregator und die verwendeten Kommunikationsstandards zeigt Abbildung 25.

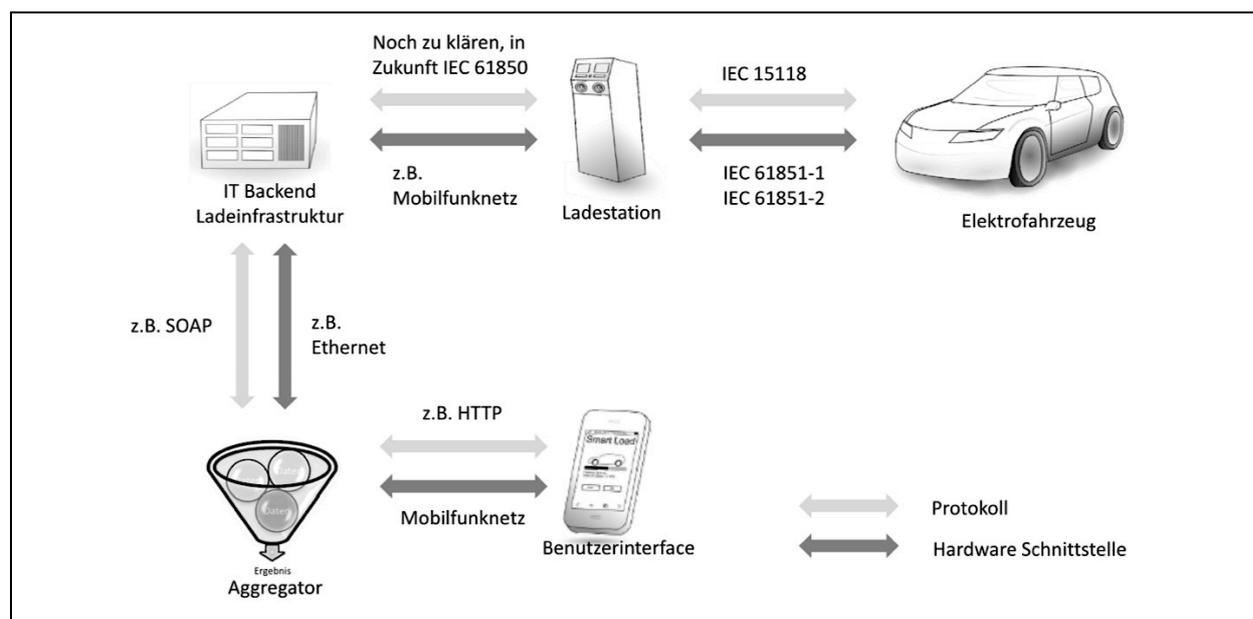


Abbildung 25: G2V Kommunikation²¹⁰

Abschließend ist festzuhalten, dass durch die Norm ISO/IEC 15118 und der weiten Verbreitung von Smartphones mit Internetanbindung ein geregeltes Laden einfach realisierbar ist und dem Kunden sowie dem Ladestationsbetreiber finanzielle Vorteile bei gleichzeitig hohem Komfort bietet. Es ist nicht notwendig zwischen schneller Ladung mit hohen Kosten oder einer preisgünstigen Normalladung zu wählen. Das System verteilt die vorhandene Leistung bedarfsgerecht an die Fahrzeuge.²¹¹

²⁰⁹ vgl. Adegbite et al. (2011), S.67ff.; vgl. PwC/Fraunhofer (2010), S.56f.

²¹⁰ Adegbite et al. (2011), S.67

²¹¹ vgl. Fraunhofer-IWES/Offis (2010), S.23ff.; Interview mit Heimo T. Blattner, Energie Steiermark AG, Projektleiter E-Mobility am 26.11.2012

4.7 Authentifizierung und Bezahlung

Die meisten Authentifizierungs- und Bezahlungsmöglichkeiten wurden nicht extra für die Elektromobilität entwickelt sondern von anderen Einsatzgebieten aufgegriffen und gegebenenfalls adaptiert. Einzig die Identifikation über das Ladekabel stellt eine auf die Elektromobilität bezogene Innovation dar. Setzen sich in Zukunft induktive Ladesysteme mehr und mehr durch, könnten noch weitere neue Authentifizierungsmöglichkeiten hinzukommen, da auf eine Ladesäule verzichtet werden kann und die Kommunikation dadurch drahtlos vom Auto aus aufgebaut wird. Welche Möglichkeiten der Authentifizierung, oft auch Autorisierung genannt, und Bezahlung heutzutage gebräuchlich sind werden im Folgenden vorgestellt. Eine Übersicht der gängigsten Techniken zeigt Abbildung 26.²¹²

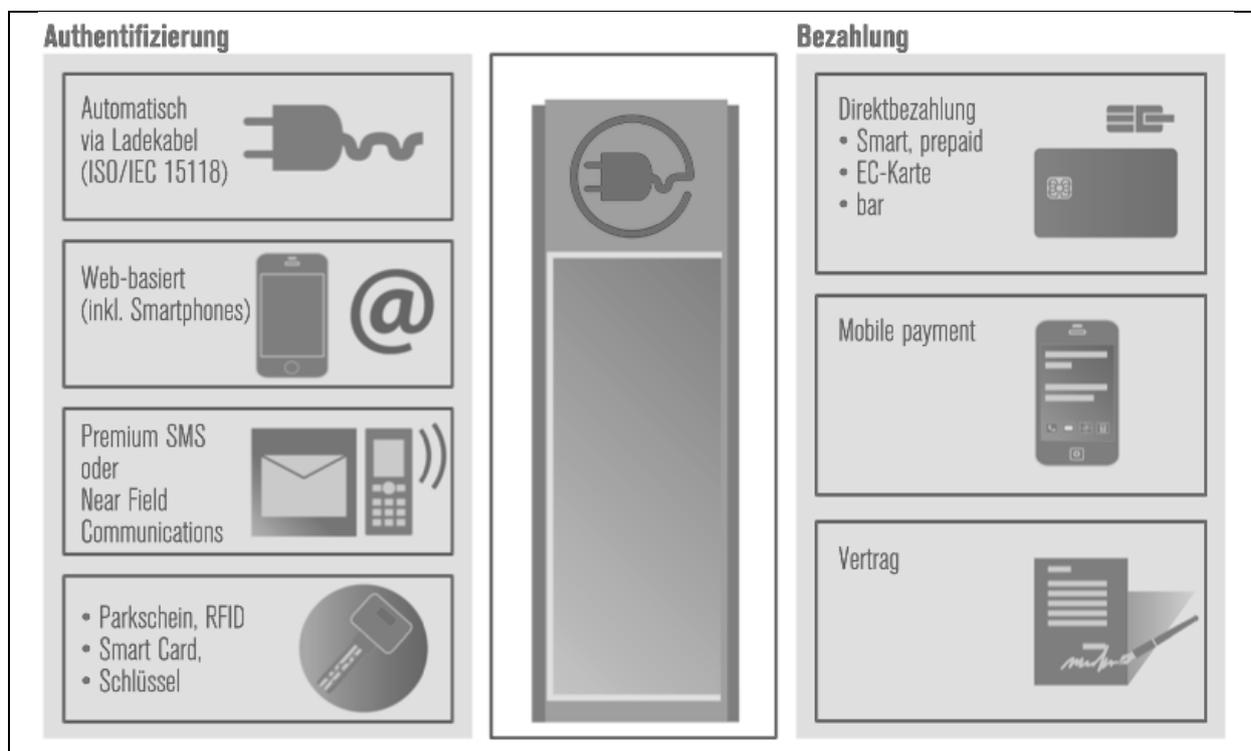


Abbildung 26: Authentifizierungs- und Bezahlungsmöglichkeiten²¹³

Authentifizierung/Autorisierung

Eine geeignete Authentifizierung soll das Laden von Strom durch unberechtigte Personen verhindern. Während ein einfacher Schlüssel nur unberechtigte Personen aussperrt, bieten die anderen Möglichkeiten zudem eine Identifikation des Nutzers an

²¹² vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012a), S. 28ff.; vgl. Hörhammer et al. (2013), S.74ff.

²¹³ Nationale Plattform Elektromobilität (2012a), S. 29

um eine Abrechnung durchzuführen. Weit verbreitet ist die Authentifizierung über RFID-Kundenkarten oder Bankomatkarten.²¹⁴

Der Energieversorger RWE testet die Authentifizierung per Ladekabel, die einen hohen Komfort bieten soll. Je nach Ladeort eignet sich ein anderes System um die Authentifizierung durchzuführen. In einer Privatgarage kann eine Authentifizierung entfallen, wohingegen an öffentlich zugänglichen Orten ein Authentifizierungssystem unabdingbar ist. In Zukunft wird die Authentifizierung automatisch durchgeführt werden, da es den Ladevorgang um einiges erleichtert. Die Art der Authentifizierung richtet sich auch nach Art der Abrechnung und Bezahlung.²¹⁵

Bezahlung

Bei pauschalierter Bezahlung oder freiem Strombezug muss nur die Berechtigung geprüft werden, eine Abrechnung entfällt. Solche Konzepte sind vor allem bei derzeitigen Pilotprojekten häufig vorzufinden. Diese Systeme sind sehr einfach gehalten und dementsprechend auch kostengünstig. Beim flächendeckenden Aufkommen der Elektromobilität besteht dadurch aber die Gefahr eines eingeschränkten Nutzungskreises.²¹⁶

Bei einem Strompreis²¹⁷ von 16,8 Cent/kWh inkl. USt. betragen die Kosten für eine volle Ladung eines Elektroautos mit 20 kWh Batteriekapazität nur € 3,40. Da bei Elektroautos durch die geringe Reichweite ein Zwischenladen sinnvoll ist ergeben sich deshalb kleine Beträge pro Ladevorgang. Dementsprechend dürfen bei einem Abrechnungssystem keine hohen zusätzlichen Verrechnungskosten anfallen, damit die Kosten für eine Ladung nicht zu stark von den Stromkosten abweichen, die der Nutzer zu Hause an der Steckdose bezahlen müsste.²¹⁸

Die Art der Bezahlung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten einer Ladestation. Hütter und Stigler geben die Kosten diverser Verrechnungssysteme für eine Ladestation für ein optimistisches Szenario mit einer Spanne von 0,72 Cent/kWh (RFID) bis 1,78 Cent/kWh (Kreditkarte) an.²¹⁹ Andere Studien geben die Kosten gar auf 1,2 Cent/kWh (Quick) bis 10 Cent/kWh (Bankomatkarte) für ein Best-Case Szenario und 5,9 Cent/kWh (Quick) bis 46 Cent/kWh (Bankomatkarte) für ein Worst-Case

²¹⁴ vgl. e-connected (2010), S.28

²¹⁵ vgl. RWE Mobility, www.rwe-mobility.com, Zugriffsdatum 24.09.2012; Interview mit Gernot Freisinger, Projektierung E-Mobility, Elsta Mosdorfer GmbH am 26.11.2012

²¹⁶ vgl. Stigler et al. (2010), S.133ff.

²¹⁷ vgl. Energie Steiermark AG, www.e-steiermark.at, Zugriffsdatum 30.11.2012

²¹⁸ vgl. Hütter/Stigler (2012), S.5f.

²¹⁹ vgl. Hütter/Stigler (2012), S.6f.

Szenario an.²²⁰ Einen derartig hohen Aufpreis auf einen Kilowattstundenpreis für Strom von ca. 20 Cent/kWh allein durch die Verrechnung lässt sich wohl kaum durchsetzen. Auf diese Thematik wird im Kapitel 7 noch genauer eingegangen.

Ist eine genaue Abrechnung erforderlich, muss jeder Ladepunkt einer Ladestation mit einem eigenen geeichten Stromzähler ausgerüstet sein. Dies führt zu höheren Investitionen bei Ladestationen mit direkter Bezahlungsmöglichkeit. Ladestationen für den öffentlichen Bereich verfügen schon oft in der Basisversion über einen solchen MID zertifizierten Stromsummenzähler, wohingegen bei kleinen Ladeboxen oder Ladesäulen meist ein Aufpreis verrechnet wird.²²¹

Im halböffentlichen und privaten Bereich werden meist Ladeboxen mit Wandmontage verwendet, die über kein Interface zur Bezahlung verfügen. Ist eine Abrechnung erforderlich, gibt es auch die Möglichkeit eine Ladestation mit sogenannten Satelliten zu erweitern. An einem Leitstand wird die Authentifizierung und Bezahlung durchgeführt und dadurch die Ladepunkte freigeschaltet.²²²

Es existiert auch die Idee, anstatt Ladestationen Fahrzeuge mit Zählern und Kommunikationseinrichtungen auszustatten und damit abzurechnen. Die Form nennt man on-board- oder mobilemetering. Dadurch soll ein kostengünstiger Ausbau der Ladeinfrastruktur ermöglicht werden. Für 2013 sind erste Feldtests dieses Systems geplant.²²³

Roaming und Clearing

Roaming funktioniert so wie es aus der Telekommunikationsbranche bereits bekannt ist. Dabei ermöglicht ein Abkommen zwischen den Ladestationsbetreibern und eine gemeinsame Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) dem Kunden die Möglichkeit auch Ladestationen anderer Anbieter zu verwenden. Dadurch hat er Zugang zu Ladestationen von anderen Anbietern, mit denen er selbst in keiner Vertragsbeziehung steht. Dabei wird die Authentifizierung an Fremdladestationen wie üblich durchgeführt, die Abrechnung erfolgt wie gewohnt vom eigenen Ladestationsbetreiber. Dadurch soll eine Insellösung vermieden und eine hohe Akzeptanz bei den Nutzern geschaffen werden.²²⁴

²²⁰ vgl. Stigler et al. (2010), S.143ff.

²²¹ vgl. Keba (2012), S.10ff.; vgl. Elsta Mosdorfer (2012)

²²² Interview mit Gernot Freisinger, Projektierung E-Mobility, Elsta Mosdorfer GmbH am 26.11.2012

²²³ vgl. Hörhammer et al. (2013), S.74ff.

²²⁴ vgl. e-connected (2010), S.28ff.

Mittelfristig soll sich eine Clearingstelle etablieren, die als Datendrehscheibe agieren soll.²²⁵ Laut e-connected ist „eine Clearingstelle eine neutrale Einrichtung zur Klärung von Streitigkeiten und zur Koordination und Schlichtung zwischen verschiedenen Institutionen, Trägern und Angeboten“.²²⁶ Die Möglichkeit, bei direkter Bezahlung an der Ladestation zwischen verschiedenen Stromlieferanten zu wählen, ist hingegen nicht gegeben.²²⁷

Abbildung 27 zeigt den Aufbau des Roamings ohne und mit einer Clearingstelle. Unterschiedlich zeigen sich die Kommunikations- und Abrechnungspfade zwischen den Betreibern. Auf der linken Seite der Abbildung wird das Roaming von den verschiedenen Ladeinfrastrukturbetreibern koordiniert, auf der rechten Seite wird die Koordination von einer unabhängigen Clearingstelle übernommen.²²⁸

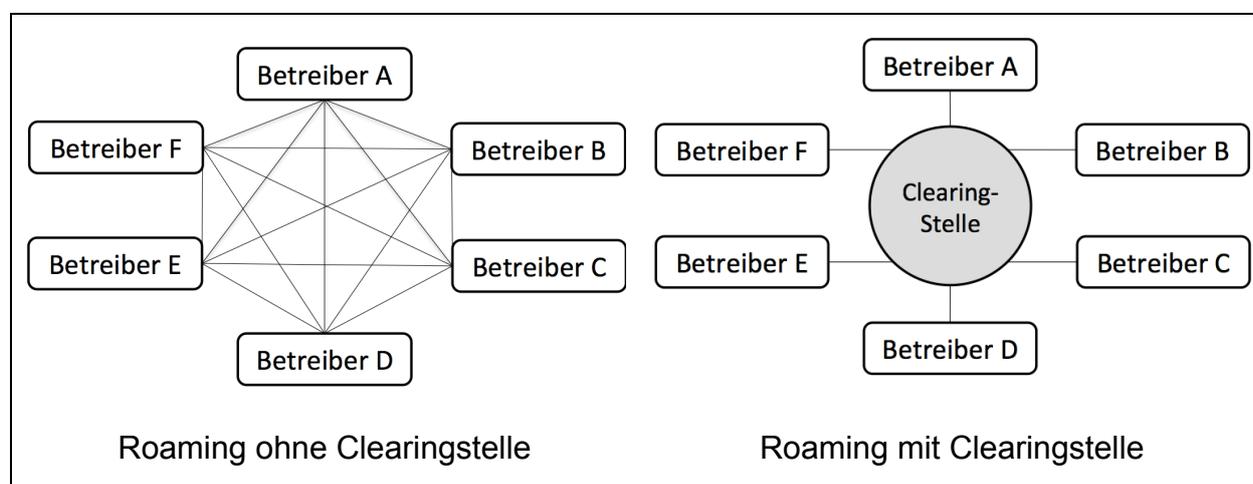


Abbildung 27: Koordination bei Roaming: links ohne, rechts mit Clearingstelle²²⁹

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Authentifizierung und Bezahlung die schnell und automatisch abläuft und dadurch dem Nutzer den höchsten Komfort bietet, in Zukunft Standard sein wird. Dies steht auch in Einklang mit der vielversprechenden induktiven Ladung. Wie die Lösung im Detail aussieht, kann an dieser Stelle jedoch noch nicht gesagt werden, da es weder einen akzeptierten Standard noch eine dementsprechende Norm gibt.

²²⁵ vgl. Geringer, B. et al. (2011) S.43

²²⁶ e-connected (2010), S.33

²²⁷ vgl. Geringer, B. et al. (2011) S.43

²²⁸ vgl. E-Clearing, www.e-clearing.net, Zugriffsdatum 28.11.2012

²²⁹ in Anlehnung an E-Clearing.net, www.e-clearing.net, Zugriffsdatum 28.11.2012

4.8 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

In diesem Kapitel wurden Ladesysteme für Elektrofahrzeuge untersucht. Moderne Elektrofahrzeuge verfügen größtenteils über einen Lithium-Ionen Akkumulator als Energiespeicher. Nachgeladen werden kann der Akku konduktiv oder induktiv. Es gibt auch noch die Möglichkeit eines Akku- oder Elektrolyttausches, die aber mit hohen Kosten verbunden ist.

Der wichtigste Ladeort ist der private Abstellplatz, an dem mittels Ladebox über Nacht geladen wird. Öffentliche Ladestationen dienen hauptsächlich dazu, den Kunden die Reichweitenangst zu nehmen. Die Lücke zwischen diesen beiden Ladeorten schließen halböffentlich Ladestationen, die beispielsweise in Einkaufszentren oder auf Firmenparkplätzen verfügbar sind. Je nach Ort wird eine Authentifizierung des Nutzers oder eine Bezahlung vorgenommen. Als Möglichkeiten stehen beispielsweise RFID- oder Quick-Karten, Smartphones und in Zukunft eine automatische Erkennung des Fahrzeuges zur Verfügung.

Die aus dem Haushalt oder der Industrie bekannten Steckvorrichtungen entsprechen nicht den Anforderungen der Elektromobilität. Deshalb wurden spezielle Ladestecker entwickelt, die in der Norm IEC 62196 enthalten sind.

Die konduktive Ladung wird in den nächsten Jahren die wichtigste Ladetechnologie sein. Da das induktive Laden den Nutzern einen hohen Komfort bietet, wird es als wichtige Technologie für die Zukunft angesehen.

Die Vehicle-to-Grid genannte Möglichkeit die Batterien der Elektrofahrzeuge als Puffer für das Stromnetz zu verwenden wird sie sich in den kommenden Jahren aus unterschiedlichen Gründen nicht durchsetzen. Um lokale Überlastungen des Stromnetzes zu vermeiden ist hingegen ein gesteuertes Laden sinnvoll. Die Norm ISO/IEC 15118 bildet die Grundlage für ein Lademanagement.

Für den Aufbau und den Betrieb von Ladestationen ist es bedeutend den richtigen Ladestandard zu wählen. Die Literaturrecherche und die Interviews mit Experten aus der Elektromobilität haben ergeben, dass für Europa die Wechselstromladung mit bis zu 22 kW und die Verwendung des Typ-2 Steckers die wichtigste Ladestrategie sein wird. Ob und in welcher Form ein Schnellladen Anwendung finden wird kann hingegen zum jetzigen Zeitpunkt nicht gesagt werden.

5 Ladeinfrastruktur

Nachdem im vorangegangenen Kapitel auf die technischen Möglichkeiten, Normen und Standards von Ladesystemen eingegangen und Unterscheidungsmerkmale hinsichtlich Ladeort und -dauer aufgezeigt wurden, befasst sich dieses Kapitel mit der Ladeinfrastruktur. Es wird sowohl der Status quo in Österreich beleuchtet, als auch ein Ausblick auf die nächsten Jahre gegeben.

Der Aufbau einer Ladeinfrastruktur wird oft als Henne-Ei-Problem bezeichnet. Durch die geringe Verbreitung und der unklaren Entwicklung der Elektromobilität zögern Unternehmungen in den Aufbau zu investieren. Es gibt zwar viele Modellregionen und auch vereinzelt öffentlich zugängliche Ladestationen, ein flächendeckender Ausbau ist jedoch noch lange nicht gegeben. Dadurch stehen Konsumenten dem Kauf von Elektrofahrzeugen jedoch verhalten gegenüber – ein Teufelskreis. Da Elektrofahrzeuge allerdings im Notfall auch an jeder Steckdose geladen werden können ist die „Reichweitenangst“ zum Teil unbegründet. Dementsprechend kann auch nicht von einer reinen Henne-Ei Problematik ausgegangen werden.²³⁰

Ein nutzerorientierter Roll-out der Ladeinfrastruktur soll sich diesen Problemen entgegensetzen. Durch eine ausreichende Anzahl von Ladestationen an Quell- und Zielorten sollen auch die Absatzzahlen von Elektrofahrzeugen angekurbelt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Verbreitung der Ladestationen Hand in Hand mit der von Elektroautos geht und nach technischen Mindeststandards erfolgt um Fehlinvestitionen zu vermeiden.²³¹

5.1 Vorhandene Ladeinfrastruktur

Im Rahmen von Modellregionen und Leuchtturmprojekten wird in Österreich und Deutschland ein erster Aufbau einer Ladeinfrastruktur vorangetrieben. Private Ladestationen werden hingegen korrelierend mit der Anschaffung von Elektroautos installiert. Supermärkte, EVUs und anderen Gewerbebetrieben bieten teilweise halböffentliche Ladestationen an. Die folgenden Abschnitte bieten einen Überblick über Ist-Stand und die geplanten Ziele der Modellregionen.

²³⁰ vgl. PwC/Fraunhofer (2010), S.30; vgl. Romm (2006), S.2612f.

²³¹ vgl. BMLFUW/BMVIT/BMWFJ (2012), S.14

Modellregionen und Initiativen

Ende 2008 wurde die erste Modellregion in Österreich vergeben, welche in Vorarlberg unter dem Namen VLOTTE errichtet wurde. Der Klima- und Energiefonds unterstützt gemeinsam mit dem Lebensministerium den Aufbau von E-Mobilitätsmodellregionen. Derzeit gibt es acht Modellregionen mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Abbildung 28 zeigt eine Landkarte mit den Regionen.²³²

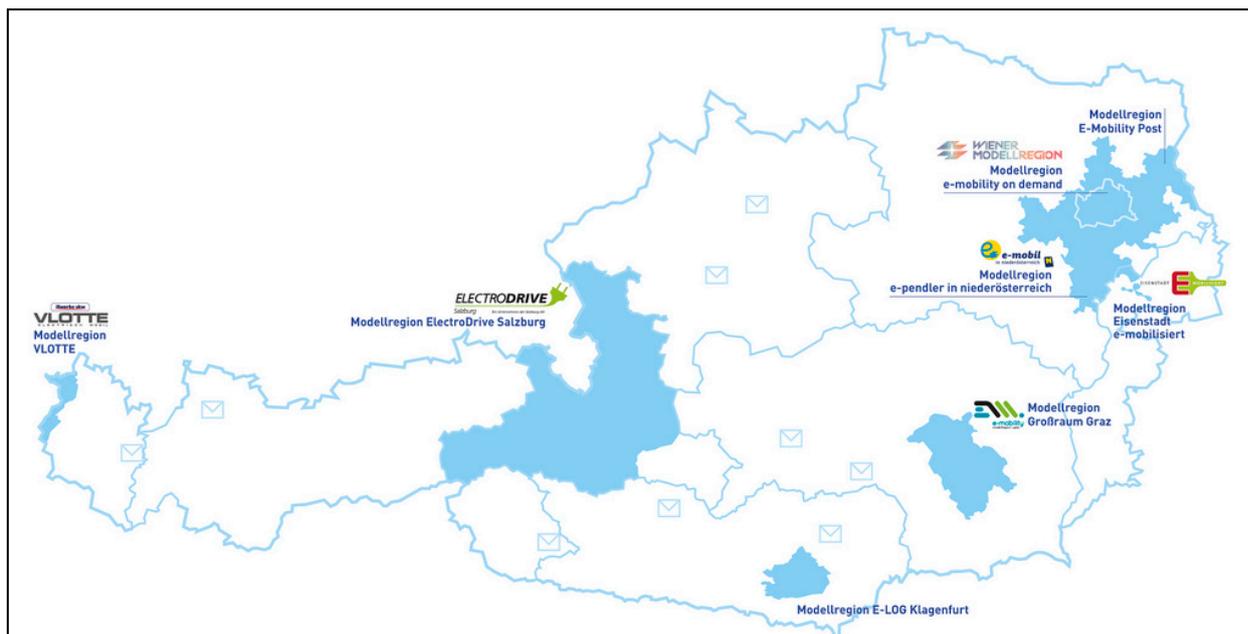


Abbildung 28: Modellregionen in Österreich²³³

Die Key-Facts der Modellregionen werden in den Tabelle 6 bis 10 zusammengefasst. Die meisten Modellregionen haben neben einem Aufbau von Ladestationen und eine Erprobung von neuen Geschäftsmodellen für Elektrofahrzeuge als Ziel.

²³² vgl. e-connected, www.e-connected.at, Zugriffsdatum 13.11.2012

²³³ e-connected, www.e-connected.at, Zugriffsdatum 13.11.2012

 VLOTTE elektrisch mobil	
Homepage	www.vlotte.at
Key facts	<ul style="list-style-type: none"> • Ausschreibung 2008 • Aktuell 357 Elektrofahrzeuge • Regionaler Ökostrom • Um ca. €500 pro Monat konnte ein Elektroauto geleast werden inkl. Versicherung, Wartung, Strom und einer Netzkarte für die öffentlichen Verkehrsmittel.
Ladestationen	<ul style="list-style-type: none"> • 122 öffentliche Ladestationen, 20 halböffentliche, jeweils mit 3,7 kW Leistung; Authentifizierung erfolgt über Park&Charge. • 3 Schnellladestationen nach CHAdeMO; Abrechnung erfolgt über eine Jahresvignette

Tabelle 6: Modellregion Vlotte – Stand Juni 2012²³⁴

 ElektroDrive Salzburg	
Homepage	www.electrodrive-salzburg.at
Key facts	<ul style="list-style-type: none"> • Start 2009 • Aktuell: 110 Elektroautos, 1000 Elektrozweiräder • Ziel 2014: 1073 Elektrofahrzeuge; 3 Ökostrom-Erzeugungsanlagen • Anfangs Mietmöglichkeit von Elektrofahrzeugen, mittlerweile Fokus auf Ladeinfrastruktur • Kundenkarte mit Flatrate für öffentliche Ladestationen
Ladestationen	<ul style="list-style-type: none"> • 134 Ladestationen, davon 46 öffentlich oder halböffentlich • Ziel 2014: 192 Ladestationen • Kooperation mit The Mobility House (Marke Electrodrive) • Ladestationen bis zu 22kW mit Typ-2 Mode-3 • Flatrate öffentliches Laden ca. 200€/Jahr • Heimpladebox + Flatrate für öffentliche Ladestationen um ca. 10€/Monat + einmalig ca. 550€ für die Installation der Heimpladebox

Tabelle 7: Modellregion Electrodrive Salzburg – Stand Juni 2012²³⁵

²³⁴ vgl. VLOTTE (2012), S.3ff.

²³⁵ vgl. ElectroDrive Salzburg (2012), S.3ff.; vgl. ElectroDrive Salzburg, www.electrodrive-salzburg.at, Zugriffsdatum 13.11.2012

 E-Mobilität Großraum Graz	
Homepage	www.emobility-graz.at
Key facts	<ul style="list-style-type: none"> • Start 2011 • Status: 47 zwei- und 65 einspurige Elektrofahrzeuge • Ziel 2014: 250 zwei- und 480 einspurige Elektrofahrzeuge • Ökostrom aus Photovoltaik • Leasing und Verleih für Elektrofahrzeugen
Ladestationen	<ul style="list-style-type: none"> • Status: 30 Ladestationen bis 22kW, davon 28 öffentlich oder halböffentlich • Ziel 2014: 73 Ladestationen • Ladestationen bis zu 22kW mit Typ-2 Mode-3 • Angebot für Heimpladestation für Privatkunden

Tabelle 8: Modellregion Großraum Graz – Stand Juni 2012²³⁶

 Wiener Modellregion – e-mobility on demand	
Homepage	www.wienerstadtwerke.at
Key facts	<ul style="list-style-type: none"> • Start 2012 • Status: 10 zwei- und 15 einspurige Elektrofahrzeuge • Ziel: 175 zweispurige Elektrofahrzeuge • Fahrzeugbeschaffung, Ladeinfrastruktur, Zusatzangebote, E-CarSharing
Ladestationen	<ul style="list-style-type: none"> • Status: 22 Ladestationen, davon 7 öffentlich oder halböffentlich, 9 betrieblich, 6 privat; 1 Schnellladestation nach CHAdeMO • Ziel: insgesamt 440 Ladestationen • Ladestationen bis zu 22kW mit Typ-2 Mode-3 • Flatrate öffentliches Laden ca. 200€/Jahr • Heimpladestation + Flatrate für öffentliche Ladestationen um ca. 10€/Monat + einmalig ca. 550€ für die Installation der Heimpladestation

Tabelle 9: Modellregion e-mobility on demand Wien – Stand Juni 2012²³⁷²³⁶ vgl. Holding-Graz (2012), S.3ff.²³⁷ vgl. Wiener Stadtwerke (2012), S.3ff.

 Eisenstadt e-mobilisiert	
Homepage	www.e-mobilisiert.at
Key facts	<ul style="list-style-type: none"> • Status: 3 zwei- und 9 einspurige Elektrofahrzeuge • Ziel: 30 zwei- und 75 einspurige Elektrofahrzeuge • Mehrfachnutzung von Elektrofahrzeugen (Carsharing, Fahrgemeinschaften) • Elektrobetriebene City Taxis
Ladestationen	<ul style="list-style-type: none"> • Status: 1 halböffentliche Ladestation • Ziel: 31 öffentliche, 11 betriebliche und 10 private Ladestationen; 1 Schnellladestation

Tabelle 10: Modellregion Eisenstadt e-mobilisiert – Stand Juni 2012²³⁸

Auf die anderen Modellregionen wird hier nicht detailliert eingegangen, da sie sich vorwiegend auf Flottenkunden u.ä. spezialisieren und nicht darauf abzielen, eine öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur aufzubauen.²³⁹ Nähere Informationen finden sich auf der Webseite von e-connected.²⁴⁰

E-connected ist eine Initiative für Elektromobilität und nachhaltige Energieversorgung des Klima- und Energiefonds Österreich. Die Initiative hat das Ziel, potenziellen Marktteilnehmern Information über Elektromobilität bereitzustellen und einen Erfahrungsaustausch zu erleichtern. Der Initiative gehören zahlreiche Experten aus Industrie und Wissenschaft an.²⁴¹

Neben diesen Modellregionen gibt es auch weitere Pilotregionen mit Schwerpunkt auf Elektromobilität. Die wichtigsten sind „Linz Strom Mobil“, „Lebensland Kärnten“ und „Electrodrive Tirol“. Electrodrive Tirol ist vom Prinzip her ähnlich wie Electrodrive Salzburg, hinter beiden Marken steht die The Mobility House AG.²⁴² In Linz gibt es zwar schon fast 100 Ladesäulen, die meisten davon sind allerdings für einspurige Fahrzeuge ausgelegt.²⁴³ In Kärnten ist das Ziel die notwendige Infrastruktur für die Elektromobilität zu schaffen, wofür bereits 200 einfache Ladestationen installiert worden sind.²⁴⁴

²³⁸ vgl. BEWAG (2012), S.3ff.

²³⁹ vgl. e-connected, www.e-connected.at, Zugriffsdatum 13.11.2012

²⁴⁰ <http://www.e-connected.at/content/modellregionen-0>

²⁴¹ vgl. e-connected (2010), S.5

²⁴² vgl. ElectroDrive Tirol, www.electrodrive-tirol.at, Zugriffsdatum 13.11.2012

²⁴³ vgl. Linz AG, www.linzag.at, Zugriffsdatum 14.11.2012

²⁴⁴ vgl. Lebensland Kärnten, www.lebensland.com, Zugriffsdatum 14.11.2012

Eine weitere Initiative ist die „Austrian Mobile Power“. Die Plattform wurde 2009 von österreichischen Unternehmungen gegründet und hat sich das Ziel gesetzt bis 2020 210.000 Elektrofahrzeuge auf die Straßen zu bringen.²⁴⁵

Im Oktober 2012 startete der „E-Mobility Provider Austria“, ein Joint-Venture von Verbund und Siemens. Der Provider will in den nächsten Jahren ein dichtes Ladenetz aufbauen und ein neuartiges E-Mobilitätskomplettpaket anbieten.²⁴⁶

In Deutschland gibt es acht Modellregionen. Die Schwerpunkte sind denen in Österreich ähnlich, es werden aber auch vermehrt Hybridbusse und Kleintransporter getestet. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) fördert die Modellregionen mit insgesamt 130 Millionen Euro. Nähere Informationen zu den Modellregionen finden sich auf der Homepage des BMVBS.²⁴⁷ Abbildung 29 zeigt die Modellregionen in Deutschland.

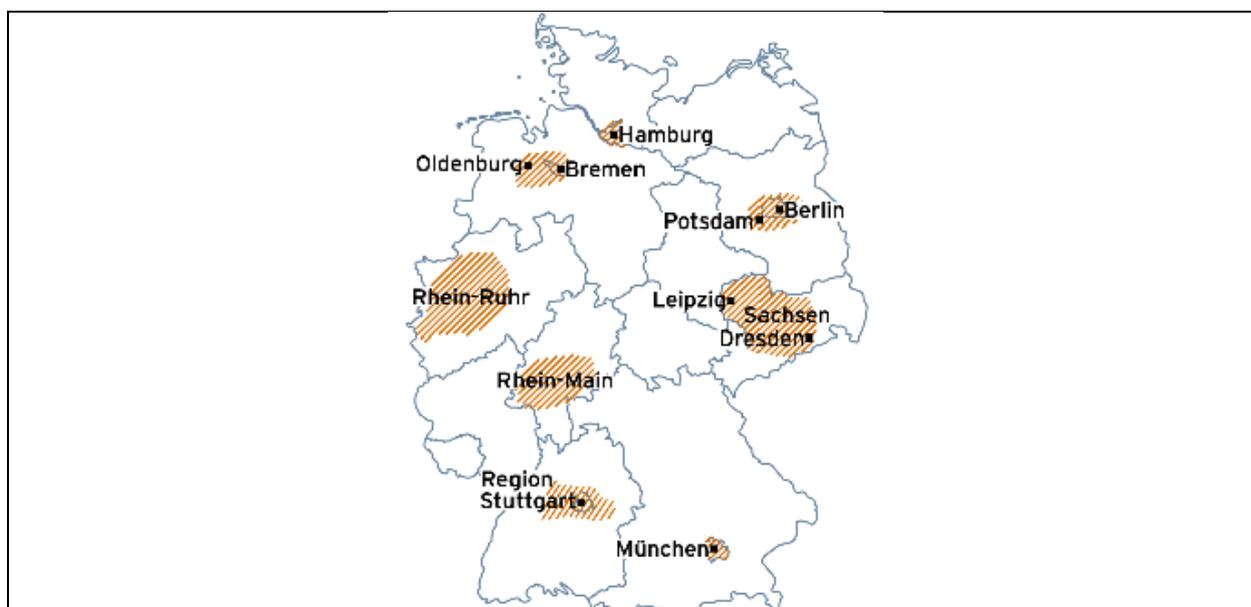


Abbildung 29: Modellregionen in Deutschland²⁴⁸

Insgesamt investierte die deutsche Bundesregierung bereits rund 500 Millionen Euro in den Ausbau und in die Marktvorbereitung der Elektromobilität. Das deutsche Pendant des österreichischen e-connected ist die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE). Das Ziel der NPE ist, Deutschland bis 2020 als Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität zu entwickeln.²⁴⁹

²⁴⁵ vgl. Austrian Mobile Power, www.austrian-mobile-power.at, Zugriffsdatum 14.11.2012

²⁴⁶ vgl. Austrian Mobile Power, www.austrian-mobile-power.at, Zugriffsdatum 14.11.2012a

²⁴⁷ vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Deutschland, www.bmvbs.de, Zugriffsdatum 17.11.2012

²⁴⁸ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, www.bmvbs.de, Zugriffsdatum 17.11.2012

²⁴⁹ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2011), S.5

Private und halbprivate Ladestationen

Die Nationale Plattform Elektromobilität schätzt, dass 90% aller Ladestationen im privaten Bereich benötigt werden.²⁵⁰ Die Anschaffung einer Heimpladebox fällt mit dem Kauf eines Elektroautos zusammen. Der Aufbau einer privaten Ladeinfrastruktur geht damit Hand in Hand mit der Verbreitung von Elektroautos. Auch die Europäische Kommission gibt an, dass im Jahr 2020 10% aller Ladestationen öffentlich zugänglich sind.²⁵¹

Halbprivate Ladestationen werden meist von Unternehmungen, die eine Elektrofahrzeugflotte unterhalten, aufgebaut. Vom technischen Standpunkt werden dabei vorzugsweise Heimpladeboxen verwendet, da sie preiswert und platzsparend sind. Die meisten Elektroautos, die bisher verkauft wurden, werden als Poolfahrzeuge eingesetzt. Ebenso ist auch denkbar, dass Arbeitgeber ihren Angestellten Ladestationen für ihre Privatfahrzeuge anbieten.²⁵²

Idealerweise wird auch zu Hause nach Mode-3 geladen. In der Parkgarage der Energie Steiermark AG sind sowohl Mode-3 Ladeboxen mit fixem Ladekabel als auch mit Steckdose vorhanden. Es hat sich gezeigt, dass die Ladeboxen mit fix verbautem Kabel viel besser angenommen werden. Ein lästiges Entnehmen des Ladekabels aus dem Kofferraum entfällt und es ist nur ein Handgriff notwendig, um das Auto zu laden. Zudem wurden oft auch Ladekabeln an den Ladestationen vergessen. Da am Markt befindliche Elektrofahrzeuge noch mit unterschiedlichen Fahrzeugsteckern ausgestattet sind, ist eine Interoperabilität noch nicht gegeben. Es kann deshalb passieren, dass man durch den Einsatz von Ladestationen mit fixem Kabel, den Nutzerkreis beschränkt. Für Ladeboxen, die von vielen verschiedenen Fahrzeugen angefahren werden, erscheint diese Lösung momentan daher nicht ideal. Für Privat- oder Firmenfahrzeuge, die mit dem gleichen Ladestecker ausgerüstet sind, ergibt sich aber ein Komfortgewinn. Die Abrechnung des Stroms erfolgt im privaten und halbprivaten Bereich über den Hauszähler. Ein Authentifizierungssystem ist meistens nicht notwendig.²⁵³

Halböffentliche und öffentliche Ladestationen

Immer mehr Handelsunternehmungen bieten ihren Kunden Ladestationen mit kostenlosem Strombezug während des Einkaufs an. So sind schon bei vielen Einkaufszentren Stromtankstellen für einspurige aber auch zweispurige

²⁵⁰ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012a), S.50

²⁵¹ vgl. Europäische Kommission (2013), S.2f.

²⁵² vgl. Urbantschitsch et al. (2011); S.2f.

²⁵³ Interview mit Heimo T. Blattner, Energie Steiermark AG, Projektleiter E-Mobility; Interview mit Gernot Freisinger, Projektierung E-Mobility, Elsta Mosdorfer GmbH am 26.11.2012

Elektrofahrzeuge errichtet. Die Einzelhandelsketten REWE und Spar arbeiten aktiv bei der Elektromobilität mit. So sind bei Merkurmärkten der REWE Gruppe in Graz Ladestationen der Energie Steiermark AG zu finden. Ebenso sind bei ausgewählten Spar-Märkten Ladestationen errichtet worden.²⁵⁴

Öffentliche Ladestationen sind in Österreich noch nicht sehr verbreitet. Je nach Modellregion sind die Ladestationen mit unterschiedlichen Ladestandards ausgerüstet. So sind in vielen Gebieten nur Ladestationen nach Mode-1/2 mit Schuko oder CEE Steckdosen zu finden. Mode-3 Ladestationen nach IEC 62196-2 sind noch selten. Ein Problem für den Nutzer ist, dass Ladestationen eines jeden Betreibers andere Authentifizierungs- und Abrechnungssysteme verwenden. Ein Roaming ist bislang noch nicht verbreitet, wenngleich es schon erste Initiativen gibt, wie in Kapitel 5.2 beschrieben. Meist ist der Nutzer auch darauf angewiesen zuvor einen Vertrag abzuschließen oder zumindest eine Registrierung bei dem Ladestationsbetreiber durchzuführen, da meist die Möglichkeit fehlt, direkt, sei es mit Münzen, Karte oder Handy, zu zahlen. In den Modellregionen war der Strombezug zu Beginn meist kostenlos. Mittlerweile finden sich vermehrt Flatrate-Modelle, bei denen ein monatlich fixer Betrag für die uneingeschränkte Nutzung der Ladeinfrastruktur gezahlt wird. Eine genaue Abrechnung des geladenen Stroms ist kaum anzufinden.²⁵⁵

Suchmaschinen

Da die Ladeinfrastruktur momentan noch nicht flächendeckend ausgebaut ist, ist es bei längeren Fahrten unumgänglich, sich im Vorhinein über zugängliche Ladestationen zu informieren. Spezielle Online-Kataloge bieten eine Suche nach Adresse und nach technischen Kriterien an. Die zwei bekanntesten sind LEMnet und e-Tankstellen-Finder. Beide Suchmaschinen bieten auch Apps für gängige Smartphones und Erweiterungen für viele Navigationsgeräte an. Die Zahl der gelisteten Ladestationen unterscheidet sich je nach Region recht deutlich. Eine qualitative Bewertung wird in dieser Diplomarbeit nicht durchgeführt.²⁵⁶

Ein Routenplaner, der für die Fahrt benötigte Ladestationen miteinbezieht, ist eine gute Möglichkeit, um den Aktionsradius von Elektrofahrzeugen auszudehnen und die Reichweitenangst der Nutzer zu mindern.²⁵⁷

²⁵⁴ vgl. Merkur Warenhandels, www.merkurmarkt.at, Zugriffsdatum 14.11.2012; vgl. Spar, www.spar.at, Zugriffsdatum 14.11.2012

²⁵⁵ vgl. e-connected, www.e-connected.at, Zugriffsdatum 13.11.2012

²⁵⁶ vgl. LEMnet, www.lemnet.org, Zugriffsdatum 13.11.2012; E-Tankstellen-Finder, www.e-tankstellen-finder.com, Zugriffsdatum 13.11.2012

²⁵⁷ ebenda

5.2 Allgemeine Entwicklung in Europa

Der wichtigste Ladeort wird der private Autoabstellplatz bleiben.²⁵⁸ Die meisten Hersteller von Elektroautos werden diese Heimpladestationen und deren Installation anbieten. Ebenso sind und werden sie bei Energieversorgern erhältlich sein.²⁵⁹ Heimpladestationen werden auch im Elektrofachmarkt verkauft und können vom Elektriker installiert werden.²⁶⁰

Supermärkten, Einkaufszentren, Restaurants etc., die über Parkflächen verfügen, werden in Zukunft vermehrt Ladestationen zur Verfügung stellen. Immer mehr Firmen testen Elektroautos in der eigenen Fahrzeugflotte und installieren deshalb Ladestationen, die auch von den Mitarbeitern genutzt werden können. Offen bleibt, ob die Ladestationen nur den Kunden als Zusatzleistung zur Verfügung stehen oder ob auch gezielt EV-Besitzer angesprochen werden um die Ladeinfrastruktur entgeltlich zu nutzen. Auch in Parkhäusern und Park&Ride Anlagen werden vermehrt Lademöglichkeiten zu finden sein.²⁶¹

Die Möglichkeit eines Roamings und Clearings soll nicht gesetzlich geregelt werden. Ob in Zukunft eine direkte Bezahlung an den Ladestationen möglich sein wird, oder ob wie heutzutage ein Vertrag mit dem Ladestationsbetreiber erforderlich ist, zeichnet sich noch nicht ab. Dadurch ist es weiterhin notwendig, dass sich Nutzer für einen Vertrag mit Ladestationsbetreiber entscheiden oder auf Gratisangebote zurückgreifen. Es gibt aber erste Initiativen, die sich des Roamings annehmen. Mit den sogenannten Vaalser Verträgen wurde ein Roaming zwischen acht Elektromobilitätsdienstleistern aus West- und Mitteleuropa, geschaffen und im Zuge dessen das Open Clearing House vorgestellt, das Ladestationsbetreibern und Fahrstromanbietern einen Informationsaustausch anbietet. Ebenso wurde 2012 die Hsubject GmbH von deutschen EVUs, Automobil- und Technologieherstellern gegründet, deren Ziel es ist, ein Roaming und Clearing zu ermöglichen.²⁶²

An wichtigen Hauptverkehrsrouten und Verkehrsknoten sollen Schnellladestationen dazu dienen, dass auch große Strecken mit reinen Elektroautos zurückgelegt werden können. Dieser sogenannte Schnellladekorridor soll auch die Angst nehmen, mit einem

²⁵⁸ vgl. Stigler et al. (2009), S.33f.; vgl. CE Delft (2011), Summary Report S.14

²⁵⁹ Interview mit Heimo T. Blattner, Energie Steiermark AG, Projektleiter E-Mobility am 26.11.2012

²⁶⁰ vgl. Conrad Electronic, www.conrad.at, Zugriffsdatum: 21.11.2012

²⁶¹ vgl. Urbantschitsch et al. (2011); S.4f.

²⁶² vgl. e-connected (2010), S.34; vgl. Ladenetz.de, www.ladenetz.de, Zugriffsdatum 14.11.2012; Hsubject GmbH, www.hsubject.com, Zugriffsdatum 15.11.2012

Elektroauto einen eingeschränkten Bewegungsradius zu haben. In Österreich bieten sich dazu Raststationen an.²⁶³

Der E-Mobility Provider Austria, ein Joint-Venture von Verbund und Siemens, will eine solche Schnellladeinfrastruktur aufbauen. In welchem Ausmaß ist allerdings noch nicht bekannt. In Amerika will der Elektrofahrzeughersteller Tesla Motors einen Schnellladekorridor mit über 150 Stationen bis 2015 aufstellen.²⁶⁴

Nachdem die erste Ladeinfrastruktur bereits aufgebaut und getestet wird, spielt in Zukunft die tatsächliche Marktentwicklung von Elektroautos eine viel wichtigere Rolle. Ein dichtes Netz an Ladestationen und Schnelllademöglichkeiten sind nur bei reinen Elektroautos notwendig. Für die nächsten Jahre wird aber erwartet, dass PHEVs und REEVs eine starke Entwicklung vollziehen und den Großteil der abgesetzten Elektroautos ausmachen. Dabei wäre der Bedarf an Schnellladestationen gering.²⁶⁵

Die Überlegungen, wie Fahrzeugbesitzern ohne eigenen Abstellplatz am besten eine Lademöglichkeit zur Verfügung gestellt werden kann, sind bis jetzt ergebnislos geblieben. Die primäre Zielgruppe für Elektroautos bleiben demnach Flottenkunden und Privatkunden mit Abstellplatz.²⁶⁶

Durch die geringe Verbreitung von Elektroautos gibt es hingegen noch kaum eine Infrastruktur im privaten Bereich. Mit dem Markthochlauf wird sich genau dieser prozentuale Anteil von privaten Ladestationen signifikant erhöhen und sich den bereits erwähnten 90% annähern.²⁶⁷ Hütter und Stigler schätzen für Österreich, dass im Jahr 2017 am meisten neue Ladepunkte errichtet werden und bis ins Jahr 2020 insgesamt um die 620.000 Ladestationen, vor allem im privaten und gewerblichen Bereich, installiert werden.²⁶⁸ Die Europäische Kommission hat für Österreich eine Zielvorgabe für die Errichtung von Ladestationen vorgeschlagen. Demnach sollen bis 2020 insgesamt 12.000 öffentlich zugängliche Ladestationen errichtet werden, was 10% aller verfügbaren entspricht.²⁶⁹

²⁶³ vgl. Hütter/Stigler (2012), S.10

²⁶⁴ vgl. E-Mobility Provider Austria GmbH & Co KG, www.eprovider.at, Zugriffsdatum 27.02.2013; vgl. Tesla Motors, www.teslamotors.com, Zugriffsdatum 13.11.2012

²⁶⁵ vgl. IEA (2011), S.10, S.14ff.

²⁶⁶ vgl. Hacker et al. (2011), 31ff.

²⁶⁷ vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012a), S.50

²⁶⁸ vgl. Hütter/Stigler (2012), S.13

²⁶⁹ vgl. Europäische Kommission (2013), S.3

5.3 Rechtlicher Hintergrund in Österreich

Welche Normen für Ladesysteme bzw. -stationen gelten, wurde bereits im Kapitel 4.3 abgehandelt. An dieser Stelle wird beleuchtet, welche Gesetze und Vorschriften für die Errichtung einer Ladeinfrastruktur gelten. Da dieses Thema von Rechtsexperten kontrovers diskutiert wird und eine Klarstellung des Gesetzgebers fehlt, können hier nur die unterschiedlichen Interpretationen der Gesetze wiedergegeben werden. So werden die Genehmigungen für die Errichtung von Ladestationen nicht in einem einheitlichen Verfahren erteilt, sondern es sind unter Umständen unterschiedliche Genehmigungen bei verschiedenen Behörden einzuholen. Um diese Rechtsunsicherheiten und Hürden für etwaige Genehmigungen zu beseitigen, wäre eine Klarstellung durch die Behörden oder den Gesetzgeber zweckmäßig. Es wird gefürchtet, dass andernfalls die fehlende Recht Klarheit den Aufbau einer Ladeinfrastruktur verzögert.²⁷⁰

Bei der Errichtung von Ladestationen treffen mehrere Vorgaben aufeinander. Zunächst sind baurechtliche Bestimmungen²⁷¹ der einzelnen Bundesländer einzuhalten. Dabei ist je nach Art, Größe und Aufstellungsort der Ladestation eine Anzeige- oder Bewilligungspflicht gegeben. Werden Ladestationen in einer Garage errichtet, sind Vorschriften im Baurecht oder Landesgaragengesetzen einzuhalten. Werden Ladestationen auf der Straße errichtet, so ist bei der Gemeinde eine straßenverkehrsrechtliche Bewilligung und eine Gebrauchserlaubnis einzuholen.²⁷²

Für private Ladestationen, die über einen vorhandenen und dem Privatkunden zugeordneten Zählpunkt verfügen, sind die Unsicherheiten aber gering.²⁷³ Die Ladestationen werden von den Hersteller nach den gültigen Normen konstruiert. Es ist nur eine fachgerechte Installation erforderlich. Eventuell ist eine Rücksprache mit dem Netzbetreiber notwendig, sollte der vorhandene Netzanschluss nicht den Anforderungen entsprechen.²⁷⁴

Das EIWOG (Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz) ist die zentrale Rechtsgrundlage für die Elektrizitätswirtschaft. Obwohl hinsichtlich der Energieversorger freie Marktwirtschaft herrscht, sind die Verteilungsnetze weiterhin monopolistisch organisiert. Der Kunde muss daher sowohl einen Vertrag mit dem Stromlieferant, als auch mit dem Netzbetreiber abschließen. Mit wenigen Ausnahmen unterliegt die Erzeugung, der Handel, die Lieferung sowie die Übertragung und die

²⁷⁰ vgl. Urbantschitsch (2010); vgl. Bernegger/Mesecke (2012); vgl. Nemeč (2012); vgl. Urbantschitsch et al. (2011)

²⁷¹ veröffentlicht auf help.gv.at

²⁷² vgl. Urbantschitsch (2010), S.318

²⁷³ ebenda

²⁷⁴ Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH am 17.12.2012

Verteilung von Strom dem Elektrizitätsrecht. Da Ladestationen zwar permanent mit dem Stromnetz verbunden sind, das Fahrzeug aber nur während des Ladens angesteckt ist, spricht laut Urbantschitsch, Leiter der Rechtsabteilung der Energieregulierungsbehörde E-Control, dafür, dass Ladestationen zu diesen Ausnahmen zählen und deshalb der GewO (Gewerbeordnung) unterliegen. Das spiegelt sich seiner Ansicht nach auch durch die Vertragsverhältnisse wider. So ist der Betreiber der Ladestation als Endverbraucher von Ladestationen nach EIWOG zu sehen, da nur er Verträge mit Netzbetreiber und Stromversorger abgeschlossen hat. Der Nutzer der Ladestation steht zumindest mit dem Netzbetreiber in keinem Vertragsverhältnis. Die Rechtsfolgen daraus unterscheiden sich deutlich. Ein Stromhändler hat die Aufnahme seiner Tätigkeit zu melden und unterliegt den Bedingungen der Regulierungsbehörde. Fällt der Betrieb einer Ladestation unter die GewO, wenn zum Beispiel eine Ladestation mit Gewinnabsicht betrieben wird, ist eine Gewerbebeanmeldung sowie eine Betriebsgenehmigung der Ladestation Voraussetzung.²⁷⁵

Bernegger und Mesecke sehen einen Ladestationsbetreiber hingegen als Stromhändler und damit als Elektrizitätsunternehmen, sodass nach Ihrer Ansicht nur das EIWOG und nicht die GewO Anwendung findet. Ihrer Meinung nach ist der Genehmigungsprozess kompliziert und teils widersprüchlich. Sie verlangen nach Klarstellung, welches Genehmigungsregime anzuwenden ist.²⁷⁶

Die Wirtschaftskammer Österreich (WKO) schreibt in einem Informationsblatt über Stromtankstellen, dass nach ihrer Ansichten sowie der des Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend der Betrieb von Stromtankstellen in die Gewerbeordnung fällt und deshalb der Bezirksverwaltungsbehörde anzuzeigen ist. Diese entscheidet dann, ob ein bloßes Anzeigen genügt oder ob ein beschleunigtes bzw. ordentliches Verfahren durchgeführt werden muss. Eine direkte Stellungnahme des Bundesministeriums liegt derzeit jedoch nicht vor.²⁷⁷

Nach Auskunft der Bau- und Anlagenbehörde der Stadt Graz ist eine Betriebsanlagengenehmigung für die Errichtung von Ladesäulen durchzuführen, wenn die Anlage dem § 74 GewO entspricht. Dabei handelt es sich um gewerbliche Betriebsanlagen die geeignet sind, Gefährdung, Belästigung und Beeinträchtigung hervorzurufen. Es wurde angeraten, bei einem Projektsprechtag das konkrete Vorhaben sowie das Vorgehen abzuklären. Eine pauschale Aussage kann nicht gegeben werden.²⁷⁸

²⁷⁵ vgl. Urbantschitsch (2010), S.316, S.319

²⁷⁶ vgl. Bernegger/Mesecke (2012), S.144

²⁷⁷ vgl. WKO (2011), S.1; vgl. Nemeč (2012), S1f.

²⁷⁸ Interview mit Frau Ennemoser, Abteilungsvorständin Bau- und Anlagenbehörde Graz

Zusammengefasst ergeben sich für private Ladestationen nach heutiger Sicht keine Rechtsfragen. Für gewerblich betriebene sowie öffentlich zugängliche Ladestationen ist eine genauere Betrachtung dieses Sachverhalts notwendig. Die größten Unklarheiten ergeben sich für das Laden im öffentlichen Raum.

5.4 Geschäftsmodelle

Die Elektromobilität ermöglicht eine Vielzahl neuer Geschäftsmodelle. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird nur auf solche hingewiesen, die sich auf Ladestationen und auf den Aufbau sowie Betrieb einer Ladeinfrastruktur spezialisieren oder für Energieversorgungsunternehmen von Relevanz sind.

Will sich ein Energieversorgungsunternehmen in der Elektromobilität positionieren, ergibt sich die in Abbildung 30 ersichtliche Fragestellung.

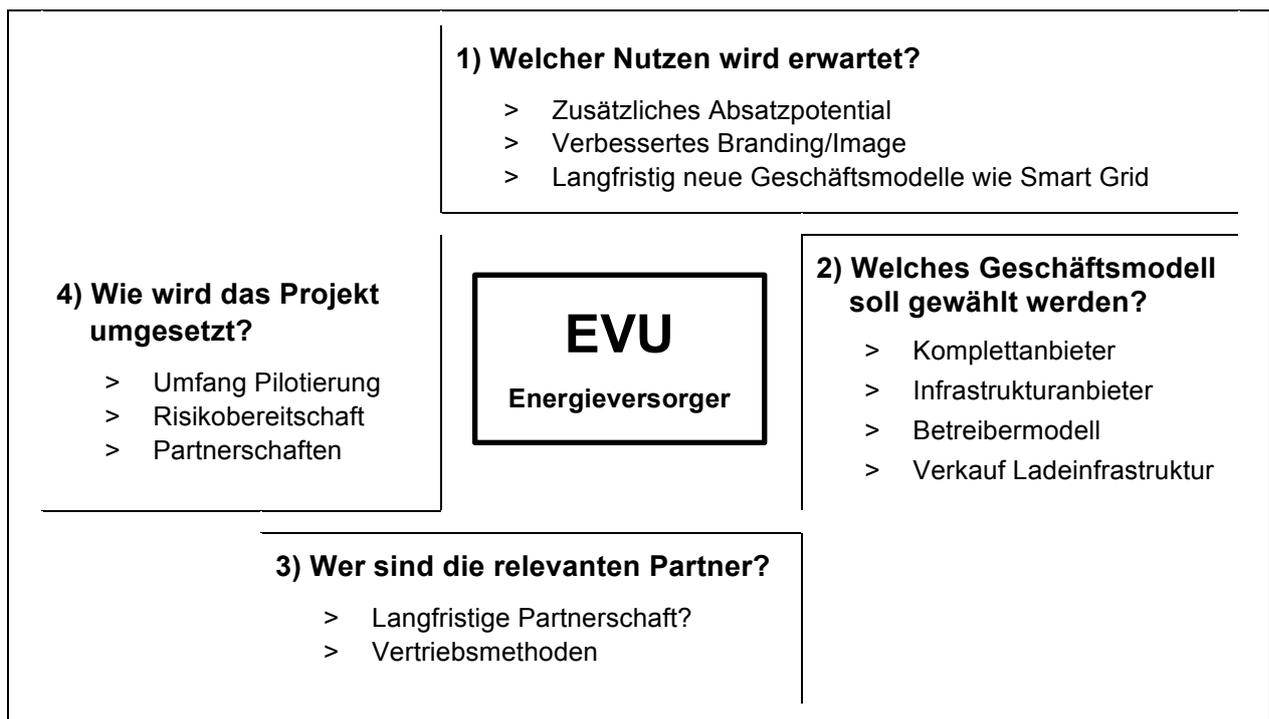


Abbildung 30: Zentrale Fragen für EVUs in der Elektromobilität²⁷⁹

Die zentrale Frage für ein Energieversorgungsunternehmen ist, welcher Nutzen von der Elektromobilität erwartet wird. Zum einen lässt sich das Image und das Firmenbranding

²⁷⁹ in Anlehnung an Roland Berger (2009), S.20

durch sichtbare Aktivitäten in der Elektromobilität prägen, aber bietet sie auch die Möglichkeit eines zusätzlichen Absatzpotentials oder neuer Geschäftsfelder?²⁸⁰

Dazu kann ein EVU einen passiven oder aktiven Ansatz wählen. Unter passiven Ansatz wird verstanden, dass sich das EVU auf seine Kernkompetenzen konzentriert und die Elektromobilität nutzt um die Absätze zu steigern. Ein aktiver Ansatz versteht die Erschließung neuer Märkte mit neuen Geschäftsmodellen um das Potential der E-Mobilität auszuschöpfen. Das kann von der Errichtung und Betrieb von Ladestationen bis hin zum Mobilitätsanbieter sein. Sowohl Potentiale als auch Risiken sind bei einem aktiven Ansatz größer.²⁸¹

Rein durch den Mehrverkauf von Strom lassen sich die Investitionen in eine Ladeinfrastruktur kaum zurückverdienen. So ergibt sich für ein herkömmliches Elektrofahrzeug bei einer angenommenen Jahresfahrleistung von 12.000 km mit einem mittleren Verbrauch von 15 kWh/100km ein Jahresstrombedarf von 1.800 kWh.²⁸² Bei einem Nettoverkaufspreis von 14,2 Cent/kWh entspricht das ca. € 255 im Jahr, die netto für das Laden von Elektroautos ausgegeben werden.²⁸³ Dabei entfallen ca. 40% auf den Energiepreis und der Rest auf Netzentgelt und sonstige Entgelte.²⁸⁴ Dem Energieversorgungsunternehmen stehen also in etwa nur € 100 Umsatz aus dem Stromverkauf pro Fahrzeug. Geht man davon aus, dass sich in Zukunft vor allem PHEVs und REEVs durchsetzen werden, ist der Stromumsatz pro Fahrzeug noch niedriger.²⁸⁵

Es stellt sich auch die Frage, wie mit diesen geringen Beträgen eine Ladeinfrastruktur aufgebaut und betrieben werden kann. Gerade bei der noch geringen Verbreitung hat sich noch kein funktionierendes Geschäftsmodell etabliert. Ladeinfrastruktur wurde bisher fast nur im Rahmen von geförderten Modellregionen oder Pilotprojekten, die vor allem das Image der beteiligten Unternehmen verbessern sollen, aufgebaut. Die Kosten für eine genaue Abrechnung nach Kilowattstunden können je nach System recht hoch sein. Kunden sind vermutlich nicht bereit an öffentlichen Ladestationen einen merkbar höheren Strompreis zu zahlen. Deshalb ist bisher der Strombezug an öffentlichen Ladestationen meist kostenlos oder es wird pauschal für eine unbegrenzte Nutzung verrechnet. Schon alleine aus diesem Grund ist daraus zu schließen, dass mit einer Ladeinfrastruktur momentan kaum Geld zu verdienen ist. Nur wenn bei einer öffentlichen Ladung ein Mehrwert mitverkauft wird, wird der Kunde bereit sein höhere

²⁸⁰ vgl. Roland Berger (2009), S.20

²⁸¹ vgl. Roland Berger (2010), S.31

²⁸² vgl. Statistik Austria (2011), S.1ff.; Tabelle 3

²⁸³ vgl. Energie Steiermark AG, www.e-steiermark.at, Zugriffsdatum 30.11.2012

²⁸⁴ ebenda

²⁸⁵ vgl. IEA (2011), S.10, S.14ff.

Strompreise zu zahlen. Dabei kann es sich um Schnellladung handeln oder auch um eine in der Stadt oft begehrte Parkmöglichkeit.²⁸⁶

Durch die schwierig vorhersehbare Entwicklung ist es besonders wichtig, Potentiale und Risiken abzugleichen.²⁸⁷ Um die Kosten richtig abzubilden und herauszufinden wie sie an den Kunden weiterverrechnet werden können, ist es wichtig zu wissen, welches Geschäftsmodell angewandt werden kann.²⁸⁸ Die Plattform e-connected hat einen morphologischen Kasten erarbeitet, der als Hilfe für die Ausarbeitung individueller Geschäftsmodelle dienen soll.²⁸⁹ Tabelle 11 stellt den morphologischen Kasten dar.

Positionierung	Produktangebot	Kunden	Regionaler Fokus	Preismodell	Kooperationen	Partner
Energieversorger	Autostrom-Liefervertrag	Business (b2b)	Bezirk Bundesland	Grundgebühr pro Monat	OEMs EVUs	Hersteller von Ladeinfrastruktur
Verkauf Ladeinfrastruktur	Installation/Wartung Ladeinfrastruktur	Mixed Consumers (b2c)	Österreich Ausland	Arbeitspreis Cent/kWh	Banken	Städte/ Gemeinden/ Regierung
Infrastruktur Bereitsteller	Roaming/Netz-Daten-Clearing			Stückpreis pro Ladestation		öffentlicher Verkehr
Stromverkauf	Roaming/Netz-Daten-Clearing			Roaming-Gebühren		Carsharing
Zusatzleistungen	Packages Autoleasing			Servicegebühren		Autovermietung

Tabelle 11: Morphologischer Kasten Geschäftsmodell²⁹⁰

Ein Aufbau und Betrieb von Ladestationen durch EVUs oder Netzbetreiber hat sich außer bei Modellregionen bisher nicht durchgesetzt. Ein Elektromobilitätsdienstleister hat mittlerweile seine Niederlassung in Österreich wieder geschlossen. Die Positionierung als Infrastrukturbetreiber oder Komplettanbieter, die anfangs propagiert wurde, ist kaum anzufinden, wengleich mit dem E-Mobility Provider Austria ein Ladeinfrastrukturanbieter in den Startlöchern steht. Schlussendlich bleibt abzuwarten, ob sich Ladeinfrastrukturprovider etablieren werden.²⁹¹

²⁸⁶ vgl. e-connected (2010), S.18f.

²⁸⁷ vgl. Roland Berger (2009), S.24f.

²⁸⁸ ebenda

²⁸⁹ vgl. e-connected (2010), S.19

²⁹⁰ in Anlehnung an e-connected (2010), S.19

²⁹¹ Interview mit Heimo T. Blattner, Energie Steiermark AG, Projektleiter E-Mobility

6 Kostenermittlung

In Zusammenarbeit mit der Energie Steiermark AG wurden Referenzladeszenarien spezifiziert, für welche die Kosten bestimmt und die einer ökonomischen Betrachtung unterzogen wurden. In diesem Kapitel werden alle bei der Installation und im Betrieb von Ladestationen anfallenden Kosten ermittelt und Kostengruppen zugeordnet.

Um die Gesamtkosten von Ladestationen möglichst genau zu ermitteln wurden Hersteller, Dienstleister, Netzbetreiber und Behörden kontaktiert. Tabelle 12 zeigt die wichtigsten Gesprächspartner.

Hersteller von Ladestationen	Elsta-Mosdorfer, Keba, Schrack, Ecotech, ABB, Kelag/RWE, u.a.
Dienstleister	Alpine Energie
Netzbetreiber, EVU	Energie Steiermark
Behörden	Stadt-Graz, BH Graz Umgebung, WKÖ, E-Control

Tabelle 12: Interviewpartner

Auf Basis der Referenzladeszenarien, die in Kapitel 6.1 definiert sind, wurden die Interviews durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Kapitel 6.2 angeführt.

6.1 Referenzladeszenarien

Die Referenzladeszenarien bilden die Grundlage für die Ermittlung der Kosten und für die ökonomische Analyse in Kapitel 7. Die Sinnhaftigkeit besteht darin, realistische Ladeszenarien für den Alltag abzubilden. Dadurch sollen die am besten geeigneten Ladestrategien, sowohl technisch als auch ökonomisch gefunden werden. Die Ladeszenarien unterscheiden sich maßgeblich durch den Ladeort und durch die Ladeleistung. Denn je nach Ladeort und Einsatzgebiet müssen Ladestationen unterschiedliche Anforderungen erfüllen. Der Ladeort ist maßgeblich für die technische Ausführung der Ladestation und bestimmt zu einem gewissen Teil auch die Ladeleistung. So genügen an Ladeorten, an denen das Fahrzeug lange abgestellt ist, wie private und halbprivate Parkplätze, geringe Ladeleistungen. Es ist bei diesen Einsatzgebieten denkbar und sinnvoll, die tatsächliche Ladeleistung an den Leistungsbedarf der Fahrzeuge und das Leistungsangebot des Anschluss an das Stromnetz anzupassen. Bei Ladestationen an Verkehrsknoten sind kurze Ladezeiten

und damit hohe Ladeleistungen erwünscht. Generell kann davon ausgegangen werden, dass bei öffentlichen Ladestationen mit der Maximalleistung die das Fahrzeug zulässt geladen wird.

Je nach Ladeort unterscheiden sich auch die Installations- und Wartungskosten stark. So sind bei Parkplätzen, bei denen ein Netzanschluss vorhanden und keine gesonderte Abrechnung erforderlich ist, die Errichtungskosten vergleichsweise günstig. Im öffentlichen Raum muss meist erst ein Netzanschluss errichtet und Tiefbauarbeiten durchgeführt werden. Ein gesonderter Zähler ist für die Abrechnung zwischen Energieversorger, Ladestations- und Netzbetreiber erforderlich, wohingegen bei privaten und halböffentlichen Ladestationen die Abrechnung über den Hauszähler erfolgt. Dazu kommt ein höherer Wartungsaufwand, der durch Witterung, häufigere Benutzung, komplexeren Aufbau mit höherem Funktionsumfang und Vandalismus erklärt werden kann. Welche Charakteristika an den Ladorten von Wichtigkeit sind, zeigt Tabelle 13.

	Authentifizierung	Abrechnung	Regelbarkeit	Diskriminierungsfrei	Typ-2 Ladestecker	Schuko-Stecker	Sicherheit	verschieden Tarife (Roaming)
Privat	-	-	o	-	+	o	+	-
Halböffentlich	o	o	o	o	+	o	+	o
Öffentlich	+	+	+	+	+	+	+	o

Legende: + ... wichtig o ... optional - ... vernachlässigbar

Tabelle 13: Ausprägung von Merkmalen von Ladestationen nach Ladeort²⁹²

Auf Basis dieser Überlegungen wurden vier Ladestrategien definiert, die den differenzierten Anforderungen an die Ladung von Elektrofahrzeugen gerecht werden sollen. Tabelle 14 zeigt diese Referenzladeszenarien, die in Zusammenarbeit mit der Energie Steiermark AG erstellt wurden, im Überblick.²⁹³

²⁹² in Anlehnung an Mennekes (2012), S.5

²⁹³ Interview mit Heimo T. Blattner, Energie Steiermark AG, Projektleiter E-Mobility am 01.10.2012

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Bezeichnung	Wallbox	E-Ladesäule	E-Ladesäule	E-Schnellladesystem
Ladeort	privat	halbprivat und halböffentlich	halböffentlich und öffentlich	öffentlich
Montage	Wand	Wand oder Standfuß	Betonsockel	Betonsockel
Eingangsspannung	230 - 400 V	400 V	400 V	400 V
Absicherung	16 - 32 A	32 A	32 A	80 A
Ladeleistung	bis 22 kW	bis 22 kW	bis 22 kW	bis 50 kW DC
Abgänge	Typ-2	2x Typ-2 2x Schuko	1x Typ-2 3x Schuko	1x nach CHAdeMO 1x Typ-2
Zähler	nein	ja	ja	ja
Authentifizierung	RFID optional	RFID optional	EC-Kartenlesegerät	RFID
Optionen	Ladekabel, GSM-Modul	Ladekabel, GSM-Modul, Satellitenfähigkeit	Ladekabel, GSM-Modul, Abrechnungsmodul mit Quick oder Paybox	

Tabelle 14: Referenzladeszenarien²⁹⁴

Szenario 1 richtet sich vorwiegend an private Nutzer, die zu Hause in der Garage oder im Carport laden. Es ist aber auch denkbar für Unternehmen, die für Ihre Angestellten oder für die eigene Fahrzeugflotte Ladestationen errichten wollen. Die Ladestation ist als Wallbox ausgeführt, die an der Wand montiert wird. Als Infrastruktursteckdose ist Typ-2 Mode-3 vorgesehen, alternativ auch mit fixem Kabel. Die Abrechnung erfolgt über den Haushaltszähler, eine Abrechnung für die Fahrzeuge ist nicht notwendig. Optional verfügt die Wallbox über ein GSM-Modul, welches eine Ferndiagnose ermöglicht. Das Szenario wurde in drei Anschlussleistungen von 3,7 kW bis 22 kW unterteilt, um die Auswirkungen einer höheren Ladeleistung auf die Ladekosten für private Nutzer zu bestimmen.

Szenario 2 beschreibt ein halböffentliches Ladeszenario. Zielgruppe sind Unternehmen, die ihren Kunden Ladestationen zur Verfügung stellen wollen wie z.B. Supermärkte, Hotels etc.. Dieses Szenario sieht vor, dass neben Autos auch einspurige

²⁹⁴ eigene Darstellung in Absprache mit Heimo T. Blattner, Energie Steiermark AG, Projektleiter E-Mobility am 01.10.2012

Elektrofahrzeuge geladen werden können. Alternativ kann dieses Szenario auch ein halbprivates Laden für Poolfahrzeuge einer Unternehmung darstellen.

Die Ausführung erfolgt vorzugsweise als auf einen Standfuß montierte Ladebox oder auch als Ladesäule. Die Ladestation verfügt über vier Ladepunkte. Zwei davon sind für Autos vorgesehen, ausgeführt nach Typ-2 Mode-3. Zwei Schuko-Steckdosen richten sich an Besitzer einspuriger Elektrofahrzeuge. Obwohl die Abrechnung über den Hausanschluss erfolgt, ist ein zertifizierter elektronischer Summenzähler vorgesehen, der aber nur Informationszwecken dient. Ein Authentifizierungssystem mittels RFID-Karte ist optional.

Da sich dieses Szenario für viele verschiedene Einsatzmöglichkeiten mit unterschiedlicher Auslastung eignet, wurden zwei Fälle unterschieden. Zum einen für Fahrzeugpools von Unternehmungen, bei dem wenige Fahrzeuge mit höheren Standzeiten einer Ladestation zugeordnet sind. Dabei wurde die Anschlussleistung auf 11 kW begrenzt. Zum anderen für Einkaufszentren oder Supermärkte, die eine hohe Anzahl von Fahrzeugen bei gleichzeitig kurzen Parkzeiten aufweisen. Die Anschlussleistung wurde in diesem Fall mit 22 kW angenommen.

Szenario 3 stellt ein öffentliches Laden dar. Zielgruppe sind vor allem Gemeinden, Bahnhöfe und andere öffentliche Ladeorte. Eine Steckdose ist für Elektroautos nach Typ-2 Mode-3 vorgesehen. Drei Schuko-Steckdosen richten sich an Besitzer von einspurigen Fahrzeugen. Die Autorisierung ist über einen EC-Kartenleser zu realisieren. Jeder Ladepunkt soll über einen MID-zertifizierten elektronischen Summenzähler verfügen, um eine optionale Verrechnung mit Quick-Karten oder mittels Paybox zu ermöglichen.

Szenario 4 stellt ein Schnellladen mit Gleichstrom dar. Die realisierbare Ladeleistung entspricht dabei 50 kW. Neben der Schnellladefunktion nach CHAdeMO ist ein zweiter Ladepunkt zum Wechselstromladen mit einem Typ-2 Mode-3 Stecker mit fix montiertem Kabel vorzusehen. Die Identifikation erfolgt mittels RFID-Karte. Als Einsatzgebiet sind Verkehrsknoten und Städte aber auch Demonstrationsanlagen denkbar. Von einer Verwendung des Combined Charging Systems (CCS) wurde abgesehen, da sich dafür noch kein Hersteller findet und auch noch kein Auto damit geladen werden kann.

Obwohl die Grenzen zwischen den Ladestrategien teilweise verschwimmen, stellen diese vier genannten Ladeszenarien die Hauptanwendungsfälle von Ladestationen dar. Besonders bei den Kosten wird erwartet, dass sich durch die Ausführungsform und Kommunikationserfordernisse, aber besonders durch die unterschiedliche Montage und das Vorhandensein eines Netzzugangs merkbare Kostenunterschiede ergeben.

6.2 Ermittlung der Kosten

Die Kosten, die bei Installation und Betrieb von Ladestationen anfallen, lassen sich in vier Komponenten aufteilen.²⁹⁵ Dadurch können sie verursachungsgerecht zugeordnet werden. In Tabelle 15 ist die genaue Zusammensetzung und die Zuordnung zu Installations- und Betriebskosten dargestellt.

	Installationskosten	Betriebskosten
Kosten der Ladestation	Anschaffungskosten	Ersatzteile
Netzentgelte und Behördengänge	Netzzutrittsentgelt	Netznutzungsentgelt
	Netzbereitstellungsentgelt	Netzverlustentgelt
	Kosten von Genehmigungen	Messentgelt
		Benützungsabgaben
Arbeiten an der Ladestation	Installation der Ladestation	Instandhaltung
		Instandsetzung
benötigte Extras und sonstige Kosten	Kommunikations- und Abrechnungshardware	Laufende Kosten der Kommunikation und Abrechnung
	Beschilderung	Pacht/Miete

Tabelle 15: Kostenkomponenten bei Errichtung und Betrieb von Ladeinfrastruktur²⁹⁶

Auf Basis vier Kostenkomponenten „Kosten der Ladestation“, „Netzentgelte und Behördengänge“, „Arbeiten an der Ladestation“ und „Benötigte Extras und sonstige Kosten“ wurde der Barwert aller während der Nutzungszeit der Ladestation anfallenden Kosten der Referenzladeszenarien ermittelt. Dabei wurden Betriebskosten, die laufende Kosten darstellen, auf 2013 diskontiert. Dazu wurde ein kalkulatorischer Zinssatz von 3% für private und 8% für (halb-)öffentliche Ladestationen angenommen.²⁹⁷ Weiters wird vorausgesetzt, dass alle Parameter über die Nutzungszeit der Ladestation konstant bleiben. Die folgenden Unterkapitel beschreiben die Kostenkomponenten im Detail und zeigen die Ergebnisse.

²⁹⁵ vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3

²⁹⁶ in Anlehnung an Hütter/Stigler (2012), S.3

²⁹⁷ vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40

6.2.1 Kosten der Ladestation

Die Kosten der Ladestation unterteilen sich in Anschaffungskosten, die einmalige Investitionen darstellen, und Ersatzteile, welche den Betriebskosten zugeordnet werden. Für die Ermittlung der Kosten der Ladestation wurden ausgewählte Hersteller kontaktiert. Eine Abschätzung der Kosten für anfallende Ersatzteile während der Nutzungsdauer einer Ladestation ist nach Einschätzung von Experten nicht möglich.²⁹⁸ Andere Studien gehen von einer Lebensdauer zwischen 10 und 15 Jahren aus, bis die Ladestation ersetzt werden muss.²⁹⁹

Da die Zahl von Ladestationsherstellern sehr groß ist, war es notwendig, eine Vorauswahl zu treffen. Technische Ausführungen, Handhabung, Optik und Preis von Ladestationen unterscheiden sich dabei teils deutlich. Speziell die Anzahl von Herstellern für Wechselstromladestationen ist weltweit sehr groß, wobei sich aber bereits viele Unternehmungen aus dem Geschäftsfeld zurückziehen. Die Anbieter kommen meist aus verwandten Branchen wie Energie- oder Industrieautomation, Elektrotechnik u.ä.. Alleine in Österreich und Deutschland finden sich um die 20 möglichen Hersteller. Für Gleichstromschnellladestationen ist das Angebot in Europa deutlich kleiner. In Absprache mit der Energie Steiermark AG wurde eine Vorauswahl an Ladestationsherstellern getroffen, von denen Angebote zu Ladestationen eingeholt wurden. Tabelle 16 zeigt die kontaktierten Hersteller mitsamt Kontaktdaten.³⁰⁰

²⁹⁸ Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH, Business Development E-Mobility am 02.11.2012; Interview mit Herrn Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH am 26.11.2012

²⁹⁹ vgl. Stigler et al. (2010), S.49; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.5; Interview mit Herrn Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH am 26.11.2012

³⁰⁰ Interview mit Heimo T. Blattner, Energie Steiermark AG, Projektleiter E-Mobility; Interview mit Gerhard Tieber, Elsta-Mosdorfer GmbH am 26.11.2012

Hersteller	Hompage	Kontaktdaten	Szenarien
ABB	www.abb.at	Wolfgang Schweng Leitung E-Mobility Ladeinfrastruktur <wolfgang.schweng@at.abb.com>	Szenario 4
ABL Sursum	www.abl-sursum.com	<info@abl-sursum.com>	Szenarien 1, 2 & 3
Ecotech	www.ecotech-eu.com	Vitaliy Kryvoruchko <ecotech@ecotech-eu.com>	Szenarien 1, 2 & 3
Elsta-Mosdorfer	www.elsta.com	Gerhard Tieber <gerhard.tieber@elsta.com> Gernot Freisinger <gernot.freisinger@elsta.com>	Szenarien 1, 2 & 3
everynear	www.everynear.eu	Friedrich Vogel Geschäftsführender Gesellschafter <f.vogel@everynear.eu>	Szenarien 1, 2 & 3
Keba	www.keba.com	Peter Kondel Head of Sales <kond@keba.com>	Szenarien 1, 2 & 3
Kelag	www.kelag.at	Stefan Forst <stefan.forst@kelag.at>	Szenarien 1, 2 & 3
Mehler	www.mehler.at	<office@mehler.at>	Szenarien 1, 2 & 3
Schrack	www.schrack.at	Martin Christian Projekt- und Prozesstechniker <c.martin@schrack.com>	alle Ladeszenarien
Sedlbauer	www.sedlbauer.de	Vogel Karin Sales Team <K.Vogel@sedlbauer.de>	Szenarien 1 & 2
The Mobility House	www.mobilityhouse.at	Kontaktaufnahme nicht erfolgreich	Mobilitätsanbieter

Tabelle 16: Kontaktdaten von Ladestationsherstellern³⁰¹

Dabei wurden die Webseiten und Produktdatenblätter ausgewertet und die Hersteller per E-Mail und telefonisch kontaktiert. Durch eine Vielzahl von Herstellern, geringe Absatzzahlen und einer unklaren Zukunft von Elektroautos ergibt sich eine angespannte Marktsituation. Dadurch ist es schwierig, genaue Verkaufspreise und Details zu den Ladestationen zu erfahren. Vor allem bei den Preisen sind die Angaben teils vage und es ist davon auszugehen, dass strategisch wichtigen Kunden Rabatte eingeräumt werden.

³⁰¹ eigene Darstellung

Abbildung 31 zeigt die durchschnittlichen Preise der Ladestationen inklusive Schwankungsbreite. In dunkelblau sind alle Ladestationen dargestellt, die für den Einsatz in den jeweiligen Ladeszenarien geeignet sind. In hellblau sind die Kosten aller Ladestationen, die keine Abweichung zu den Referenzladeszenarien aufweisen, dargestellt.

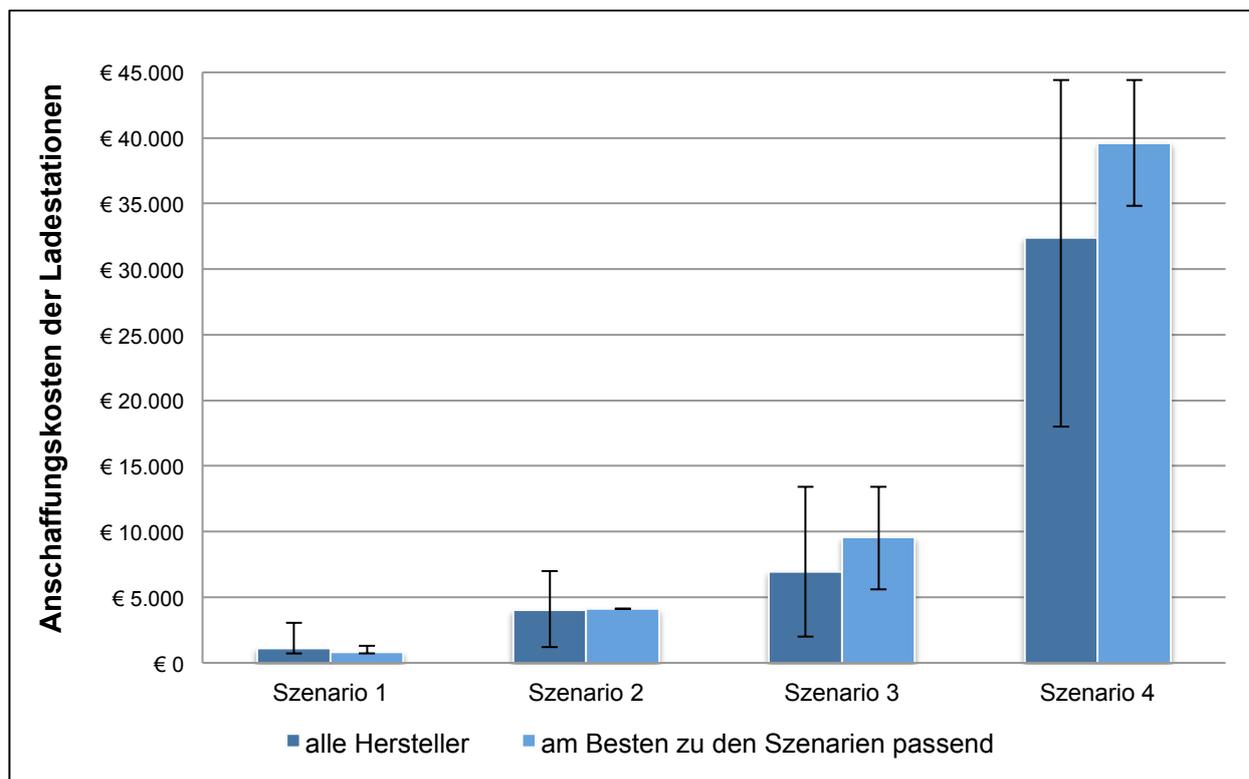


Abbildung 31: Anschaffungskosten von Ladestationen inkl. USt.³⁰²

Man sieht, dass die Verkaufspreise für Ladeboxen in Szenario 1 von durchschnittlich etwa € 1.000 deutlich unter denen von Szenario 2 oder Szenario 3 liegen. Bei Wechselstromladestationen ergibt sich darüberhinaus kaum ein Unterschied durch die Ladeleistung. Viele Heimpladeboxen sind zwar nur einphasig ausgeführt, vom Preis unterscheiden sich die dreiphasigen Modelle jedoch unwesentlich. In Szenario 2 und 3 können die Ladestationen optional mit mehreren Typ-2 Mode-3 Ladebuchsen ausgestattet werden, sodass sich der Anschaffungspreis von etwa € 4.000 bis € 10.000 auf die Ladepunkte verteilt und dadurch zu vergleichbaren Kosten pro Ladepunkt wie in Szenario 1 führt. Das in der Ladestation verbaute leistungsstarke Ladegerät in Szenario 4 verursacht deutlich höhere Kosten von in etwa € 40.000.

³⁰² eigene Darstellung; Daten: Interview mit Wolfgang Schweng, ABB Ltd; Interview mit Vitaliy Kryvoruchko, Ecotech e.U.; Interview mit Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH; Interview mit Friedrich Vogel, everynear GmbH; Interview mit Peter Kondel, Keba AG; Interview mit Martin Christian, Schrack GmbH; Interview mit Stefan Forst, KELAG; vgl. www.mehler.at, Zugriffsdatum 10.01.2013

Die hohen Schwankungsbreiten ergeben sich durch Ausstattungsunterschiede. Die hohen Preisunterschiede in Szenario 1 lassen sich dadurch nicht erklären, da hier die teuren Ladeboxen keinen ersichtlichen Mehrwert bieten.

6.2.2 Netzentgelte und Behördenkosten

Bei Errichtung oder bei Abänderung eines Stromanschlusses fallen eine Vielzahl von Netzentgelten und Gebühren an. Dabei handelt es sich sowohl um einmalige Kosten, die bei der Installation einer Ladestation entstehen, als auch um laufende Kosten, die durch eine Erhöhung der Anschlussleistung bedingt sind. Zudem können je nach Aufstellungsort und Gebietskörperschaft Gebühren und Abgaben anfallen. Abbildung 32 zeigt die einmaligen sowie die auf 2013 diskontierten Netzentgelte und Behördenkosten für die festgelegten Referenzszenarien.

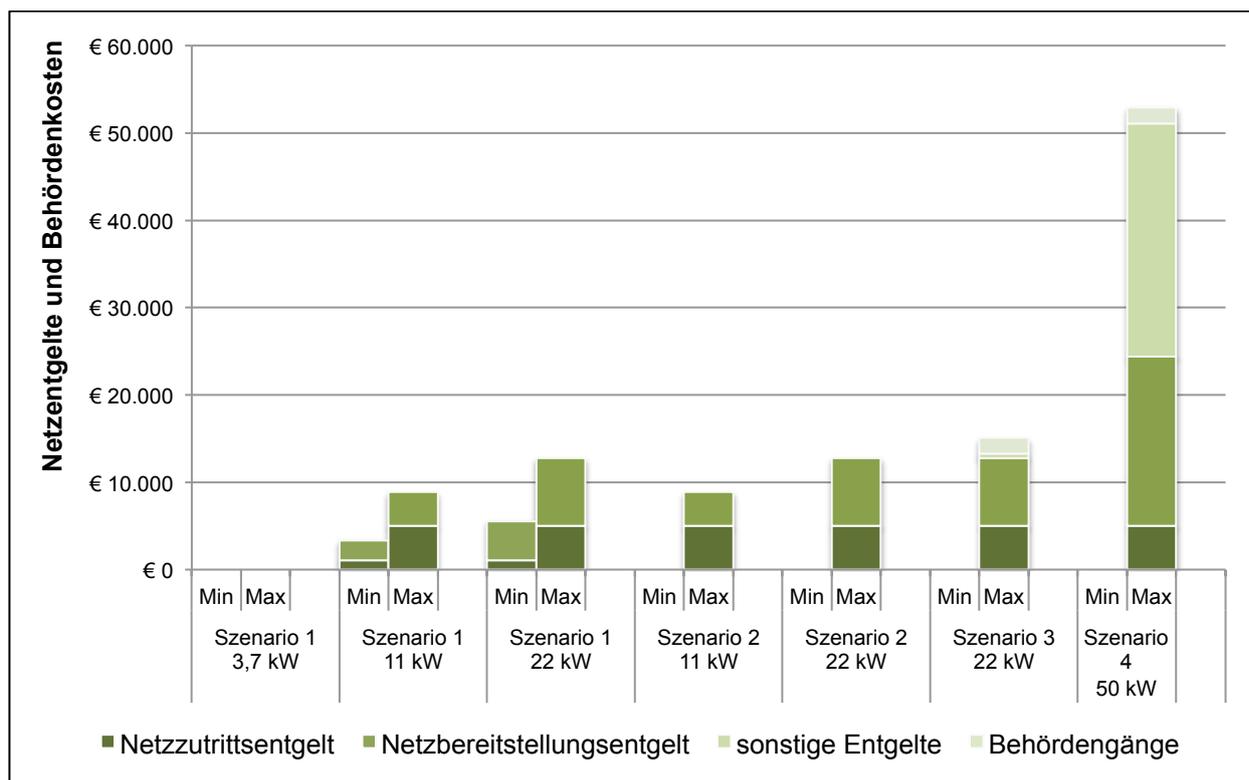


Abbildung 32: Netzentgelte und Behördenkosten inkl. USt.³⁰³

Wird eine neue Ladestation errichtet, die nicht an einen bestehenden Zähler angeschlossen werden kann, wie es vor allem im öffentlichen Bereich und bei

³⁰³ eigene Darstellung; Daten: Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH; Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH; vgl. Kelag et al., Zugriffsdatum 10.12.2012; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3; vgl. E-Control (2013); vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40

Neuerrichtung der Fall ist, fällt ein Netzzutrittsentgelt sowie ein Netzbereitstellungsentgelt an. Diese Kosten sind einmalig, sie werden daher den Installationskosten zugerechnet. Auch bei Änderungen der Anschlussanlage wie durch Erhöhung der Leistung fallen diese Entgelte an.³⁰⁴

Für gewerbliche Anschlüsse mit hoher Leistung können diese Kosten nur für einen konkreten Einzelfall betrachtet werden, da es hierbei nicht zwangsweise zu einer Leistungsanpassung kommen muss.³⁰⁵ Bei hohen Anschlussleistungen können die Netzentgelte durch intelligente Steuerung oder auch durch Lastabwurf gänzlich vermieden werden.³⁰⁶ In Abbildung 32 sind deshalb für die halböffentlichen und öffentlichen Ladeszenarien nur Maximalwerte angegeben, die entstehen, wenn die Ladestation an einem neuen Netzanschlusspunkt errichtet wird. Es ist zu bemerken, dass es sich bei der angegebenen Leistung um die Anschlussleistung handelt. Soll jeder Ladepunkt über diese Leistung verfügen, so muss die Anschlussleistung angepasst werden, was wiederum Einfluss auf die Netzentgelte hat.

Netzzutrittsentgelt

Das Netzzutrittsentgelt, mit dem alle Aufwendungen des Netzbetreibers bei Erstellung oder Abänderung eines Netzanschlusses abgegolten werden, entspricht entweder den tatsächlich anfallenden Kosten oder einem pauschalitem Betrag. Ein Richtwert lässt sich mit € 1.100 bis € 5.000 angeben.³⁰⁷

Netzbereitstellungsentgelt

Das Netzbereitstellungsentgelt, das zur Ermöglichung des Anschlusses für den bereits durchgeführten und vorfinanzierten Ausbau der Netzebenen dient, wird von der Regulierungsbehörde Energie-Control veröffentlicht und richtet sich nach Bundesland und Netzebene. Es ist pauschaliert pro Kilowatt vertraglicher Anschlussleistung angegeben. Mit „Netzebene“ bezeichnet man einen im Wesentlichen durch das Spannungsniveau bestimmten Teilbereich des Stromnetzes. Netzanschlüsse mit einer vertraglichen Anschlussleistung von 100 bis 400 kW werden der Netzebene 6 zugeordnet, dabei handelt es sich um eine direkte Verbindung zur Trafo-Station. Mit „Netzebene“ bezeichnet man einen im Wesentlichen durch das Spannungsniveau bestimmten Teilbereich des Stromnetzes. Die Netzebenen sind in EIWOG § 25 (5)) definiert. Beispielsweise befinden sich kleine Einkaufshäuser, Tankstellen, Tischlereien u.ä. in dieser Netzebene. Schnellladestationen werden vorwiegend in dieser zu finden

³⁰⁴ vgl. E-Control (2013), S.1ff.

³⁰⁵ Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH am 17.12.2012

³⁰⁶ Interview mit Heimo T. Blattner, Energie Steiermark AG, Projektleiter E-Mobility

³⁰⁷ vgl. Kelag et al., Zugriffsdatum 10.12.2012; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3

sein. Je nach Gesamtleistung sind Gewerbebetriebe und Industrieanlagen auch den Netzebenen 4 und 5 zuzurechnen. Der Großteil aller errichteten Ladestationen werden der Netzebene 7 zugeordnet, in der sich vor allem Hausanschlüsse befinden. Für die Steiermark (ausgenommen Graz) beträgt das Netzbereitstellungsentgelt € 133,80 pro Kilowatt für die Netzebene 6 und € 198,90 pro Kilowatt für die Netzebene 7. Für Österreich variieren die Entgelte für Netzebene 6 zwischen € 106,83 und € 208,48 pro Kilowatt und für Netzebene 7 zwischen € 166,74 und € 293,63 pro Kilowatt.³⁰⁸

Sonstige Entgelte

Zusätzlich zu diesen Entgelten können sich weitere Kosten durch Leistungs- oder Verbrauchserhöhung ergeben. Steigt die Anschlussleistung bzw. der Jahresstromverbrauch durch errichtete Ladestationen über maximale Grenzwerte, muss die für Haushalte übliche Direktmessung durch eine Wandlermessung ersetzt werden. Außerdem sind andere Ausführungen des Messbereichs notwendig. Die genauen Regelungen finden sich in den Ausführungsbestimmungen der Netzbetreiber. Für das Gebiet des Energie Steiermark Stromnetzes ist eine Direktmessung grundsätzlich bis zu einem Nennstrom von 50 A geeignet. Ab einschließlich einer Vorzählersicherungsnennstromstärke von 63 A muss die Messung mit einer Wandlerzählung oder mit einem anderem geeigneten Messverfahren durchgeführt werden. Wird sowohl der Jahresverbrauch von 100.000 kWh als auch eine Anschlussleistung von 50 kW überschritten, ist ein Lastprofilzähler zu verwenden. Das Überschreiten dieser Grenzen ist sowohl mit einmaligen Kosten durch Arbeiten am Messbereich sowie mit laufenden Kosten durch die Messung verbunden.³⁰⁹

Zum Vergleich hat ein übliches Einfamilienhaus einen Anschluss mit 4 kW vertraglicher Leistung und einen Jahresstromverbrauch von 4.400 kWh.³¹⁰

Im laufenden Betrieb fallen Netznutzungs- und Netzverlustentgelte, Ökostrombeiträge etc. an. Diese Entgelte werden für den privaten Kunden mit geringer Leistung als Arbeitspreis pro kWh und mittels jährlicher Pauschale abgerechnet und somit über die Stromrechnung abgegolten. Bei höheren Anschlussleistungen wird statt der Pauschale ein Leistungspreis pro kW verrechnet. In dieser Betrachtung ist es nur von Interesse, wie sich diese Entgelte in Folge einer Verbrauchs- oder Leistungserhöhung verändern oder wie hoch sie bei einer Neuerstellung des Netzanschlusses sind. Die aktuellen

³⁰⁸ Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH am 17.12.2012; vgl. Energie Steiermark Stromnetz (2008), S.31; vgl. E-Control, www.e-control.at, Zugriffsdatum 10.12.2012

³⁰⁹ vgl. Energie Steiermark Stromnetz GmbH (2011), S.18ff.

³¹⁰ vgl. Statistik Austria, www.statistik.at, Zugriffsdatum 11.12.2012

Systemnutzungstarife finden sich auf der Homepage der Regulierungsbehörde E-Control und werden in der Systemnutzungsentgelte-Verordnung veröffentlicht.³¹¹

Da diese Entgelte stark von der tatsächlichen Installation abhängen, sind auch hier für die halböffentlichen und öffentlichen Ladeszenarien nur die Maximalwerte angegeben, die bei Errichtung eines neuen Netzanschlusspunktes entstehen.

Behördenkosten

Nach Auskunft der Bau- und Anlagenbehörde der Stadt Graz ist eine Betriebsanlagengenehmigung durchzuführen, wenn die Anlage dem § 74 GewO entspricht. Dabei handelt es sich um gewerbliche Betriebsanlagen, die geeignet sind Gefährdung, Belästigung und Beeinträchtigung hervorzurufen. Eine allgemeine Abschätzung, ob eine Betriebsanlagengenehmigung erforderlich ist und welche Kosten damit verbunden sind, ist nicht möglich. Eine individuelle Betrachtung ist deshalb notwendig. Zur Abklärung der konkreten Genehmigungspflicht gibt es Projektsprechtage bei der zuständigen Bezirksverwaltungsbehörde. Ob eine Genehmigung überhaupt erforderlich ist wird momentan kontrovers diskutiert, wie in Kapitel 5.3 „Rechtlicher Hintergrund“ dargestellt ist.³¹²

Von der Alpine Energie wurde ein Angebot bezüglich Installation, Wartung und Behördenengineering von Ladesäulen eingeholt. Die Alpine Energie Österreich GmbH ist Dienstleister für energietechnische Infrastrukturen und Systeme und bietet auch selbst als herstellerunabhängiger Lieferant Ladestationen an. Für Genehmigungsverfahren und Behördenengineering werden folgende Pauschalen berechnet:³¹³

- Erstellung des Aufstellungs- und Grabewegplans: € 600
Planerstellung von Ansichten der Stromtankstelle sowie der Leitungsführung
- Planungsbegehung: € 350
Optionale Besichtigung und Planerstellung vor Ort
- Genehmigungsverfahren: € 750
Einholung der notwendigen Genehmigungen für Aufstellung der Ladestation sowie für die Leitungsführung
- Einholung aller für die Leitungsführung erforderlichen privatrechtlichen Vereinbarungen (Leitungsrechtsverträge) auf privatem bzw. öffentlichem Gut:
€ 650

³¹¹ vgl. E-Control (2013)

³¹² Interview mit Verena Ennemoser, Bau- und Anlagenbehörde Graz, Abteilungsvorständin

³¹³ Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH, Business Development E-Mobility am 27.11.2012

- Projektdokumentation: € 100
Übergabe aller relevanten Unterlagen digital und auf Papier

Dabei sind jedoch die Behördengebühren und allfällige Zahlungen an Dritte nicht berücksichtigt, da es nicht möglich ist einen Preisrahmen anzugeben, zumal je nach Aufstellungsort und Gebietskörperschaft andere Vorschriften gelten. Wird die Stromtankstelle auf öffentlichem Grund betrieben, ist auf allfällige Gebühren zu achten. In der Steiermark ist beispielsweise eine Benützungsabgabe zu entrichten, die ebenfalls individuell festgelegt wird.³¹⁴

Da noch nicht abschließend geklärt ist, ob Genehmigungen für die Errichtung von Ladestationen erforderlich sind wird bei dieser Betrachtung davon ausgegangen, dass im Optimalfall keine Kosten anfallen. Für den Maximalfall wurde auf das Angebot für ein Behördenengineering durch die Alpine Energie GmbH zurückgegriffen.

6.2.3 Arbeiten an der Ladestation

Abbildung 33 stellt die Installationskosten und die diskontierten Betriebskosten dar.

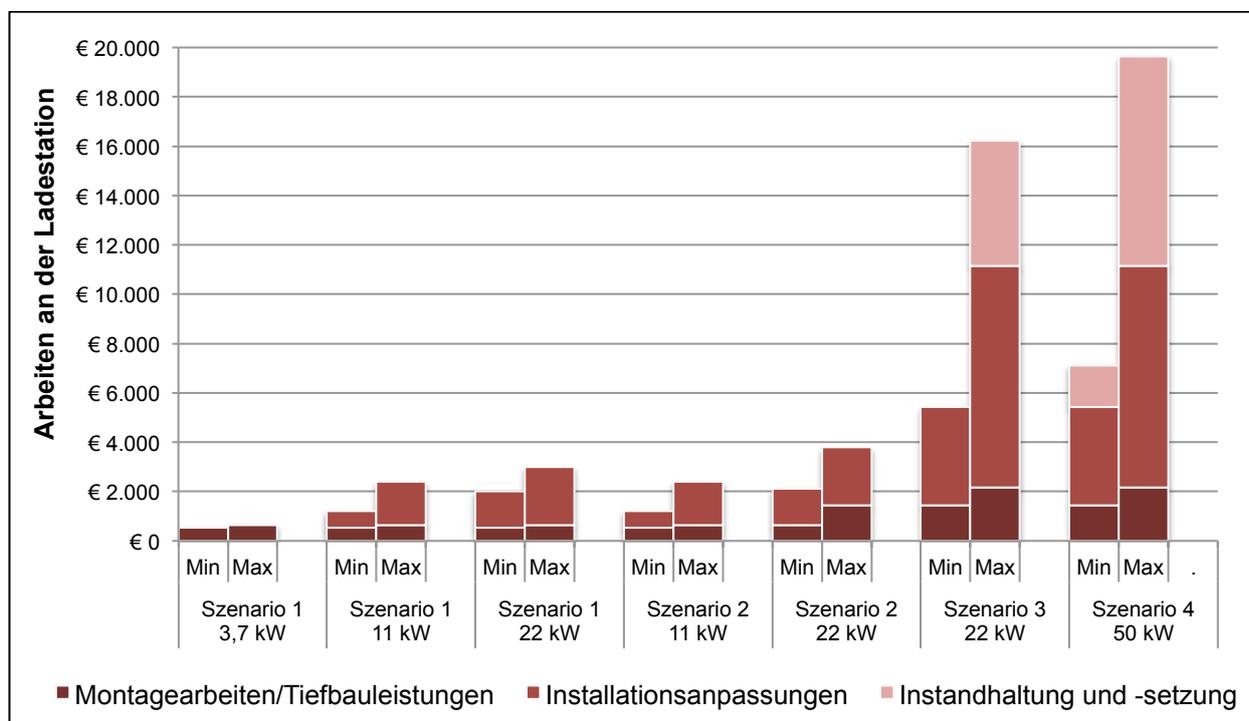


Abbildung 33: Arbeiten an der Ladestation inkl. USt.³¹⁵

³¹⁴ Interview mit Florian Pfeffer Alpine Energie Österreich GmbH, Business Development E-Mobility am 27.11.2012

³¹⁵ eigene Darstellung; Daten: Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH; Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40

Montagearbeiten und Tiefbauleistungen

Von der Alpine Energie GmbH wurde ein Angebot bezüglich Montage von Heimpladboxen und Ladestationen eingeholt. Die hier beschriebenen Preisspannen sind für die Referenzszenarien dargestellt:³¹⁶

- Montagearbeiten für Heimpladboxen

Die einfache Wandmontage mit Installation an einen bestehenden Stromübergabepunkt sowie die Sicherheitsüberprüfung kostet € 315. Das gleiche Paket inklusive Aufputzinstallation und Verlegung aller Kabel liegt bei € 539. Eine provisorische Montage mit möglichst wenig stemmen und einer flexiblen Verlegung der Elektroleitungen inkl. Sicherheitscheck kostet um die € 450.

- Tiefbauleistungen für Zuleitungen und Installation von Ladeinfrastruktur

Für die Tiefbauleistungen inkl. Anschlussleitungen, Schutzschalter, Kabelverlegung und Installation der Ladestation kann mit ca. € 1.300 bis € 1.800 gerechnet werden.

- Erweiterungen für die beschriebenen Module bzw. der Anlage vor Ort

Diese Kategorie umfasst Aufpreisposten wie längere oder stärkere Kabel, Leitungsschutzschalter für höheren Nennstrom und ähnliches. Ein Installationscheck inkl. Prüfbericht, Fotodokumentation und Angebotslegung kostet € 591. Bei erfolgtem Auftrag an die Alpine Energie wird darauf ein Rabatt von € 311 gewährt.

Installationsanpassungen

Wird die vertragliche Leistung durch die Errichtung einer Ladestation überschritten, so ist eine Rücksprache mit dem Netzbetreiber erforderlich. Dieser wählt einen technisch geeigneten Anschlusspunkt. Bei den Anpassungen fallen neben dem bereits erwähnten Netzbereitstellungs- und Netzzutrittsentgelt auch Kosten für die Adaption der Hausinstallation, wie z.B. stärkere Kabel oder ein anderer Zählerkasten, durch die erhöhte Leistung an. Dafür kann nur sehr schwierig ein Richtwert angegeben werden. Für private Ladestationen mit geringer Leistung ist nur in seltenen Fällen eine Installationsanpassung durchzuführen, für beschleunigtes Laden dürften sich die Kosten um die € 2.000 bis € 3.000 belaufen, wobei auch viel höhere Kosten möglich sind. Für öffentliche und halböffentliche Ladestationen liegen die Kosten bei etwa dem zwei- bis dreifachen.³¹⁷

³¹⁶ Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH, Business Development E-Mobility am 27.11.2012

³¹⁷ Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH am 17.12.2012

Instandhaltung und Instandsetzung

Ein Preisrahmen für allfällige Instandhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten wurden von der Alpine Energie GmbH eingeholt.³¹⁸

- Instandhaltung

Für eine präventive Wartung von Wechselstromladestationen kann mit € 160 pro Jahr gerechnet werden.

- Instandsetzung

Als Einsatzpauschale für die Entstörung der Ladeinheit innerhalb von drei Tagen werden € 170 verrechnet, innerhalb eines Tages € 325. Nachts oder am Wochenende werden € 420 veranschlagt. Die Pauschale beinhaltet eine Arbeitsstunde sowie An- und Abfahrt. Mehrstunden und Ersatzteile werden gesondert in Rechnung gestellt.

6.2.4 Extras und sonstige Kosten

Die benötigten Extras richten sich nach Aufstellungsort. So ist im privaten Bereich meist keine Sonderausstattung notwendig, wohingegen im halb-öffentlichen und öffentlichen Bereich oftmals Kommunikation und Abrechnung erforderlich sind. Die Hardware die dazu notwendig ist, ist je nach Hersteller bereits bei den Kosten der Ladestationen berücksichtigt.

Die relevanten Bestandteile der Kostenkomponente „Extras und sonstige Kosten“ sind Abrechnungs- und Kommunikationskosten, die im laufenden Betrieb anfallen. Sofern ein Abrechnungsmodul noch nicht in der Ladestation integriert ist, wird es den einmaligen Kosten zugerechnet.

In dieser Betrachtung ist eine Bezahlung an der Ladestation nur mit Quick oder Paybox von Interesse. Bankomat- oder Kreditkarte werden aufgrund eines notwendigen Rechnungsdrucker nicht betrachtet. In Tabelle 17 sind die Kosten dargestellt.³¹⁹

³¹⁸ Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH, Business Development E-Mobility am 27.11.2012 und 24.01.2013

³¹⁹ Interview mit Heimo T. Blattner, Energie Steiermark AG, Projektleiter E-Mobility

	Paybox ³²⁰	Quick ³²¹
Anschaffungskosten	€ 200	€ 400
Transaktionsentgelt	€ 0,1	€ 0,02
Disagio	2,5%	0,08%

Tabelle 17: Abrechnungskosten³²²

Die Kosten für eine GSM-Verbindung inkl. Internetzugang belaufen sich auf etwa € 10 pro Monat.³²³ Diese Kommunikationsschnittstelle ist sowohl für ein Abrechnungssystem als auch als Diagnosehilfe bei Störungen Voraussetzung.

Sonstige laufende Kosten könnten Pacht oder Miete für einen Stellplatz darstellen. Darauf wird aber hier nicht genauer eingegangen, da es stark vom konkreten Einzelfall abhängig ist. Das Excel Tool wurde so ausgelegt, dass weitere Kosten schnell in die Berechnungen integriert werden können.

6.3 Zusammenfassung und wesentliche Ergebnisse

Es wurden vier Referenzladeszenarien erstellt, welche die wichtigsten Lademöglichkeiten darstellen. Diese Ladestrategien unterscheiden sich durch Ladeort, Ladeleistung, Abrechnung und Art der Ladesäule.

Für diese Szenarien wurden die Gesamtkosten der Ladestationen für eine Nutzungsdauer von 15 Jahren ermittelt. Dabei wurde eine Einteilung der Kosten in Anschaffungskosten der Ladestation, Arbeiten an der Ladestation, Netz- und Behördenentgelte sowie sonstigen Kosten vorgenommen. Die laufenden Kosten, die im Betrieb der Ladestation entstehen, wurden auf das Jahr 2013 diskontiert. Mittels Befragung von Ladestationsherstellern, Dienstleistern, Netzbetreibern und Behörden wurden die Gesamtkosten ermittelt und in einem Excel Tool ausgewertet. Abbildung 34 zeigt die durchschnittlichen Gesamtkosten der Ladeszenarien.

³²⁰ vgl. Wirecard, www.wirecard.at, Zugriffsdatum 07.02.2013

³²¹ vgl. WKO, www.wko.at, Zugriffsdatum 07.02.2013

³²² eigene Darstellung

³²³ vgl. A1 Telekom Austria, www.a1.net, Zugriffsdatum 07.02.2013

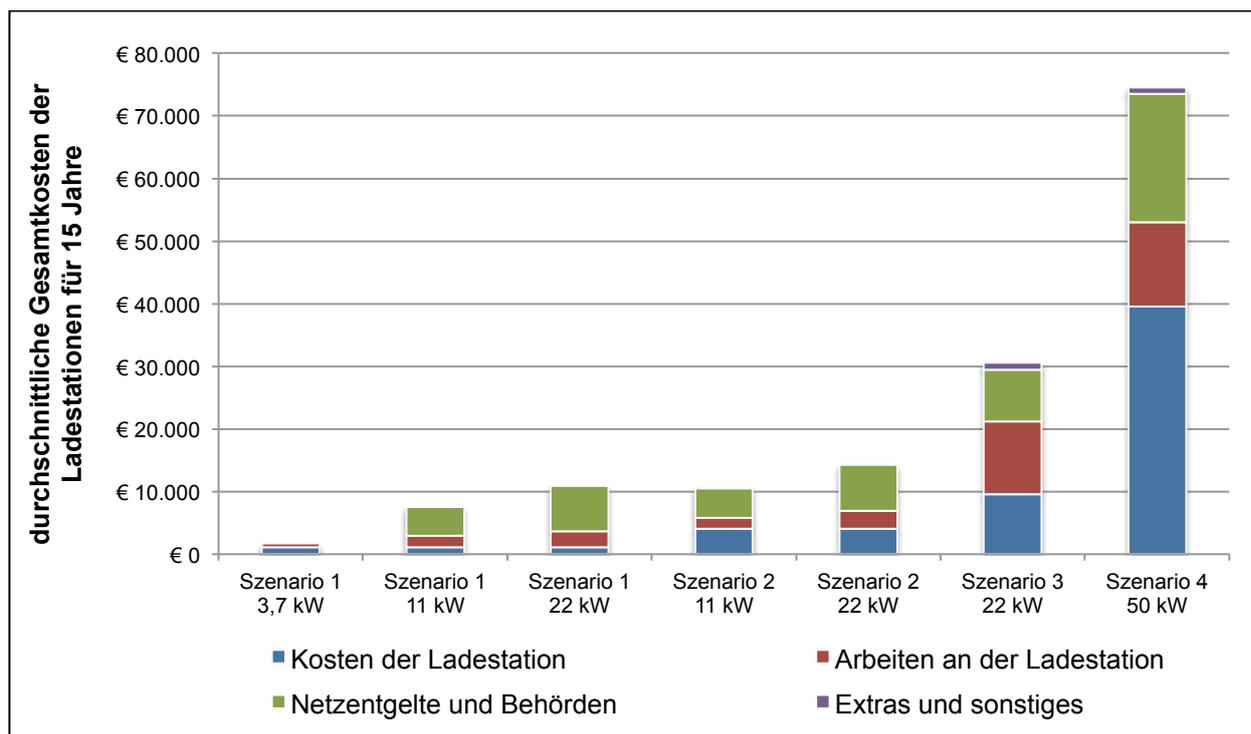


Abbildung 34: Durchschnittliche Gesamtlebenskosten inkl. USt. von Ladestationen für die Referenzladeszenarien bei einer Nutzungsdauer von 15 Jahren³²⁴

Es hat sich gezeigt, dass die Gesamtkosten einer Ladestation stark von der geforderten Anschluss- bzw. Ladeleistung abhängig sind.

Vor allem die Netzentgelte, die durch hohe Ladeleistungen verursacht werden, und die Behördenkosten lassen sich nur für einen konkreten Aufstellungsort bestimmen. So kann es unter Umständen sein, dass bei bestehenden Netzanschlüssen, die bereits über eine hohe Anschlussleistung verfügen, eine zusätzliche Ladestation keinen Einfluss hat. Es kann hingegen auch sein, dass grundlegende Änderungen am Netzanschluss vorzunehmen sind und die Kosten dadurch auf ein Vielfaches anwachsen. Die Gleichzeitigkeit mit anderen Verbraucher ist dabei wesentlich.

Die Kosten der Ladestation, Arbeiten wie Installation und Wartung sowie Extras lassen sich recht gut abschätzen. Einzig die Nutzungsdauer, und damit deren Einfluss auf die laufenden Kosten, stellt eine weitere Unsicherheit dar.

³²⁴ eigene Darstellung; Daten: Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH; Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH; vgl. Kelag et al., Zugriffsdatum 10.12.2012; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40; vgl. E-Control (2013); vgl. WKO, www.wko.at, Zugriffsdatum 07.02.2013; vgl. A1 Telekom Austria, www.a1.net, Zugriffsdatum 07.02.2013; Interview mit Wolfgang Schweng, ABB Ltd; Interview mit Vitaliy Kryvoruchko, Ecotech e.U.; Interview mit Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH; Interview mit Friedrich Vogel, everynear GmbH; Interview mit Peter Kondel, Keba AG; Interview mit Martin Christian, Schrack GmbH; Interview mit Stefan Forst, KELAG; vgl. www.mehler.at, Zugriffsdatum 10.01.2013

7 Ökonomische Analyse

Neben den Kosten für die Errichtung einer Ladeinfrastruktur ist es von Interesse, wie diese Kosten an den Endnutzer weiterverrechnet werden können und welchen Einfluss diese Mehrkosten auf die Attraktivität von Elektrofahrzeugen haben. Aufbauend auf den Ergebnissen aus Kapitel 6 wird ein Investitionszuschlag ermittelt, der dem Nutzer verrechnet werden muss um alle Kosten der Ladeinfrastruktur abzudecken. Die Ergebnisse werden auf Sensitivitäten überprüft. Das heißt es wird ermittelt, wie der Investitionszuschlag auf Änderung der Ausgangsparameter reagiert. Zum Beispiel wenn bei Ladestationen eine Preisdegression eintritt oder die Auslastung der Ladestation nicht dem erwarteten Wert entspricht.

7.1 Grundlagen und Annahmen

Für die Erhebung der Gesamtkosten der Ladestationen und für die folgende ökonomische Analyse ist es notwendig Annahmen zu treffen. In dem Berechnungstool sind diese Parameter hinterlegt, die sich schnell an neue Ausgangsbedingungen anpassen lassen.

Grundlagen für die Berechnung

Bereits in Kapitel 6 „Kostenermittlung“ wurde gezeigt, dass für die Berechnung der Gesamtkosten auf ein Bezugsdatum, dem sogenannten Barwert, die Nutzungsdauer und eine Diskontierungsrate vorzugeben ist. Mit Hilfe dieser zwei Faktoren lassen sich alle laufenden Einnahmen und Ausgaben auf den jetzigen Zeitpunkt diskontieren. Folgende Annahmen wurden hierfür getroffen:

- Nutzungsdauer: 15 Jahre
- Diskontierungsrate: 3% für private und 8% für gewerbliche Ladestationen

Bei der Nutzungsdauer gehen ähnliche Studien von einer Zeitspanne von 10 bis 15 Jahren aus.³²⁵ Laut Herstellerangaben sind die Gehäuse der Ladestationen auf mindestens 10 Jahre ausgelegt, wobei eine tatsächliche Lebensdauer der Ladestation nicht angegeben werden kann.³²⁶ Für Privatpersonen wird in der Literatur und anderen Studien über Ladestationen eine Diskontierungsrate zwischen 3% und 4%

³²⁵ vgl. Stigler et al. (2010), S.49; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.5

³²⁶ Interview mit Herrn Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH am 26.11.2012

angenommen, für gewerbliche Investitionen je nach Sparte zwischen 7% und 9,5%.³²⁷ Das Referenzladeszenario 1 ist dabei für private Nutzer vorgesehen. Die (halb-)öffentlichen Szenarien 2, 3 und 4 richten sich an gewerbliche Betreiber.

Auslastung

Ein wichtiger Parameter für die Wirtschaftlichkeit von Ladestationen ist die Auslastung. Sie hat Einfluss, wie hoch der Investitionskostenzuschlag sein muss, der den Kunden weiterverrechnet wird.

Im Berechnungstool wurde für jedes Szenario eine Auslastung definiert, welche in Tabelle 18 zusammengefasst sind.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Anschlussleistung	3,7 bis 22 kW	11 bzw. 22 kW	22 kW	50kW
Ø-Anzahl an Fahrzeugen pro Tag	1	3 bzw. 10	5	6
Lademenge	Tagesverbrauch	Tagesverbrauch bzw. Parkdauer	50% ΔSOC	70% ΔSOC

Tabelle 18: Auslastung³²⁸

- In Szenario 1 ist ein Fahrzeug einer Ladestation zugeordnet. Geladen wird über Nacht und zwar genau jene Strommenge, die am Tag verbraucht wird. Die durchschnittliche Weglänge liegt in Österreich bei etwa 13.000 km pro Jahr.³²⁹ Der Normverbrauch der Referenzfahrzeuge ist in Tabelle 19 dargestellt.
- In Szenario 2 werden zwei Fälle unterschieden. Ladestationen, die für Firmenparkplätze oder Fahrzeugpools vorgesehen sind, werden durchschnittlich drei Fahrzeuge pro Tag zugeordnet. Die Lademenge pro Fahrzeug entspricht wie in Szenario 1 dem durchschnittlichen Tagesverbrauch. Für die zweite Einsatzmöglichkeit der Ladestation, wie bei Supermärkten oder Einkaufszentren, werden 10 Fahrzeuge pro Geschäftstag angenommen. Die Lademenge richtet sich hierbei nach der verfügbaren Ladeleistung und Parkdauer.
- Für das öffentliche Szenario 3 wird davon ausgegangen, dass die Nutzer nur laden, wenn der Ladezustand des Akkus unter einen bestimmten Grenzwert fällt.

³²⁷ vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40

³²⁸ eigene Darstellung in Absprache mit Heimo T. Blattner, Energie Steiermark AG, Projektleiter E-Mobility am 29.01.2013

³²⁹ vgl. Statistik Austria (2011), S.1ff.

Es wurde angenommen, dass 50% der Akkukapazität eines durchschnittlichen Elektroautos geladen werden und pro Tag fünf solcher Fahrzeuge die Ladestation frequentieren.

- Das Schnellladeszenario 4 ist Szenario 3 sehr ähnlich. Es werden 70% der durchschnittlichen Akkukapazität von täglich sechs Fahrzeugen geladen.

Referenzfahrzeuge

Damit die durchschnittliche Lademenge für die Szenarien 3 und 4 ermittelt werden kann, ist es notwendig Referenzfahrzeuge zu definieren. Tabelle 19 zeigt die wichtigsten Eigenschaften der Fahrzeuge.

	Modell	Listenpreis	Batteriekapazität	Normverbrauch elektrisch bzw. kombiniert
BEV klein	Mitsubishi i-MiEV	€ 29.500	16 kWh	13,5 kWh/100km
BEV klein mit Akkumiete	Renault ZOE	€ 20.780 zzgl. € 79-142/Monat	22 kWh	14,6 kWh/100km
BEV	Nissan Leaf	€ 37.490	24 kWh	17,3 kWh/100km
PHEV	Toyota Prius	€ 37.500	4 kWh	17 kWh/100km bzw. 2,1 l/100km
REEV	Opel Ampera	€ 45.900	11 kWh	16 kWh/100km bzw. 1,2 l/100km
ICEV klein	VW Polo	€ 18.000	-	nicht möglich bzw. 5,2 l/100km
ICEV	VW Passat	€ 30.000	-	nicht möglich bzw. 6,0 l/100km

Tabelle 19: Referenzfahrzeuge³³⁰

Im Berechnungstool lässt sich ein Fahrzeugmix für die jeweiligen Ladeszenarien definieren. So kann beispielsweise der Anteil von Plug-In Hybrid Fahrzeugen verändert werden, um zu sehen, welchen Einfluss kleinere Akkukapazitäten auf die Wirtschaftlichkeit von Ladestationen haben. Mittels einer Ladehäufigkeit lässt sich errechnen, welcher Anteil der Jahresfahrleistung bei PHEVs und REEVs elektrisch erfolgt. Es wird angenommen, dass die Weglängen über das Jahr konstant sind. Für diese Untersuchung wird für Szenarien 1 und 2 ein ausgewogenes Verhältnis der

³³⁰ eigene Darstellung; Daten: vgl. Mitsubishi, www.mitsubishi-motors.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Nissan, www.nissan.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Toyota, www.toyota.de, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Volkswagen, www.volkswagen.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Renault, www.renault.at, Zugriffsdatum 20.11.2012

Elektrofahrzeuge angenommen. Szenario 3 wird vorwiegend von BEVs frequentiert, Szenario 4 ausschließlich.

Allen Elektrofahrzeugen wurde eine Batterieladeeffizienz von 95% unterstellt.³³¹ Für die Total Cost of Ownership Betrachtung wurden darüberhinaus Wartungskosten von 0,022 €/km für vollelektrische Fahrzeuge, 0,04 €/km für Plug-In Hybride, 0,038 €/km für Range-Extender Hybride sowie 0,036 €/km für herkömmliche Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor angenommen.³³² Für ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor betragen die jährlichen Kosten für Haftpflichtversicherung in der Stufe 9 sowie für die motorbezogene Steuer zwischen € 600 und € 900.³³³ Für Elektrofahrzeuge ist nur die Versicherung zu bezahlen, die motorbezogene Steuer entfällt. Die Kosten hierfür betragen ca. € 200.³³⁴

Es wird von einer Haltedauer der Fahrzeuge von fünf Jahren ausgegangen. BF Forecast gibt den Restwert von Elektroautos nach vier Jahren dabei mit 30-40% an. Für Plug-In Hybride wird von etwa 45% ausgegangen. Autos mit Verbrennungsmotor finden sich in einem ähnlichen Bereich wie Plug-In Hybride. Für jedes weitere Jahr bis zum Wiederverkauf können etwa 7% Wertverlust hinzuaddiert werden.³³⁵

Der hohe Wertverlust von reinen Elektrofahrzeugen ergibt sich dadurch, dass die Batterie über eine begrenzte Lebensdauer verfügt und die Wiederanschaffung zu erheblichen Kosten führt.³³⁶

Der Benzinpreis ist mit 1,45 €/l als konstant über den Vergleichszeitraum angenommen.³³⁷ Der Gesamtstrompreis inkl. USt. beträgt 16,8 Cent/kWh.³³⁸

7.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In Kapitel 6 wurden bereits die Gesamtkosten für die Errichtung und Betrieb von Ladestationen für die Ladeszenarien ermittelt. Die Frage die sich stellt ist wie diese anfallenden Kosten an den Endkunden weiterverrechnet werden können und wie sich die Szenarien dabei unterscheiden.

³³¹ vgl. Mazza/Hammerschlag (2005), S.3ff.

³³² vgl. CARB zitiert in Richter/Lindenberger (2010), S.82; vgl. Beermann et al. (2010), S.64

³³³ vgl. Versicherungsrechner der WKO, www.durchblicker.at, Zugriffsdatum 16.01.2013

³³⁴ ebenda

³³⁵ vgl. BF Forecasts zitiert in Handelsblatt, www.handelsblatt.com, Zugriffsdatum 16.01.2013

³³⁶ vgl. PwC/Fraunhofer (2010), S.67f.

³³⁷ vgl. ÖAMTC, www.oamtc.at, Zugriffsdatum 16.01.2013

³³⁸ vgl. Energie Steiermark AG, www.e-steiermark.at, Zugriffsdatum 30.11.2012

Mittels eines Investitionszuschlags auf den Strompreis, in der Literatur auch häufig Strompreiszuschlag oder Strommehrkosten genannt, können die verschiedenen Szenarien miteinander vergleichbar gemacht werden. Der Investitionszuschlag entspricht den Mehrkosten, die der Endnutzer pro Kilowattstunden geladenem Strom zu bezahlen hat, sodass die Gesamtkosten der Ladeinfrastruktur abgedeckt sind.³³⁹

$$Investitionszuschlag = \frac{Gesamtkosten_{2013}}{diskontierter Strombezug} \left[\frac{Cent}{kWh} \right]$$

Formel 1: Investitionszuschlag

Der Investitionszuschlag wird wie in Formel 1 ersichtlich berechnet. Es ist anzumerken, dass sich nur Geldmengen diskontieren lassen. So ist korrekterweise der monatliche Cash-Flow heranzuziehen. Das heißt die monatlichen Umsätze durch den Stromverkauf werden den laufenden Kosten der Ladestationen gegenübergestellt. Da der Strompreis, die Betriebskosten der Ladestation und die Lademenge pro Monat als konstant angenommen werden, führt die Diskontierung des Stromverbrauchs zu einer einfachen und verursachungsgerechten Verteilung der Gesamtkosten. Damit die Errichtung von Ladestationen kostendeckend sind, müssen die diskontierten Einnahmen durch den Stromverkauf mindestens den Gesamtkosten entsprechen.³⁴⁰

Die Investitionszuschläge, die sich für die Szenarien ergeben, sind in Abbildung 35 dargestellt.

³³⁹ vgl. Hütter/Stigler (2012), S.6ff; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. Plota (2009), S.40f.; vgl. Schraven (2010), S.56ff.

³⁴⁰ vgl. Kley (2011), S.41

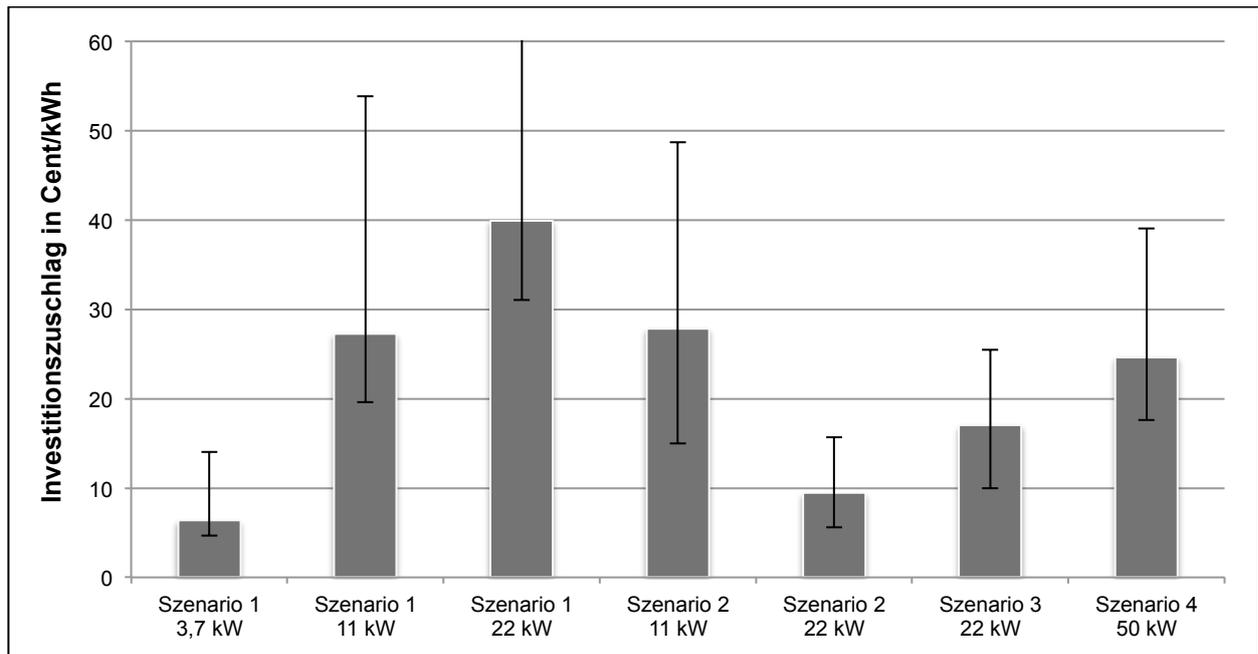


Abbildung 35: Erforderliche Investitionszuschläge für die Referenzszenarien³⁴¹

Die Schwankungsbreite markiert den Einfluss der unterschiedlichen Gesamtkosten bei gleicher Auslastung und Nutzungsdauer der Ladestation. Es zeigt sich, dass eine hohe Anschlussleistung in Szenario 1 hohe Investitionszuschläge erforderlich macht, die selbst mit einer Schnellladung nicht konkurrieren können. Die Zuschläge für Szenario 1 (3,7 kW), das geringe Gesamtkosten aufweist, sowie für Szenario 2 (22 kW), das eine gute Auslastung hat, sind am niedrigsten. Für Szenario 2 in Verwendung für Flottenfahrzeuge bei niedriger Auslastung zeigt sich, dass durch die Gesamtkosten eine hohe Schwankungsbreite bedingt ist. Bei geringer Auslastung ist es daher wichtig, günstige Ladestationen einzusetzen und den Einfluss der Netzkosten genau abzuklären, da diese maßgeblichen Einfluss auf den Investitionszuschlag haben.

Laut einer Studie des Fraunhofer ISI liegt der Investitionszuschlag der induktiven Ladung für ein halböffentliches Szenario mit 11 kW bei etwa dem vier- bis sechsfachen Wert im Vergleich zur konduktiven Ladung.³⁴² Werden die darin getroffenen Investitions- und Betriebskosten auf die in dieser Arbeit getroffenen Annahmen transferiert, so ergibt sich für Szenario 2 im Falle einer guten Auslastung ein Investitionszuschlag von 26,0

³⁴¹ eigene Darstellung Daten: Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH; Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH; vgl. Kelag et al., Zugriffsdatum 10.12.2012; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40; vgl. E-Control (2013); Interview mit Wolfgang Schweng, ABB Ltd; Interview mit Vitaliy Kryvoruchko, Ecotech e.U.; Interview mit Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH; Interview mit Friedrich Vogel, everynear GmbH; Interview mit Peter Kondel, Keba AG; Interview mit Martin Christian, Schrack GmbH; Interview mit Stefan Forst, KELAG; vgl. www.mehler.at, Zugriffsdatum 10.01.2013

³⁴² vgl. Schraven/Kley/Wietschel (2010), S.13f.

bis 59,0 Cent/kWh für eine induktive Ladung. Der Investitionszuschlag der konduktiven Ladung für das gleiche Szenario, allerdings mit doppelter Anschlussleistung von 22 kW, liegt bei 5,5 bis 16,0 Cent/kWh.

Ist für die öffentlichen Ladeszenarien eine Abrechnung erforderlich, so müssen pro Ladung die dadurch verursachten Mehrkosten hinzugerechnet werden, was auch den Investitionszuschlag erhöht. Abbildung 36 zeigt diese Mehrkosten einer durchschnittlichen Ladung sowie den Investitionszuschlag für die öffentlichen Ladeszenarien. Der Investitionszuschlag ist dabei von der Lademenge abhängig, da neben dem Transaktionsentgelt auch ein Disagio anfällt.

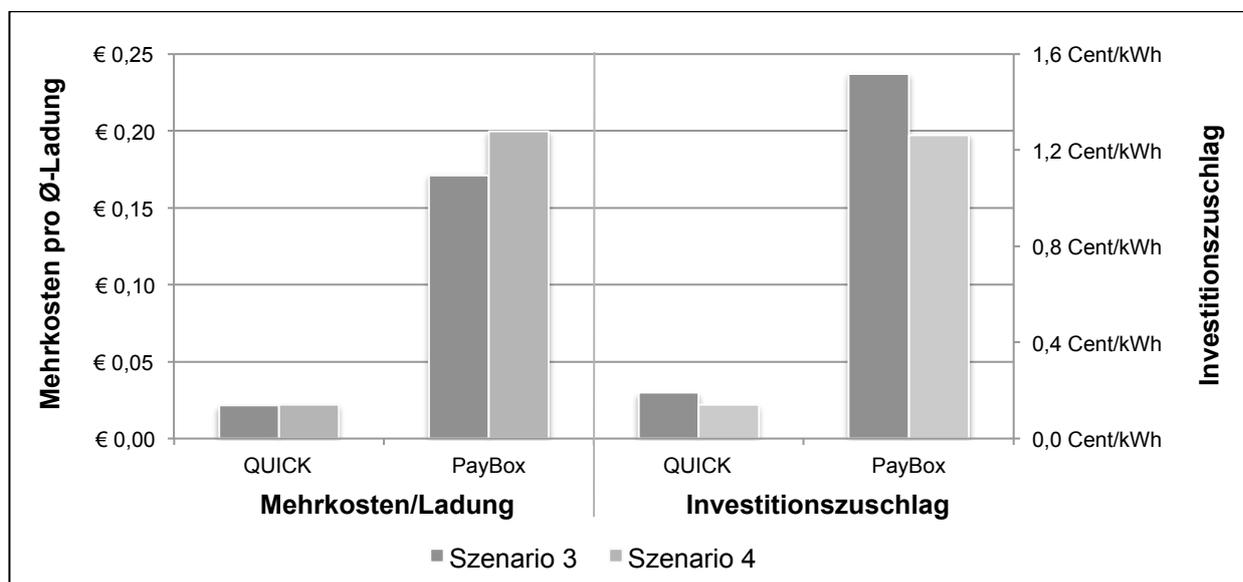


Abbildung 36: Abrechnung: Mehrkosten pro Ladung und Investitionszuschlag³⁴³

Es zeigt sich, dass sich die Kosten einer Kilowattstunde durch ein Abrechnungssystem geringfügig erhöhen. Lediglich die Verwendung von Quick verursacht keine merklichen Mehrkosten. Der Investitionszuschlag bzw. die Mehrkosten sind bei allen Szenarien ähnlich, wenngleich sich das Transaktionsentgelt und das Disagio bei unterschiedlichen Lademengen anders auswirkt. So sind die absoluten Mehrkosten bei einer kleinen Lademenge geringer. Der Investitionszuschlag nimmt hingegen bei einer höheren Lademenge ab, da das Transaktionsentgelt auf die geladenen Kilowattstunden aufgeteilt wird.

³⁴³ eigene Darstellung; Daten: vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40; vgl. WKO, www.wko.at, Zugriffsdatum 07.02.2013; vgl. A1 Telekom Austria, www.a1.net, Zugriffsdatum 07.02.2013;

7.3 Sensitivitätsanalyse

Was aber passiert wenn sich die getroffenen Annahmen verändern? Wie stark ändert sich der Investitionszuschlag, wenn die Auslastung zurückgeht, die Anschaffungskosten der Ladestation geringer werden oder die Ladestation schon früher ersetzt werden muss?

Um diese Fragen zu klären, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dabei wurde ermittelt, wie sich eine Änderung der Eingangsparameter auf den Investitionszuschlag auswirkt. Da der prinzipielle Verlauf in allen Szenarien ähnlich ist, wird hier beispielhaft Szenario 3 analysiert, das in Abbildung 37 dargestellt ist. Die Diagramme zu den anderen Szenarien befinden sich im Anhang. Auf der Abszisse ist die prozentuale Änderung der farblich markierten Parameter aufgetragen. Auf der Ordinate ist der Investitionszuschlag abzulesen. 0% auf der Abszisse entspricht der Ausgangssituation und somit einem Investitionszuschlag auf den Strompreis von ca. 17 Cent/kWh. Soll die Auswirkung einer Parameteränderung abgelesen werden, so ist einfach der Linie, ausgehend von 0%, bis zur gewünschten Abweichung zu folgen. Der sich ergebende Investitionszuschlag wird danach auf der Ordinate abgelesen. Für eine gleichzeitige Änderung verschiedener Parameter, können die jeweiligen Differenzen dem Ausgangsfall bei 0% hinzuaddiert werden.

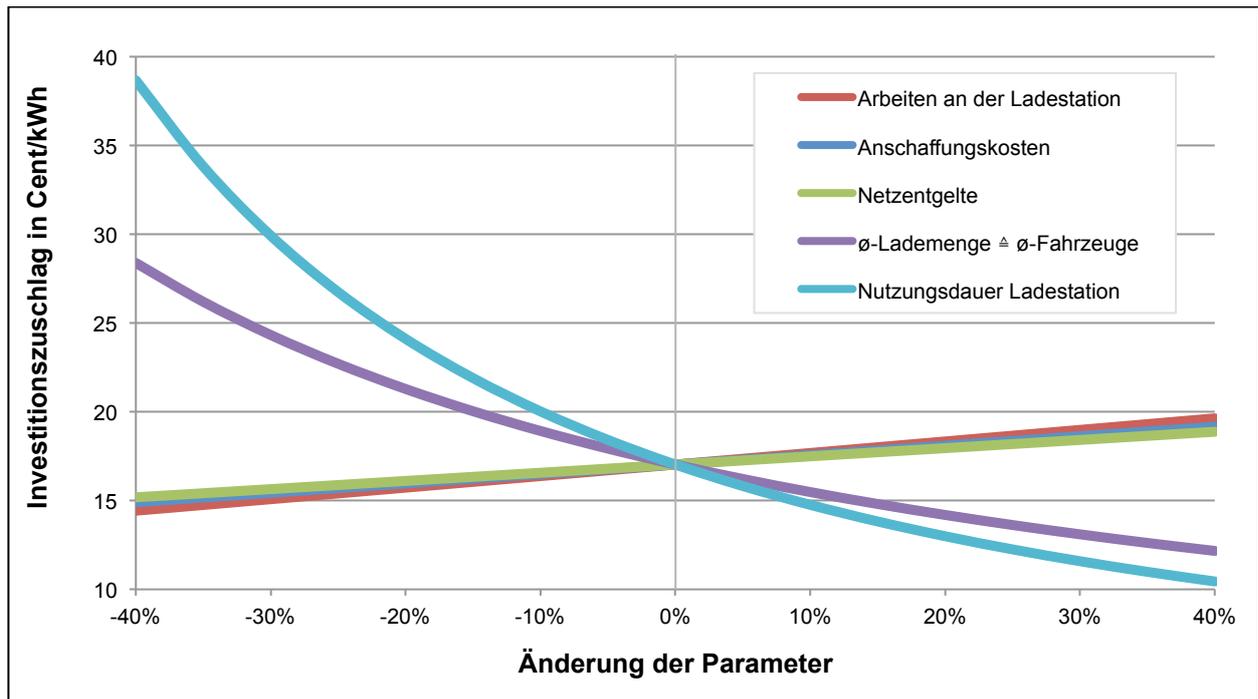


Abbildung 37: Sensitivitätsanalyse Szenario 3³⁴⁴

In Abbildung 37 lässt sich erkennen, dass sich eine Änderung der Nutzungsdauer der Ladestation am stärksten auf den notwendigen Investitionszuschlag auswirkt. Wird die Nutzungsdauer beispielsweise von 15 Jahren auf 12 Jahre verkürzt, was einer Reduktion um 20% entspricht, so steigt der ermittelte Zuschlag von 17 Cent/kWh auf 24 Cent/kWh. Soll die Ladestation nach Ende der Nutzungsdauer jedoch bei gleichbleibender Anschlussleistung ersetzt werden, fallen dabei nur noch die Kosten der Ladestation und ein Teil der Arbeiten an. Der ermittelte Investitionszuschlag wäre dadurch bei einem Ersatz geringer als bei der Erstinstallation. Da sich allerdings nicht abschätzen lässt wann und ob eine Ladestation ersetzt wird, wird dieser Sachverhalt ebenso wenig betrachtet wie eine allfällige Demontage nach Ende der Lebensdauer.

Den zweitgrößten und zugleich am schwierigsten vorhersehbaren Einfluss hat die Auslastung. Unter Auslastung wird hierbei die Lademenge pro Tag an einer Ladesäule verstanden. Ob sich eine Änderung der Auslastung durch eine sich verändernde Zahl von Fahrzeugen oder der durchschnittlichen Lademenge ergibt, ist für die Berechnung des Investitionszuschlages bedeutungslos. Es muss nur überprüft werden, ob eine

³⁴⁴ eigene Darstellung Daten: Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH; Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH; vgl. Kelag et al., Zugriffsdatum 10.12.2012; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40; vgl. E-Control (2013); Interview mit Wolfgang Schweng, ABB Ltd; Interview mit Vitaliy Kryvoruchko, Ecotech e.U.; Interview mit Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH; Interview mit Friedrich Vogel, everynear GmbH; Interview mit Peter Kondel, Keba AG; Interview mit Martin Christian, Schrack GmbH; Interview mit Stefan Forst, KELAG; vgl. www.mehler.at, Zugriffsdatum 10.01.2013

höhere Anzahl an Fahrzeugen oder eine höhere Lademenge mit den technischen Restriktionen, die sich durch die maximale Ladeleistung und der Anzahl der Ladepunkte ergeben, konform ist.

Die Investitionskosten und diskontieren Betriebskosten haben im Vergleich zu der Nutzungsdauer und der Auslastung eine sehr flache Sensitivitätskurve. Das heißt, dass sich bei Änderung einer Kostenkomponente der Ladestationen, die in Kapitel 6.2 beschrieben sind, der Investitionszuschlag nur geringfügig ändert. Sinkt beispielsweise der Preis der Ladestation um 20%, so vermindert sich der Investitionszuschlag nur um einen Cent pro Kilowattstunde. Bei Szenario 3 sind die Verläufe fast deckungsgleich, weil die Gesamtkosten der drei Komponenten ähnlich hoch sind.

In den vorherigen Absätzen wurde der Einfluss der Gesamtkosten, der Nutzungsdauer der Ladestation sowie der Auslastung auf den Investitionszuschlag gezeigt. Die andere Frage die sich stellt, ist die nach einer sinnvollen Anschlussleistung. Wie wirkt sich also die Anschluss- bzw. Ladeleistung auf die Höhe des Investitionszuschlages aus? Um dies zu klären, wurde das Szenario 2 für den Fall eines Einkaufszentrums herangezogen. Dabei wurde angenommen, dass die Ladestation 8 Stunden pro Tag an 300 Geschäftstagen genutzt wird. Ferner weist die Ladestation eine durchschnittliche Auslastung von zwei Autos pro Stunde während der Öffnungszeiten auf. Die durchschnittliche Parkzeit beträgt eine halbe Stunde. Abbildung 38 zeigt diesen Sachverhalt unter der Prämisse, dass die Fahrzeuge über eine hohe Akkukapazität verfügen.

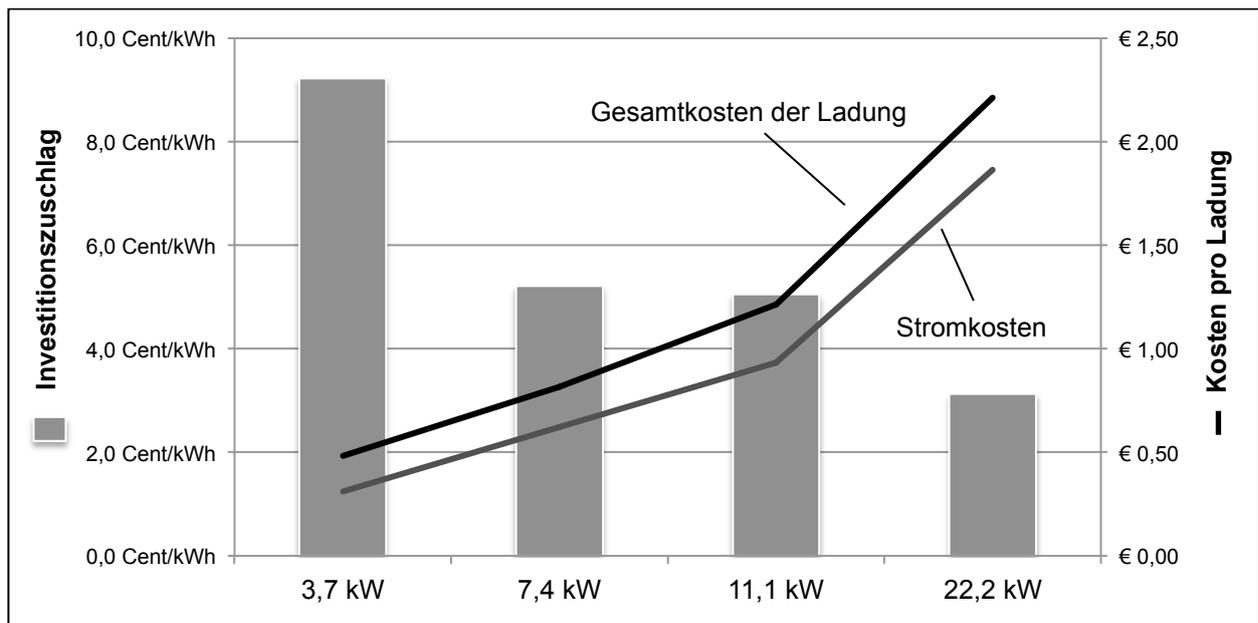


Abbildung 38: Einfluss der Ladeleistung auf Szenario 2 bei großer Akkukapazität³⁴⁵

Dabei zeigt sich, dass der Investitionszuschlag bei steigender Anschlussleistung abnimmt. Das liegt daran, dass während der Parkzeit mehr Strom an den Kunden verkauft werden kann, wie die Verlaufsggeraden der Stromkosten zeigen. Die Gesamtkosten der Ladestation lassen sich also auf eine größere Strommenge aufteilen und der notwendige Investitionszuschlag verringert sich. Die Mehrkosten pro Ladung, dargestellt durch die Differenz der Kostengeraden, steigen leicht mit der Ladeleistung an.

In der Realität wird aber die mögliche Lademenge durch Akkus mit geringerer Kapazität und durch die limitierte Ladeleistung begrenzt. Die unterschiedlichen Ladeleistungen sind durch die im Fahrzeug verbauten Ladegerät begründet, die je nach Fahrzeug eine unterschiedliche Leistung aufweisen. Auch der Ladezustand der Batterie spielt eine entscheidende Rolle. So ist nicht davon auszugehen, dass nur geladen wird wenn die Batterie leer ist. Außerdem flacht die Ladekurve der Batterie bei einem Ladezustand von in etwa 80% stark ab, d.h. die Ladeleistung nimmt signifikant ab.³⁴⁶ Diese Umstände verändern das zuvor ermittelte Kostenbild zu Abbildung 39.

³⁴⁵ eigene Darstellung Daten: Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH; Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH; vgl. Kelag et al., Zugriffsdatum 10.12.2012; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40; vgl. E-Control (2013); Interview mit Wolfgang Schweng, ABB Ltd; Interview mit Vitaliy Kryvoruchko, Ecotech e.U.; Interview mit Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH; Interview mit Friedrich Vogel, everynear GmbH; Interview mit Peter Kondel, Keba AG; Interview mit Martin Christian, Schrack GmbH; Interview mit Stefan Forst, KELAG; vgl. www.mehler.at, Zugriffsdatum 10.01.2013

³⁴⁶ vgl. Van den Bossche (2010), S.519

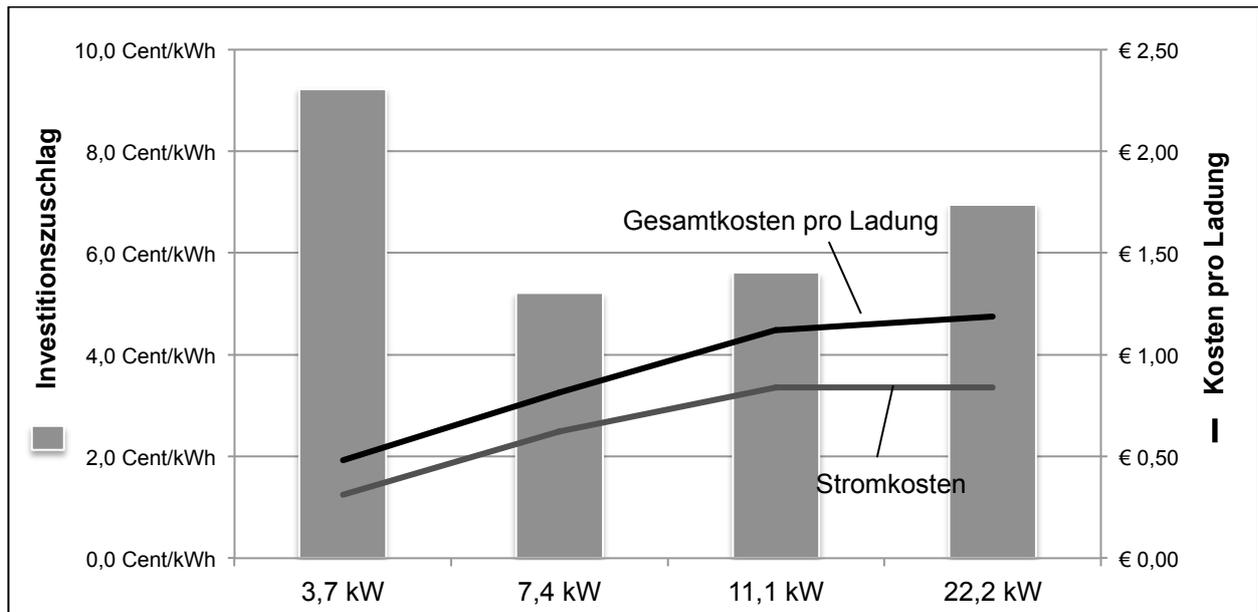


Abbildung 39: Einfluss der Ladeleistung auf Szenario 2 bei begrenzter Akkukapazität³⁴⁷

Die höhere Anschlussleistung führt durch die genannten Einschränkungen ab einem gewissen Punkt nicht mehr zu einem erhöhten Stromverkauf. Die höheren Gesamtkosten führen in diesem Fall zu einem höheren Investitionszuschlag. Diese Betrachtung ist vor allem interessant, wenn von einer stärkeren Verbreitung der Plug-In Hybride ausgegangen wird, die über geringere Akkukapazitäten verfügen. Auffallend ist auch, dass in dieser Betrachtung die Mehrkosten pro Ladung gleich hoch sind wie in Abbildung 38 bei großer Akkukapazität, da diese nur von der Anzahl der Fahrzeuge abhängig sind. Der Anteil der Infrastrukturkosten an den Gesamtladekosten ist aber deutlich größer.

7.4 Total Cost of Ownership EV und ICEV

Wie hoch kann ein Investitionszuschlag pro Kilowattstunde bzw. die Mehrkosten pro Ladung sein, damit der Nutzer bereit ist, das Angebot zu nutzen? Dieser Frage soll mit einem Gesamtlebenskostenvergleich von Elektroautos und konventionellen Fahrzeugen begegnet werden. Dabei wird bei den Elektroautos speziell auf die Veränderung der Stromkosten durch den Investitionszuschlag eingegangen. Der

³⁴⁷ eigene Darstellung; Daten: Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH; Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH; vgl. Kelag et al., Zugriffsdatum 10.12.2012; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40; vgl. E-Control (2013); Interview mit Wolfgang Schweng, ABB Ltd; Interview mit Vitaliy Kryvoruchko, Ecotech e.U.; Interview mit Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH; Interview mit Friedrich Vogel, everynear GmbH; Interview mit Peter Kondel, Keba AG; Interview mit Martin Christian, Schrack GmbH; Interview mit Stefan Forst, KELAG; vgl. www.mehler.at, Zugriffsdatum 10.01.2013

erhöhte Strompreis führt zu höheren Kilometerkosten. Der Nutzer hat dabei immer den Vergleich mit der Steckdose zu Hause, an der nur der Haushaltsstrompreis ohne Investitionszuschlag zu bezahlen ist. Unter den Gesamtkosten der Fahrzeuge, den Total Cost of Ownership (TCO), sind alle über die Nutzungsdauer entstehenden Kosten abzüglich des Restwertes zu verstehen. Dazu zählen die Anschaffungskosten, laufende Kosten wie Versicherung, Steuer, Wartung und Treibstoff. Die Vergleichsfahrzeuge und Ausgangsbedingungen sind in Kapitel 7.1 definiert. Als Nutzungsdauer der Fahrzeuge werden fünf Jahre angenommen.

Den Einfluss des Investitionszuschlages auf eine Kilowattstunde Strom auf die Treibstoff sowie Gesamtkosten für ein Stadtfahrzeug mit 12.500 Kilometern Jahresfahrleistung und einer Haltedauer von fünf Jahren zeigt Abbildung 40.

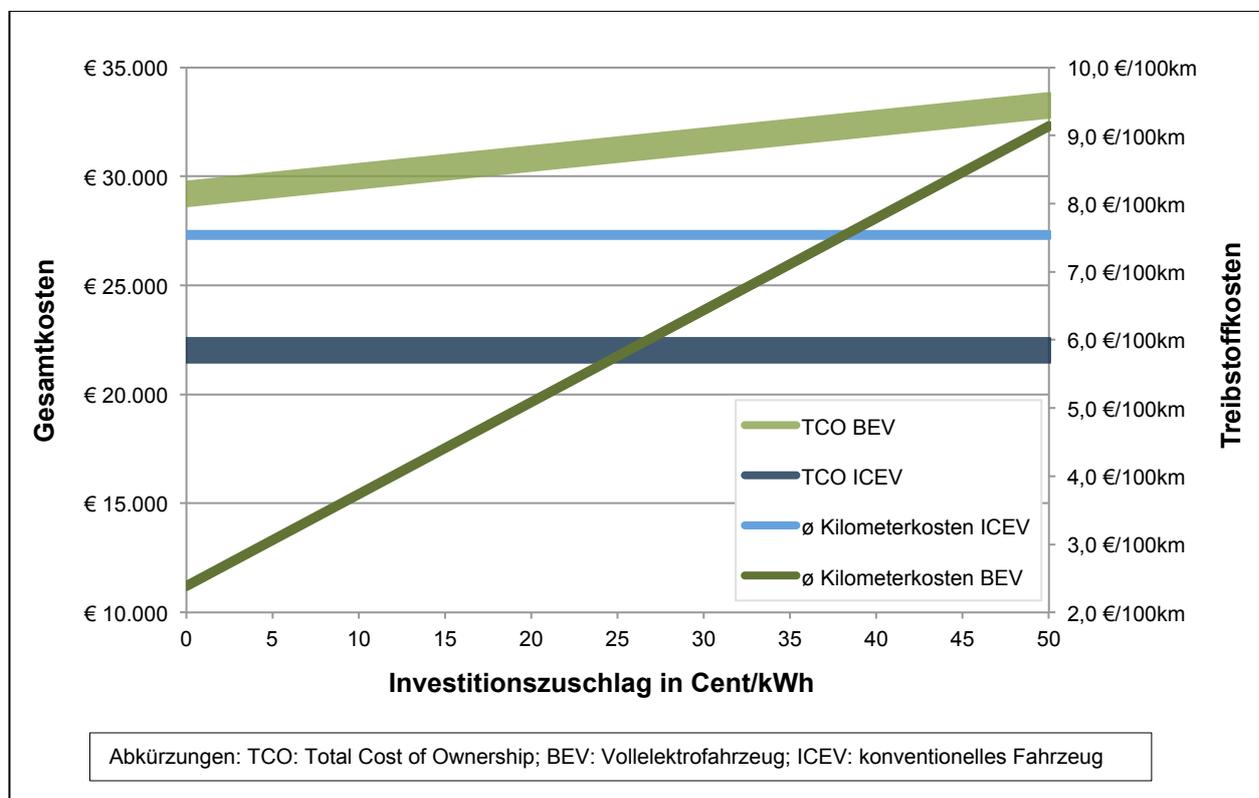


Abbildung 40: Einfluss des Investitionszuschlages auf Treibstoff- und Gesamtkosten³⁴⁸

Rein von den Treibstoffkosten für 100 Kilometer, könnte der Investitionszuschlag 38 Cent/kWh ausmachen, das entspräche einem Gesamtstrompreis von 55 Cent/kWh,

³⁴⁸ eigene Darstellung; Daten: vgl. Mitsubishi, www.mitsubishi-motors.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Volkswagen, www.volkswagen.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. ÖAMTC, www.oamtc.at, Zugriffsdatum 16.01.2013; vgl. Energie Steiermark AG, www.e-steiermark.at, Zugriffsdatum 30.11.2012; vgl. Mazza/Hammerschlag (2005), S.3ff.; vgl. Versicherungsrechner der WKO, www.durchblicker.at, Zugriffsdatum 16.01.2013; vgl. BF Forecasts zitiert in Handelsblatt, www.handelsblatt.com, Zugriffsdatum 16.01.2013;

damit der Nutzer weniger für Strom bezahlt als er es bei einem konventionellen Auto für Benzin machen würde. Da sich die Kosten aus dem Normverbrauch errechnen und in der Praxis Autos mit Verbrennungsmotor im Stadtverkehr weit über den Normverbräuchen liegen,³⁴⁹ kann sogar davon ausgegangen werden, dass sich der Break-Even Punkt noch zu einem höheren Investitionszuschlag verschiebt. Bei den Gesamtkosten liegt in dieser Betrachtung das Elektroauto jedoch in einer aussichtslosen Position.

Die Wartungskosten und vor allem der Restwert eines Elektroautos sind mit großen Unsicherheiten behaftet. Da die jetzige Generation von Elektroautos noch nicht lange am Markt ist, kann hier kaum ein zuverlässiger Restwert ermittelt werden. Vor allem die begrenzte Lebensdauer der recht teuren Batterie führt zu Schwierigkeiten bei der Abschätzung. Einige Hersteller versuchen dem Kunden diese Sorgen zu nehmen, indem sie die Batterie vermieten oder verleasen.³⁵⁰

Betrachtet man die Kosten der Fahrzeuge über die Haltedauer und bei unterschiedlichen Jahresfahrleistungen ohne Berücksichtigung des Restwertes zeigt sich der in Abbildung 41 ersichtliche Verlauf.

³⁴⁹ vgl. ÖAMTC, www.oeamtc.at, Zugriffsdatum 10.02.2013

³⁵⁰ vgl. Renault, www.renault.at, Zugriffsdatum 20.11.2012

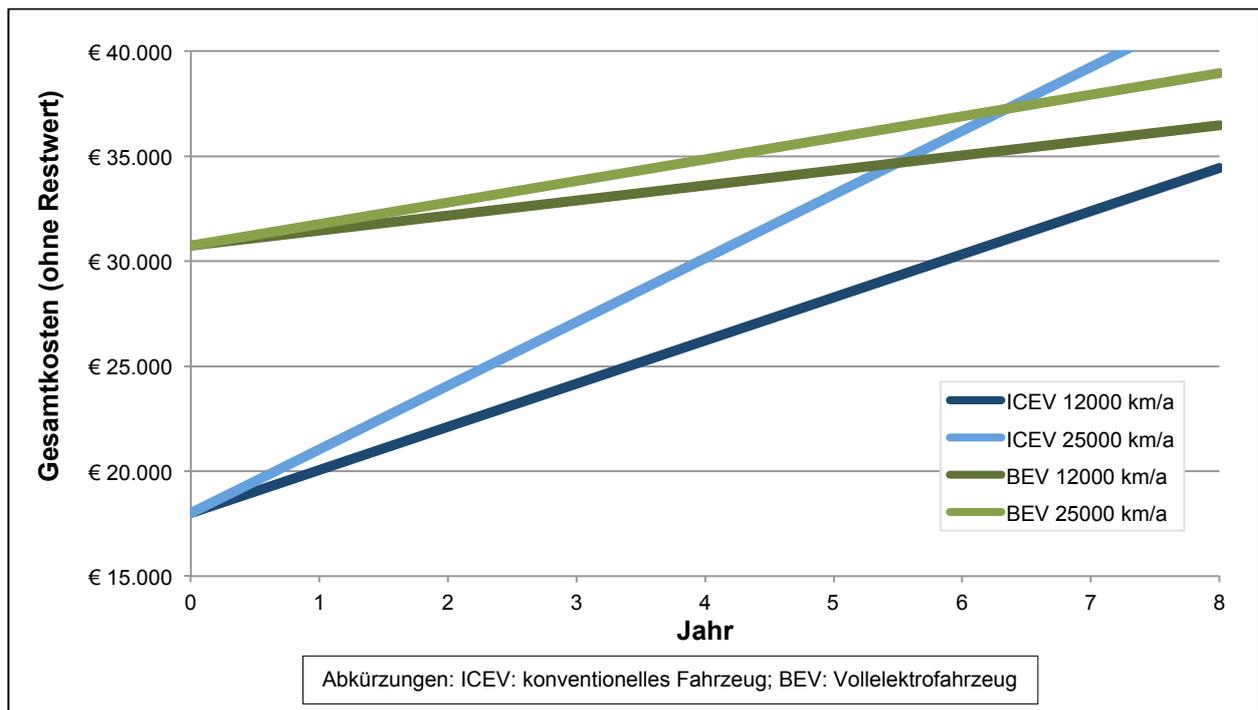


Abbildung 41: Gesamtkosten (ohne Restwert) von BEVs und ICEVs in Abhängigkeit von Haltedauer und Jahresfahrleistung³⁵¹

Man erkennt, dass ohne den schwierig vorhersehbaren Restwert zu berücksichtigen, hohe Fahrleistungen oder lange Nutzungsdauern des Fahrzeuges notwendig sind, damit bei heutigen Preisen ein Elektroauto einen Kostenvorteil hat. Selbst bei einer Verdoppelung der Benzinkosten hat das Elektrofahrzeug bei 12.500 km/a keinen Kostenvorteil, wie in Anhang E gezeigt wird.

Wird die Batterie jedoch gemietet, ist das Elektroauto schneller rentabel. Auch der Restwert, der hier jedoch nicht dargestellt ist, ist positiver zu bewerten, da der Kunde nicht das Risiko eines defekten Akkus trägt. Abbildung 42 zeigt den geänderten Gesamtkostenverlauf.

³⁵¹ eigene Darstellung Daten: vgl. Mitsubishi, www.mitsubishi-motors.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Volkswagen, www.volkswagen.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. ÖAMTC, www.oamtc.at, Zugriffsdatum 16.01.2013; vgl. Energie Steiermark AG, www.e-steiermark.at, Zugriffsdatum 30.11.2012; vgl. Mazza/Hammerschlag (2005), S.3ff.; vgl. Versicherungsrechner der WKO, www.durchblicker.at, Zugriffsdatum 16.01.2013; vgl. BF Forecasts zitiert in Handelsblatt, www.handelsblatt.com, Zugriffsdatum 16.01.2013;

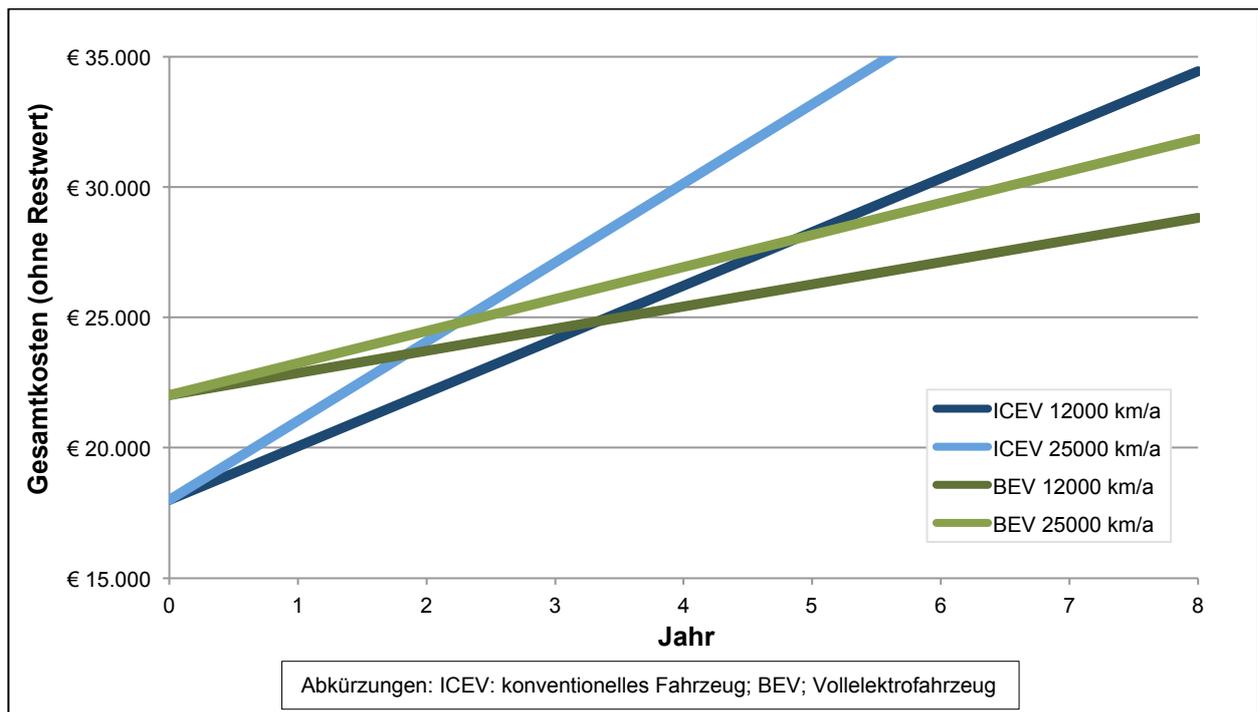


Abbildung 42: Gesamtkosten (ohne Restwert) von EVs mit Akkumiete und ICEVs in Abhängigkeit von Haltedauer und Jahresfahrleistung³⁵²

Ob ein Elektrofahrzeug anstelle eines konventionellen für den Nutzer wirtschaftlich sinnvoll ist, lässt sich letztendlich nur durch eine individuelle Betrachtung feststellen. In den nächsten Jahren wird sich zudem zeigen, wie der Restwert von Elektroautos bewertet werden kann.

Durch die geringen Stromkosten von in etwa 2,5 €/100km wirkt sich ein kilowattstundenbezogener Investitionskostenzuschlag nur gering auf die Total Cost of Ownership aus. Selbst eine Verdoppelung des Strompreis führt bei einem Kleinwagen mit 12.500 km/a nur zu einer jährlichen Mehrbelastung von € 300 und liegt damit noch deutlich unter den Treibstoffkosten eines mit Benzin betriebenen Fahrzeuges. Aus psychologischer Sicht können hohe Zuschläge jedoch abschreckend wirken, da der Nutzer den Strompreis immer mit seinem Haushaltsstrompreis vergleichen kann.

³⁵² eigene Darstellung; Daten: vgl. Renault, www.renault.de, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Volkswagen, www.volkswagen.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. ÖAMTC, www.oamtc.at, Zugriffsdatum 16.01.2013; vgl. Energie Steiermark AG, www.e-steiermark.at, Zugriffsdatum 30.11.2012; vgl. Mazza/Hammerschlag (2005), S.3ff.; vgl. Versicherungsrechner der WKO, www.durchblicker.at, Zugriffsdatum 16.01.2013; vgl. BF Forecasts zitiert in Handelsblatt, www.handelsblatt.com, Zugriffsdatum 16.01.2013;

7.5 Schlussfolgerungen

Die vorangegangenen Abschnitte haben für unterschiedliche Ladeszenarien gezeigt, wie hoch ein Investitionszuschlag auf eine Kilowattstunde Strom sein muss, damit alle Kosten einer Ladestation abgedeckt sind. Darüberhinaus wurde auch die Abhängigkeiten und Sensitivitäten der verschiedenen Parameter auf den Investitionszuschlag sowie die Auswirkungen auf die TCOs eines Elektrofahrzeuges untersucht. Die folgenden Absätze zeigen Möglichkeiten, wie die Investitionskosten an den Nutzer weitergegeben werden können.

Investitionszuschlag

Der bereits behandelte Investitionszuschlag eignet sich besonders gut um verschiedene Ladeszenarien und unterschiedliche Ladestationen zu vergleichen. Er stimmt auch bestens mit dem gewohnten Tank- bzw. Ladeverhalten überein, bei dem ein spezifischer Energiepreis zu entrichten ist. Durch die Umwälzung der Kosten auf eine Energieeinheit erfolgt eine faire, verursachungsgerechte Weiterverrechnung an den Kunden. Er zahlt nur das, was er wirklich nutzt. Kleine Lademengen oder lange Parkdauern werden dabei nicht benachteiligt oder bevorzugt, was aber auch dazu führen kann, dass Ladesäulen von parkenden und nicht ladenden Fahrzeugen blockiert werden. Auch wenn ein relativ hoher Investitionszuschlag nur geringe Auswirkungen auf die tatsächlichen Kosten des Endnutzers hat, kann dieser abschreckend wirken, da immer der Vergleich mit dem Haushaltsstrompreis gegeben ist. Hinzu kommt auch, dass diese Form nur für EVUs geeignet ist. Gemäß § 78 Abs. 1 und 2 EIWOG sind alle Stromhändler, die in Österreich Endverbraucher beliefern, verpflichtet eine Stromkennzeichnung zu erstellen. Ob dieser Sachverhalt auch auf Ladestationen zutrifft wird dennoch kontrovers diskutiert, wie in Kapitel 5.3 erörtert wird.

Benutzungsgebühr und Stromkosten

Wird eine einmalige Benutzungsgebühr pro Ladung oder eine monatliche Grundgebühr zusätzlich zu den Stromkosten erhoben, so erscheinen die Kosten für den Nutzer als sehr gering. Jedoch gilt auch hier wieder die Einschränkung nach § 78 Abs. 1 und 2 EIWOG. Wird die Benutzungsgebühr darüberhinaus pro Ladung erhoben, so werden kleine Lademengen, die vor allem PHEVs aufweisen, benachteiligt, da sie in diesem Fall anteilmäßig höhere Kosten zu tragen haben.

Pauschalkosten

Die Möglichkeit einer Pauschale pro Ladung bzw. einer Monatspauschale ist eine sehr einfache Form der Verrechnung. Vor allem eine monatliche Pauschale kann zu einer

höheren Nutzung der Ladeinfrastruktur führen, wie man es vergleichsweise in der Mobilfunkbranche in den letzten Jahren erlebt hat. Darüberhinaus können Ladestationen einfacher ausgeführt werden, da keine Abrechnungshardware erforderlich ist. Die Gefahr bei einer Monatspauschale ist, dass Nutzer es möglicherweise nicht für notwendig betrachten, eine hohe Fixgebühr für etwas zu bezahlen, das sie nicht oft nutzen. Es ist nämlich davon auszugehen, dass der Großteil der Ladungen zu Hause über Nacht erfolgt und die (halb-)öffentliche Ladung nur für gelegentliches Zwischenladen dient.

Parkdauer

Die Möglichkeit nach Parkdauer bzw. Ladezeit zu bezahlen, eignet sich vor allem für kleine Anschlussleistungen oder wenn das Laden nur ein Zusatzangebot darstellt. Vor allem für Parkhäuser, öffentliche Plätze aber auch Einkaufszentren kann diese Verrechnungsart von Vorteil sein. Nicht geeignet ist die Abrechnung nach Parkdauer bzw. Ladezeit für hohe Anschlussleistungen. Im Endeffekt will der Kunde seine Batterie laden. Durch die Bezahlung nach Ladezeit kann sich der Nutzer jedoch nicht sicher sein wie viel Strom geladen wird, das diese auch von der Ladestation, dem Fahrzeug und dem Ladezustand der Batterie abhängen. So kann es sein, dass an verschiedenen Ladestationen während der gleichen Zeit unterschiedliche Strommengen geladen werden.

Anhand der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und der Sensitivitätsanalyse werden nun sinnvolle Anschlussleistungen gesucht. Verfügen Ladestationen über mehrere Ladepunkte als in den Referenzladeszenarien, muss die Anschlussleistung an die Ladepunkte angepasst werden. Dabei muss eine mögliche Änderung der Netzentgelte berücksichtigt werden,

3,7 kW und 7,4 kW Anschlussleistung

Die niedrigen Anschlussleistungen eignen sich besonders für Ladeszenarien, an denen wenige Fahrzeuge einer Ladestation zugewiesen sind, die darüberhinaus auch noch länger parken. Vor allem für Szenario 1 ist eine Anschlussleistung von 3,7 kW am günstigsten, da für Privatpersonen bei höheren Leistungen recht hohe Netzentgelte anfallen. Die Kosten der Ladestation haben hingegen keinen Einfluss, da fast alle Ladestationen auch für höhere Leistungen geeignet sind.

Auch für den Fall, dass Szenario 2 für Pool- oder Firmenfahrzeuge angewandt wird, sind ebenfalls niedrige Anschlussleistungen von Vorteil. Wird anfangs noch mit einer geringen bzw. unsicheren Auslastung gerechnet, so erscheinen 7,4 kW Ladeleistung für Szenario 2 besonders geeignet. Es ist aber anzumerken, dass eine Abschätzung bei Gewerbebetrieben, wie Einkaufszentren, Supermärkten oder Parkgaragen, stark vom

Einzelfall abhängig ist. Durch einfache Regelungen, wie Lastabwurf oder Zeitschaltung, können die höheren Netzentgelte oft vermieden werden.

Für Plug-In Hybride erscheinen niedrige Ladeleistungen am besten geeignet, da sie aufgrund niedriger Akkukapazitäten kaum von höheren Ladeleistungen profitieren. 7,4 kW weist, sofern vom Ladegerät des Fahrzeuges unterstützt, ein gutes Kosten/Nutzen-Verhältnis auf.

11,1 kW und 22,2 kW Anschlussleistung

11,1 kW Anschlussleistung lässt sich noch gut mit den zuvor beschriebenen 7,4 kW vergleichen. Aber vor allem bei 22,2 kW oder einer noch höheren Anschlussleistung ist eine gute Auslastung Voraussetzung. Das heißt, dass die Ladestation von vielen Fahrzeugen genutzt werden muss, die gleichzeitig eine kurze Parkdauer aufweisen. Wird die Ladestation an einem neuen Netzanschlusspunkt errichtet, so führen hohen Anschlussleistungen bei der angenommenen Auslastung zu einem deutlich höheren Investitionszuschlag. Diese Situation kann sich aber grundlegend ändern, wenn die Ladestation an eine große bestehende Installation angeschlossen wird. Generell ist der Einfluss der Netzentgelte stark vom Einzelfall abhängig. Zusammengefasst eignen sich hohe Anschlussleistungen bei guter Auslastung wie bei Szenario 2. Da Szenario 3 über nur einen Ladepunkt nach Mode-3 verfügt, sind hier 11,1 kW ausreichend.

Schnellladung 50 kW

Das Gleichstromschnellladen in Szenario 4 ist vom Investitionszuschlag her gesehen die teuerste Möglichkeit zu laden. Bei guter Auslastung halten sich die Mehrkosten aber in Grenzen, sodass sie durchwegs als Alternative für Wechselstromladen mit 22 kW zu sehen ist, solange es durch den Mehrwert der schnelleren Ladung gerechtfertigt ist.

Höhe des Investitionszuschlages

Eine in den USA durchgeführte Studie kam zu dem Ergebnis, dass Nutzer durchschnittlich bereit sind für die Ladung von Elektroautos das doppelte des Haushaltstrompreises zu zahlen, wenn ein Mehrwert wie eine Schnellladung geboten ist.³⁵³ Eine andere Studie kam zu dem Ergebnis, dass sogenannte Early Adopters von Elektroautos bis € 700 jährlich bereit sind zusätzlich zum Strom für eine Benützung einer Ladeinfrastruktur auszugeben.³⁵⁴ Bei einer zunehmenden Verbreitung von Elektroautos sinkt diese „Willingness to Pay“ auf etwa € 200 jährlich.³⁵⁵ Ein Vergleich

³⁵³ vgl. EPRI (2010), Teil 3 S.56

³⁵⁴ vgl. Achtnicht/Bühler/Hermeling (2012), S.11ff.

³⁵⁵ ebenda

der TCO von EVs und ICEVs, lässt einen doppelten Strompreis deshalb als denkbar erscheinen. Für eine endgültige Klärung der Zahlungsbereitschaft der Nutzer sind jedoch noch genauere Untersuchungen erforderlich. Generell wird vermutet, dass Kunden die sich bei jetzigen Rahmenbedingungen für ein Elektroauto entscheiden, auch tendenziell bereit sind einen höheren Investitionszuschlag zu akzeptieren.³⁵⁶ Hier bedarf es jedoch weiteren Untersuchungen.

Chancen und Risiken in der Zukunft

Für die Zukunft stellen Plug-In Hybride eine große Chance dar, die Auslastung von Ladestationen zu verbessern. Der Nutzer hat dabei den direkten Vergleich von den Treibstoffkosten von EVs, die unter 3 €/100km liegen, und ICEVs, die über 8 €/100km liegen. Dadurch ist es naheliegend, dass versucht wird möglichst viele Kilometer elektrisch zurückzulegen. Die Akkukapazität ist bei Plug-In Hybriden aber recht klein und demzufolge sind die Batterien auch recht schnell leer. Aus diesen Gründen ist es denkbar, dass Ladestationen speziell von Plug-In Hybriden genutzt werden. Herkömmliche Elektroautos werden wohl meist nur zu hause über Nacht geladen, da dort die Kosten der Ladung am günstigsten sind und da reine Elektroautos momentan wohl nur gekauft werden, wenn eine Ladung problemlos für einen Tag reicht. Demzufolge erscheint es auch fraglich, ob Schnellladestationen die erforderliche Auslastung aufweisen werden.

Bei kleinen Installationen, die sich in Netzebene 7 befinden, wie Privathaushalte und kleine Geschäfte, sind die Kosten und die Wirtschaftlichkeit von Ladestationen recht gut abschätzbar. Für die Netzentgelte und Behördengebühren ist eine individuelle Betrachtung unabdingbar, da hier kaum eine Pauschalaussage gemacht werden kann. Insbesondere bei hohen Ladeleistungen sowie bei vielen Ladestationen pro Anschlusspunkt an das Stromnetz macht eine Laderegulung Sinn.

Tabelle 20 zeigt sinnvolle Ausprägungen von Ladestationen aufgegliedert nach Ladeort.

³⁵⁶ ebenda

Infrastruktur	Ort	Dauer	Art	Technologie	Regelung	Abrechnung
Privat	<ul style="list-style-type: none"> Garage privater Stellplatz 	<ul style="list-style-type: none"> lange über Nacht 	<ul style="list-style-type: none"> reguläres Hauptladen 	<ul style="list-style-type: none"> konduktiv 3,7 kW in Zukunft auch induktiv 	<ul style="list-style-type: none"> aktuell keine Regelung in Zukunft einfache Steuerung 	<ul style="list-style-type: none"> hauptsächlich über Haushaltszähler
Halböffentlich	<ul style="list-style-type: none"> Arbeitsplatz Parkgarage Geschäfte 	<ul style="list-style-type: none"> nach Parkzeit 	<ul style="list-style-type: none"> hauptsächlich Zwischenladen 	<ul style="list-style-type: none"> konduktiv mit mind. 7,6 kW in Zukunft auch Induktiv 	<ul style="list-style-type: none"> bei längerer Parkzeit bzw. örtlich hoher Dichte an Ladestationen 	<ul style="list-style-type: none"> vom Anwendungsfall abhängig
Öffentlich	<ul style="list-style-type: none"> Stadt Verkehrsknoten 	<ul style="list-style-type: none"> kurz 	<ul style="list-style-type: none"> Reichweitenverlängerung 	<ul style="list-style-type: none"> konduktiv AC/DC dreiphasig 	<ul style="list-style-type: none"> ungesteuert 	<ul style="list-style-type: none"> Ja

Tabelle 20: Ausprägungen einer Ladeinfrastruktur³⁵⁷

7.6 Wesentliche Ergebnisse

Mittels des Investitionszuschlages, der für die verschiedenen Ladeszenarien berechnet wurde und einer Festlegung von Referenzfahrzeugen wurden die verschiedenen Ladeszenarien miteinander verglichen. Tabelle 21 zeigt die wesentlichen Ergebnisse.

Anschlussleistung	Einsatzgebiet	Kosten
3,7 kW bis 7,4 kW <i>Szenario 1 und 2</i>	<ul style="list-style-type: none"> Wenige Autos pro Ladestation 	<ul style="list-style-type: none"> Investitionszuschlag: 5 - 14 Cent/kWh
	<ul style="list-style-type: none"> Lange Parkdauer 	<ul style="list-style-type: none"> Gesamtkosten LS: € 1.200 - 5.000
	<ul style="list-style-type: none"> Sehr kleine Akkukapazität 	<ul style="list-style-type: none"> Mehrkosten pro Jahr: € 110 - 310
	<ul style="list-style-type: none"> Freier Strombezug 	
11 kW bis 22 kW <i>Szenario 2 und 3</i>	<ul style="list-style-type: none"> Gute Auslastung 	<ul style="list-style-type: none"> Investitionszuschlag: 5,6 - 25 Cent/kWh
	<ul style="list-style-type: none"> Beschränkte Parkdauer (z.B. Supermärkte) 	<ul style="list-style-type: none"> Gesamtkosten LS: € 2.500 - 40.000
		<ul style="list-style-type: none"> Mehrkosten pro Jahr: 120 - 550 €
50 kW DC <i>Szenario 4</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sehr gute Auslastung 	<ul style="list-style-type: none"> Investitionszuschlag: 17,5 - 39 Cent/kWh
	<ul style="list-style-type: none"> Sehr kurze Parkdauer 	<ul style="list-style-type: none"> Gesamtkosten LS: € 53.000 - 120.000
		<ul style="list-style-type: none"> Mehrkosten pro Jahr: € 385 - 860

Tabelle 21: Kosten der Ladeszenarien³⁵⁸

³⁵⁷ in Anlehnung an Kley (2012), S.23

Der Investitionszuschlag ist zu einem großen Teil von der Auslastung abhängig. Da die Auslastung für halböffentliche und öffentliche Szenarien nur schwierig abschätzbar ist, wurde unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Weglänge und notwendigen Ladedauer eine durchschnittliche Auslastung errechnet. Vor allem die Ladung im privaten Bereich (Szenario 1) und die Ladung bei gut ausgelasteten halböffentlichen Ladestationen (Szenario 2), wie bei Einkaufszentren oder Parkgaragen, ist mit geringen Mehrkosten für den Endnutzer verbunden.

Die ermittelten Investitionszuschläge für die unterschiedlichen Ladestrategien sind in einem Rahmen, der von den Nutzern akzeptiert werden könnte. Um die tatsächliche Zahlungsbereitschaft der Kunden für die verschiedenen Ladeszenarien zu klären, bedarf es jedoch genaueren Untersuchungen. Keine Rolle dürften hohe Ladeleistungen aufgrund ökonomischer Überlegungen im privaten Bereich, bei wenigen Fahrzeugen pro Ladestation oder bei langer Parkdauer spielen.

³⁵⁸ eigene Darstellung Daten: Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH; Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH; vgl. Kelag et al., Zugriffsdatum 10.12.2012; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40; vgl. E-Control (2013); vgl. WKO, www.wko.at, Zugriffsdatum 07.02.2013; vgl. A1 Telekom Austria, www.a1.net, Zugriffsdatum 07.02.2013; Interview mit Wolfgang Schweng, ABB Ltd; Interview mit Vitaliy Kryvoruchko, Ecotech e.U.; Interview mit Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH; Interview mit Friedrich Vogel, everynear GmbH; Interview mit Peter Kondel, Keba AG; Interview mit Martin Christian, Schrack GmbH; Interview mit Stefan Forst, KELAG; vgl. www.mehler.at, Zugriffsdatum 10.01.2013;

8 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel der Diplomarbeit war eine ökonomische Bewertung von Ladestationen für Elektrofahrzeuge. Aufbauend auf einer Ist-Stand Analyse der technischen Lademöglichkeiten durch eine Literaturrecherche und Experteninterviews, wurden Referenzladeszenarien entwickelt. Diese sollen die unterschiedlichen Einsatzgebiete von Ladestationen widerspiegeln. Auf Basis dieser Szenarien wurden die Installations- und Betriebskosten ermittelt. Um die Mehrkosten für den Endverbraucher zu bestimmen, die für einen wirtschaftlichen Betrieb von Ladestationen erforderlich sind, wurde ein Berechnungstool erstellt. Mit diesem kann auch schnell auf geänderte Rahmenbedingungen reagiert werden. Mittels einer Sensitivitätsanalyse wurde abgeschätzt, wie die ermittelten Ergebnisse auf eine Änderungen der Ausgangsparameter reagieren. Dadurch wurden die kritischen Faktoren identifiziert, welche die Wirtschaftlichkeit von Ladestationen stark beeinflussen. Durch eine Total Cost of Ownership Betrachtung wurden die Auswirkungen dieser Mehrkosten auf die Attraktivität von Elektroautos aufgezeigt.

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst. Die Abfolge entspricht dabei der Gliederung der Diplomarbeit.

8.1 Die Elektromobilität

Der Wunsch nach einer umweltfreundlichen aber individuellen Mobilität und unberechenbar steigende Treibstoffpreise sind die Triebfedern der Elektromobilität. Hohe Kosten, geringe realisierbare Reichweiten, eine fehlende Ladeinfrastruktur aber auch Sicherheitsbedenken führten dazu, dass der Hype der letzten Jahre mittlerweile abgeflacht ist. Wenngleich die Absatzzahlen von Elektroautos deutlich unter den Erwartungen zurückbleiben, so wird seitens der Politik an den ehrgeizigen Zielen festgehalten. So sollen im Jahr 2020 eine Million Elektroautos auf Deutschlands Straßen zu finden sein, in Österreich im Best-Case Szenario 240.000 Stück.

Dass die Elektromobilität keine neue Erfindung ist, zeigt ein Blick auf die Geschichte. Im frühen 20. Jahrhundert, kurz nach ihrer Erfindung, hatten Elektroautos in den USA knappe 40% Marktanteil. Erst mit billiger werdendem Benzin wurde die Elektromobilität in ihr Nischendasein gezwängt. Die Anstrengungen, die heutzutage unternommen werden um diese Invention auf den Stand der Technik zu bringen und auch wirtschaftlich zu verwerten, spiegeln einen Innovationsprozess wider. Genauer genommen ist von einer Systeminnovation die Rede, da durch innovationsspezifische

Teilleistungen, von rechtlich und wirtschaftlich unabhängigen Innovatoren, eine neuartige Zweck-Mittel-Kombination entsteht, die bei den Nutzern zu einer nachhaltigen Änderung ihres Verhaltens führt.

Das größte Wachstum wird Plug-In Hybriden und Range-Extended Hybriden vorhergesagt, die sowohl über eine Verbrennungskraftmaschine, als auch über einen Elektromotor verfügen. Die Prognosen für die Entwicklung von rein batteriebetriebenen Elektroautos zeichnen ein divergentes Bild. Der Boom der letzten Jahre bei elektrifizierten Fahrrädern und anderen einspurigen Fahrzeugen hält an.

Wie grün die Elektromobilität schlussendlich ist, hängt von der Erzeugung des Stroms ab. In Österreich haben Elektroautos aber auch schon bei jetziger Stromherkunft geringere Emissionen als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Selbst wenn sich die Elektromobilität besser entwickelt als angenommen, so ist es nicht notwendig Kraftwerke oder Übertragungsnetze auszubauen. Dennoch macht es Sinn eine Ladesteuerung einzusetzen. Zum einen können höhere Spitzenlasten der Kraftwerke und zum anderen lokale Überlastungen im Niederspannungsnetz oder von Trafostationen bedingt durch eine örtlich hohe Dichte von Ladestationen bzw. Elektroautos vermieden werden. Auch für den Endnutzer macht eine Laderegulung Sinn, da dadurch weitgehend auf einen Zukauf von Anschlussleistung verzichtet werden kann. Die Norm ISO/IEC 15118, die gerade in Entwicklung ist, ermöglicht durch eine durchgehendes Kommunikationsprotokoll ein effizientes Lademanagement. Die viel diskutierte Idee, die Kapazitäten der Batterien von Elektroautos als Netzpuffer zu verwenden, wird Vehicle to Grid (V2G) genannt. Aus unterschiedlichen Gründen wird dieser Ansatz in den nächsten Jahren aber keine Rolle spielen.

8.2 Ladesysteme für Elektrofahrzeuge

Elektrofahrzeuge lassen sich konduktiv per Kabel oder induktiv laden. Alternative Technologien wie ein Batterie- oder Elektrolytwechsel sind aufwändig und mit hohen Investitionskosten verbunden. Die konduktive Ladung ist momentan Standard, da sie effizient und ausgereift ist und sich hohe Ladeleistungen erzielen lassen. Die induktive Ladung bietet einen deutlich höheren Komfort, ist in der Praxis allerdings mit Wirkungsgradeinbußen und höheren Investitionskosten verbunden. Zudem lassen sich nur geringe Ladeleistungen erzielen, da die ungeklärten Auswirkungen des elektromagnetischen Feldes bislang eine Zulassung, speziell bei hohen Feldstärken, erschweren. Durch den ungleich höheren Komfort wird die induktive Ladung allerdings als die Technologie der Zukunft angesehen.

Für das Laden mit Wechselstrom ist der Standardisierungs- und Normierungsprozess weit fortgeschritten und zum Teil abgeschlossen. Die Haushaltssteckdose, an der kurzzeitig mit bis zu 3,7 kW Leistung geladen werden kann, ist aus Sicherheitsgründen nur eine Notlösung. An speziellen Wechselstromladestationen (AC) kann, abhängig von der Leistungsfähigkeit des im Auto verbauten Ladegerätes, mit bis zu 22 kW geladen werden. Dazu sind in der Norm IEC 62196 drei Ladestecker definiert. In Europa wird der darin beschriebene Typ-2 Stecker favorisiert, amerikanische und japanische OEMs verbauen hingegen den Typ-1 Stecker. Um die Vorzüge dieser Norm zu nutzen, findet eine Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladestation statt, welche die Sicherheit gewährleistet und die Ladeparameter optimal einstellt. Dieses Ladebetriebsart wird Mode-3 genannt. Wird mit Gleichstrom (DC) geladen, spricht man von Mode-4. Dadurch, dass das Ladegerät in der Ladestation untergebracht ist, lassen sich hohe Leistungen von aktuell 50 kW erzielen. Als Stecker können für niedrige DC-Ladeleistungen die bereits erwähnten Normstecker verwendet werden. Für hohe DC-Leistungen ist gerade die Norm IEC 62196-3 in Entwicklung, welche die vorhandenen Stecker um zwei Gleichstromkontakte erweitert. Das System nennt sich Combined Charging System (CCS), wobei die Stecker als Combo Stecker bezeichnet werden. Hauptsächlich in japanischen Autos ist ein Gleichstromladestandard namens CHAdeMO in Verwendung. Welche der beiden Schnellladestandards in Europa Fuß fassen wird, lässt sich noch nicht abschließend abschätzen. Die Mode-3 Wechselstromladung mit dem Typ-2 Normstecker ist dessen ungeachtet der bedeutendste Ladestandard für Europa.

Der wichtigste Ladeort ist und bleibt der private Abstellplatz, an dem über Nacht mit niedriger Leistung an einer Wallbox geladen wird. Im halbprivaten und halböffentlichen Bereich finden sich Firmenparkplätze, Einkaufszentren, Parkhäuser und ähnliche Anwendungsgebiete. Die Ladeleistung richtet sich nach der Parkdauer. Bei diesen zwei Ladeorten werden hauptsächlich einfache Ladestationen wie Wallboxen verwendet, die je nach Gegebenheit über eine Authentifizierung mittels RFID- oder Quick-Karte und in Zukunft über das Ladekabel verfügt. Eine Abrechnung ist vom Anwendungsfall abhängig. Im öffentlichen Bereich, wie in Städten, an Bahnhöfen oder Verkehrsknoten, sind je nach Anforderung Wechselstromladestationen mit höherer Anschlussleistung oder Gleichstromschnellladestationen zu finden. Öffentliche Ladestationen werden dabei aber nur einen geringen Anteil am Ladestationsbestand haben. Sind mehrere Ladestationen an einem Netzanschluss installiert, ist eine Laderegulung empfehlenswert.

8.3 Ökonomische Bewertung von Ladestrategien

Das Hauptziel der Diplomarbeit ist eine ökonomische Analyse von Ladestationen. Eine Aufstellung der Kosten für die wichtigsten Ladestrategien und die Weiterverrechenbarkeit an den Kunden sind dabei die maßgeblichen Punkte der Untersuchung.

Als Referenzladeszenarien, dargestellt in Abbildung 43, wurden die Hauptanwendungsfälle einer konduktiven Ladung gewählt.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Bezeichnung	Wallbox	Wallbox, E-Ladesäule	E-Ladesäule	Schnellladestation
Ladeort	privat	halböffentlich	öffentlich	öffentlich
Ladeleistung	3,7 bis 22 kW	11 bzw. 22 kW	22 kW	50 kW DC
Fahrzeuge pro Tag	1	3 bzw. 10	5	6
Ø-Lademenge	Tages- durchschnitt	Tagesdurchschnitt bzw. Parkdauer	50% d. Ø-Batterie- kapazität	70% d. Ø-Batterie- kapazität

Abbildung 43: Übersicht Referenzladeszenarien

Szenario 1 richtet sich an Privatkunden, die an einer Heimpladbox laden. Der Standardfall entspricht einer Ladeleistung von 3,7 kW. Eine höhere Leistung wurde zur Veranschaulichung des Einflusses der Netzentgelte gewählt, wird aber in der Realität kaum Anwendung finden. Szenario 2 beschreibt ein halböffentliches Ladeszenario zum einen für einen Firmenparkplatz mit wenigen Autos pro Ladepunkt und zum anderen für den Fall eines Einkaufszentrums oder einer Parkgarage. Die Lademenge richtet sich im ersten Fall am Tagesverbrauch und im zweiten Fall nach der Parkdauer. Szenario 3 und 4 beschreiben öffentliche Ladeszenarien. Die Lademenge richtet sich dabei nach einer vorgegebenen prozentuellen Erhöhung des Ladezustandes einer durchschnittlichen Batterie.

In dem Berechnungstool wurden auch andere Parameter wie Fahrzeuge, Fahrzeugmix, Nutzungsdauer, Diskontierungsrate etc. hinterlegt. Kapitel 7.1 gibt darüber Aufschluss. Das Tool wurde dabei so gestaltet, dass sich die Auswirkungen verschiedener Annahmen einfach auswerten und ggf. gegenüberstellen lassen.

Um die Installations- und Betriebskosten zu ermitteln wurde mit Ladestationsherstellern, Dienstleistern und Behörden Kontakt aufgenommen. Die Kosten wurden dabei in vier Komponenten gegliedert, um deren Einfluss bewerten zu können. Die „Kosten der

Ladestation“ entsprechen den Anschaffungskosten der Ladestationen, bei „Arbeiten an der Ladestation“ sind sowohl Montagekosten als auch die diskontierten Instandhaltungskosten enthalten, „Netzentgelte und Behördenkosten“ umfassen alle Netzentgelte die durch eine Errichtung oder Anpassung eines Netzzugangs entstehen sowie Kosten für Behördengänge, „Extras und Sonstiges“ beinhaltet eine Kommunikation über Mobilfunk. Alle Betriebskosten wurden dabei auf 2013 diskontiert. Die erhobenen Kosten sind in Kapitel 6.2 aufgelistet und in Tabelle 22 zusammengefasst.

In einem weiteren Schritt wurde ein Investitionszuschlag für die Ladeszenarien ermittelt. Der Investitionszuschlag wird pro Kilowattstunde Strom erhoben und entspricht dem Aufschlag auf den Arbeitspreis, der notwendig ist um alle anfallenden Kosten von Ladestationen abzudecken. Außerdem ermöglicht der Investitionszuschlag einen Vergleich der unterschiedlichen Ladeszenarien. Tabelle 22 zeigt die wesentlichen Ergebnisse für eine Nutzungsdauer der Ladestation von 15 Jahren.

	Szenario 1 3,7 kW	Szenario 2 11 – 22 kW	Szenario 3 22 kW	Szenario 4 50 kW DC
Gesamtkosten	€ 1.240 – 3.700	€ 2.400 – 23.550	€ 13.750 - 45.750	€ 42.950 – 118.050
<i>Ladestation</i>	€ 700 – 3.050	€ 1.200 – 7.000	€ 5.600 – 13.400	€ 34.800 bis 44.400
<i>Arbeiten</i>	€ 540 – 650	€ 1.200 – 3.800	€ 7.100 – 16.200	€ 7.100 – 19.600
<i>Netz und Behörden</i>	/	bis € 12.750	bis € 15.100	bis € 53.000
<i>Extras, Sonstiges</i>	/	/	ca. € 1.050	ca. € 1.050
Investitions- zuschlag	4,7 – 14,0 Cent/kWh	5,6 – 45,0 Cent/kWh	10,0 – 25,5 Cent/kWh	17,6 – 39,0 Cent/kWh
Gesamtkosten pro Ø-Ladung	€ 1,30 – 1,85	€ 1,30 – 3,85	€ 3,00 – 4,75	€ 5,45 – 8,85
<i>Strom</i>	€ 0,30 – 0,85	€ 0,30 – 2,85	€ 1,10 – 2,85	€ 2,80 – 6,20
<i>Zuschlag absolut</i>	€ 1,00	€ 1,00	€ 1,90	€ 2,65
<i>Ø-Lademenge</i>	6 kWh	6 kWh	11 kWh	16 kWh

Tabelle 22: Wesentliche Ergebnisse der ökonomischen Analyse (inkl. USt.)

Die Schwankungen ergeben sich bei den vorliegenden Referenzszenarien hauptsächlich durch die Netzentgelte, welche nur für den Einzelfall bestimmt werden können. So ist es bei vorhandenen Anschlusspunkten mit hoher Leistung, wie z.B. Einkaufszentren, auch möglich, dass keine Leistungsanpassung vorgenommen werden muss. Die Gleichzeitigkeit der Ladestationen mit den anderen Verbrauchern der Installation spielt dabei die entscheidende Rolle. Auch mittels einer Laderegulierung kann eine Erhöhung der Anschlussleistung weitgehend vermieden werden. Die angegebenen Maximalwerte der Netzentgelte spiegeln dabei die entstehenden Kosten bei der

Erstellung eines neuen Netzanschlusspunktes wider. Durch eine in Kapitel 7.3 durchgeführte Sensitivitätsanalyse wurde der Einfluss der Parameter auf das Gesamtergebnis untersucht. Die Nutzungsdauer und die Auslastung der Ladestationen sind dabei die einflussreichsten und zugleich schwierig vorhersehbaren Faktoren. Ist eine Abrechnung erforderlich, so erhöht sich der Investitionszuschlag geringfügig um maximal 0,3 Cent/kWh bei Quick und 1,5 Cent/kWh bei einer Bezahlung per Paybox.

Für Szenario 2 wurde untersucht, welchen Einfluss die Ladeleistung auf die ökonomische Bewertung hat. Für den Fall einer beschränkten Parkdauer, wie es beispielsweise bei Einkaufszentren der Fall ist, hat sich gezeigt, dass speziell bei einem hohen Anteil von Plug-In Hybriden eine Anschlussleistung von 7,4 kW für eine Ladestation mit zwei Ladepunkten optimal ist. Sowohl die Gesamtkosten der Ladestation sind niedrig, als auch der Investitionszuschlag auf den Arbeitspreis von Strom. Eine höhere Anschlussleistung führt dabei kaum zu einem Mehrverkauf an Strom und bedingt durch steigende Investitionskosten einen höheren Investitionszuschlag.

Auch wenn es auf den ersten Blick nicht den Anschein macht, so ist der erwartete starke Anstieg an Plug-In Hybriden (PHEV) auch als Chance zu sehen, die Auslastung von Ladestationen zu steigern. Vollelektrofahrzeuge (BEV) werden wohl hauptsächlich über Nacht geladen und Nachladen am Tag erscheint außer am Arbeitsplatz die Ausnahme zu sein. BEVs werden anfangs nur gekauft, wenn die Reichweite mit dem Fahrtenprofil übereinstimmt. Durch die kleinen Batterien der PHEVs und dem Anreiz Geld zu sparen ist der Bedarf nach einer Zwischenladung am Tag, auch wenn nur kurz geparkt wird, groß. Elektrisch zurückgelegt kosten 100 Kilometer knappe € 3 an Strom wohingegen für fossilen Treibstoff € 8 bis € 12 pro 100 Kilometer anfallen. Durch die geringen Akkukapazitäten sind auch hier keine hohen Ladeleistungen notwendig.

Ein Total Cost of Ownership Vergleich verschiedener Fahrzeuge wurde zur Abschätzung der Auswirkung des Investitionszuschlages auf den Kunden herangezogen. Dadurch kann auch beurteilt werden in welcher Höhe die Mehrkosten liegen können, damit der Kunde die Ladeinfrastruktur beansprucht. Es hat sich gezeigt, dass der Investitionszuschlag an die 40 Cent/kWh liegen könnte, damit die Treibstoffkosten von EVs niedriger sind als bei konventionellen Autos mit Verbrennungsmotor (ICEV). Dieser Wert ist vor allem für Plug-In Hybride von Interesse, weil sich dadurch abschätzen lässt, ob sich Zwischenladen für den Nutzer lohnt oder nicht. Für BEVs mit einer durchschnittlichen Jahresfahrleistung sind die Gesamtkosten nur mit denen von ICEVs vergleichbar hoch, wenn der Akku gemietet wird. Wird das Auto mitsamt Akku gekauft sind die Total Cost of Ownership deutlich über einem Modell mit Verbrennungsmotor. Dies ist hauptsächlich durch den unsicheren Restwert, der

durch die begrenzte Lebensdauer der teuren Batterie begründet ist, zu erklären. Durch den geringen Einfluss der Stromkosten von etwa € 300 pro Jahr bei einem Gesamtstrompreis von 16,8 Cent/kWh inkl. USt. auf die Gesamtlebenskosten und gestützt auf den Ergebnissen zweier Studien über die Zahlungsbereitschaft für die Benützung einer Ladeinfrastruktur, sind die ermittelten Investitionszuschläge durchaus in dem Bereich, der von den Kunden akzeptiert werden könnte. Eine endgültige Klärung dieser „Willingness to Pay“ bedarf aber tiefgreifenderen Untersuchungen speziell für den europäischen Raum.

Selbst wenn der Investitionszuschlag ein gutes Mittel ist um verschiedene Ladszenarien und -anbieter zu vergleichen und die Kosten der Ladestation auch verbrauchsgerecht aufzuteilen, so wird in der Praxis die Bezahlung an Ladestationen meist wohl nicht pro Kilowattstunde Strom erfolgen. Der Ladestationsbetreiber tritt hierbei als Elektrizitätsunternehmen mit einer Vielzahl von Auflagen wie der Stromkennzeichnungspflicht auf. Welche Gesetze dabei Anwendung finden, ist allerdings noch nicht restlos geklärt. Durch den Investitionszuschlag lässt sich dennoch errechnen, in welcher Höhe die Einnahmen pro Ladung mindestens sein müssen, damit Ladestationen kostendeckend betrieben werden können.

Es hat sich gezeigt, dass Ladestationen unter bestimmten Voraussetzungen wirtschaftlich betrieben werden können. Das Laden am privaten Abstellplatz wird dabei das wichtigste Szenario bleiben. Ob schlussendlich die notwendige Auslastung für den Betrieb von (halb-)öffentlichen Ladestationen erreicht werden kann, wird sich in den nächsten Jahren zeigen. Dabei ist fraglich, ob eine weitere Verbreitung an Vollelektroautos die Auslastung merklich erhöht. Vollelektroautos werden anfangs meist nur gekauft, wenn das Fahrtenprofil auch ohne Zwischenladen abgedeckt ist. Es ist außerdem zu bedenken, dass durch eine Mehrzahl an verfügbaren Ladestationen die Auslastung sinkt wenn die Anzahl von Elektrofahrzeugen nicht in gleichem Maße wächst. Insbesondere Plug-In Hybride aber erscheinen prädestiniert zu sein eine halböffentliche Ladeinfrastruktur zu nutzen und dadurch die Auslastung zu steigern.

8.4 Ausblick

Um zu überprüfen, ob die Kunden bereit sind die ermittelten Investitionszuschläge zu bezahlen, bedarf es tiefgreifenderen Untersuchungen. Dabei erscheint es sinnvoll, die Zahlungsbereitschaft an verschiedene Ladeszenarien zu koppeln und sie nicht nur generell zu erheben.

Die Auslastung von Ladestationen wurde durch die durchschnittliche jährliche Fahrleistung und anhand von Ladezeiten abgeschätzt. Diese Methode ist zwar für private Ladestationen gut geeignet, für öffentlich zugängliche Ladestationen wäre eine genaue Analyse des Fahrtenprofils und des Ladeverhalten der Nutzer sinnvoll. Die Verbreitung von Elektrofahrzeugen und Ladestationen sollte dabei berücksichtigt werden, da das Verhältnis von Elektrofahrzeugen zu öffentlich zugänglichen Ladestationen einen wesentlichen Einfluss auf den notwendigen Investitionszuschlag hat.

Der Einfachheit halber wurde ein konstanter Strompreis angenommen. Die Kosten der Ladung für den Betreiber der Ladeinfrastruktur bzw. für den Nutzer, ließen sich mit einem variablem Stromtarif optimieren. Dabei wäre es notwendig, den Strompreis der Ladestationen der Netzlast anzupassen. Unter Berücksichtigung des Fahrtenprofils ließe sich das Ladeprofil und somit die Ladekosten weiter optimieren.

Speziell bei Ladestationen die an bestehenden und größeren Installationen errichtet werden, wie zum Beispiel bei Geschäften, Supermärkten o.ä., können die Netzentgelte einen großen Anteil an den Gesamtlebenskosten ausmachen. Durch eine Laderegulierung und einer genauen Dimensionierung der Ladestationen lassen sich hier hohe Kosten sparen. Hier ließe sich ein Framework schaffen, mit dem die Netzentgelte für die jeweiligen Interessenten schnell abgeschätzt und sinnvolle Maßnahmen zur Vermeidung der Netzentgelte ergriffen werden können.

Auch wenn sich mit den beschriebenen Ladestationen prinzipiell alle Elektrofahrzeuge laden lassen, so wurden für die ökonomische Analyse nur PKW betrachtet. Doch auch für einspurige Elektrofahrzeuge oder elektrifizierte Nutzfahrzeuge stellt sich die Frage nach den Gesamtlebenskosten einer speziellen Ladeinfrastruktur und nach den daraus resultierenden Kosten für den Nutzer.

9 Literaturverzeichnis

- ACEA European Automobile Manufacturers' Association:** ACEA position and recommendations for standardization of the charging of electrically chargeable vehicles, Brüssel 2011
- Achtnicht, M.; Bühler, G.; Hermeling, C.:** Impact of Service Station Networks on Purchase Decisions of Alternative-fuel Vehicles, Mannheim 2012
- Adegbite, D. et al.:** Neue Energien 2020: SGMS – V2G-INTERFACES, Wien und Salzburg 2011
- Austrian Energy Agency:** Pre-Feasibility-Studie zu „Markteinführung Elektromobilität in Österreich“, Wien 2009
- Barth, H. et al.:** W-Charge – Kontaktloses Laden von Elektrofahrzeugen, Kassel 2011
- Beermann, M. et al.:** Quo Vadis Elektroauto, Joanneum Research, Graz 2010
- Bernegger, A.; Mesecke, S.:** Voraussetzung zur Genehmigung und zum Betrieb von „Elektro-Tankstellen“, in: RdU – Recht der Umwelt Fachzeitschrift 04/2012 bzw. 05/2012, S.141-147 bzw. S.192-199
- BEWAG AG – Energie Burgenland:** Statusbericht der E-Mobilitätsmodellregion Eisenstadt e-mobilisiert, Eisenstadt 2012
- BMLFUW – Lebensministerium; BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie; BMWFJ – Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend:** Umsetzungsplan – Elektromobilität in und aus Österreich, Wien 2012
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Deutschland BMVBS:** Elektromobilität – Deutschland als Leitmarkt und Leitanbieter, Berlin 2011
- BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie:** Strategie und Instrumente sowie prioritäre Anwender- und Einsatzbereiche für den Nationalen Einführungsplan Elektromobilität, Wien 2010
- CE Delft:** Impacts of Electric Vehicles, Delft 2011
- e-connected:** Abschlussbericht I, Wien 2009
- e-connected:** Abschlussbericht II, Wien 2010
- E-Control:** Systemnutzungsentgelte-Verordnung 2012 in der Fassung der Novelle 2013, Wien 2013
- ElectroDrive Salzburg:** Statusbericht der E-Mobilitätsmodellregion ElectroDrive Salzburg, Salzburg 2012

- Electrosuisse, e´mobile, VSE:** Anschluss finden: Elektromobilität und Infrastruktur, Bern 2012
- Elsta Mosdorfer GmbH:** E-Spot Folder, Kaindorf/Sulm 2012
- Energie Steiermark AG:** Geschäftsbericht 2011, Graz 2012
- Energie Steiermark Stromnetz GmbH:** Allgemeine Bedingungen für den Zugang zum Verteilernetz, Graz 2008
- Energie Steiermark Stromnetz GmbH:** Ausführungsrichtlinien für Niederspannungsanschlüsse, Graz 2011
- EPRI – Electric Power Research Institute:** Characterizing Consumers’ Interest in and Infrastructure Expectations for Electric Vehicles: Research Design and Survey Results, Palo Alto 2010
- Eurelectric:** Facilitating e-mobility: EURELECTRIC views on charging infrastructure, Brüssel 2012
- Europäische Kommission:** EU lanciert Strategie für umweltfreundliche Kraftstoffe IP/13/40, Brüssel 2013
- Forschungsstelle der Energiewirtschaft e.V.:** Modellregion Elektromobilität München, München 2010
- Fraunhofer IWES, Offis:** ELAN 2020 – Marktübersicht Kommunikation/Steuerung, Kassel 2010
- Freeman, R. E.:** Strategic Management – A Stakeholder Approach, Boston 1984
- Fuchs, A.:** Ein Stecker für Alle, in: GoPedelec! Wien 2012 S.33-35
- Geringer, B. et al.:** Elektromobilität – Chance für die Österreichische Wirtschaft, im Auftrag des BMWFJ, der Industriellenvereinigung und der WKÖ, Wien 2011
- Götze, U.; Rehme, M.:** Elektromobilität – Herausforderungen und Lösungsansätze aus wirtschaftlicher Sicht, Technische Universität Chemnitz, Chemnitz 2011
- Grün, O.; Hauschildt, J.; Jonasch, M.:** Systeminnovation als Multi-Organization Innovation (MOI), in: zfo – Zeitschrift Führung + Organisation 03/2008 S.177-185
- Hacker, F. et al.:** Marktpotenziale und CO2-Bilanz von Elektromobilität - Arbeitspakete 2 bis 5 des Forschungsvorhabens OPTUM, Berlin 2011
- Hardt, M.:** Elektromobilität wird Standard, in Energy 2.0 Kompendium 2012 S.211-213
- Hatton, C.E. et al.:** Charging Stations for Urban Settings in World Electric Vehicle Journal Vol.3, Stavanger 2009

- Hauschildt, J.; Chakrabarti, A. K.:** Arbeitsteilung im Innovationsmanagement, in: zfo – Zeitschrift Führung + Organisation Jg.57 1988 S.378-388
- Hauschildt, J.; Salomo, S.:** Innovationsmanagement, 5. Auflage, München 2011
- Hörhammer, C. et al.:** Mobile Metering – effiziente Ladeinfrastruktur, in: ew – Das Magazin für die Energie Wirtschaft Jg. 112 Heft 3 2013
- Holding Graz GmbH:** Statusbericht der E-Mobilitätsmodellregion Großraum Graz, Graz 2012
- Hütter, D; Stigler, H.:** Kosten und Bepreisungsmodell einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur für E-Mobilität in Österreich, Graz 2012
- IEA – International Energy Agency:** Technology Roadmap for electric and plug-in hybrid electric vehicles, Paris 2011
- ISO, IEC:** ISO/IEC agreement concerning standardization of electrotechnology for road vehicles, 2011
- Jossen, A.; Weydanz, W.:** Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen, Neusäß 2006
- Keba AG:** Produktkatalog Ladestationen, Linz 2012
- Kley, F.:** Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge, Karlsruhe 2011
- Klima- und Energiefonds; PricewaterhouseCoopers:** Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf die Stromwirtschaft, Wien 2009
- Kramer, F.; Appelt, H.G.:** Die neuen Techniken der Produktinnovation, München 1974
- Lebensministerium:** Klima:aktiv: Elektromobilität mit erneuerbaren Energien - Klimafreundlich elektrisch unterwegs, 3. Auflage, Wien 2011
- Leitinger, C. et al.:** SMART-ELECTRIC-MOBILITY - Speichereinsatz für regenerative elektrische Mobilität und Netzstabilität, Wien 2011
- Lienkamp, M.:** Elektromobilität – Hype oder Revolution?, München 2012
- Manager Magazin:** Schwachstromer, Ausgabe 8/2012, Hamburg 2012
- Mathoy, A.:** Brusa Elektronik: Definition and Implementation of a global EV charging infrastructure, Gams 2008
- Mazza, P.; Hammerschlag, R.:** Wind-to-Wheel Energy Assessment, Seattle 2005
- McKinsey & Company, Inc.:** Kosten und Potentiale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland, 2007
- Mennekes:** Mennekes GmbH & Co. KG: Infrastruktur-Komponenten für die Elektromobilität - Broschüre, Kirchhundem 2011

- Mennekes:** Mennekes GmbH & Co. KG: Ladesysteme für Elektrofahrzeuge, Kirchhundem 2012
- Nationale Plattform Elektromobilität:** Die deutsche Normungs-Roadmap Vers. 2, Berlin 2012
- Nationale Plattform Elektromobilität:** Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Dritter Bericht), Berlin 2012a
- Nationale Plattform Elektromobilität:** Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, Berlin 2011
- Nationale Plattform Elektromobilität:** Zwischenbericht der Arbeitsgruppe 3 – Ladeinfrastruktur und Netzintegration, Berlin 2010
- Naunin, D.:** Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge, 4. Auflage, Renningen 2007
- Nemec, M.:** WKÖ – Gewerbe und anlagerechtliche Fragen des Ladens von E-Fahrzeugen, Wien 2012
- Neupert, H.:** Energy Bus - Motivation und Verbreitungsgrad des EnergyBus Protokolls in leichten elektrischen Fahrzeugen, Protocol Energy Bus Infotag, Nürnberg 2012a
- Neupert, H.:** Pedelec – öffentliche Ladeinfrastruktur, in: GoPedelec! Wien 2012 S.78-79
- Nissen, G.:** Induktives Laden – Die urbane Lösung von morgen?, in: Neue Mobilität Heft 06, Jänner 2012, Berlin 2012
- Plankenauer, E.:** Management of Barriers to Innovation in E-Mobility, Dissertation, Graz 2012a
- Plankenauer, E.:** Zur Überwindung von Innovationsbarrieren in der Elektromobilität auf 12. Symposium Energieinnovation, Graz 2012
- Pleschak, F.; Sabisch, H.:** Innovationsmanagement, Stuttgart 1996
- Plota, E.:** Technische und wirtschaftliche Betrachtung von Ladestrategien für Elektrofahrzeuge, Diplomarbeit, TU Dortmund 2009
- PwC – PricewaterhouseCoopers, Fraunhofer IAO:** Elektromobilität – Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand, Frankfurt am Main 2010
- PwC – PricewaterhouseCoopers, Fraunhofer LBF, FH FFM:** Elektromobilität – Normen bringen die Zukunft in Fahrt, 2012

- Rezania, R.K.; Prügler, W.:** Bewertung von Geschäftsmodelle für Elektromobilität in der APG-Regelzone, in: e&i Elektrotechnik & Informationstechnik 112/3 2012 S.150-155
- Richter, J.; Lindenberger, D.:** Potenziale der Elektromobilität bis 2050 – Eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration, Köln 2010
- Roland Berger:** Elektromobilität – Phantasie oder Treiber eines Paradigmenwechsels?, Graz 2010
- Roland Berger:** Elektromobilität – Wachstumsimpuls für Energieversorger, Wien 2009
- Romm, J.:** The car and fuel of the future, in: Energy Policy, Bd. 34 (17) 2006, S. 2609–2614
- Salomo, S.:** Forschungsperspektiven des Projekt- und Innovationsmanagements, Vortragsmanuskript vom 28.9.2007
- Schraven, S.; Kley, F.; Witschel, M.:** Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung, Fraunhofer ISI, Karlsruhe 2010
- Schraven, S.:** Techno-ökonomische Bewertung induktiver Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeuge, Diplomarbeit, Karlsruhe 2010
- Schumpeter, J.A.:** Business Cycles Vol.1, New York und London 1939
- Schumpeter, J.A.:** Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung, Leipzig 1912
- Schuster, A.; Leitinger, C.; Brauner, G.:** Begleitforschung der TU Wien in VLOTTE – Endbericht, Wien 2010
- Slowak, A.:** Die Durchsetzung von Schnittstellen in der Standardsetzung: Fallbeispiel Ladesystem Elektromobilität, Stuttgart-Hohenheim 2012
- Smart Grids Austria:** Roadmap – Der Weg in die Zukunft der elektrischen Stromnetze, Wien 2010
- Statistik Austria:** Fahrleistung und Treibstoffeinsatz privater PKW – Tabellen, Wien 2011
- Stiegler, H. et al.:** Österreichs Energie: Auswirkungen zukünftiger Elektromobilität auf die österreichische Elektrizitätswirtschaft, Graz 2010
- Talke, K.; Salomo, S.; Trommsdorff, V.:** Überwindung von Diffusionsbarrieren bei der Betrachtung der Markteinführung von Innovationen, in: Die Unternehmung, 61(2)/2007, S.125-156

- Thom, N.:** Grundlagen des betrieblichen Innovationsmanagement, 2. Auflage, Königstein 1980
- Trott, P.:** Innovation Management and New Product Development, 2. Auflage, Harlow 2002
- Umweltbundesamt:** Pötscher, F., Winter, R., Lichtblau, G.: Elektromobilität in Österreich – Szenarien 2020 und 2050, Wien 2010
- Urbantschitsch, W.:** Rechtsgrundlagen der Elektromobilität, in: ZVR 5/2010, S.316-321
- Urbantschitsch, W. et al.:** Elektromobilität in und aus Österreich, Arbeitsgruppe 2 Endbericht, 2011
- Van den Bossche, P.:** CHAPTER TWENTY - Electric Vehicle Charging Infrastructure in Electric and Hybrid Vehicles, Elsevier, Amsterdam 2010
- VCÖ:** Verkehr 2020 – Ziele und Entwicklung, Wien 2008
- VDI-Nachrichten:** McKinsey Studie: Preissturz bei Lithium-Ionen-Akkus bringt Bewegung in den Automobilmarkt, Heft 26/2012, Düsseldorf 2012
- VLOTTE:** Statusbericht der E-Mobilitätsmodellregion VLOTTE, 2012
- Wettengel, S.:** Initiierung technologischer Systeminnovationen, Göttingen 1999
- Wiener Stadtwerke Holding AG:** Statusbericht der E-Mobilitätsregion mobility on demand, Wien 2012
- Wiesspeiner, G.:** Drahtlos Akkus aufladen, Graz 2005
- Wietschel et al.:** Kaufpotenzial für Elektrofahrzeuge bei sogenannten „Early Adoptern“, Karlsruhe 2012
- Wietschel, M.; Kley, F; und Dallinger, D.:** Eine Bewertung der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge, in: Zeitschrift für die gesamte Wertschöpfungskette Automobilwirtschaft 03/2009, S. 33-41
- Witte, E.:** Organisation für Innovationsentscheidungen, Göttingen 1973
- WKO:** Bewilligung für den Betrieb von Stromtankstellen, 2011
- Wohinz, J.:** Wertanalyse – Innovationsmanagement, Würzburg u.a. 1983
- Zahn, E., Weidler, A.:** Integriertes Innovationsmanagement, in: Handbuch Technologiemanagement, Stuttgart 2005, S.351-376

10 Internetquellenverzeichnis

A1 Telekom Austria AG: Mobile Internet Tarife,

<http://www.a1.net/business/internet/mobile-internet-tarife>, Zugriffsdatum 07.02.2013

ADAC: Elektroroller im Test, [http://www.adac.de/infotestrat/tests/motorrad-](http://www.adac.de/infotestrat/tests/motorrad-roller/e_roller/?tabid=tab3)

[roller/e_roller/?tabid=tab3](http://www.adac.de/infotestrat/tests/motorrad-roller/e_roller/?tabid=tab3), Zugriffsdatum 26.11.2012

Austrian Mobile Power: E-Mobility Provider Austria gegründet, [http://www.austrian-](http://www.austrian-mobile-power.at/aktuelles-details-2012.1223.0.html?&no_cache=1&tx_ttnews[year]=2012&tx_ttnews[month]=10&tx_ttnews[tt_news]=185&cHash=6deca4a4e813cb6d9ccde677b8b581bf)

[mobile-power.at/aktuelles-details-2012.1223.0.html?&no_cache=1&tx_ttnews\[year\]=2012&tx_ttnews\[month\]=10&tx_ttnews\[tt_news\]=185&cHash=6deca4a4e813cb6d9ccde677b8b581bf](http://www.austrian-mobile-power.at/aktuelles-details-2012.1223.0.html?&no_cache=1&tx_ttnews[year]=2012&tx_ttnews[month]=10&tx_ttnews[tt_news]=185&cHash=6deca4a4e813cb6d9ccde677b8b581bf), Zugriffsdatum 14.11.2012a

Austrian Mobile Power: Geschichte der E-Mobilität, 2011, [http://www.austrian-mobile-](http://www.austrian-mobile-power.at/Geschichte-der-E-Mobilitaet.1163.0.html)

[power.at/Geschichte-der-E-Mobilitaet.1163.0.html](http://www.austrian-mobile-power.at/Geschichte-der-E-Mobilitaet.1163.0.html), Zugriffsdatum 20.08.2012

Austrian Mobile Power: Homepage, <http://www.austrian-mobile-power.at/>,
Zugriffsdatum 14.11.2012

Better Place: Battery Switch Stations, <http://www.betterplace.com/How-it-Works>,
Zugriffsdatum 05.09.2012

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Deutschland BMVBS: Modellregionen Elektromobilität,

<http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/modellregionen-elektromobilitaet.html>,
Zugriffsdatum 17.11.2012

Britannica Online: Early electric automobiles,

[http://www.britannica.com/EBchecked/topic/44957/automobile/259061/Early-electric-](http://www.britannica.com/EBchecked/topic/44957/automobile/259061/Early-electric-automobiles#ref=ref918099)
[automobiles#ref=ref918099](http://www.britannica.com/EBchecked/topic/44957/automobile/259061/Early-electric-automobiles#ref=ref918099), Zugriffsdatum 20.08.2012

Bundesverband eMobilität e.V.: eMobile Ticker - Erste Flotten:

Flughafengesellschaften und Flughafenbetreiber, <http://emobileticker.de/?p=9072>,
Zugriffsdatum 06.09.2012

Bundesverband Solare Elektromobilität e.V.: Elektromobilität mit erneuerbaren
Energien, [http://www.bsm-ev.de/infocenter/beitraege-pdfs-](http://www.bsm-ev.de/infocenter/beitraege-pdfs-u.a./BSMVortrag_EEMobilitatInfrastruktur_low.pdf)

[u.a./BSMVortrag_EEMobilitatInfrastruktur_low.pdf](http://www.bsm-ev.de/infocenter/beitraege-pdfs-u.a./BSMVortrag_EEMobilitatInfrastruktur_low.pdf), Zugriffsdatum 18.09.2012

CHAdEMO: Homepage, <http://www.chademo.com/>, Zugriffsdatum 04.09.2012

Conrad Electronic GmbH & Co. KG: Keba Ladestationen,

<http://www.conrad.at/ce/de/FastSearch.html?search=keba&initial=true&categorycode=>,
Zugriffsdatum: 21.11.2012

- Deutsche Bundesregierung:** Kräfte bündeln für die Elektromobilität, <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2012/10/2012-10-01-spitzengespraech-elektromobilitaet.html>, Berlin, Zugriffsdatum 05.10.2012
- E-Clearing:** Homepage, <http://www.e-clearing.net/>, Zugriffsdatum 28.11.2012
- e-connected:** Modellregionen Österreich, <http://www.e-connected.at/content/modellregionen-0>, Zugriffsdatum 13.11.2012
- E-Control:** Netzentgelte, <http://www.e-control.at/de/marktteilnehmer/strom/netzentgelte>, Zugriffsdatum 10.12.2012
- ElectroDrive Salzburg:** Homepage, <http://www.electrodrive-salzburg.at/>, Zugriffsdatum 13.11.2012
- ElectroDrive Tirol:** Homepage, <http://www.electrodrive-tirol.at/>, Zugriffsdatum 13.11.2012
- E-Mobility Provider Austria GmbH & Co KG:** Angebote, <http://www.eprovider.at/e-provider-angebot.html>, Zugriffsdatum 27.02.2013
- Energie Steiermark AG:** Kundeninformation und Preisblatt Strom, <http://www.e-steiermark.com/strom/index.htm>, Zugriffsdatum 30.11.2012
- EnergyBus e.V.:** EnergyBus Basics, <http://www.energybus.info/>, Zugriffsdatum 26.11.2012
- E-Tankstellen-Finder:** Verzeichnis von Ladestationen, <http://e-tankstellen-finder.com/>, Zugriffsdatum 13.11.2012
- Financial Times Deutschland:** Opel setzt auf Elektroantrieb ohne Akku , <http://www.ftd.de/auto/trends:/trend-opel-setzt-auf-elektroantrieb-ohne-akku/60036571.html>, Zugriffsdatum 12.11.2012
- Geizhals Preisvergleich:** <http://geizhals.at/?cat=spradelec>, Zugriffsdatum 11.10.2012
- Goingelectric, Yazaki:** www.goingelectric.de, www.yazaki.com, Zugriffsdatum 10.10.2012
- Handelsblatt:** Restwertprognose für Elektroautos nach BF Forecasts, <http://www.handelsblatt.com/auto/test-technik/elektroauto-nissan-leaf-technische-daten-und-restwertprognose/6836902-4.html>, Zugriffsdatum 16.01.2013
- Hubject GmbH:** Homepage, <http://www.hubject.com/>, Zugriffsdatum 15.11.2012
- IEC:** TC 69 Work Programme und weiterführende Links, http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:23:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1255,25, Zugriffsdatum 19.02.2013

Kelag, EVN, Energie AG, TIWAG et al.: Pauschalisiertes Netzzutrittsentgelt, <http://netz.kelag.at/>, <http://www.evn-netz.at/>, <http://www.netzgmbh.at/>, <http://www.tiwag-netz.at/> und andere österreichische Netzbetreiber, Zugriffsdatum 10.12.2012

Krafftahrt-Bundesamt: Emissionen, Kraftstoffe, Flensburg 2012, http://www.kba.de/clin_031/nn_269000/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/EmissionenKraftstoffe/b__emi__z__teil__2.html, Zugriffsdatum 21.08.2012

KTM-Sportmotorcycle AG: KTM Freeride E – technische Details, <http://www.ktm.com/at/freeride/freeride-e/highlights.html>, Zugriffsdatum 26.11.2012

Ladenetz.de: Vaalser Verträge, http://ladenetz.de/index.php?id=35&tx_ttnews%5Btt_news%5D=856&cHash=06e3ea9e1f63a451a9f42bb7f46985d9, Zugriffsdatum 14.11.2012

Lebensland Kärnten: Ladestationen, <http://www.lebensland.com/de/service/ladestationen>, Zugriffsdatum 14.11.2012

LEMnet: Tankstellensuchmaschine, <http://www.lemnet.org/>, Zugriffsdatum 13.11.2012

Linz AG: Die E-Ladestationen der Linz AG, http://www.linzag.at/cms/media/linzagwebsite/dokumente/alternativeantriebe_1/strommobilit_1/E-Ladestation_Uebersicht_Gesamt_121023.pdf, Zugriffsdatum 14.11.2012

Mennekes GmbH & Co. KG: Mennekes and Electric Vehicle, <http://elbil.pbworks.com/f/MENNEKES%2Band%2BEV.pdf>, Zugriffsdatum 03.09.2012

Merkur Warenhandels AG: Ein Schritt in Richtung mehr Elektromobilität, https://www.merkurmarkt.at/lhr_Markt/Das_Unternehmen/Presse/E_Tankstellen/E_Tankstellen/me_Default.aspx, Zugriffsdatum 14.11.2012

Mitsubishi: Denzel Autoimpoport GmbH: Homepage, <http://www.mitsubishi-motors.at/>, Zugriffsdatum 20.11.2012

Nissan: Nissan Center Europe GmbH: Nissan Leaf, <http://www.nissan.at/vehicles/electric-vehicles/electric-leaf/leaf.html>, Zugriffsdatum 20.11.2012

ÖAMTC: Normverbrauch, <http://www.oeamtc.at/?id=2500%2C1133949%2C%2C>, Zugriffsdatum 10.02.2013

ÖAMTC: Spritpreisbilanz Österreich 2012, <http://www.oeamtc.at/?id=2500%2C1393637%2C%2C>, Zugriffsdatum 16.01.2013

OMV AG: OMV eröffnet erste öffentliche Wasserstofftankstelle Österreichs, Wien Oktober 2012,

http://www.omv.at/portal/01/at/omv_at/Ueber_OMV/Presse/Corporate_News,
Zugriffsdatum 12.11.2012

Opel: General Motors Austria GmbH: Opel Ampera, [http://opel.at.prod-](http://opel.at.prod-www.gm.plusline.net/fahrzeuge/opel-)
www.gm.plusline.net/fahrzeuge/opel-

modelluebersicht/personenwagen/ampera/index.html, Zugriffsdatum 20.11.2012

Phoenix Contact, Menekes, Scame: <http://www.phoenixcontact.com/index.php>,
<http://www.menekes.de/>, <http://www.scame.com/>, Zugriffsdatum 10.10.2012

Renault: Renault Österreich GmbH: Renault Z.E. Elektrofahrzeuge,

<http://www.renault.at/neuwagen/ze-elektrofahrzeuge/>, Zugriffsdatum 20.11.2012

RWE Mobility: RWE e-stations, <https://www.rwe->

[mobility.com/web/cms/de/1231990/produkte-services/emobility-produkte/rwe-estation-smart/](https://www.rwe-mobility.com/web/cms/de/1231990/produkte-services/emobility-produkte/rwe-estation-smart/), Zugriffsdatum 24.09.2012

Smart: Daimler AG: Smart fortwo electric drive, www.smart.at, Zugriffsdatum 20.11.2012

Spar AG: SPAR macht Elektromobilität alltagstauglich,

http://unternehmen.spar.at/spar/presse/presseaussendung_regional/steiermark_suedliches_burgenland/detail/01763.htm, Zugriffsdatum 14.11.2012

Spiegel Online: Patentrezepte für Öko-Autos: Die Schummel-Diät,

<http://www.spiegel.de/auto/aktuell/vcd-ranking-und-greenpeace-studie-zum-golf-vii-nicht-alles-ist-gruen-a-852527.html>, Zugriffsdatum 20.11.2012

Statistik Austria: Durchschnittlicher Stromverbrauch der Haushalte 2008,

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/035454.html, Zugriffsdatum 11.12.2012

Statistik Austria: Kraftfahrzeuge Bestand, Wien 2012,

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html, Zugriffsdatum 21.08.2012

Tesla Motors: Supercharger, http://www.teslamotors.com/de_DE/supercharger,
Zugriffsdatum 13.11.2012

Toyota: Toyota Deutschland GmbH: Toyota Prius Plug-In,

http://www.toyota.de/cars/new_cars/prius-plugin/index.tmex, Zugriffsdatum 20.11.2012

VCD: Verkehrsclub Deutschland, www.vcd.org/auli_2012_2013.html, Zugriffsdatum 20.11.2012

VDI-Nachrichten: McKinsey Studie: Preissturz bei Lithium-Ionen-Akkus bringt Bewegung in den Automobilmarkt, Düsseldorf 2012, <http://www.vdi-nachrichten.com/artikel/Preissturz-bei-Lithium-Ionen-Akkus-bringt-Bewegung-in-den-Automobilmarkt/59446/2>, Zugriffsdatum 12.11.2012

Versicherungsrechner der WKO: KFZ Versicherungsvergleich, <https://durchblicker.at/>, Zugriffsdatum 16.01.2012

Volkswagen: Porsche Austria GmbH & Co. OG: Polo und Passat, <http://www.volkswagen.at/modelle>; Zugriffsdatum 20.11.2012

Wirecard GmbH: Mobile Payment mit Paybox Datenblatt, http://www.wirecard.at/fileadmin/wirecard-cee/fileuploads/pdf_Dokumente/2010_08_10_Datenblatt_mobile_payment.pdf, Zugriffsdatum 07.02.2013

WKO: Wirtschaftskammer Österreich – Disagiosätze, http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?AnglID=1&StID=490868&DstID=224, Zugriffsdatum 07.02.2013

Zeromotorcycles: Lademöglichkeiten, <http://www.zeromotorcycles.com/de/>, Zugriffsdatum 26.11.2012

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsbereich.....	2
Abbildung 2: Kritische Faktoren der Elektromobilität.....	4
Abbildung 3: Entwicklungsphasen des Leitmarktes	7
Abbildung 4: Stakeholder der Elektromobilität.....	8
Abbildung 5: Unterschiedliche Ausprägungen der Elektromobilität.....	10
Abbildung 6: Gesamtnetzlast einer Winterwoche – 1 Million Elektrofahrzeuge ungesteuert.....	14
Abbildung 7: Gesamtnetzlast einer Winterwoche – 1 Million Elektrofahrzeuge flexibel gesteuert.....	15
Abbildung 8: Die typischen Merkmale einer Innovation.....	17
Abbildung 9: Phasenmodell für betriebliche Innovationsprozesse	18
Abbildung 10: Zusammenwirken der Enabler bei einer Systeminnovation	20
Abbildung 11: Ladestationen in unterschiedlicher Ausführung.....	26
Abbildung 12: IUa-Laden.....	28
Abbildung 13: Ladezustand einer Li-Ionen Batterie in Abhängigkeit der Anschlussleistung (Übertragungswirkungsgrad 85%, Batteriekapazität 25 kWh).....	30
Abbildung 14: Auszug relevanter Normen und Projekte zur Ladeschnittstelle.....	34
Abbildung 15: Durchschnittliche Fahrtlängenverteilung	36
Abbildung 16: Ladetechnologien im Überblick	37
Abbildung 17: Schema induktives Laden	38
Abbildung 18: Ladestecker nach IEC 62196-2.....	43
Abbildung 19: Ladestecker für Gleichstromladen.....	45
Abbildung 20: EnergyBus Ladestecker und -buchse.....	47
Abbildung 21: Kritische Steckerpositionen am Fahrzeug.....	48
Abbildung 22: Öffentliche Ladestation mit Abstellplätzen.....	49
Abbildung 23: Induktive Lademöglichkeiten	50
Abbildung 24: Strategien Ladesteuerung	56
Abbildung 25: G2V Kommunikation.....	57

Abbildung 26: Authentifizierungs- und Bezahlmöglichkeiten	58
Abbildung 27: Koordination bei Roaming: links ohne, rechts mit Clearingstelle.....	61
Abbildung 28: Modellregionen in Österreich.....	64
Abbildung 29: Modellregionen in Deutschland	68
Abbildung 30: Zentrale Fragen für EVUs in der Elektromobilität	75
Abbildung 31: Anschaffungskosten von Ladestationen inkl. USt.	85
Abbildung 32: Netzentgelte und Behördenkosten inkl. USt.....	86
Abbildung 33: Arbeiten an der Ladestation inkl. USt.	90
Abbildung 34: Durchschnittliche Gesamtlebenskosten inkl. USt. von Ladestationen für die Referenzladeszenarien bei einer Nutzungsdauer von 15 Jahren.....	94
Abbildung 35: Erforderliche Investitionszuschläge für die Referenzszenarien.....	100
Abbildung 36: Abrechnung: Mehrkosten pro Ladung und Investitionszuschlag	101
Abbildung 37: Sensitivitätsanalyse Szenario 3.....	103
Abbildung 38: Einfluss der Ladeleistung auf Szenario 2 bei großer Akkukapazität	105
Abbildung 39: Einfluss der Ladeleistung auf Szenario 2 bei begrenzter Akkukapazität	106
Abbildung 40: Einfluss des Investitionszuschlages auf Treibstoff- und Gesamtkosten	107
Abbildung 41: Gesamtkosten (ohne Restwert) von BEVs und ICEVs in Abhängigkeit von Haltedauer und Jahresfahrleistung	109
Abbildung 42: Gesamtkosten (ohne Restwert) von EVs mit Akkumiete und ICEVs in Abhängigkeit von Haltedauer und Jahresfahrleistung	110
Abbildung 43: Übersicht Referenzladeszenarien	120

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prognosen zum Potential von Elektroautos	7
Tabelle 2: Positive und negative Aspekte der E-Mobility aus Sicht eines EVU	9
Tabelle 3: Auswahl von Elektroautos	12
Tabelle 4: Merkmale Systeminnovation von Container (■), LKW-Maut (€) und Elektroauto (☞)	24
Tabelle 5: Übersicht über die wichtigsten Normen	32
Tabelle 6: Modellregion Vlotte – Stand Juni 2012	65
Tabelle 7: Modellregion Electrodrive Salzburg – Stand Juni 2012	65
Tabelle 8: Modellregion Großraum Graz – Stand Juni 2012	66
Tabelle 9: Modellregion e-mobility on demand Wien – Stand Juni 2012.....	66
Tabelle 10: Modellregion Eisenstadt e-mobilisiert – Stand Juni 2012	67
Tabelle 11: Morphologischer Kasten Geschäftsmodell	77
Tabelle 12: Interviewpartner	78
Tabelle 13: Ausprägung von Merkmalen von Ladestationen nach Ladeort	79
Tabelle 14: Referenzladeszenarien	80
Tabelle 15: Kostenkomponenten bei Errichtung und Betrieb von Ladeinfrastruktur	82
Tabelle 16: Kontaktdaten von Ladestationsherstellern.....	84
Tabelle 17: Abrechnungskosten	93
Tabelle 18: Auslastung	96
Tabelle 19: Referenzfahrzeuge	97
Tabelle 20: Ausprägungen einer Ladeinfrastruktur	115
Tabelle 21: Kosten der Ladeszenarien.....	115
Tabelle 22: Wesentliche Ergebnisse der ökonomischen Analyse (inkl. USt.)	121

13 Formelverzeichnis

Formel 1: Investitionszuschlag 99

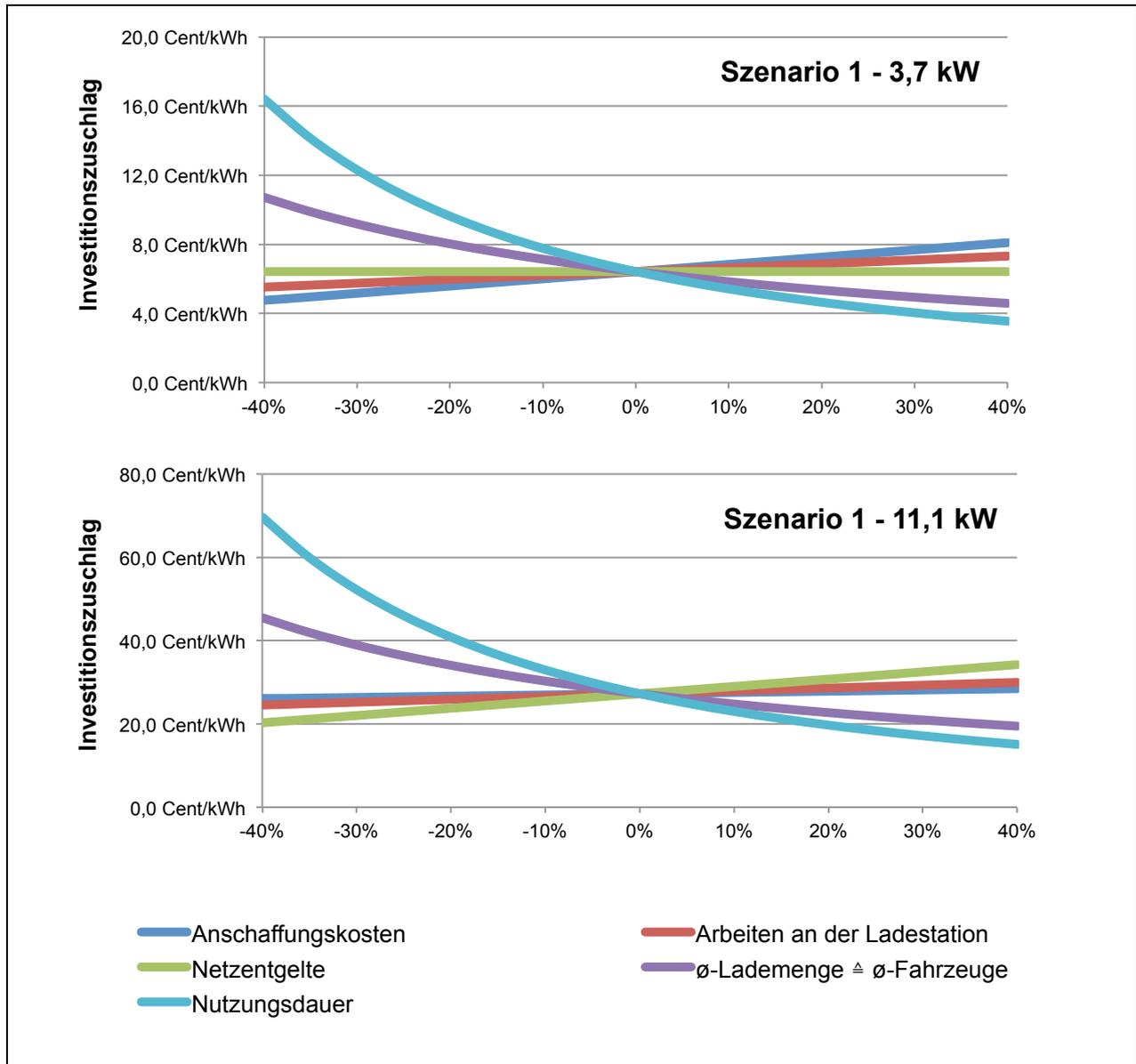
14 Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating Current – Wechselstrom
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumer
BEV	Battery electric vehicle – Vollelektrofahrzeug
CAN-Bus	Controller Area Network Bus
CCS	Combined Charging System
DC	Direct Current – Gleichstrom
EIWOG	Elektrizitätswirtschafts- und –organisationsgesetz
EPRI	Electric Power Research Institute
EVU	Energieversorgungsunternehmen
G2V	Grid to Vehicle
GewO	Gewerbeordnung
GSM	Global System for Mobile Communications
GWh	Gigawattstunde
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle
IEC	International Electrotechnical Commission
IKT	Informations und Kommunikationstechnologie
ISO	International Organization for Standardization
IUa	Ladeverfahren
KFG	Krafftahrgesetz
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
Li-Ionen	Lithium Ionen
LS	Ladestation
MID	Magnetisch induktive Durchflussmesser
NE	Netzebene

NiMH	Nickel-Metallhydrid
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
OEM	Original Equipment Manufacturer
PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
RCD	Residual Current protective Device – Fehlerstromschutzeinrichtung
REEV	Range Extended Electric Vehicle
RFID	Radio-frequency Identification
Schuko	Schutzkontakt
SOAP	Netzwerkprotokoll aufbauend auf XML und TCP/IP
SOC	State Of Charge – Ladezustand
TCO	Total Cost of Ownership
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
V2G	Vehicle to Grid
VAC	Volt Alternating Current – Volt Wechselstrom
VO	Verordnung
XML	Extensible Markup Language
ZEBRA	Zero Emission Battery Research Activities

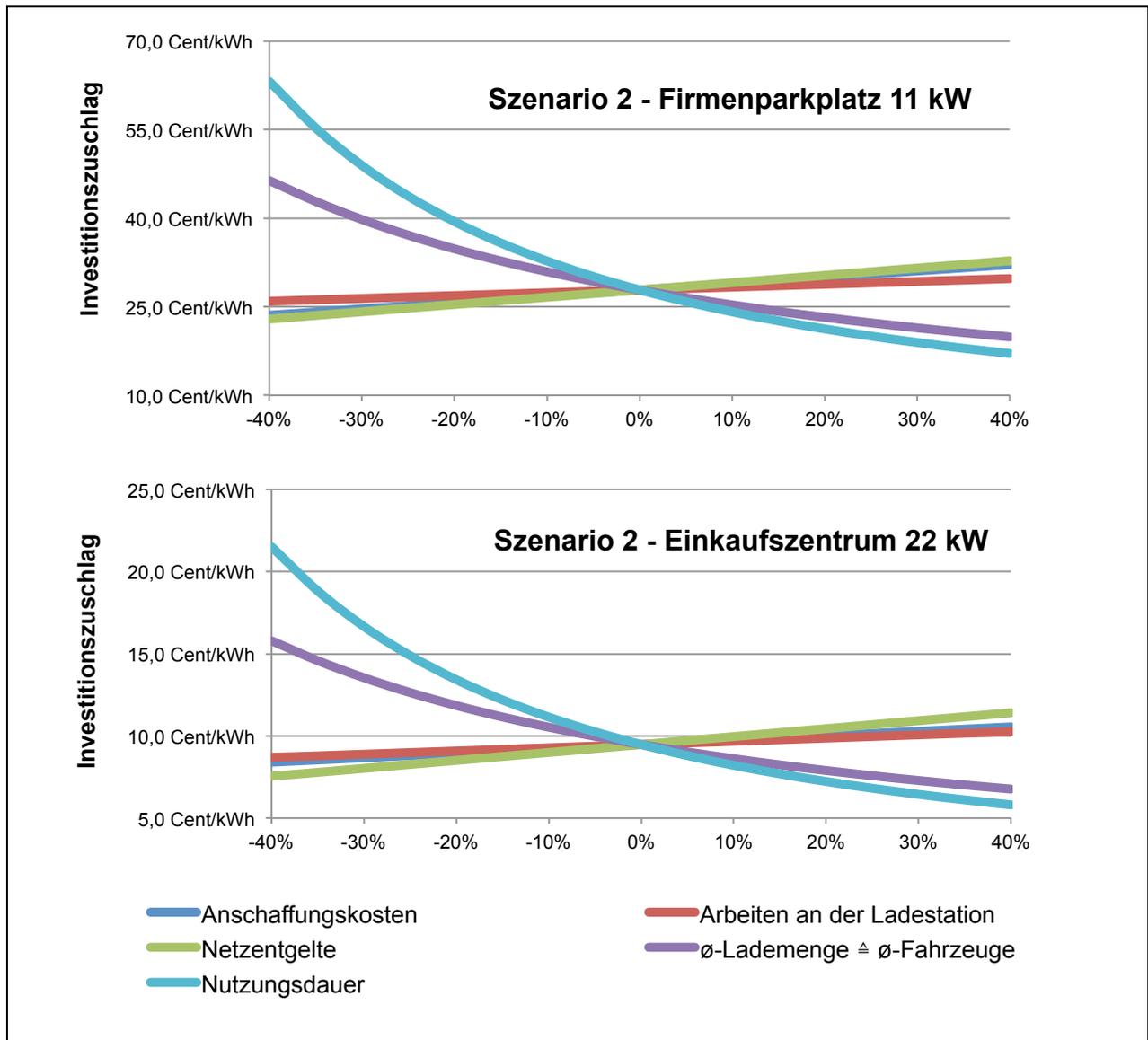
Anhang: Auszug aus dem Berechnungstool

Anhang A, Anhang B und Anhang C zeigen die Sensitivitätsanalysen zu Kapitel 7.3.



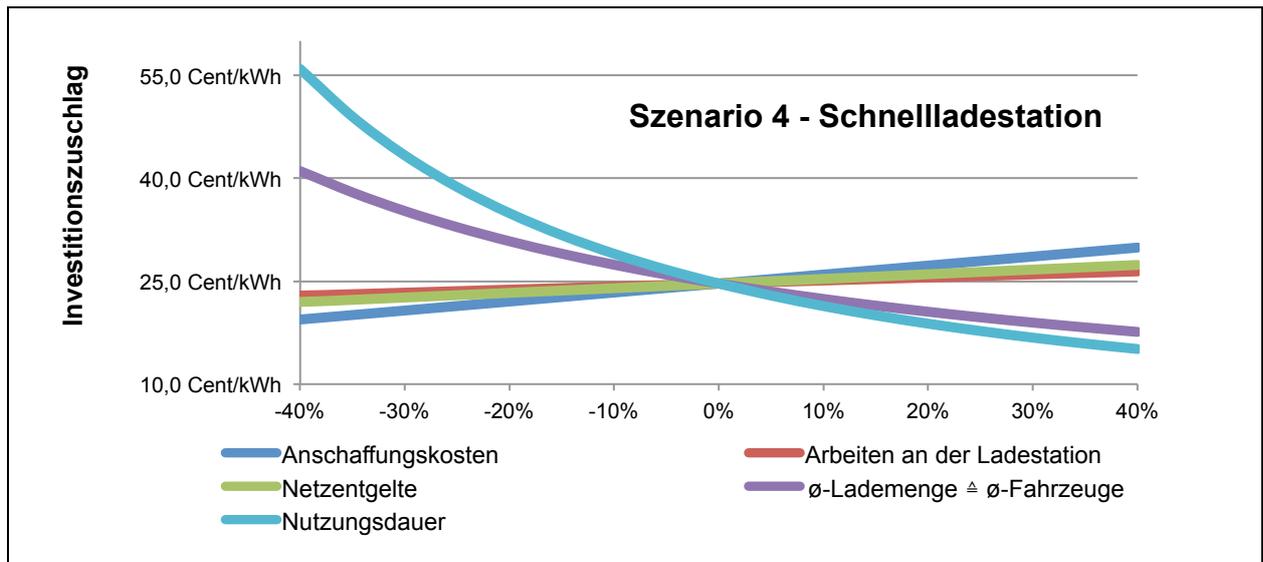
Anhang A: Sensitivitätsanalyse Szenario 1³⁵⁹

³⁵⁹ eigene Darstellung Daten: Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH; Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH; vgl. Kelag et al., Zugriffsdatum 10.12.2012; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40; vgl. E-Control (2013); Interview mit Wolfgang Schweng, ABB Ltd; Interview mit Vitaliy Kryvoruchko, Ecotech e.U.; Interview mit Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH; Interview mit Friedrich Vogel, everynear GmbH; Interview mit Peter Kondel, Keba AG; Interview mit Martin Christian, Schrack GmbH; Interview mit Stefan Forst, KELAG; vgl. www.mehler.at, Zugriffsdatum 10.01.2013

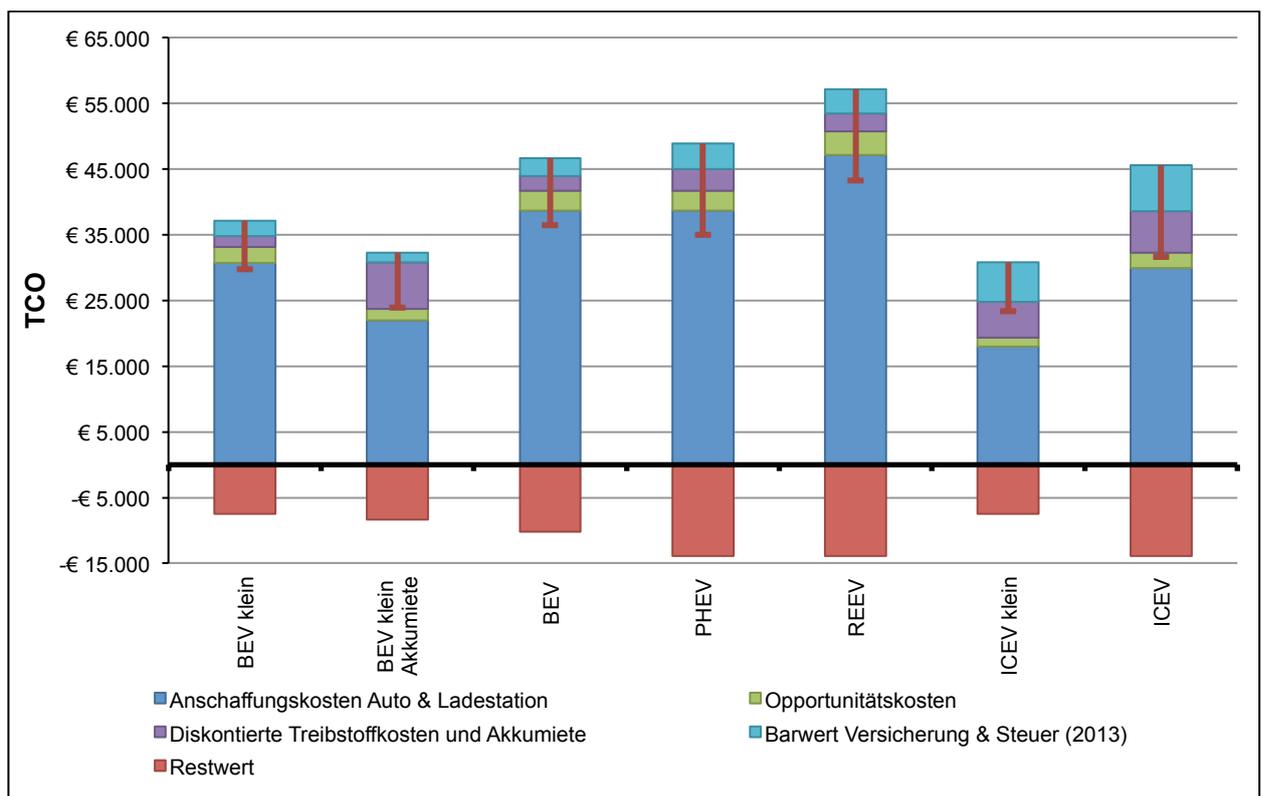


Anhang B: Sensitivitätsanalyse Szenario 2³⁶⁰

³⁶⁰ eigene Darstellung Daten: Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH; Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH; vgl. Kelag et al., Zugriffsdatum 10.12.2012; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40; vgl. E-Control (2013); Interview mit Wolfgang Schweng, ABB Ltd; Interview mit Vitaliy Kryvoruchko, Ecotech e.U.; Interview mit Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH; Interview mit Friedrich Vogel, everynear GmbH; Interview mit Peter Kondel, Keba AG; Interview mit Martin Christian, Schrack GmbH; Interview mit Stefan Forst, KELAG; vgl. www.mehler.at, Zugriffsdatum 10.01.2013

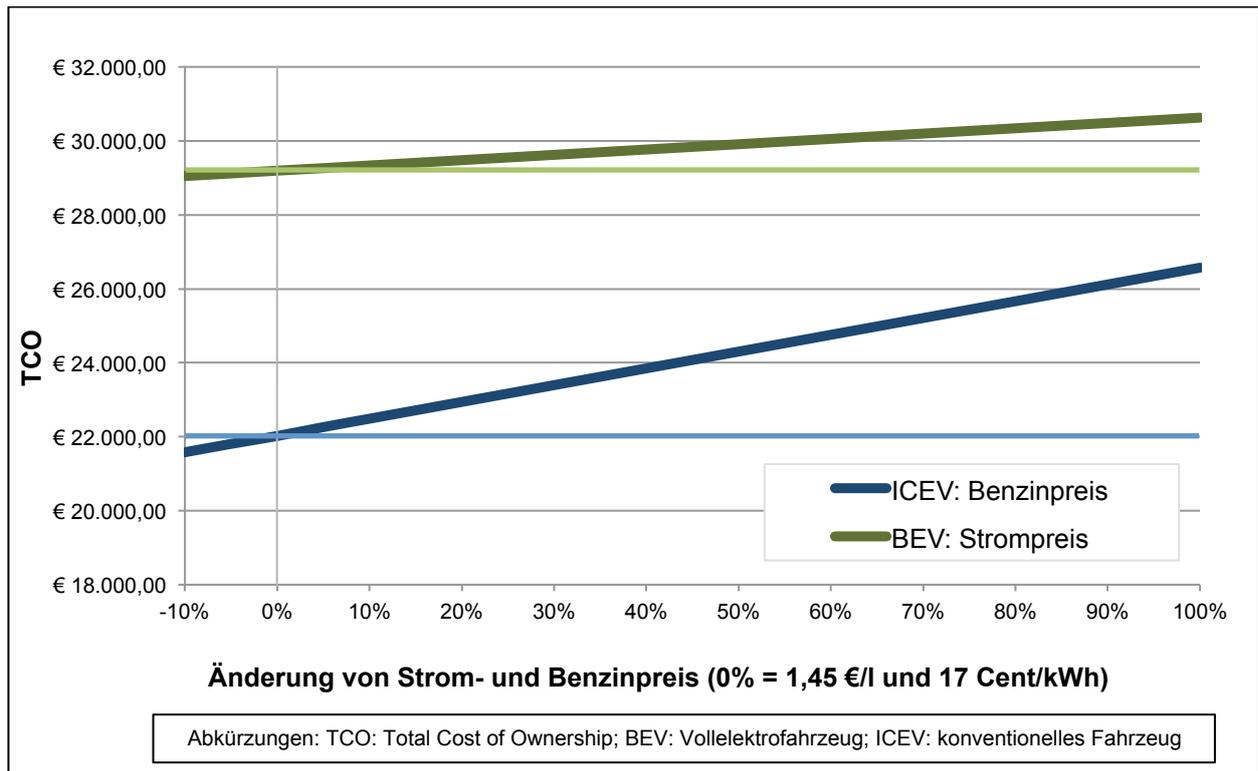


Anhang C: Sensitivitätsanalyse Szenario 4³⁶¹



Anhang D: Total Cost of Ownership verschiedener Fahrzeugkonzepte bei 15.000 km/a und 5 Jahren Haltedauer³⁶²

³⁶¹ eigene Darstellung Daten: Interview mit Manfred Krasnitzer, Stromnetz Steiermark GmbH; Interview mit Florian Pfeffer, Alpine Energie Österreich GmbH; vgl. Kelag et al., Zugriffsdatum 10.12.2012; vgl. Hütter/Stigler (2012), S.3; vgl. Kley (2011), S.41; vgl. McKinsey (2007), S.40; vgl. E-Control (2013); Interview mit Wolfgang Schweng, ABB Ltd; Interview mit Vitaliy Kryvoruchko, Ecotech e.U.; Interview mit Gernot Freisinger, Elsta-Mosdorfer GmbH; Interview mit Friedrich Vogel, everynear GmbH; Interview mit Peter Kondel, Keba AG; Interview mit Martin Christian, Schrack GmbH; Interview mit Stefan Forst, KELAG; vgl. www.mehler.at, Zugriffsdatum 10.01.2013



Anhang E: Sensitivitätsanalyse: Einfluss Energiekosten auf TCO (ohne Restwert) bei 12.500 km/a und 5 Jahren Haltedauer³⁶³

³⁶² eigene Darstellung; Daten: vgl. Mitsubishi, www.mitsubishi-motors.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Volkswagen, www.volkswagen.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. ÖAMTC, www.oamtc.at, Zugriffsdatum 16.01.2013; vgl. Energie Steiermark AG, www.e-steiermark.at, Zugriffsdatum 30.11.2012; vgl. Mazza/Hammerschlag (2005), S.3ff.; vgl. Versicherungsrechner der WKO, www.durchblicker.at, Zugriffsdatum 16.01.2013; vgl. BF Forecasts zitiert in Handelsblatt, www.handelsblatt.com, Zugriffsdatum 16.01.2013;

³⁶³ eigene Darstellung; Daten: vgl. Mitsubishi, www.mitsubishi-motors.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. Volkswagen, www.volkswagen.at, Zugriffsdatum 20.11.2012; vgl. ÖAMTC, www.oamtc.at, Zugriffsdatum 16.01.2013; vgl. Energie Steiermark AG, www.e-steiermark.at, Zugriffsdatum 30.11.2012; vgl. Mazza/Hammerschlag (2005), S.3ff.; vgl. Versicherungsrechner der WKO, www.durchblicker.at, Zugriffsdatum 16.01.2013; vgl. BF Forecasts zitiert in Handelsblatt, www.handelsblatt.com, Zugriffsdatum 16.01.2013;

LADESZENARIEN	Szenario 1 - 3,7 kW	Szenario 1 - 11 kW	Szenario 1 - 22 kW	Szenario 2 - 11 kW	Szenario 2 - 22 kW	Szenario 3 - 22 kW	Szenario 4 - 50 kW
Bezeichnung	Wallbox	Wallbox	Wallbox	E-Ladesäule	E-Ladesäule	E-Ladesäule	E-Schnellladesystem
Ladeort	privat	privat	privat	halböffentlich	halböffentlich	öffentlich	öffentlich
Montage	Wand	Wand	Wand	Wand oder Standfuß	Wand oder Standfuß	Betonsockel	Betonsockel
Eingangsspannung	400 VAC	400 VAC	400 VAC	400 VAC	400 VAC	400 VAC	400 VAC
Abdeckung	16 A	16 A	32 A	16 A	32 A	32 A	80 A
Ladefleistung	bis 3,7 kW	bis 11 kW	bis 22 kW	bis 11kW	bis 22 kW	bis 22 kW	bis 50 kW
Abgänge	Type-2	Type-2	Type-2	Zx Typ-2 Zx Schuko	Zx Typ-2 Zx Schuko	1x Typ-2 3x Schuko	1x nach CH/AdEMO 1x Typ-2
Zähler				ja	ja	ja	ja
Authentifizierung	RFID optional	RFID optional	RFID optional	RFID optional	RFID optional	EC-Kartilesegerät	RFID
Optionen	Ladekabel, GSM-Chip	Ladekabel, GSM-Chip	Ladekabel, GSM-Chip	Ladekabel, GSM-Chip, Satellitenfähigkeit	Ladekabel, GSM-Chip, Satellitenfähigkeit	Ladekabel, GSM-Chip, Abrechnungsmodul mit Quick oder Paybox	
Anteil BEV klein	20%	20%	20%	50%	50%	60%	40%
Anteil BEV	30%	30%	30%	25%	25%	30%	60%
Anteil PHEV	30%	30%	30%	10%	10%	0%	0%
Anteil REEV	20%	20%	20%	15%	15%	10%	0%
Summe	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Fahrzeuge pro Tag	1	1	1	2	8	5	6
Aufłademenge in % *	∅	∅	∅	∅	∅	60% ΔSOC	70% ΔSOC
Übertragungswirkungsgrad	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Kontrollfeld?							
kalkulatorischer Zinssatz	3,0%	3,0%	3,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%
Nutzungsdauer Ladestation	15 Jahre	15 Jahre	15 Jahre	15 Jahre	15 Jahre	15 Jahre	15 Jahre
Stromeffizienz pro Jahr	0,0 bis 10,0 MWh	0,0 bis 10,0 MWh	0,0 bis 10,0 MWh	0,0 bis 2,0 MWh			
Gesamtkostenpreis berechnet auf inkl. US	16,8 €/kWh inkl. US	16,8 €/kWh inkl. US	16,8 €/kWh inkl. US	16,8 €/kWh inkl. US	16,8 €/kWh inkl. US	16,8 €/kWh inkl. US	16,8 €/kWh inkl. US
Gesamtkosten berechnet auf inkl. US	1,45 €/l						
Berechnungsergebnisse:							
Gesamtkosten €-2012	Min	Max	∅	Min	Max	∅	Min
Kosten der Ladestation	€ 695	€ 1.108	€ 695	€ 796	€ 1.320	€ 629	€ 1.186
Arbeiten an der Ladestation	€ 540	€ 647	€ 593	€ 1.200	€ 2.000	€ 2.500	€ 1.200
Netzentgelte und Behörden	€ 0	€ 0	€ 0	€ 4.625	€ 5.502	€ 7.251	€ 3.238
Extras und sonstiges	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0
Summe	€ 1.235	€ 3.710	€ 1.701	€ 5.196	€ 14.271	€ 7.221	€ 8.222
∅-Lademenge pro Fahrzeug	6 kWh p. Ladung	6 kWh p. Ladung	11 kWh p. Ladung	16 kWh p. Ladung			
Lademenge pro Jahr	2195 kWh p.a.	2195 kWh p.a.	2195 kWh p.a.	4300 kWh p.a.	17201 kWh p.a.	20574 kWh p.a.	34659 kWh p.a.
gesamte Lademenge Nutzungsdauer	32926 kWh	32926 kWh	32926 kWh	64505 kWh	258022 kWh	308617 kWh	519887 kWh
Stromkosten Nutzungsdauer auf €-2012 bezogen	€ 4.450	€ 4.450	€ 4.450	€ 6.300	€ 25.200	€ 30.141	€ 50.775
Szenario 1							
Strompreiszuschlag	Min	Max	∅	Min	Max	∅	Min
min. notwendiger Zuschlag	4,7 €/kWh	14,0 €/kWh	6,4 €/kWh	19,6 €/kWh	53,9 €/kWh	27,3 €/kWh	31,0 €/kWh
entspricht Mehrkosten von	22%	83%	38%	117%	321%	162%	185%
entspricht Zuschlag in € für e-Ladung pro Fahrzeug	€ 0,28	€ 0,84	€ 0,39	€ 1,18	€ 3,24	€ 1,64	€ 1,87
Kosten Ladung (ohne Zuschlag)	€ 1,01	€ 1,01	€ 1,01	€ 1,01	€ 1,01	€ 1,01	€ 1,01
Min	Max	∅	Min	Max	∅	Min	Max
17,6 €/kWh	17,6 €/kWh	17,6 €/kWh	17,6 €/kWh	17,6 €/kWh	17,6 €/kWh	17,6 €/kWh	17,6 €/kWh
101%	101%	101%	101%	101%	101%	101%	101%
€ 1,92	€ 1,92	€ 1,92	€ 1,92	€ 1,92	€ 1,92	€ 1,92	€ 1,92
€ 1,89	€ 1,89	€ 1,89	€ 1,89	€ 1,89	€ 1,89	€ 1,89	€ 1,89
€ 2,66	€ 2,66	€ 2,66	€ 2,66	€ 2,66	€ 2,66	€ 2,66	€ 2,66

Anhang F: Excel Tool Hauptblatt