



Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften

Masterarbeit



Potenzialanalyse von Ladeinfrastruktur für
Elektroautos in österreichischen
Gemeinden

David Maximilian Schneiderbauer, BSc

September 2019

Aufgabenstellung

Herrn David Schneiderbauer, BSc wird das Thema

Potenzialanalyse von Ladeinfrastruktur für Elektroautos in österreichischen Gemeinden

zur Bearbeitung in einer Masterarbeit gestellt.

Das Ziel der Masterarbeit ist die Entwicklung einer Entscheidungsgrundlage zur Bestimmung der quantitativen Platzierung von Ladestationen innerhalb einer Gemeinde.

Im ersten Abschnitt der Masterarbeit sind die theoretischen Grundlagen zur Bearbeitung der beschriebenen Themenstellung herauszuarbeiten. Hierzu sind die Rahmenbedingungen für Elektromobilität in Österreich, einerseits aus technologischer Sicht, andererseits auf Basis von Bedürfnissen der Nutzer, zu untersuchen. Ebenso sind bestehende Modelle zur Bedarfsermittlung sowie dem Ausbau von Ladeinfrastruktur zu recherchieren und darzulegen.

Den Schwerpunkt des empirischen Teils bildet die Entwicklung eines softwaregestützten Tools, welches auf Basis von geeigneten Parametern, die Anzahl der benötigten Ladestationen ermittelt. Die Verteilung der Ladeinfrastruktur auf unterschiedliche Betrachtungsgebiete innerhalb einer Gemeinde ist in Abhängigkeit des Nutzerverhaltens der Elektrofahrzeugbesitzer abzuschätzen.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Hubert Biedermann', is positioned above the printed name.

Leoben, Jänner 2019

o.Univ.Prof. Dr. Hubert Biedermann

EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Ich erkläre, dass ich die Richtlinien des Senats der Montanuniversität Leoben zu "Gute wissenschaftliche Praxis" gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 09.09.2019



Unterschrift Verfasser/in
David Maximilian, Schneiderbauer
Matrikelnummer: 01335204

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Es wird ausdrücklich festgehalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Ein besonderer Dank gilt dabei o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Hubert Biedermann und meinem Betreuer Johann Jungwirth MSc vom Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben, die durch ihr Vertrauen und Offenheit diese Arbeit erst ermöglicht haben.

Besonders bedanken möchte ich mich natürlich auch bei meinen Betreuern Johannes Scherrer MSc und Dipl.-Ing. Welf Wiemer von der Firma accilium, die durch ihre Erfahrung, Expertise und Anregungen die Anfertigung der Masterarbeit unterstützt haben. Weiters möchte ich mich allgemein bei der Firma accilium für die Bereitstellung der Infrastruktur, der Herstellung von wertvollen Kontakten und die Aufnahme ins Team bedanken.

Kurzfassung

Die Entwicklung der Elektromobilität und die wachsende Anzahl an Elektroautos auf Österreichs Straßen erfordern einen stetigen Ausbau der dazugehörigen Ladeinfrastruktur. Aufgrund der Vielzahl an Möglichkeiten und Optionen, sowie der vergleichsweise großen Anzahl an Stakeholdern, die beim Ausbau von Ladeinfrastruktur berücksichtigt werden müssen, wird ein strategisches Vorgehen bei der Ermittlung des Ladeinfrastrukturbedarfs empfohlen.

Bestehende Modelle zur Ermittlung dieses Ladeinfrastrukturbedarfs betrachten meist nur die Makroebene (österreichweit) oder sind auf eine Kommune regional beschränkt. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit die Entwicklung eines auf Microsoft-Excel basierendem Tool zur Ladeinfrastrukturpotenzialermittlung in österreichischen Gemeinden und Städten vorgestellt. Der Fokus liegt dabei auf der Ermittlung des Bedarfes privater Elektroautofahrer und berücksichtigt nicht die technische Umsetzbarkeit des berechneten Potenzials. Aufbauend auf der Analyse vergleichbarer Modelle aus anderen Ländern und bestehenden Studien zum Thema wird eine Datenbank mit ausgewählten Datensätzen österreichischer Gemeinden aufgebaut. Dort, wo die vorhandenen Datensätze nicht vollständig sind können diese manuell in einer Eingabemaske eingetragen werden. Die Verknüpfung der Daten zur Berechnung des Ladeinfrastrukturpotenzials erfolgt auf Basis der bestehenden Ladeinfrastrukturkonzepte einzelner Kommunen und dem Vorgehen in anderen Modellen mit ähnlicher Zielsetzung.

Die Entwicklung des Elektroautobestands nimmt eine wichtige Rolle bei der Ermittlung des Ladeinfrastrukturbedarfs ein und wird in drei Szenarien, auf Basis des S-Kurvenkonzeptes und bekannter Prognosen berechnet. Das Tool teilt die Ladeinfrastruktur in die vier Bereiche „Laden zuhause“, „Laden in der Arbeit“, „Laden an anderen Zielorten“ und „Laden unterwegs“ ein, wobei die ersten beiden Bereiche genauer betrachtet werden, da ihnen das höchste Potenzial bei der Deckung des Grundladebedarfes zugerechnet wird. Das Modell berechnet bei vollständiger Befüllung der Eingabemaske den Bedarf an Ladepunkten in den vier Kategorien in Abhängigkeit vom ausgewählten Jahr und MarkthochlaufszENARIO. Dabei wird zusätzlich zwischen privaten Ladepunkten (bei Wohngebäuden), halböffentlichen Ladepunkten (bei Wohngebäuden), Ladepunkten bei Unternehmen, Ladepunkten bei anderen Zielorten, öffentlichen Ladepunkten und gesondert Schnellladepunkten unterschieden. Das Modell kann somit Kommunen bei der Planung des Ladeinfrastrukturausbaus unterstützen und so die Entwicklung der Elektromobilität in Österreich fördern.

Abstract

The development of electric mobility and the growing number of electric vehicles on Austria's roads require a constant expansion of the associated charging infrastructure. Due to the multitude of possibilities and options, as well as the comparatively large number of stakeholders that have to be taken into account when developing the charging infrastructure, a strategic approach is recommended when determining the charging infrastructure demand.

Existing models for determining this charging infrastructure demand usually only consider the macro-level (Austria-wide) or are regionally limited to one municipality or region. For this reason, this thesis describes the development of a Microsoft-Excel-based tool for determining charging infrastructure potential in Austrian municipalities and cities. The focus lies on the determination of the demand for private electric vehicle drivers and does not consider the technical feasibility of the calculated potential. Based on the analysis of comparable models from other countries and existing studies on the topic, a database with selected data sets of Austrian municipalities will be created. If the existing data sets are not available or incomplete, they can be added manually in a specific input mask.

The linking of the data for the calculation of the charging infrastructure potential is based on the charging infrastructure concepts of individual municipalities and the procedure in other models with similar objectives. The development of the electric vehicle stock plays an important role when determining the charging infrastructure demand and thus three scenarios based on the S-curve concept and standard forecasts are calculated. The tool was divided into the four categories "charge at home", "charge at work", "charge at points of interest" (POI) and "charge on the go", whereby the first two areas are discussed more closely, as they are considered to have the highest potential for covering the basic charging demand. The model calculates the demand for charging points in the four categories depending on the selected year and market uptake. In addition, a distinction is made between private charging points (for residential buildings), semi-public charging points (for residential buildings), charging points at companies, charging points at other destinations, public charging points and separate fast charging points. Thus, this model can support municipalities with the development of charging infrastructure and strengthen the uptake of e-mobility in Austria.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung und Forschungsfrage	1
1.3	Methodische Vorgehensweise	2
1.4	Aufbau der Arbeit.....	2
2	Elektromobilität und Ladeinfrastruktur	3
2.1	Elektromobilität	3
2.1.1	Marktentwicklung in Europa	6
2.1.2	Marktentwicklung in Österreich	10
2.2	Ladearten- und stationen	12
2.2.1	Ladebetriebsarten	13
2.2.2	Steckertypen	15
2.2.3	Induktives Laden.....	19
2.3	Ladeverhalten und Nutzergruppen.....	20
2.3.1	Ladestandorte	20
2.3.2	Ladeverhalten	22
2.4	Ladeinfrastruktur.....	24
2.4.1	Ladeinfrastruktur in Europa	25
2.4.2	Ladeinfrastruktur in Österreich	29
2.5	Einfluss neuer Technologien auf die Ladeinfrastruktur.....	35
2.5.1	Technologien mit direktem Einfluss auf die Ladeinfrastruktur:	35
2.5.2	Technologien und Geschäftsmodelle mit indirektem Einfluss auf die Ladeinfrastruktur	36
2.6	Bedarfsgerechter Ausbau von Ladeinfrastruktur	38
2.6.1	„SIMONE“	39
2.6.2	„STELLA“	42
2.6.3	„EMiS – Elektromobilität im Stauferland“	43
3	Methode zur Ladeinfrastrukturpotenzialermittlung in österreichischen Gemeinden	46
3.1	Einführung	46
3.1.1	Problemstellung und Zielsetzung	46
3.1.2	Vorgehensweise bei der Entwicklung	47
3.1.3	Aufbau und Verwendung des Tools.....	48
3.2	Bestandsentwicklung von Elektroautos in Österreich	51
3.2.1	Individualisierung der Markthochläufe	52
3.2.2	Ansicht im Tool „Gemeindeauswahl und Markthochlauf Elektroautos“	55

3.2.3	Annahmen und Diskussionspunkte bei der Berechnung des Markthochlaufes.....	56
3.3	Laden zuhause	56
3.3.1	Verwendete Datensätze und Vorgehen bei „Laden zuhause“.....	57
3.3.2	Ansicht im Tool „Laden zuhause“	60
3.3.3	Annahmen und Diskussionspunkte für „Laden zuhause“	62
3.4	„Laden in der Arbeit“	62
3.4.1	Verwendete Datensätze und Vorgehen bei „Laden bei der Arbeit“	62
3.4.2	Ansicht im Tool „Laden in der Arbeit“	65
3.4.3	Annahmen und Diskussionspunkte für „Laden in der Arbeit“	66
3.5	„Laden an anderen Zielorten (POI)“	67
3.5.1	Verwendete Datensätze und Vorgehen bei spezifischen POI.....	68
3.5.2	Verwendete Datensätze und Vorgehen bei unspezifischen POI.....	70
3.5.3	Ansicht im Tool „Laden bei anderen Zielorten (POI)“	73
3.5.4	Annahmen und Diskussionspunkte bei „Laden bei anderen Zielorten (POI)“	74
3.6	„Laden unterwegs“ (Schnellladestationen)	75
3.6.1	Verwendete Datensätze und Vorgehen bei „Laden unterwegs“	76
3.6.2	Ansicht im Tool „Laden unterwegs“	78
3.6.3	Annahmen und Diskussionspunkte bei „Laden unterwegs“	79
4	Zusammenfassung und Ausblick.....	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Absatzzahlen von Elektroautos in ausgewählten europäischen Ländern	6
Abbildung 2: Marktanteil bei Neuzulassungen in ausgewählten europäischen Ländern	7
Abbildung 3: Drei verschiedene Markthochlaufszzenarien (Neuwagenmarkt) in Deutschland	9
Abbildung 4: Entwicklung des Bestandes von Elektroautos in Österreich	10
Abbildung 5: Erwartete Entwicklung des Elektroautobestands in den kommenden Jahrzehnten in Österreich	11
Abbildung 6: Elektroautos in den österreichischen Bundesländern	12
Abbildung 7: Ladedauer in Abhängigkeit von Akkukapazität und Ladeleistung	13
Abbildung 8: Ladebetriebsarten 1 bis 4	14
Abbildung 9: Fahrzeugseitige Steckertypen in Österreich	16
Abbildung 10: Typ 2-Stecker inklusive Buchse	17
Abbildung 11: CCS-Stecker Typ 2 inklusive Buchse	18
Abbildung 12: CHAdeMO-Stecker	18
Abbildung 13: Beispiel für induktives Laden eines Elektroautos	19
Abbildung 14: Einteilung in öffentliche, halböffentliche und private Ladeinfrastruktur	21
Abbildung 15: Verteilung der Ladevorgänge auf die vier Kategorien im Jahr 2035 in Europa	22
Abbildung 16: Verteilung der geladenen Energie auf die verschiedenen Standortgruppen in Europa	23
Abbildung 17: Strukturierung der Ladebedarfe	23
Abbildung 18: Die größten Bedenken gegenüber reinen Elektroautos deutscher Befragter im Jahr 2018	25
Abbildung 19: Anteil der Ladestationen und Anteil der Fläche Juni 2018 (EU)	26
Abbildung 20: Anzahl der öffentlichen Ladepunkte in europäischen Ländern mit mehr als 1.000 Ladepunkten	27
Abbildung 21: Anzahl der öffentlichen Ladepunkte in den verschiedenen Bundesländern (Jänner 2019)	29
Abbildung 22: Anteil Elektroautos und Anteil Ladepunkte der österreichischen Bundesländer (Stand 31.12.2018)	30
Abbildung 23: Vergleich Ladeinfrastruktur mit Elektroautoanteil in den österreichischen Bundesländern (Stand 31.12.2018)	31
Abbildung 24: Position der öffentlichen Ladepunkte und Veränderung der Anzahl zwischen 2017 und 2018 in Österreich	33

Abbildung 25: Grundlegende Vorgehensweise beim Modell STELLA.....	43
Abbildung 26: Grundlegende Vorgangsweise im Projekt "EMiS"	44
Abbildung 27: Verwendete Logik für Aufbau des Tools	49
Abbildung 28: Erklärung Flussdiagramme 1	50
Abbildung 29: Erklärung Flussdiagramme 2	51
Abbildung 29: Erklärung Flussdiagramme 2	51
Abbildung 31: Legende im Tool.....	51
Abbildung 32: Verschiedene Szenarien des Markthochlaufes der Elektromobilität in Österreich	55
Abbildung 33: Ausschnitt Tool "Gemeindeauswahl und Markthochlauf Elektroautos"	56
Abbildung 34: Eigene Stellplätze privater Pkw je nach Bezirksart (2013/2014).....	58
Abbildung 35: Stromnetzanschluss bei eigenem Stellplatz je nach Gebäudeart.....	59
Abbildung 36: Flussdiagramm „Laden zuhause“	60
Abbildung 37: Ausschnitt Tool Input "Laden zuhause".....	61
Abbildung 38: Ausschnitt Tool Ergebnisse "Laden zuhause"	61
Abbildung 39: „Flussdiagramm Laden in der Arbeit“	65
Abbildung 40: Ausschnitt Tool Input "Laden in der Arbeit"	66
Abbildung 41: Ausschnitt Tool Ergebnisse "Laden in der Arbeit"	66
Abbildung 42: Unterteilung der „Points of Interest“	68
Abbildung 43: Verweilplätze nach Häufigkeiten in Deutschland.....	69
Abbildung 44: Flussdiagramm „Laden an anderen Zielorten (POI)“; spezifische POI	70
Abbildung 45: Flussdiagramm „Laden an anderen Zielorten (POI)“, unspezifische POI	72
Abbildung 46: Ausschnitt Tool Input "Laden bei POI"	73
Abbildung 47: Ausschnitt Tool Ergebnisse "Laden bei POI"	74
Abbildung 48: Flussdiagramm „Laden unterwegs“.....	77
Abbildung 49: Ausschnitt Tool Input "Laden unterwegs".....	78
Abbildung 50: Ausschnitt Tool Ergebnisse "Laden unterwegs".....	78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick Vor- und Nachteile Umweltauswirkungen.....	4
Tabelle 2: Überblick Vor- und Nachteile Wirtschaft (am Beispiel Österreich).....	5
Tabelle 3: Überblick Vor- und Nachteile Elektroautonutzer.....	5
Tabelle 4: "EV Readiness" ausgewählter europäischer Länder.....	8
Tabelle 5: Ranking der Bundesländer nach Elektroautoanteil und Autos pro Ladepunkt.....	32
Tabelle 6: Eingabedaten verwendeter Szenarien.....	52
Tabelle 7: Exemplarische Nutzwertanalyse Markthochlauf Elektroautos.....	54
Tabelle 8: Datensätze Zusatzinformationen.....	a
Tabelle 9: Datensätze „Markthochlauf Elektroautos“.....	a
Tabelle 10: Datensätze „Laden zuhause“.....	b
Tabelle 11: Datensätze „Laden in der Arbeit“.....	b
Tabelle 12: Datensätze „Laden bei POI“.....	b
Tabelle 13: Datensätze „Laden unterwegs“.....	c
Tabelle 14: Inputdaten „Markthochlauf Elektroautos“.....	c
Tabelle 15: Inputdaten "Laden zuhause".....	c
Tabelle 16: Inputdaten "Laden in der Arbeit".....	d
Tabelle 17: Inputdaten "Laden bei POI".....	e
Tabelle 18: Inputdaten "Laden unterwegs".....	

Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating current (Englisch für Wechselstrom)
Anz.	Anzahl
BAU	Business-as-usual
(B)EV	Battery electric vehicle (Englisch für Elektroauto)
CCS	Combined Charging System
CFM	Climate forced mobility
DC	Direct current (Englisch für Gleichstrom)
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
LIS	Ladeinfrastruktur
LP	Ladepunkt
LS	Ladesäule
MaaS	Mobility as a Service
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MoD	Mobility on Demand
MS	Microsoft
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Englisch für Plug-in Hybridauto)
POI	Point of Interest
TEN-T	Transeuropean transport network (Englisch für transeuropäisches Verkehrsnetz)
TFM	Technology forced mobility
VBA	Visual Basic for Applications (Programmiersprache in MS-Excel)
WHG	Wohnung(en)
WG	Wohngebäude

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die steigenden Verkaufszahlen von Elektroautos erfordern eine durchdachte Erweiterung der dazugehörigen Ladeinfrastruktur. Beim Ausbau des Ladenetzwerkes sind viele verschiedene Aspekte zu beachten und eine Vielzahl an Stakeholder involviert. Unter anderem muss die Nachfrage der Elektroautonutzer erfüllt, die Wirtschaftlichkeit der Ladestationsbetreiber ermöglicht und die Auslastung der Stromnetze berücksichtigt werden. Während bisher die Standorte von Tankstellen von geringem Interesse für die öffentliche Hand waren, hat der Ausbau von Ladeinfrastruktur auch zunehmende Bedeutung für Gemeinden und Städte, da die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur zum Teil auch auf öffentlichen Standorten erfolgen muss. Gegenwärtig halten die hohen Anschaffungskosten, die geringe Reichweite und die mangelnde Ladeinfrastruktur Kunden vom Kauf von Elektroautos ab. Während die ersten beiden Punkte überwiegend von den Entscheidungen der Automobilhersteller abhängen, kann der Mangel an Lademöglichkeiten auch aktiv von Kommunen beeinflusst werden.

Potenzialermittlungen und Prognosen erfolgen jedoch dabei meist auf Makroebene und ermitteln einen Ladeinfrastrukturbedarf für beispielsweise ganz Österreich. Für einzelne Kommunen ist dieses Ergebnis oft nur von geringem Nutzen. Gemeinden, Städte, deren Bewohner und Erwerbstätige können sehr unterschiedlich sein und folglich auch einen unterschiedlichen Ladeinfrastrukturbedarf aufweisen. Eine Detailanalyse oder eine wissenschaftliche Erhebung dieses Bedarfes können sich meist jedoch nur größere Städte oder Städteverbände leisten. Kleinere Gemeinden und einzelne Städte hingegen, erhalten nur wenig Unterstützung bei der Erstellung einer Elektromobilitäts- oder Ladeinfrastrukturstrategie.

1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Modell zu entwickeln, welches das zukünftige Ladeinfrastrukturpotenzial für Elektroautos in österreichischen Gemeinden ermittelt und so unterstützend beim strategischen Ausbau der Ladeinfrastruktur verwendet werden kann. Dabei sollen verschiedene Szenarien für die Elektroautobestandsentwicklung berücksichtigt werden. Während es beispielsweise in Deutschland bereits mehrere Projekte und Testregionen zur Behandlung dieser Problemstellung gibt, wird in Österreich noch an keinem vergleichbaren Modell gearbeitet. Das entwickelte Tool soll deshalb österreichische Gemeinden beim strategischen Ausbau der Ladeinfrastruktur unterstützen. Dabei wird jedoch nur auf rein batterieelektrische Fahrzeuge in Privatbesitz eingegangen, da diese Gruppe am meisten vom Ladeinfrastrukturausbau betroffen ist und zahlenmäßig die größte Gruppe repräsentiert. Flotten von Unternehmen, Lastkraftwagen und andere Schwerfahrzeuge werden demnach nicht berücksichtigt. Das Modell basiert auf der Ermittlung des Ladebedarfs der Elektroautonutzer und

berücksichtigt nicht die technische Umsetzbarkeit oder Wirtschaftlichkeit des ermittelten Ladeinfrastrukturausbaus. Die Verortung der einzelnen Ladepunkte wird im Tool nicht bearbeitet.

1.3 Methodische Vorgehensweise

Der erste Schritt zur Lösung der Fragestellung war der Aufbau von allgemeinem Wissen im Bereich der Elektromobilität und der dazugehörigen Ladestationen, um die Rolle der Ladeinfrastruktur im Gesamtkontext bewerten zu können. Anschließend wurde das Thema „Laden von Elektroautos“ intensiver betrachtet und neben bestehenden Ladeinfrastrukturausbaukonzepten auch andere Modelle zur Potenzialermittlung analysiert. Darauf aufbauend wurde nach geeigneten Datensätzen gesucht und der Aufbau einer Datenbank gestartet. Anschließend wurde die Modellierung des Markthochlaufes durchgeführt und die Ladevorgänge in einzelne Kategorien eingeteilt. Unter Berücksichtigung bestehender Konzepte und Tools erfolgte anschließend die Ermittlung des Ladebedarfes und die Berechnung der Ladepunkte. Im Anschluss wurde eine zentrale und übersichtliche Eingabemaske erstellt und das Tool iterativ optimiert.

1.4 Aufbau der Arbeit

Der erste Teil dieser Arbeit startet mit einer allgemeinen Einführung in die Elektromobilität und ihrer vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Entwicklung in Europa und in Österreich. Anschließend wird das Thema „Laden von Elektroautos“ intensiver betrachtet. Neben dem aktuellen Stand der Technik wird auch auf das Ladeverhalten der Elektroautonutzer eingegangen und die verschiedenen Optionen vorgestellt. Des Weiteren wird der aktuelle Ausbau der Ladeinfrastruktur in Europa und Österreich beschrieben und ein Ausblick auf zukünftige Technologien mit Einfluss auf die Ladeinfrastruktur gegeben. Das Kapitel wird mit einer Beschreibung von Methoden und Instrumenten zur Ermittlung von Ladeinfrastrukturpotenzialen abgeschlossen.

Im Kapitel 3 wird die Entwicklung einer neuen Methode zur Potenzialermittlung von Ladeinfrastruktur in österreichischen Gemeinden und Städten beschrieben. Dabei wird vor allem auf den Aufbau des Rechenmodells und die verwendete Logik und Argumentation eingegangen. Zusätzlich sind Ausschnitte und Erklärung zur Bedienung des erstellten Tools enthalten.

2 Elektromobilität und Ladeinfrastruktur

In diesem Kapitel wird zuerst ein kurzer Überblick über den Status Quo der Elektromobilität in Europa und im Besonderen Österreich gegeben. Weiters werden die für Elektroautos notwendigen Ladestationen und auch das Ladeverhalten der Nutzer betrachtet. Wichtige Punkte sind außerdem der Ausbau der Ladeinfrastruktur und Methoden, mit welchen man diesen optimieren und an die Bedürfnisse der Nutzer in einem betrachteten Gebiet anpassen kann.

Die vorgestellten Werte und Darstellungen beziehen sich dabei nur auf rein batterieelektrische Fahrzeuge. Im Falle einer Inkludierung von Plug-In-Hybriden wird dies explizit erwähnt. Grundsätzlich werden Plug-in Hybride in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da sie aufgrund der geringeren Akkukapazität und durch den zusätzlichen Verbrennungsmotor über keinen oder nur einen geringen Ladebedarf verfügen.

Es wird vor allem auf den Status Quo und die Entwicklung in Österreich eingegangen, jedoch wird auch teilweise auf Erkenntnisse und Studien für Deutschland zurückgegriffen, wenn diese nicht für Österreich verfügbar sind.

2.1 Elektromobilität

Die Elektromobilität erfährt seit einigen Jahren ein enormes Wachstum und es wird erwartet, dass Elektroautos in Zukunft Autos mit Verbrennungsmotor substituieren werden. Dabei waren Autos mit Elektromotoren vor über 100 Jahren sogar vorübergehend verbreiteter als Autos mit Verbrennungskraftmaschinen.¹

Anfang des 20. Jahrhunderts erfuhr die Verbrennungsmotorentechnologie jedoch eine rasche Weiterentwicklung, was dazu führte, dass die Elektroautos zunehmend in den Hintergrund geraten sind. Mit ein paar kleinen Ausnahmen kamen somit batterieelektrische Fahrzeuge bis ins 21. Jahrhundert nicht mehr über das Nischendasein hinweg und wurden nur in Spezialfällen eingesetzt.²

Erst die zunehmende ökologische Sensibilisierung im aktuellen Jahrhundert und die Erkenntnis, dass die von Verbrennungsmotoren produzierten Abgase einen wesentlichen Beitrag zum Klimawandel leisten, führte zu einem erneuten Interesse an der Elektromobilität. Weltweit sehen Politik, Wissenschaft und auch die Industrie die Elektrifizierung des Antriebsstranges als vielversprechende Lösung um die verkehrsbedingten Kohlendioxidemissionen zu vermindern. Die Gründe für diesen Trend und die Entwicklung der Elektromobilität in den letzten Jahren werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.³

In diesem Abschnitt werden die Vor- und auch Nachteile von Elektroautos betrachtet und anschließend die Entwicklung der Elektromobilität in den letzten Jahren diskutiert. Wie

Vgl. Kampker, A. et al. (2018), S.5 ff.

Vgl. Kampker, A. et al. (2018), S.5 ff.

Vgl. Kampker, A. et al. (2018), S.5 ff.

bereits erwähnt wurde, begründet der aktuelle Trend hin zur Elektromobilität vor allem im emissionsfreien Betrieb der Fahrzeuge und der Möglichkeit Strom aus erneuerbaren Energiequellen zu verwenden.

Während Verbrennungsmotoren maximal 40% der eingesetzten Energiemenge in mechanische Antriebsenergie umwandeln können, erreichen die in Elektroautos verwendeten Elektromotoren Wirkungsgrade von über 90%. Darüber hinaus besitzen Elektroautos die Möglichkeit mit Bremsenergie den Akku wieder aufzuladen (=Rekuperation).⁴

Die aus umwelttechnischer Sicht nachteiligen Punkte sind vor allem mit der Produktion und dem Recycling der Akkus verbunden. Zum einen verursacht die Herstellung der Elektroautos eine große Menge an Kohlendioxid und verbraucht zusätzlich mehr Energie als die Produktion eines Autos mit Benzin- oder Dieselmotor und zum anderen gibt es aufgrund des mangelnden Bedarfs noch wenige Recyclinganlagen.⁵

Tabelle 1: Überblick Vor- und Nachteile Umweltauswirkungen⁶

Vorteile	Nachteile
Hohe Energieeffizienz des Elektromotors und Rekuperation	Hoher Energiebedarf und CO ₂ -Emissionen bei der Produktion
Lokale Emissionsfreiheit	Wenig Erfahrung beim Akkurecycling
Energie aus erneuerbaren Quellen	

Neben Chancen und Risiken hinsichtlich der Umweltauswirkungen, hat die Elektromobilität auch einen Einfluss auf die wirtschaftliche Situation vieler Länder.

Die Umstellung des Verkehrs auf Elektrofahrzeuge bietet Ländern wie Österreich, welche keine großen eigenen Erdölvorkommen besitzen, die Chance die Abhängigkeit von den erdölexportierenden Nationen zu verkleinern. Der für den Betrieb von Elektroautos notwendige Strom könnte dabei sogar rein aus erneuerbaren Energien in Österreich bereitgestellt werden. Auch die österreichische Industrie kann bei einem Wechsel zur Elektromobilität profitieren. Laut der E-MAPP-Studie des Klima- und Energiefonds wird bis 2030 ein Potenzial für über 30.000 Arbeitsplätze verzeichnet und eine zusätzliche Wertschöpfung von mehr als drei Milliarden Euro erwartet.⁸

Aus europäischer Sicht nachteilig ist mit Sicherheit die lokale Konzentration der für die Akkuherstellung benötigten Rohstoffe in Südamerika, Australien und Asien. Auch die Weiterverarbeitung zu Batteriezellen wird stark von asiatischen Unternehmen dominiert.

⁴ Vgl. European Environment Agency (2016); Yuzawa, K. et al. (2016); Günsberg, G.; Fucik, J. (2018); Karle, A. (2018), S.23 ff.

⁵ Vgl. European Environment Agency (2016); Yuzawa, K. et al. (2016); Günsberg, G.; Fucik, J. (2018); Karle, A. (2018), S.23 ff.

⁶ Vgl. European Environment Agency (2016); Yuzawa, K. et al. (2016); Günsberg, G.; Fucik, J. (2018); Karle, A. (2018), S.23 ff.

⁸ Vgl. Gommel, H. et al. (2016); Günsberg, G.; Fucik, J. (2018); Schüler, D. et al. (2018)

Um eine Abhängigkeit zu vermeiden, wird mittlerweile intensiv nach geeigneten Produktionsstandorten in Europa gesucht.¹⁰

Tabelle 2: Überblick Vor- und Nachteile Wirtschaft (am Beispiel Österreich)¹¹

Vorteile	Nachteile
Geringere Öl-Abhängigkeit	Rohstoffe nicht in Europa vorhanden
Neue Green Jobs und zusätzliche Wertschöpfung	Batterieproduktion momentan vorrangig in Asien

Neben der Umwelt und der Wirtschaft sind vor allem die Elektroautofahrer von einem Umstieg betroffen. Aus diesem Grund sind auch die Vor- und Nachteile aus Nutzersicht entscheidend.

Elektroautos begeistern Autofahrer mit sehr guten Beschleunigungswerten und gleichzeitig sehr leisem Betrieb. Ein elektrischer Antriebsstrang besteht darüber hinaus aus weniger Bauteilen, sodass insgesamt die Wartung einfacher und günstiger ist. Durch die niedrigen Strompreise und der Möglichkeit, das Auto zuhause aufzuladen, ist der Betrieb eines Elektroautos im Vergleich zu Autos mit Verbrennungsmotor wesentlich günstiger. Darüber hinaus fördern zahlreiche Staaten und Städte den Umstieg zur Elektromobilität indem sie Steuerbegünstigungen ermöglichen und Elektroautos auch weitere Vorteile, wie das Benutzen der Busspuren oder gratis Parken, zugestehen. Elektroautos haben auch drei sehr große Nachteile im Vergleich zu ihren Konkurrenten mit Verbrennungsmotor: Sie haben aufgrund der geringen Energiedichte der Akkus eine eingeschränkte Reichweite. Dazu kommt, dass das Aufladen der Batterie relativ lange dauert und Wartezeiten von mehreren Stunden üblich sind. Die in den Fahrzeugen verwendeten Batterien sind außerdem sehr teuer, weshalb Elektroautos in der Regel mehr kosten als vergleichbare Autos mit Verbrennungsmotor.¹⁴

Tabelle 3: Überblick Vor- und Nachteile Elektroautonutzer¹⁵

Vorteile	Nachteile
Hohes Beschleunigungsdrehmoment	Geringere Reichweite
Leiser Betrieb	Längere Ladedauer
Geringer Wartungsaufwand	Teuer in der Anschaffung
Niedrige Betriebskosten und Steuervorteile	
Förderungsbedingte Vorteile im Betrieb	
Laden zuhause und in der Arbeit möglich	

¹⁰ Vgl. Gommel, H. et al. (2016); Günsberg, G.; Fucik, J. (2018); Schüler, D. et al. (2018)

¹¹ Vgl. Gommel, H. et al. (2016); Günsberg, G.; Fucik, J. (2018); Schüler, D. et al. (2018)

¹⁴ Vgl. Günsberg, G.; Fucik, J. (2018); Karle, A. (2018), S. 23 ff.

¹⁵ Vgl. Günsberg, G.; Fucik, J. (2018); Karle, A. (2018), S. 23 ff.

2.1.1 Marktentwicklung in Europa

Die Verbesserung der Fahrzeuge und die Förderung der Elektromobilität macht sich auch europaweit in den Absatzzahlen der Elektroautos bemerkbar. Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, wächst in den letzten Jahren die Anzahl der zugelassenen elektrischen Fahrzeuge in einigen Ländern Europas um mehr als 100% pro Jahr.

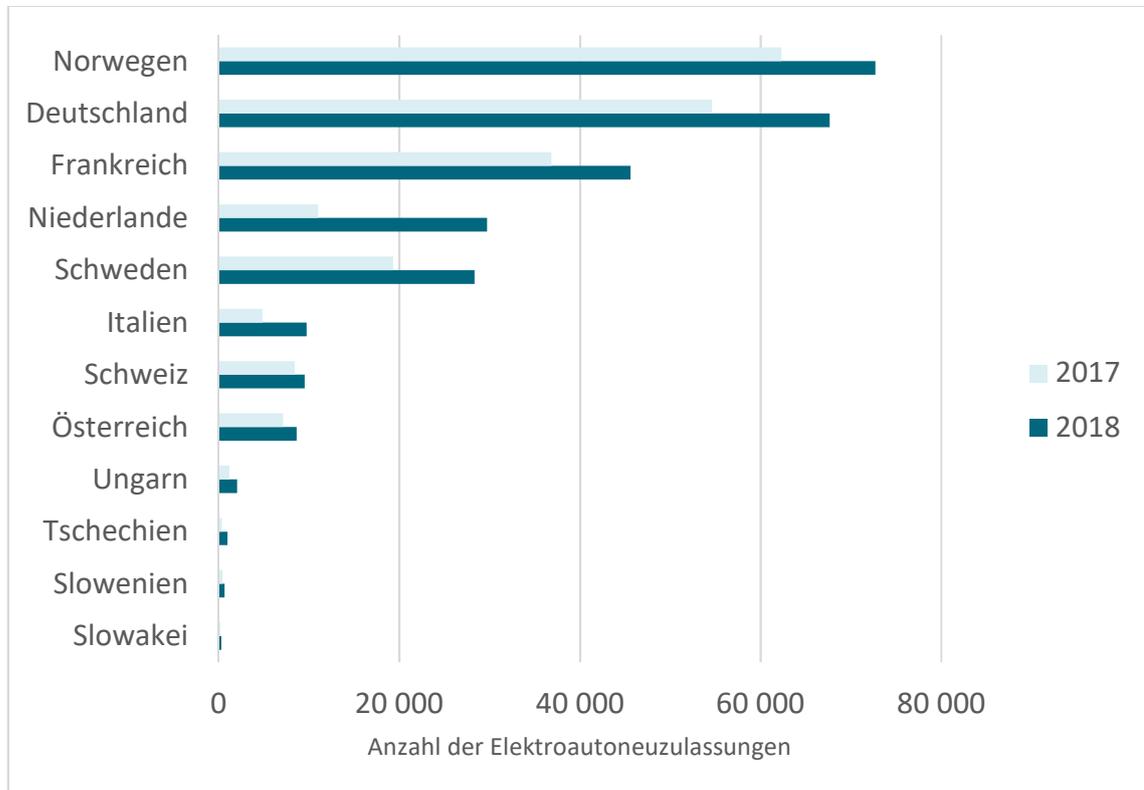


Abbildung 1: Absatzzahlen von Elektroautos in ausgewählten europäischen Ländern¹⁶

Besonders auffallend sind die hohen Verkaufszahlen im verhältnismäßig einwohnerarmen Norwegen. Trotz der geringen Bevölkerungsanzahl wurden 2018 in keinem europäischen Land mehr Elektroautos zugelassen als in dem skandinavischen Staat. Auch die Niederlande überzeugt im Vergleich mit den großen europäischen Staaten wie Deutschland, Frankreich und Italien mit einem sehr guten Ergebnis. Österreich befindet sich im europäischen Vergleich ebenfalls in einer sehr guten Position. Vor allem bei der Gegenüberstellung mit den Nachbarländern ist zu erkennen, dass die Österreicher überdurchschnittlich viele Elektroautos kaufen.¹⁷

Wie in der Abbildung 2 zu sehen ist, wird nur in Norwegen ein hoher Marktanteil bei den Neuzulassungen erreicht. Auch in den Niederlanden, Schweden und Österreich werden überdurchschnittlich viele Elektroautos zugelassen, obwohl der Marktanteil im Vergleich zu anderen Antriebsarten noch sehr gering ist.¹⁸

¹⁶ Quelle: Piazza, F. (2018) (eigene Darstellung)

¹⁷ Vgl. Piazza, F. (2018)

¹⁸ Vgl. VCÖ, <https://www.vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/oesterreich-bei-neuzugelassenen-e-pkw-am-eu-podest-aber-deutlich-hinter-spitzenreiter-niederlande> (Zugriff: 03.08.2019)

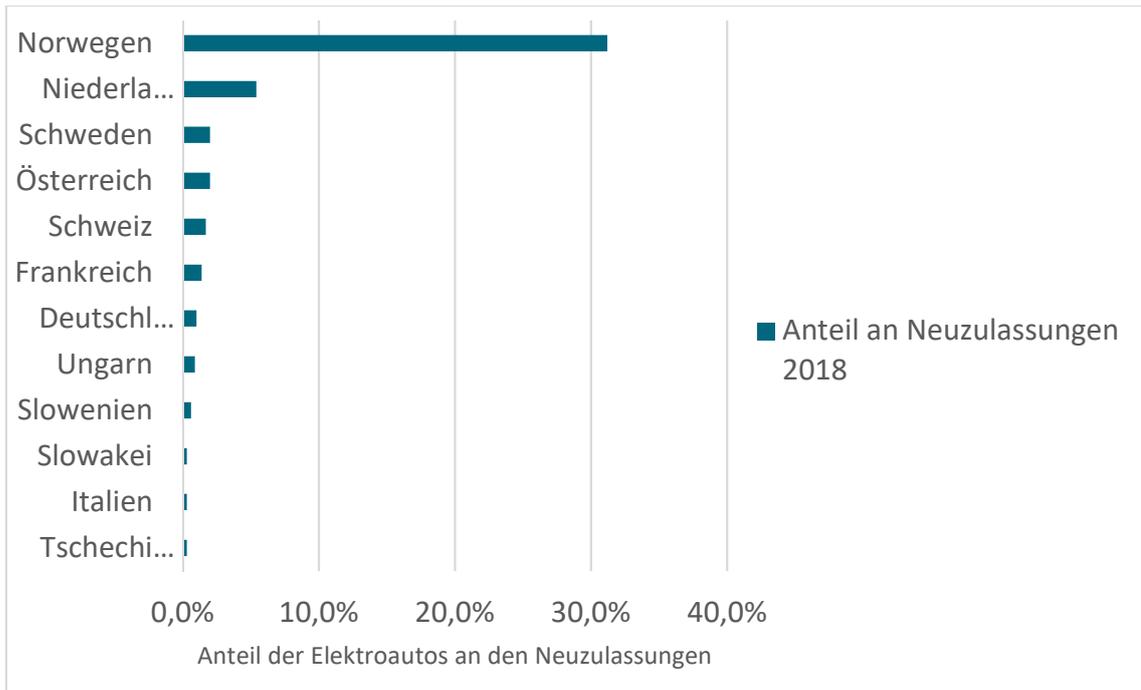


Abbildung 2: Marktanteil bei Neuzulassungen in ausgewählten europäischen Ländern¹⁹

In Österreich waren nur zwei Prozent aller neu zugelassenen Pkws Elektrofahrzeuge. Verglichen mit anderen europäischen Ländern, liegt dieser Wert zwar über dem Durchschnitt, jedoch weit hinter dem Vorreiter Norwegen. Bei den an Österreich angrenzenden Staaten erreicht nur die Schweiz mit 1,7% ein ähnlich gutes Ergebnis. Im Automobilland Deutschland lag der Wert bei nur einem Prozent und die restlichen Nachbarstaaten hatten sogar noch geringere Elektroauto-Anteile.²⁰

Das niederländische Unternehmen „Leaseplan“, welches im Gebrauchtwagenhandel und im Fahrzeugleasing tätig ist, hat Anfang des Jahres 2019 eine Studie zur „EV Readiness“ verschiedener europäischer Länder veröffentlicht. „EV Readiness“ kann dabei als generelle Elektroautotauglichkeit verstanden werden. Das Unternehmen bewertet dabei die Reife des Elektroautomarktes, den Ausbau der Ladeinfrastruktur, die staatlichen Förderungen und die eigenen Erfahrungen im jeweiligen Land.²¹

¹⁹Quelle: VCÖ, <https://www.vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/oesterreich-bei-neuzugelassenen-e-pkw-am-eu-podest-aber-deutlich-hinter-spitzenreiter-niederlande> (Zugriff: 03.08.2019) (eigene Darstellung)

²⁰ VCÖ, <https://www.vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/oesterreich-bei-neuzugelassenen-e-pkw-am-eu-podest-aber-deutlich-hinter-spitzenreiter-niederlande> (Zugriff: 03.08.2019)

²¹ Vgl. Leaseplan, <https://www.leaseplan.com/corporate/about-us> (Zugriff: 23.04.2019)

Tabelle 4: "EV Readiness" ausgewählter europäischer Länder²²

Land	Gesamt	EV Reife	Lade Reife	Regierung	LeasePlan Reife
Norwegen	34	12	7	7	8
Niederlande	33	9	8	8	8
Schweden	29	9	6	7	7
Österreich	28	7	6	9	6
Finnland	26	7	6	6	7
Deutschland	25	7	5	8	5
UK	25	5	6	7	7
Portugal	24	7	5	5	7
Belgien	23	7	5	5	6
Luxemburg	23	7	6	5	5
Irland	23	7	5	8	3
Frankreich	22	7	5	4	6
Schweiz	22	8	6	3	5
Dänemark	20	6	6	1	7
Spanien	20	4	4	6	6
Ungarn	19	5	5	6	3
Italien	17	5	4	3	5
Rumänien	12	2	4	5	1
Slowakei	12	2	5	4	1
Tschechien	11	4	5	1	1
Griechenland	10	2	2	4	2
Polen	9	3	3	2	1

Passend zu den bereits erwähnten Statistiken liegt auch hier Norwegen an erster Stelle. Auch die Niederlande, Schweden und Österreich, welche auch in den vorigen Vergleichen überdurchschnittlich gut abgeschnitten haben, werden als sehr „elektroautofreundlich“ bewertet. Die Resultate der Studie lassen somit auf einen unmittelbaren Zusammenhang der Elektroautoverkaufszahlen und der Elektromobilitätsbereitschaft eines Landes schließen.

Zukünftige Entwicklung und Marktdurchdringung

In Abbildung 3 sind drei von der EBP AG ermittelte Markthochlaufsznarien am Beispiel Deutschland zu sehen. In vielen Ländern der Welt wird von einem rasant steigenden Anstieg der Elektromobilität ausgegangen, wobei jedoch die tatsächliche Entwicklung nur schwierig vorausgesagt werden kann. Das Erstellen von verschiedenen Szenarien ist dabei eine gängige Vorgehensweise, um mögliche Entwicklungen zu prognostizieren. In Abbildung 3 werden deshalb drei mögliche Verläufe des Anteils der Elektroautos (BEV) und Plug-In Hybride (PHEV) am Neuwagenmarkt dargestellt.

²² Quelle: Leaseplan (2019) (leicht modifiziert)

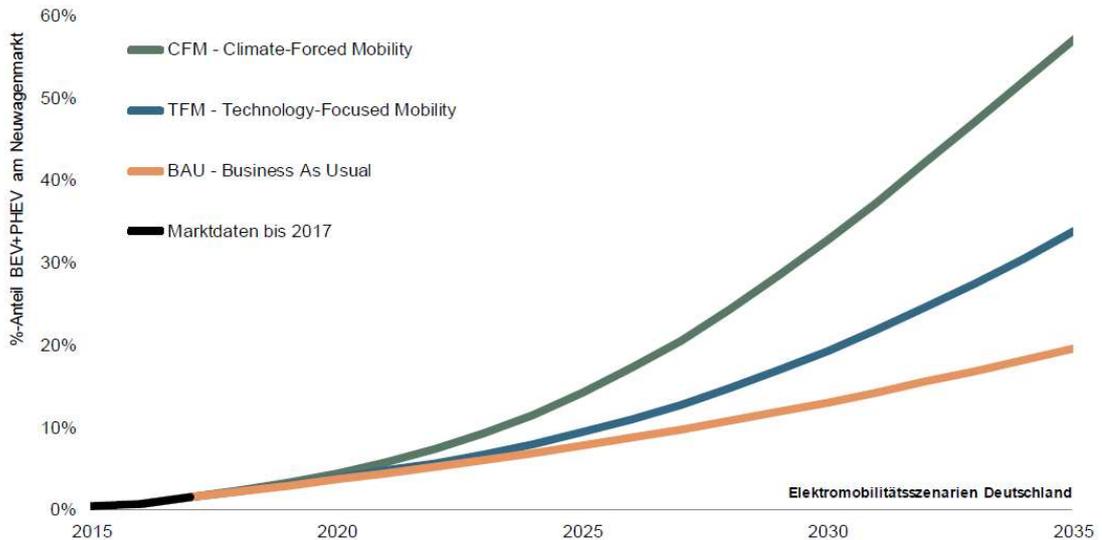


Abbildung 3: Drei verschiedene Markthochlaufszszenarien (Neuwagenmarkt) in Deutschland²³

Szenario BAU (Business As Usual)

In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass sich zukünftig nichts Grundlegendes an den Rahmenbedingungen und Entwicklungen ändert. Aktuelle Gesetzgebungen, Förderungen und Maßnahmen und die zu verzeichnenden Entwicklungen werden jedoch berücksichtigt.²⁴

Szenario TFM (Technology-Focused Mobility)

Im TFM-Szenario wird die potenzielle Entwicklung beschrieben, wenn die Automobilindustrie und die zukünftigen Automobilkäufer auf die Reduktion der Treibhausgasemissionen und die Energieeffizienzerhöhung achten. Beispielsweise wird von einer weiteren Fortschreibung der CO²-Flottenziele für Neuwagen auf EU-Ebene, von Branchenvereinbarungen, Forschungspolitik, Förderungen und die Ökologisierung von Abgaben und Steuern ausgegangen. Die Zulassung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor wird jedoch nicht verboten.²⁵

Szenario CFM (Climate-Forced Mobility)

Die CFM-Entwicklung wird vorausgesagt, wenn die deutsche Bundesregierung das Klimaziel im Verkehrssektor erreichen wird (weitgehende Dekarbonisierung des Straßenverkehrs bis 2050; vollständig bei Pkw). Neben den Maßnahmen aus dem TFM-Szenario kommen auch spezielle Zulassungsquoten für den deutschen Markt und auch Zulassungsverbote für Verbrenner zum Einsatz.²⁶

Wie in der Abbildung 3 erkennbar ist, wächst selbst beim „Climate-Forced Mobility“-Szenario der Anteil der Elektroautos nur langsam. Ein Neuwagenanteil von über 30%,

²³ Vgl. de Haan, D. P. et al. (2018)

²⁴ Vgl. de Haan, D. P. et al. (2018)

²⁵ Vgl. de Haan, D. P. et al. (2018)

²⁶ Vgl. de Haan, D. P. et al. (2018)

wie er bereits in Norwegen erreicht wird, wird in diesem Fall erst um das Jahr 2028 erwartet. Bei Betrachtung der anderen Szenarien wird ein solcher Anteil sogar noch später realisiert.²⁷

2.1.2 Marktentwicklung in Österreich

Wie man bereits im europäischen Vergleich sehen konnte, entwickelt sich die Elektromobilität in Österreich überdurchschnittlich gut. In diesem Abschnitt wird noch etwas genauer auf den Status Quo in Österreich eingegangen und nationale Unterschiede diskutiert.

Anzahl der Elektroautos in Österreich

In Abbildung 4 ist zu erkennen, dass seit 2010 die Anzahl der Elektroautos beinahe exponentiell zugenommen hat. Insgesamt waren mit 31.12.2018 in Österreich 20.831 Elektroautos angemeldet. Bei einer Gesamtzahl von 4.978.852 Pkws entspricht dies einem Anteil von 0,42 %.²⁸

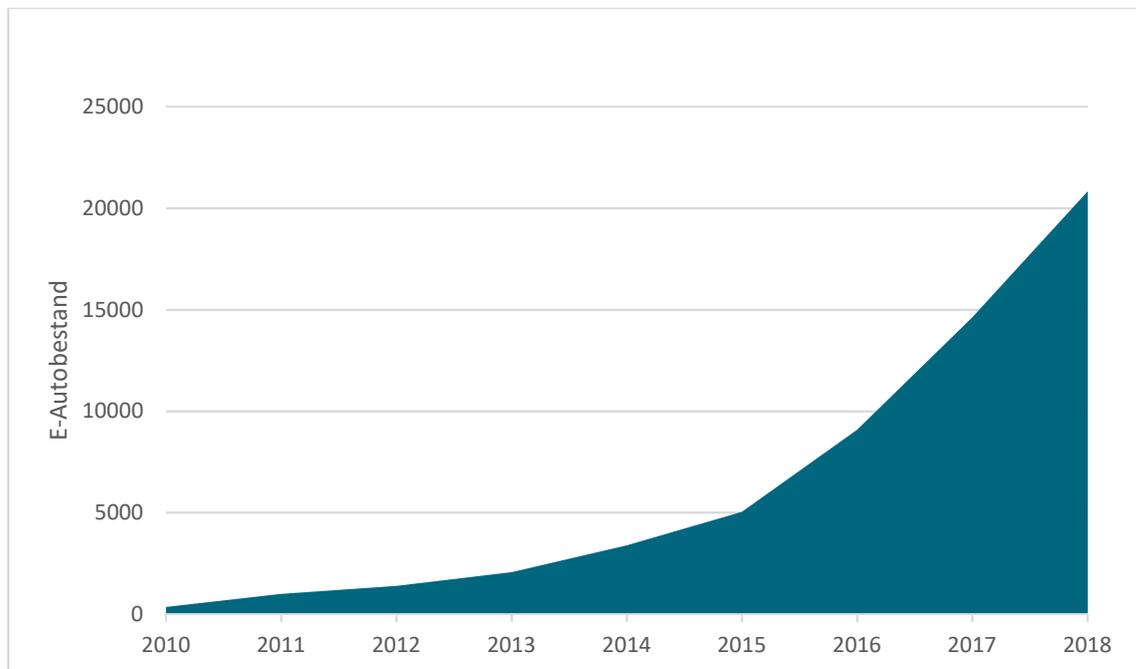


Abbildung 4: Entwicklung des Bestandes von Elektroautos in Österreich²⁹

Die Anzahl an Elektroautos wächst somit auch in Österreich immer schneller, jedoch ist der Anteil am Gesamtbestand aktuell noch immer verschwindend gering. Wie sich das steigende Wachstum in den nächsten Jahrzehnten weiterentwickeln kann, wird in der Abbildung 5 dargestellt.

²⁷ Vgl. VCÖ, <https://www.vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/oesterreich-bei-neuzugelassenen-e-pkw-am-eu-podest-aber-deutlich-hinter-spitzenreiter-niederlande> (Zugriff: 03.08.2019)

²⁸ Vgl. Statistik Austria, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (Zugriff: 03.08.2019)

²⁹ Quelle: austriatech (2019b) (leicht modifiziert)

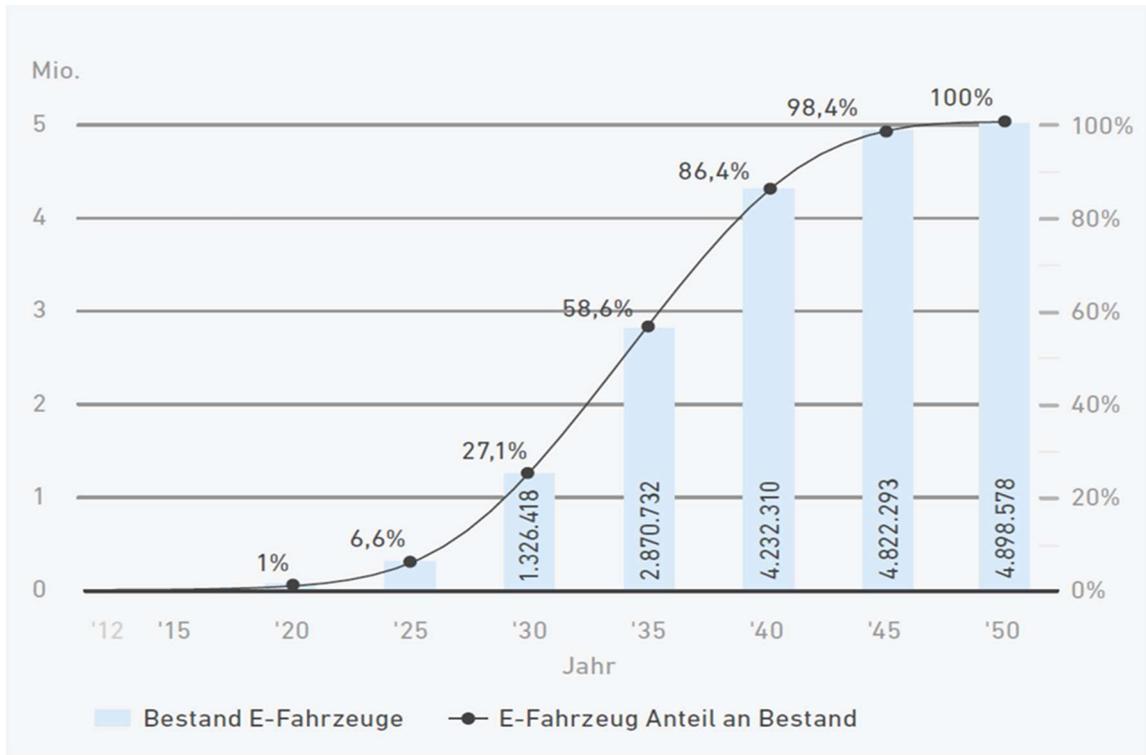


Abbildung 5: Erwartete Entwicklung des Elektroautobestands in den kommenden Jahrzehnten in Österreich³⁰

Der von „austriatech“ ermittelte Markthochlauf beinhaltet auch Plug-In-Hybride, deren Anteil auf 25% der gesamten E-Fahrzeuge geschätzt wurde. Es wird jedoch angemerkt, dass bis spätestens 2050 auch der Anteil der Plug-In-Hybride auf 0% sinken wird, um einen hundertprozentig emissionsfreien Verkehr zu ermöglichen.³¹

Während für die nächsten Jahre noch von einem exponentiellen Wachstum ausgegangen wird, ist klar zu erkennen, dass sich ab 2040 der Anteil nur noch langsam erhöhen wird. Bei der Entwicklung des Modells wurde angenommen, dass Neuzulassungen, Pkw-Bestand und Motorisierungsgrad konstant bleiben, und dass sich der Motorisierungsgrad und die Diffusion von E-Pkw bei den unterschiedlichen Gebäudekategorien nicht unterscheiden. Zur Überprüfung der Plausibilität wurden der geschätzte Markthochlauf mit den Zielen der Automobilindustrie und Politik verglichen und als valide bestätigt.³²

Die Voraussage der Entwicklung der Elektromobilität ist jedoch von Studie zu Studie sehr unterschiedlich. Im Szenario der „austriatech“ wird mit einem vergleichsweise schnellen Anstieg gerechnet, während in den drei Szenarien der EPB AG für Deutschland von einem viel langsameren Anstieg ausgegangen wird.

Bestand an Elektroautos in den Bundesländern

Wie in der Abbildung 6 zu erkennen ist, gibt es im Bundesland Niederösterreich, gefolgt von Oberösterreich und der Steiermark die meisten angemeldeten Elektroautos.

³⁰ Quelle: austriatech (2019a)

³¹ Vgl. austriatech (2019a)

³² Vgl. austriatech (2019a)

Da die Absolutwerte prinzipiell sehr mit der Anzahl der Einwohner und der Anzahl der allgemein angemeldeten Pkws zusammenhängen, ist dieser Vergleich nicht aussagekräftig. Es ist grundsätzlich zu erwarten, dass in Ländern mit größerem Kfz-Bestand auch mehr Elektroautos zugelassen sind. Die einzige Ausnahme dabei ist das Bundesland Kärnten, in welchem es weniger E-Pkws als in Salzburg und Vorarlberg gibt, obwohl insgesamt mehr Autos angemeldet sind. Eine genaue Betrachtung des Elektroautoanteils ermöglicht einen besseren Vergleich der Bundesländer.³³

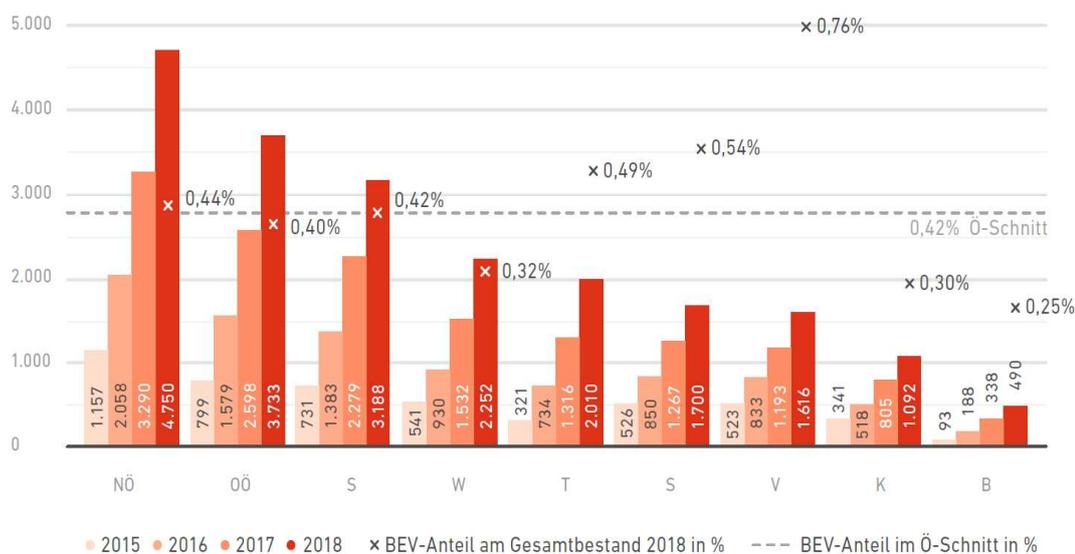


Abbildung 6: Elektroautos in den österreichischen Bundesländern³⁴

Auffallend dabei ist der vergleichsweise hohe Anteil von circa 0,8% in Vorarlberg. Vorarlberg wurde im Jahre 2008 zur ersten Modellregion für Elektromobilität in Österreich ausgewählt und wurde darauf aufbauend zu einer Elektromobilitätsvorzeigeregion in ganz Europa weiterentwickelt.³⁵ Die in den anderen Bundesländern erzielten Werte reichen von 0,2% bis 0,5%. Auch in diesem Vergleich landen Kärnten und das Burgenland auf den hinteren Plätzen.³⁶

2.2 Ladearten- und stationen

In diesem Abschnitt werden die aktuellen Lademöglichkeiten für Elektroautos vorgestellt und das Ladeverhalten der Elektroautonutzer diskutiert. Der Fokus liegt dabei auf den in Österreich und Europa vorkommenden Technologien und Verhaltensweisen. Das Laden der Elektroautos ist einer der wichtigsten Punkte beim Thema Elektromobilität. Der

³³ Vgl. Statistik Austria, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (Zugriff: 03.08.2019)

³⁴ Quelle: austriatech (2019b)

³⁵ Vgl. illwerke vkw AG, <https://www.vlotte.at/ueber-die-vlotte.htm> (Zugriff: 28.08.2019)

³⁶ Vgl. Statistik Austria, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (Zugriff: 03.08.2019)

Ladevorgang einer Batterie kann dabei nicht mit dem Tankvorgang von Benzin oder Diesel verglichen werden, da die Verwendung von Strom als Energieträger zusätzliche Möglichkeiten, aber auch Hindernisse mit sich bringt. Die in Elektroautos verwendeten Akkus können nur Gleichstrom (DC) speichern, wodurch eine Umwandlung des im Stromnetz üblichen Wechselstromes (AC) notwendig ist. Diese Umwandlung kann entweder im Fahrzeug durch ein eingebautes Ladegerät (bei AC-Ladung) oder einer externen Ladestation (DC-Ladung) erfolgen. Die fahrzeuginternen Ladegeräte haben meist eine geringere Leistung, weshalb in der Regel Schnellladevorgänge mit Gleichstrom erfolgen. Neben der Akkugröße, welche in Kilowattstunden [kWh] angegeben wird, beeinflusst vor allem die Ladeleistung (in Kilowatt angegeben [kW]) die Ladedauer der Elektrofahrzeuge. Je höher die Ladeleistung, desto schneller ist der Ladevorgang. Dieser Zusammenhang wird in der Abbildung 7 nochmals vereinfacht grafisch dargestellt. Die Akkus aktuell erhältlicher Elektroautos haben eine Kapazität von maximal 100 kWh, wobei gegenwärtig der Großteil der Fahrzeuge über 30 bis 50 kWh Kapazität verfügt.³⁷

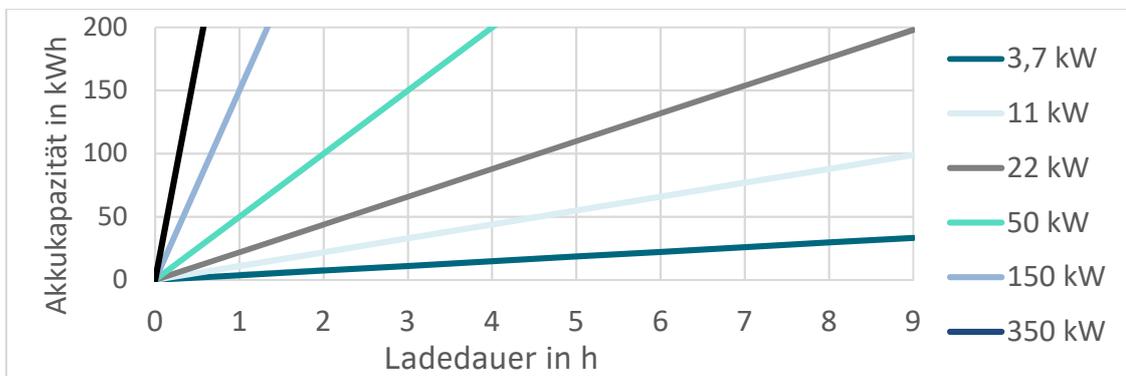


Abbildung 7: Ladedauer in Abhängigkeit von Akkukapazität und Ladeleistung³⁸

Die tatsächliche Ladedauer ist von vielen Faktoren abhängig und wird in der Praxis nicht genau dem linearen Verlauf in der Grafik folgen. Außerdem erfolgt gegenwärtig der Großteil der Ladevorgänge mit einem Ladekabel (konduktiv), weshalb in der Folge auf diese Methode genauer eingegangen wird.

2.2.1 Ladebetriebsarten

Es gibt verschiedene Typen von Ladekabeln und -stationen, sodass die Ladevorgänge grundsätzlich in verschiedene Ladebetriebsarten (Modes) eingeteilt werden. Die Abbildung 8 bietet einen Überblick über die vier Ladebetriebsarten, welche in der Norm „IEC 62196“ festgelegt wurden. In dieser Norm werden neben den Lademodi auch die Steckerverbindungen beschrieben. Es ist zu erkennen, dass beim Laden mit Mode 1 und 2 keine spezielle Ladestation nötig ist, sondern normale Haushaltssteckdosen verwendet werden können. Beim Laden mit Mode 4 ist eine große Ladestation mit

³⁷ Vgl. Brandauer, W. et al. (2018); Karle, A. (2018), S.92 ff.

³⁸ Quelle: EP Elektromobilität des AK Verteilernetze (2018) (leicht modifiziert)

integriertem Wechselrichter notwendig, wobei das Ladekabel fix an der Ladesäule angebracht ist.³⁹

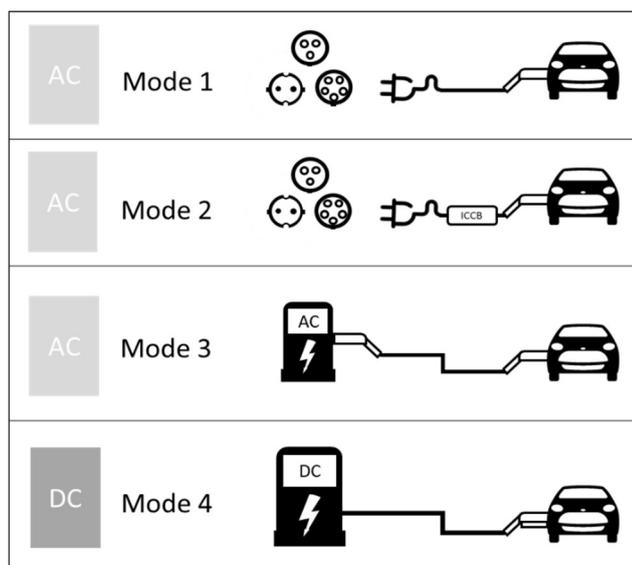


Abbildung 8: Ladebetriebsarten 1 bis 4⁴⁰

Mode 1

Die Ladebetriebsart 1 beschreibt das Laden an einer Haushaltssteckdose ohne Kommunikation zwischen der Stromquelle und dem Fahrzeug. Leistungen von maximal 3,7 kW sind möglich. Die Umwandlung des Wechselstromes in Gleichstrom erfolgt im Fahrzeug selbst. Diese Lademethode sollte nur in Notfällen genutzt werden, da nicht immer gewährleistet werden kann, dass die Steckdose die verwendeten Ströme auf Dauer zulässt. Zur Absicherung muss die Steckdose über eine Fehlerstromschutzeinrichtung verfügen.⁴¹

Mode 2

Beim Mode 2 kommt im Vergleich zu Mode 1 eine Ladeeinrichtung mit Steuer- und Schutzfunktion zur Verwendung. Zumeist finden Mode 2-Ladungen an Haushaltssteckdosen oder Starkstromsteckdosen statt. Leistungen von 3,7 kW bis 22 kW sind dabei möglich. Das verwendete Ladekabel verfügt über eine sogenannte „In-Cable-Control-Box“ (ICCB), welche die Kommunikations- und Schutzfunktion beinhaltet. Auch hier findet die Stromumwandlung im Fahrzeug statt. Diese Ladebetriebsart bietet sich an, wenn keine Ladestation verfügbar ist.⁴²

Mode 3

Bei der Ladebetriebsart 3 wird an einer speziellen Ladestation für Elektroautos geladen. Die Kommunikations- und Schutzfunktionen sind in diesem Fall nicht im Kabel, sondern in der Ladestation integriert. Für die Umwandlung des Stromes wird ebenfalls

³⁹ Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2013); Karle, A. (2018), S. 96 ff.

⁴⁰ Quelle: in Anlehnung an DKE/AK EMOBILITY.60 (2016)

⁴¹ Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2013); Karle, A. (2018), S.96 ff.

⁴² Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2013); Karle, A. (2018), S. 97 ff.

das fahrzeuginterne Ladegerät verwendet. Ladeleistungen von bis zu 43,5 kW sind möglich. Diese Ladebetriebsart findet sowohl bei öffentlichen als auch bei privaten Ladestationen Verwendung.⁴³

Mode 4

Im Vergleich mit den anderen Ladebetriebsarten wird beim Mode 4 der Wechselstrom bereits in der Ladesäule in Gleichstrom umgewandelt. Die Kommunikations- und Schutzeinrichtungen sind ebenfalls in der Ladestation untergebracht. Ladeleistungen von 50 kW bis 350 kW sind aktuell möglich und das Ladekabel ist im Vergleich mit den anderen Ladebetriebsarten immer fest mit der Ladestation verbunden.⁴⁴

2.2.2 Steckertypen

Eine wesentliche Voraussetzung für den Aufbau einer funktionierenden Ladeinfrastruktur ist die Vereinheitlichung der verwendeten Steckersysteme. Die Steckerverbindungen für Wechselstrom und Gleichstrom sind mit einer Ausnahme unterschiedlich. Während sich für das Laden mit Wechselstrom in Europa bereits eine Form durchgesetzt hat und als Standard festgelegt wurde, gibt es beim Gleichstromladen noch keine Normierung.⁴⁶

In Abbildung 12 ist ein Überblick über die gängigen Steckersysteme in Österreich und Europa zu sehen.

⁴³ Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2013); Karle, A. (2018), S.98 ff.

⁴⁴ Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2013); Karle, A. (2018), S. 98 ff.

⁴⁶ Vgl. Karle, A. (2018), S.100 f.

Strom	Typ		Herkunft	Max. Leistung
AC	Typ 2			43,5 kW
AC DC	Tesla Typ 2			120 kW
DC	CCS			350 kW
DC	CHAdeMO			400 kW

Abbildung 9: Fahrzeugseitige Steckertypen in Österreich⁴⁷

Auffallend ist dabei die große Ähnlichkeit des klassischen Typ 2-Steckers mit Tesla's Type 2-Stecker und des „Combined Charging System“-Steckers (CCS). In den folgenden Abschnitten werden die verschiedenen Stecker noch genauer beschrieben.

Typ 2

Das von der deutschen Firma „Mennekes“ entwickelte Steckersystem gilt in Europa mittlerweile als Standard für die Wechselstromladung von Elektroautos und wird von jedem Fahrzeug unterstützt. Alle öffentlichen AC-Ladestationen müssen ebenfalls mit diesem System ausgestattet sein. Der Typ 2-Stecker ermöglicht Ladeleistungen von bis zu 43 kW.⁴⁸

⁴⁷ Quelle: in Anlehnung an The Mobility House AG, https://www.mobilityhouse.com/de_de/ratgeber/elektromobilitat-ladekabelarten-und-steckertypen (Zugriff: 24.04.2019) (eigene Darstellung)

⁴⁸ Vgl. The Mobility House AG, https://www.mobilityhouse.com/de_de/ratgeber/elektromobilitat-ladekabelarten-und-steckertypen (Zugriff: 24.04.2019)



Abbildung 10: Typ 2-Stecker inklusive Buchse⁴⁹

Eine Sonderform der Typ 2-Steckverbindung wird vom Automobilhersteller Tesla verwendet. Geometrisch sieht die Eigenentwicklung wie der normale Typ 2-Stecker aus, jedoch können die Fahrzeuge des Herstellers durch eine Modifikation auch mit bis zu 120 kW Gleichstrom geladen werden.⁵⁰

Combined Charging System (CCS)

Wie in Abbildung 11 zu erkennen ist, besteht das Combined Charging System aus einem Typ 2-Stecker und zwei zusätzlichen Gleichstromanschlüssen. Der Vorteil dabei ist, dass die Fahrzeuge nur eine einzige Buchse für Wechselstrom- und Gleichstromladung benötigen. In der EU Richtlinie 2014/94 wurde das Combined Charging System als das für öffentliche DC-Ladestationen bevorzugte Steckersystem erklärt. Das Combined Charging System ermöglicht mittlerweile Ladeleistungen von bis zu 350 kW.⁵¹

⁴⁹ Quelle: Karle, A. (2018), S.101

⁵⁰ Vgl. The Mobility House AG, https://www.mobilityhouse.com/de_de/ratgeber/elektromobilitat-ladekabelarten-und-steckertypen (Zugriff: 24.04.2019)

⁵¹ Vgl. Richtlinie 2014/94/EU (2014); Karle, A. (2018); IONITY GmbH, <https://ionity.eu/en/design-and-tech.html> (Zugriff: 24.04.2019)



Abbildung 11: CCS-Stecker Typ 2 inklusive Buchse⁵²

CHAdeMO

Das von japanischen Herstellern bevorzugte DC-Steckersystem hat den Namen CHAdeMO und bietet keine zusätzliche AC-Ladefunktion, sodass fahrzeugseitig zwei Buchsen benötigt werden. Ladeleistungen von bis zu 400 kW wurden bereits angekündigt, wobei aktuell Ladestationen mit 200 kW Ladeleistung verfügbar sind. Ein Vorteil des CHAdeMO-Systems ist, dass es bereits jetzt die Möglichkeit zum bidirektionalen Laden gibt.⁵³



Abbildung 12: CHAdeMO-Stecker⁵⁴

⁵² Quelle: BMW Group, <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0266311EN/bmw-group-daimler-ag-ford-motor-company-and-volkswagen-group-with-audi-porsche-plan-a-joint-venture-for-ultra-fast-high-power-charging-along-major-highways-in-europe?language=en> (Zugriff: 24.04.2019)

⁵³ Vgl. CHAdeMO Association, <https://www.chademo.com/chademo-releases-the-latest-version-of-the-protocol-enabling-up-to-400kw/> (Zugriff: 24.04.2019); Karle, A. (2018), S.98 ff.

⁵⁴ Quelle: Donath, A., <https://www.golem.de/news/ladesaeulen-chademo-draengt-auf-400-kw-ladeprotokoll-fuer-e-autos-1806-134996.html> (Zugriff: 24.04.2019)

Neben dem Versuch die kabelgebunden Ladesysteme zu verbessern und zu vereinheitlichen, wird auch an anderen Technologien, wie dem kabellosen Laden geforscht.

2.2.3 Induktives Laden

Beim induktiven Laden wird die Energie zwischen zwei sich gegenüberliegenden Spulen über einen Luftspalt übertragen. Wie in Abbildung 13 zu sehen ist, wird eine Spule im Unterboden des Fahrzeuges eingebaut, während sich die zweite Spule am Boden darunter befindet. Da so fahrzeugseitig Wechselstrom induziert wird, muss dieser mit einem Gleichrichter in Gleichstrom umgewandelt werden, um im Akku gespeichert werden zu können. Auch die Kommunikation zwischen der mit dem Stromnetz verbundenen Ladestation und dem Fahrzeug erfolgt kabellos über eine WLAN- oder Bluetooth-Verbindung und ist notwendig, um in Kombination mit Fahrzeugassistenzsystemen das Auto genau über der Primärspule zu positionieren.⁵⁶

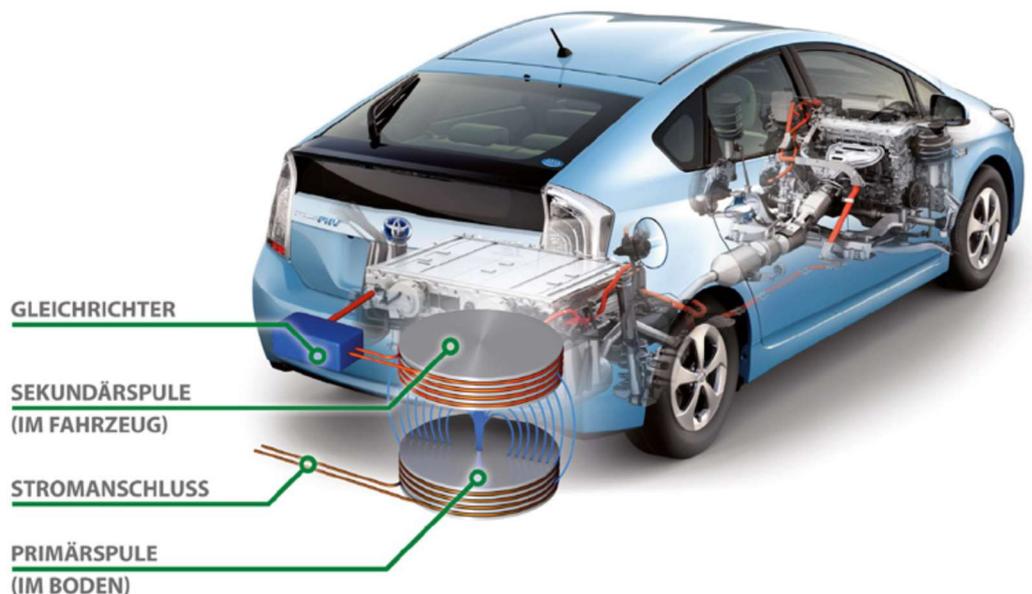


Abbildung 13: Beispiel für induktives Laden eines Elektroautos⁵⁷

Die aktuell erreichten Leistungen bewegen sich wie beim klassischen kabelgebundenen Wechselstromladen zwischen 3,6 kW und 22 kW. Diese Form des Ladens hat den Vorteil, dass auch bei kurzen Stopps ohne manuellen Aufwand geladen werden kann.⁵⁸

Die unterschiedlichen Lademöglichkeiten werden benötigt, da je nach Situation ein anderer Ladebedarf entstehen kann. Aus diesem Grund ist es wichtig zu verstehen, wie und wo Elektroautofahrer aufladen, um die richtigen Lademöglichkeiten bereitstellen zu können.

⁵⁶ Vgl. DKE/AK EMOBILITY.60 (2016); Karle, A. (2018), S.105 f.

⁵⁷ Quelle: Karle, A. (2018), S.105

⁵⁸ Vgl. DKE/AK EMOBILITY.60 (2016); Karle, A. (2018), S.105 f.

2.3 Ladeverhalten und Nutzergruppen

Wie bereits erwähnt wurde, kann man das Laden von Elektroautos nur schwer mit dem Tanken von Diesel oder Benzin vergleichen. Während die schnellsten Ladestationen momentan eine Ladeleistung zwischen 150 und 350 kW ermöglichen, entspricht der Tankvorgang von 50 Litern Diesel in zwei Minuten umgerechnet einer Leistung von 15 MW.⁵⁹

Aufgrund dieses hohen Leistungsunterschiedes dauert das Aufladen eines Elektroautos meist um ein Vielfaches länger als das Tanken eines Autos mit Diesel oder Benzin. Auf der anderen Seite ist elektrischer Strom überall verfügbar und kann theoretisch zum Aufladen des Fahrzeuges genutzt werden. Aus diesem Grund unterscheidet sich das Ladeverhalten von Elektroautobesitzern maßgeblich vom Tankverhalten der Besitzer von herkömmlichen Autos.⁶⁰

In diesem Abschnitt wird deshalb aufgezeigt, wo gegenwärtig und zukünftig Ladestationen installiert werden und wie häufig diese von den Elektroautofahrern genutzt werden.

2.3.1 Ladestandorte

Im Gegensatz zu Tankstellen für Diesel und Benzin können Ladestationen für Elektroautos fast überall installiert werden, sofern ein Stromanschluss besteht. Aus diesem Grund sind Ladestationen für Elektroautos sowohl auf privaten als auch auf öffentlichen Grundstücken installierbar. Diese Einteilung wird im folgenden Abschnitt erläutert.⁶¹

Privat

Nachdem elektrischer Strom in praktisch jedem europäischen Haushalt verfügbar ist, bietet es sich an Elektroautos zuhause aufzuladen. Am einfachsten funktioniert dies in der eigenen Garage oder an einem geeigneten Stellplatz mit Lademöglichkeit beim Wohnhaus. Aufgrund der oft längeren Stehzeit reicht meist auch eine geringere Ladeleistung um ein Elektroauto vollladen zu können.⁶²

Halböffentlich

Von halböffentlichen Laden wird gesprochen, wenn sich die Ladestation zwar auf einem privaten Grund befindet, aber trotzdem für die Öffentlichkeit zugänglich ist. Durch eine Beschränkung auf bestimmte Nutzergruppen oder eine zeitliche Beschränkung unterscheidet sich diese Lademöglichkeit vom öffentlichen Laden. Die Ladeleistung hängt meist von der Verweildauer am Ladestationsstandort ab und kann somit variieren.

⁵⁹ Vgl. Pischinger, S.; Seiffert, U. , S.535

⁶⁰ Vgl. austriatech (2019a)

⁶¹ Vgl. austriatech (2019a)

⁶² Vgl. OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik (2013); NOW GmbH (2014); Brandauer, W. et al. (2018)

Halböffentliche Ladestationen gibt es beispielsweise auf Firmenparkplätzen, in Parkgaragen, bei Einkaufszentren und bei Hotels.⁶³

Öffentlich

Öffentliche Ladestationen stehen jedem Elektroautonutzer unbeschränkt zur Verfügung und sind auf öffentlichem Grund zu finden. Das öffentliche Laden dient vor allem der Reichweitenverlängerung und erfolgt somit oft auch mit höherer Ladeleistung, wenn die Stehzeit nur kurz ist. Gleichstromladestationen (Schnellladestationen) sind vor allem im öffentlichen Raum üblich.⁶⁴

In Abbildung 14 ist nochmals eine Einteilung in die verschiedenen Standorte inklusive Beispiele dargestellt.



Abbildung 14: Einteilung in öffentliche, halböffentliche und private Ladeinfrastruktur⁶⁵

Wie bereits erwähnt wurde, ist die Zuordnung nicht immer eindeutig. In der Abbildung 14 wird beispielsweise die Einteilung in Abhängigkeit vom Eigentum der Fläche und dem Zugang für Nutzer gemacht. Wird eine Unterteilung lediglich in öffentlichen und privaten Raum vorgenommen, so wird beispielsweise die halböffentliche Ladeinfrastruktur dem privaten Raum zugeordnet.⁶⁶

⁶³ Vgl. OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik (2013); NOW GmbH (2014); Brandauer, W. et al. (2018)

⁶⁴ Vgl. NOW GmbH (2014); Brandauer, W. et al. (2018)

⁶⁵ Quelle: NOW GmbH (2014) (leicht modifiziert)

⁶⁶ Vgl. OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik (2013); NOW GmbH (2014); Brandauer, W. et al. (2018)

2.3.2 Ladeverhalten

Das Ladeverhalten beschreibt grundsätzlich, wo und wie häufig Elektroautofahrer ihre Elektroautos aufladen. In einem Bericht der bereits erwähnten EBP AG werden Ladevorgänge in vier verschiedene Kategorien eingeteilt:

- > Laden zuhause
- > Laden am Arbeitsplatz
- > Laden am Ziel/POI
- > Schnellladen unterwegs⁶⁷

Wie in Abbildung 15 zu sehen ist, wird erwartet, dass im Jahr 2035 ein großer Anteil der Ladevorgänge zuhause oder in der Arbeit stattfinden wird. Schnellladestationen werden im Vergleich nur relativ selten genutzt.⁶⁸



Abbildung 15: Verteilung der Ladevorgänge in Europa auf die vier Kategorien im Jahr 2035⁶⁹

Der Unterschied in der Verteilung der Anzahl der Ladevorgänge und des Stromverbrauchs liegt darin, dass davon ausgegangen wird, dass bei einem Ladevorgang zuhause im Durchschnitt weniger Energie aufgenommen wird als bei einem Ladevorgang am Schnelllader.⁷⁰

Auch das amerikanische Beratungsunternehmen McKinsey teilt die Ladevorgänge in Abhängigkeit der abgegebenen Energiemenge in ähnliche Kategorien ein. In zwei verschiedenen Szenarien wird ein Ausblick auf eine mögliche Veränderung der Verteilung der Ladevorgänge in den nächsten 10 Jahren gegeben (siehe Abbildung 16).

⁷¹

⁶⁷ Vgl. de Haan, D. P. et al. (2018)

⁶⁸ Vgl. de Haan, D. P. et al. (2018)

⁶⁹ Quelle: de Haan, D. P. et al. (2018)(leicht modifiziert)

⁷⁰ Vgl. de Haan, D. P. et al. (2018)

⁷¹ Vgl. Engel, H. et al., <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/charging-ahead-electric-vehicle-infrastructure-demand> (Zugriff: 06.03.2019)

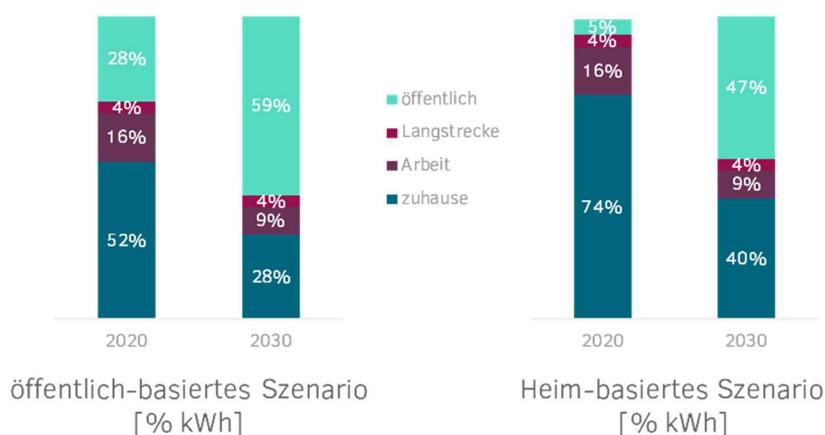


Abbildung 16: Verteilung der geladenen Energie auf die verschiedenen Standortgruppen in Europa⁷²

Für Europa wird davon ausgegangen, dass der Anteil des öffentlichen Ladens im nächsten Jahrzehnt größer und der aktuell große Anteil des Ladens zuhause dementsprechend sinken wird. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass zukünftig auch Haushalte mit niedrigerem Einkommen und ohne private Lademöglichkeit Elektroautos kaufen werden, sodass sich die Gesamtverteilung etwas verschiebt.⁷³

Eine andere Strukturierung der Ladebedarfe ist in Abbildung 17 zu sehen.

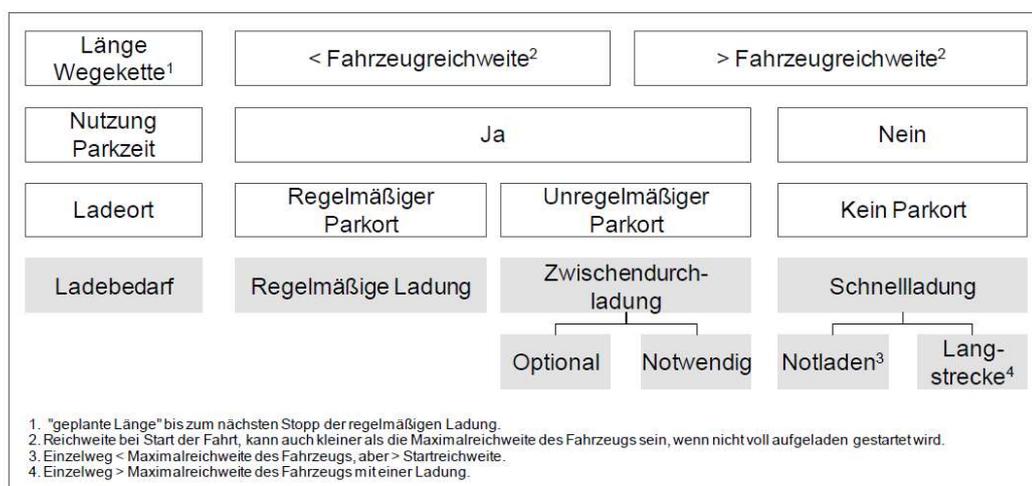


Abbildung 17: Strukturierung der Ladebedarfe⁷⁴

Um diese Einteilung vornehmen zu können, wird unterschieden ob die Parkzeit des Autos genutzt werden kann, ob es sich um einen regelmäßigen Parkort handelt und wie sich die Länge der Wegekette im Vergleich zur Fahrzeugreichweite verhält. Darauf

⁷² Quelle: Engel, H. et al., <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/charging-ahead-electric-vehicle-infrastructure-demand> (Zugriff: 06.03.2019) (leicht modifiziert)

⁷³ Vgl. Engel, H. et al., <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/charging-ahead-electric-vehicle-infrastructure-demand> (Zugriff: 06.03.2019)

⁷⁴ Quelle: Hildebrandt, J. (2016), S.55

aufbauen wird zwischen dem Bedarf nach regelmäßiger Ladung, nach Zwischendurchladung und nach Schnellladung unterschieden.⁷⁵

Bedarf nach regelmäßiger Ladung entsteht beispielsweise, wenn das Auto einen regelmäßigen Parkort bleibt und die Parkzeit zum Laden genutzt werden kann. Ein regelmäßiger Parkort ist beispielsweise ein Stellplatz in der Nähe des Wohnortes oder in der Nähe des Arbeitsplatzes.⁷⁶

Bedarf nach Zwischendurchladung entsteht, wenn die Nutzung von Parkzeit an unregelmäßigen Parkorten möglich ist. Zusätzlich wird in diesem Fall zwischen notwendigen und optionalen Ladebedarf unterschieden. Eine Ladung an einem Zwischenstopp kann notwendig sein, wenn die Länge der geplanten Wegekette die Fahrzeugreichweite überschreitet. Ist dies nicht der Fall, wird die Ladung dem optionalen Zwischenladen zugerechnet.⁷⁷

Beim Bedarf nach Schnellladung wird unterschieden ob es sich um eine Notladung oder um eine Schnellladung an Langstrecken handelt. Ein Ladebedarf an Langstrecken entsteht dabei, wenn die Länge der geplanten Strecke die Fahrzeugreichweite überschreitet. Erfolgt der Fahrtantritt ohne vollständig geladenen Akku, da am Parkort nicht (ausreichend) geladen werden konnte, entsteht Bedarf nach Schnellladung als Notladung.⁷⁸

Um diese verschiedenen Ladebedarfe abdecken zu können, ist auch ein öffentliches Netz an Ladestationen nötig. Der Ausbau dieses Netzes ist dabei jedoch von Region zu Region unterschiedlich.

2.4 Ladeinfrastruktur

In diesem Abschnitt wird die bestehende öffentliche Ladeinfrastruktur analysiert und regionale Unterschiede erklärt. Darüber hinaus werden verschiedene Technologien vorgestellt, welche einen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung der Ladeinfrastruktur haben können.

Eine ausreichend ausgebaute öffentliche Ladeinfrastruktur wird von vielen Autofahrern als eine der wichtigsten Voraussetzungen für den Erfolg der Elektromobilität bezeichnet. Dies kann jedoch zu einem sogenannten Henne-Ei-Dilemma führen. Auf der einen Seite werden keine Elektroautos gekauft, da es an Ladestationen fehlt, während auf der anderen Seite keine Ladestationen installiert werden, da es noch zu wenige Elektroautos gibt.⁷⁹

In Abbildung 18 sind die Ergebnisse einer deutschen Umfrage aus dem Jahr 2018 zu den Bedenken gegenüber reinen Elektroautos zu sehen.

⁷⁵ Vgl. Hildebrandt, J. (2016), S.55

⁷⁶ Vgl. Hildebrandt, J. (2016), S.55

⁷⁷ Vgl. Hildebrandt, J. (2016), S.55

⁷⁸ Vgl. Hildebrandt, J. (2016), S.55

⁷⁹ Vgl. Puls, T.; Oberst, C. (2018)

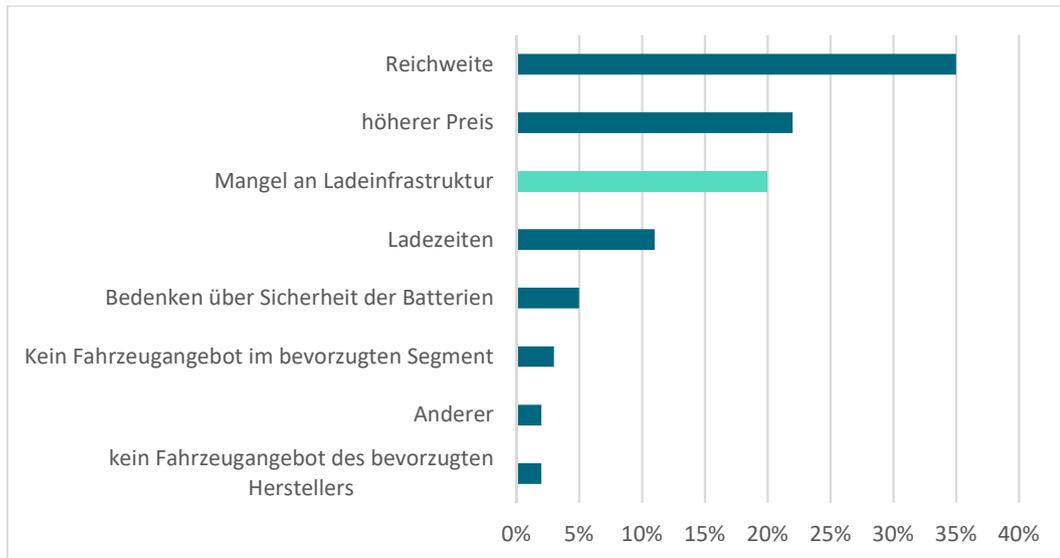


Abbildung 18: Die größten Bedenken gegenüber reinen Elektroautos deutscher Befragter im Jahr 2018⁸⁰

Neben der geringeren Reichweite und den höheren Kosten stellt für 20% der Befragten die fehlende Ladeinfrastruktur das größte Hindernis beim Umstieg zur Elektromobilität dar.

Interessante Ergebnisse in diesem Zusammenhang liefert auch der Bericht „Laden2020“ des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. und des Karlsruher Institut für Technologie. Diese Studie beinhaltet eine Sensitivitätsanalyse, welche Zusammenhänge zwischen der erforderlichen Ladeinfrastruktur, der Reichweite der Elektroautos und der Möglichkeit zuhause zu laden, darstellt.

Folgende Erkenntnisse wurden gewonnen:

- › Die Erhöhung der Reichweite um 50% reduziert den öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarf nur um 17%.
- › Ein zehnpromotiger Anstieg von Haushalten mit privater Lademöglichkeit reduziert die notwendige öffentliche Ladeinfrastruktur um 20%. Eine 12%ige Abnahme erhöht den Ladeinfrastrukturbedarf um 29%.⁸¹

Ein weiteres Ergebnis der Studie ist, dass vor allem Ladestationen in Wohngebieten ineffizient sind und vermieden werden sollten. Es ist somit anzunehmen, dass Elektroautonutzer bevorzugt zuhause laden, jedoch eine gewisse Versorgung mit öffentlicher Ladeinfrastruktur dennoch notwendig ist.⁸³

2.4.1 Ladeinfrastruktur in Europa

In diesem Abschnitt wird die Ladeinfrastruktur in ausgewählten europäischen Ländern verglichen und auf Konzepte zum Ausbau internationaler Ladenetzwerke eingegangen. Wie im Abschnitt 2.1.1 zu erkennen ist, gibt es europaweit große Unterschiede bei der Entwicklung der Elektromobilität. Ähnlich verhält sich dies auch mit der Ladeinfrastruktur.

⁸⁰ Quelle: Deloitte Global (2018) (leicht modifiziert)

⁸¹ Vgl. Anderson, J. E. et al. (2016)

⁸³ Vgl. Anderson, J. E. et al. (2016)

Im „EV Readiness“ Index konnte man bereits sehen, dass eine starke Verknüpfung zwischen dem Ausbau an Ladeinfrastruktur und den Verkaufszahlen von Elektroautos besteht.

Wie in Abbildung 19 zu sehen ist, befindet sich aktuell ein Großteil der EU-Ladepunkte in den Niederlanden, Deutschland, Frankreich und Großbritannien. Bei zusätzlicher Betrachtung der Fläche wird der sehr gute Ausbau der Ladeinfrastruktur in den Niederlanden deutlich. Trotz der vergleichsweise kleinen Fläche befinden sich über 25% aller verfügbaren Ladepunkte in diesem Land. Insgesamt sind 76% aller Ladestationen in nur vier Ländern zu finden.⁸⁴

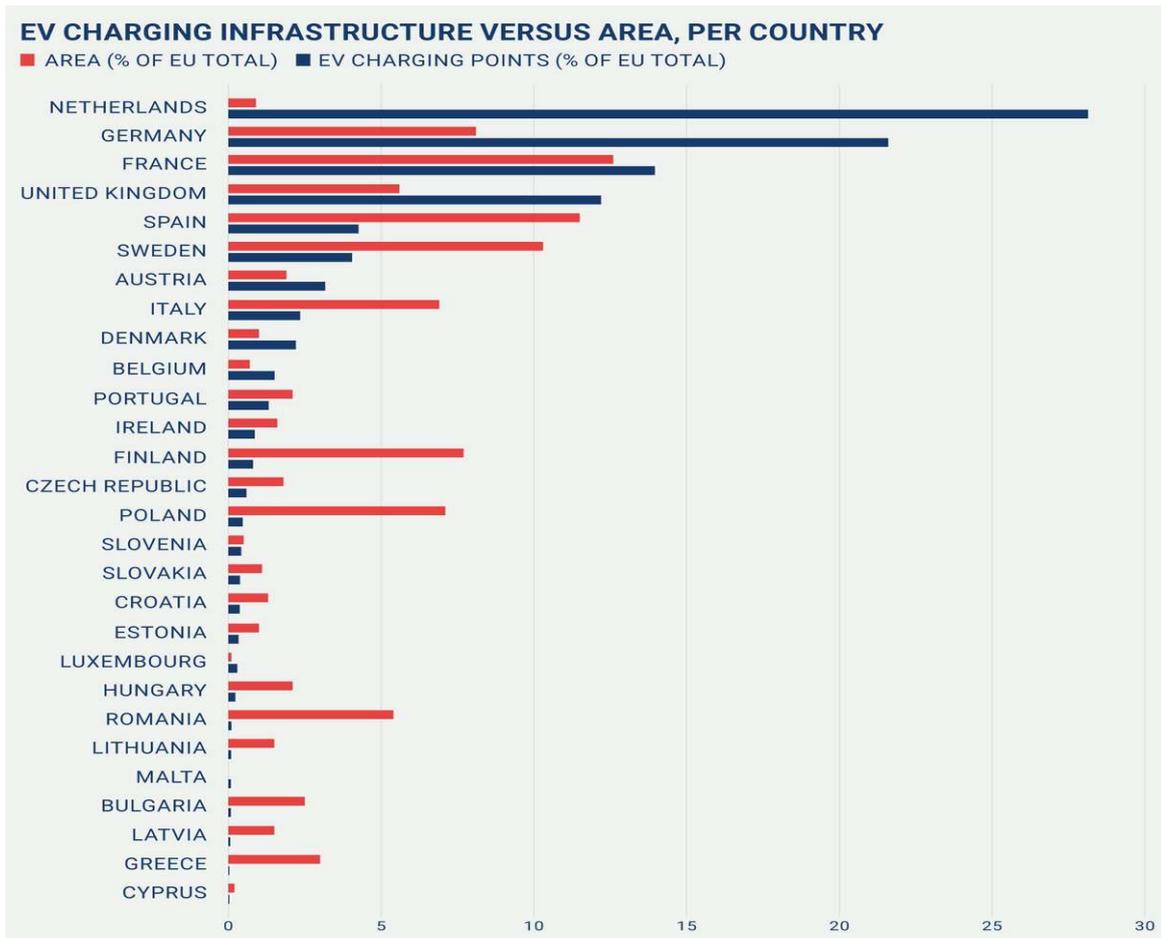


Abbildung 19: Anteil der Ladestationen und Anteil der Fläche Juni 2018 (EU)⁸⁵

Norwegen, das Land, welches bei der Anzahl der zugelassenen Elektroautos europaweit mit Abstand an erster Stelle liegt, würde sich bei der Anzahl der Ladepunkte mit knapp 12.000 hinter den ersten vier Ländern befinden, wird aber in der Abbildung aufgrund der Nichtzugehörigkeit zur EU nicht berücksichtigt. Insgesamt gab es laut ACEA im Juni 2018 ungefähr 116.000 Ladepunkte in der EU.⁸⁶

Die Abbildung 20 zeigt das Verhältnis der Einwohneranzahl zur installierten Ladepunktemenge und bestätigt somit die gut ausgebaute Ladeinfrastruktur in

⁸⁴ Vgl. ACEA (2018)

⁸⁵ Quelle: ACEA (2018)

⁸⁶ Vgl. ACEA (2018)

Norwegen und der Niederlande. Umso intensiver das Rot des Landes ist, desto fortgeschrittener ist der Ausbau der Ladeinfrastruktur. Besonders interessant ist der gute Ausbau in den Niederlanden, da der eigentliche Neuzulassungsanteil an Elektroautos, welcher im ersten Abschnitt diskutiert wurde, nur bei 5,4% liegt. Die Ladeinfrastruktur ist jedoch ähnlich gut, wie in Norwegen mit über 30% Neuzulassungsanteil ausgebaut.⁸⁷

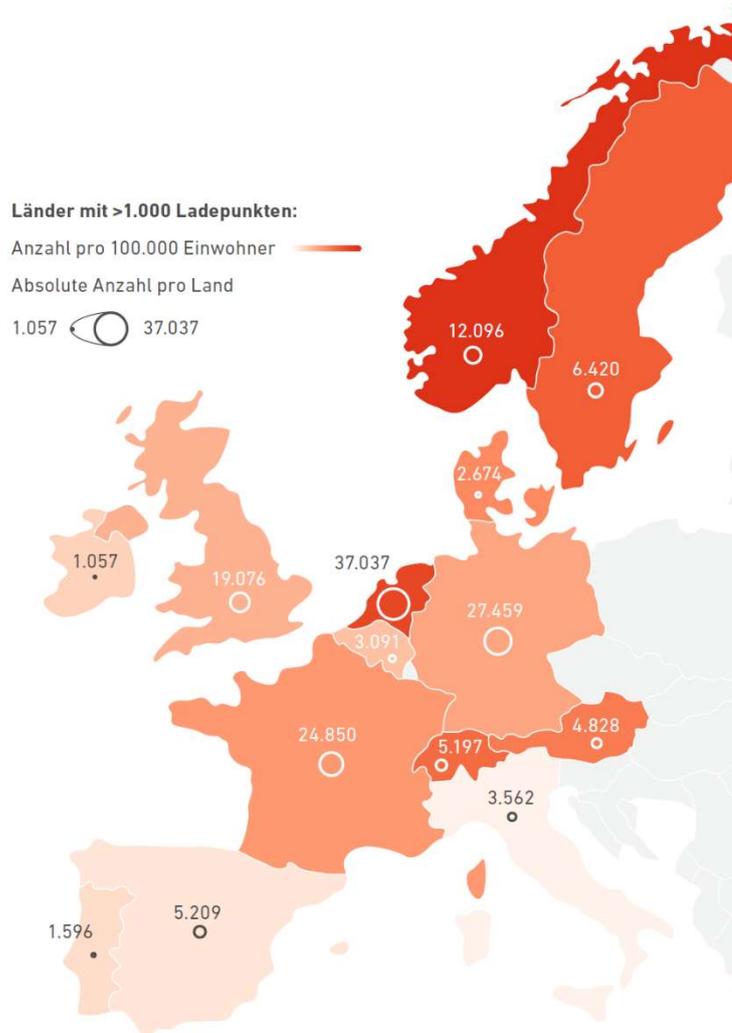


Abbildung 20: Anzahl der öffentlichen Ladepunkte in europäischen Ländern mit mehr als 1.000 Ladepunkten⁸⁸

Ein Grund für den vergleichsweise guten Ausbau in den Niederlanden ist der gleichzeitige Einsatz einer nachfrageorientierten und einer strategischen Installation von Ladestationen. Beispielsweise können sich in Amsterdam Bewohner ohne eigene Lademöglichkeit bei der Stadt melden und die kostenlose Installation einer öffentlichen Ladestation in unmittelbarer Nähe anfordern.⁸⁹

⁸⁷ Vgl. austriatech (2019b)

⁸⁸ Quelle: austriatech (2019b)

⁸⁹ Vgl. Helmus, J. R. et al. (2018); N.V. Nuon Energy, <https://www.nuon.nl/producten/elektrischrijden/openbare-laadpaal/laadpaal-amsterdam/> (Zugriff: 17.08.2019)

Der größte Teil, der in den europäischen Ländern angebotenen Ladepunkte, wird von nationalen Unternehmen installiert und betrieben. Da Fahrten in andere Staaten für viele Europäer alltäglich sind, ist die Interoperabilität der verschiedenen Anbieter und der Aufbau eines gemeinsamen internationalen Netzwerkes eine Voraussetzung für die möglichst einfache Integration der Elektromobilität in den Alltag der Nutzer.⁹⁰

Grenzübergreifende Ladeinfrastrukturanbieter

Einige internationale Unternehmen arbeiten am Aufbau von grenzübergreifenden Ladenetzwerken und auch EU-geförderte Projekte zum paneuropäischen Ladeinfrastrukturausbau wurden bereits gestartet. Beispielsweise betreibt der amerikanische Automobilhersteller Tesla weltweit ein dichtes Netz an Schnellladestationen, welche jedoch gegenwärtig nur für die eigenen Fahrzeuge verfügbar ist.⁹¹ „IONITY“, ein Joint Venture der Automobilhersteller Ford, BMW, VW und Mercedes plant europaweit 400 Schnellladestationen zu errichten.⁹⁴ Das niederländische Unternehmen „Fastned“, welches bereits Ladestationen in den Niederlanden, Belgien, Deutschland betreibt, plant ebenfalls den Bau von 1.000 Ladestationen in ganz Europa.⁹⁵

Darüber hinaus wurden weitere durch die Europäische Union geförderte Projekte injiziert, um den grenzübergreifenden Ausbau von Ladeinfrastruktur zu unterstützen. Verschiedene europäische Energieversorgungsunternehmen, Automobilhersteller und Ladeinfrastrukturbetreiber arbeiten gemeinsam an diesen Projekten.⁹⁶

e-Roaming

Neben den grenzübergreifenden Ladeinfrastrukturbetreibern ist es ebenso wichtig, die nationalen und internationalen Anbieter zu vernetzen. E-Roaming versucht genau dieses Problem zu lösen.

Unter e-Roaming versteht man den Datenaustausch zwischen verschiedenen Ladeinfrastrukturbetreibern, um den Nutzern von Elektroautos den Zugang zu den Ladestationen verschiedener Anbieter zu ermöglichen. Neben dem Zugang soll über diesen Datenaustausch auch die Verrechnung der Ladekosten zwischen Endkunden, Mobilitätsanbieter und Ladestationsbetreiber erfolgen.⁹⁸

Die größte e-Roamingplattform wird vom Unternehmen Hsubject, welches zwar selbst keine eigenen Ladestationen betreibt, jedoch unter dem Namen „intercharge“ ein großes Netzwerk mit Ladeinfrastrukturanbietern aufgebaut hat, betrieben. Über 300 Partner mit über 90.000 Ladepunkte sind so über die Plattform vernetzt.⁹⁹

⁹⁰ Vgl. Mathieu, L. (2018)

⁹¹ Vgl. Karle, A. (2018), S.103

⁹⁴ Vgl. Mathieu, L. (2018)

⁹⁵ Vgl. Fastned, <https://fastned.nl/en/blog/post/fastned-opent-eerste-snellaadstation-in-duitsland> (Zugriff: 30.04.2019)

⁹⁶ Vgl. Mathieu, L. (2018)

⁹⁸ Vgl. Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ), <http://www.beoe.at/hsubject/> (Zugriff: 30.04.2019)

⁹⁹ Vgl. Hsubject GmbH, <https://www.hsubject.com/> (Zugriff: 30.04.2019)

In Deutschland gibt es mit dem Verbund „ladenetz.de“ ein weiteres schnell wachsendes Netzwerk, welches vor allem die Ladestationen der vielen deutschen Stadtwerke verbindet. Bis jetzt sind über 180 Stadtwerke, die ein deutschlandweites Netz mit über 3.000 Ladepunkten anbieten, registriert.¹⁰⁰

In Österreich wurden vom Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ) 2017 unter dem Namen ÖHUB die Ladeinfrastruktur von elf Energieversorgern zusammengeschlossen.¹⁰¹

2.4.2 Ladeinfrastruktur in Österreich

In diesem Abschnitt wird der Status Quo der Ladeinfrastruktur in Österreich genauer betrachtet und die wichtigsten Betreiber vorgestellt.

Wie in Abbildung 21 zu erkennen ist, befindet sich der Großteil der rund 5.000 (halb)öffentlichen Ladepunkte in den größeren und bevölkerungsreicheren Bundesländern. In Niederösterreich befinden sich mit über 1.200 Ladepunkten rund 25% aller Lademöglichkeiten im (halb)öffentlichen Bereich. Mit großem Abstand folgen Oberösterreich, die Steiermark und Wien mit jeweils über 600 Ladepunkten.¹⁰²

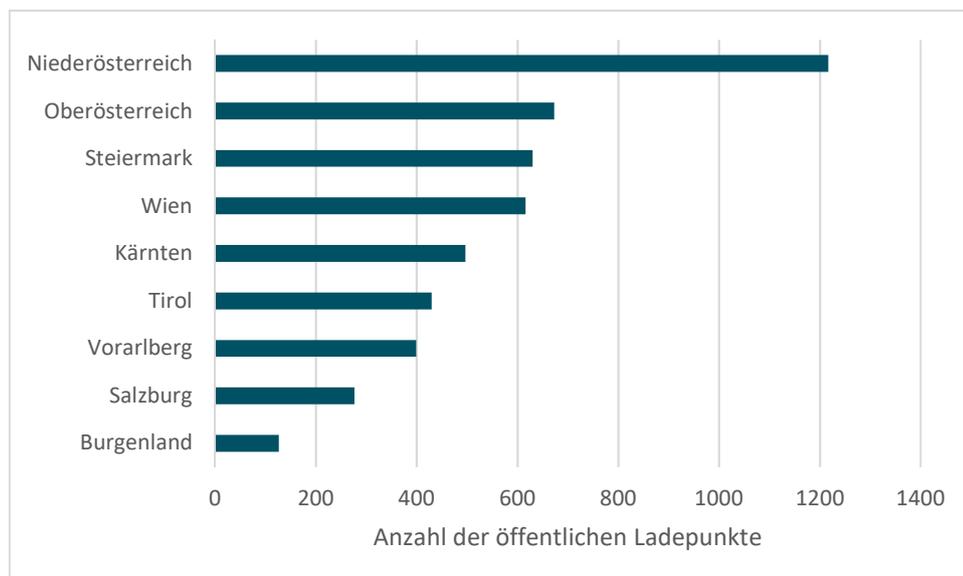


Abbildung 21: Anzahl der öffentlichen Ladepunkte in den verschiedenen Bundesländern (Jänner 2019)¹⁰³

Wie in der Abbildung erkennbar ist, sind vor allem in den Bundesländern Burgenland und Salzburg noch vergleichsweise wenige Ladepunkte öffentlich zugänglich. Die

¹⁰⁰ Vgl. smartlab Innovationsgesellschaft mbH, <https://www.ladenetz.de/leistungen> (Zugriff: 30.04.2019)

¹⁰¹ Vgl. Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ), <http://www.beoe.at/oesterreich-emobil/> (Zugriff: 30.04.2019)

¹⁰² Vgl. Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ), <http://www.beoe.at/groesstes-ladenetz/> (Zugriff: 04.05.2019)

¹⁰³ Quelle: Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ), <http://www.beoe.at/groesstes-ladenetz/> (Zugriff: 04.05.2019) (eigene Darstellung)

Unterschiede zwischen den Bundesländern werden im folgendem Abschnitt noch genauer erläutert.

In Abbildung 22 ist zu erkennen, dass es tendenziell in den größeren Bundesländern sowohl mehr Ladepunkte als auch mehr Elektroautos gibt. Jedoch ist beispielsweise in Kärnten zu erkennen, dass der Anteil an Ladepunkten im Vergleich zum Anteil an Elektroautos sehr viel höher ist. Trotz eines vergleichsweise guten Ausbaus der Ladeinfrastruktur, scheint das Interesse an Elektroautos in Kärnten gering zu sein. Das Gegenteil ist beispielsweise in Oberösterreich und in Salzburg zu erkennen. In diesen Bundesländern gibt es anteilig mehr Elektroautos als öffentliche Ladepunkte. Der Unterschied ist jedoch nicht so gravierend wie in Kärnten.¹⁰⁴

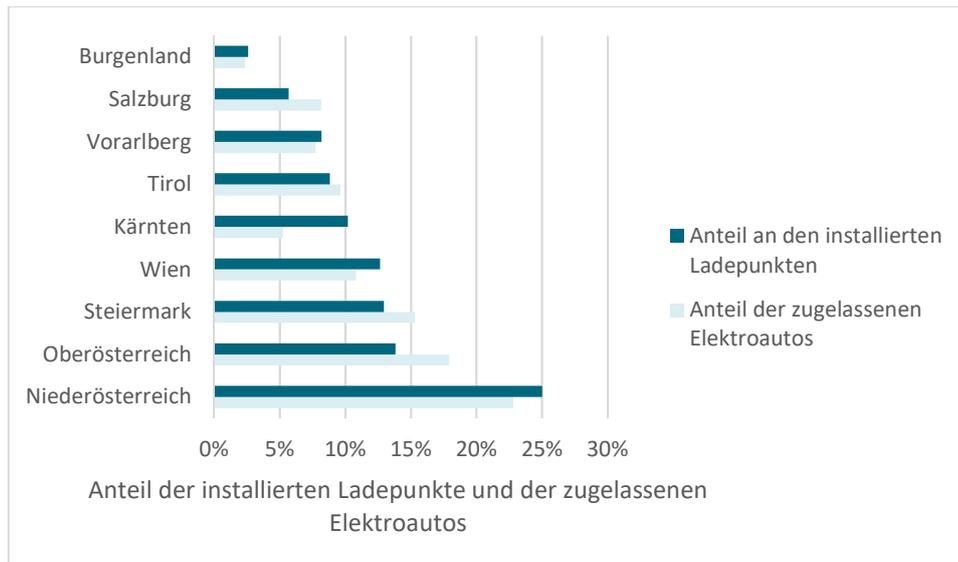


Abbildung 22: Anteil Elektroautos und Anteil Ladepunkte der österreichischen Bundesländer (Stand 31.12.2018)¹⁰⁵

Da eine hundertprozentige Vergleichbarkeit aufgrund der unterschiedlichen Größe und Einwohnerzahlen der Bundesländer so nicht gegeben ist, ist es notwendig die Ladeinfrastruktur pro zugelassenes Auto zu vergleichen, um eine sinnvolle Aussage über die Qualität des verfügbaren Ladenetzes treffen zu können.

¹⁰⁴ Vgl. Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ), <http://www.beoe.at/groesstes-ladenetz/> (Zugriff: 04.05.2019); Statistik Austria, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (Zugriff: 03.08.2019)

¹⁰⁵ Quelle: Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ), <http://www.beoe.at/groesstes-ladenetz/> (Zugriff: 04.05.2019); Statistik Austria, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (Zugriff: 03.08.2019)(eigene Darstellung)



Abbildung 23: Vergleich Ladeinfrastruktur mit Elektroautoanteil in den österreichischen Bundesländern (Stand 31.12.2018)¹⁰⁶

In der Abbildung 23 wird der Anteil der Elektroautos am Gesamtbestand im rechten Diagramm mit den Verhältnissen „Anzahl von Elektroautos pro Ladepunkt“ und (zugelassene) „Autos pro Ladepunkt“ gegenübergestellt. Die alleinige Betrachtung des Verhältnisses von Elektroautos zu Ladepunkten kann ein falsches Bild über die Qualität des Ladeinfrastrukturausbaus vermitteln, sodass auch das Verhältnis von Autos pro Ladepunkt untersucht werden sollte.

In Vorarlberg ist dieses Verhältnis am geringsten, sodass angenommen werden kann, dass die Ladeinfrastruktur in diesem Bundesland am besten ausgebaut ist. Der im österreichischen Vergleich hohe Elektroautoanteil bestätigt Vorarlbergs Vorreiterrolle in der Elektromobilität. Im Burgenland gibt es aktuell noch sehr wenige öffentliche Lademöglichkeiten und auch der Anteil an Elektroautos ist dementsprechend gering. Basierend auf dieser Betrachtung ist die Ladeinfrastruktur in Kärnten vergleichsweise gut ausgebaut. Dennoch ist der Bestand an Elektroautos nur sehr gering im Vergleich zu den anderen Bundesländern.¹⁰⁷

In der Tabelle 5 werden die einzelnen Bundesländer nach ihrem Rang beim Anteil der Elektroautos an den Neuzulassungen und dem Verhältnis der Autos zu den Ladepunkten bewertet. In fünf der neun Bundesländer entspricht der Rang beim Verhältnis von Autos pro Ladepunkt ungefähr dem Rang beim Anteil der Elektroautos (plus/minus einen Rang).

¹⁰⁶ Quelle: Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ), <http://www.beoe.at/groesstes-ladenetz/> (Zugriff: 04.05.2019); Statistik Austria, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (Zugriff: 03.08.2019) (eigene Darstellung)

¹⁰⁷ Vgl. Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ), <http://www.beoe.at/groesstes-ladenetz/> (Zugriff: 04.05.2019); Statistik Austria, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (Zugriff: 03.08.2019)

Tabelle 5: Ranking der Bundesländer nach Elektroautoanteil und Autos pro Ladepunkt¹⁰⁸

Bundesland	Anteil E-Autos	Autos pro Ladepunkt
Burgenland	9	9
Salzburg	2	5
Vorarlberg	1	1
Tirol	3	4
Kärnten	8	2
Wien	7	6
Steiermark	5	7
Oberösterreich	6	8
Niederösterreich	4	3

Die unerwartete Entwicklung in Kärnten (sehr gute Ladeinfrastruktur, wenig Elektroautos) und auch in Salzburg (mittelmäßige Ladeinfrastruktur, sehr viele Elektroautos) wird in dieser Grafik nochmals deutlich. Die installierten Ladestationen sind nicht gleichmäßig verteilt, weshalb auch die Betrachtung der tatsächlichen Standorte interessant ist.¹⁰⁹

In Abbildung 24 sind die Positionen der öffentlichen Ladestationen in Österreich zu erkennen. Während einige Normalladepunkte auch in den ländlicheren Regionen und abseits der großen Autobahnen zu finden sind, befinden sich die Schnellladestationen fast ausschließlich in den größeren Städten und entlang der Hauptverkehrswege. Vor allem entlang der TEN-T-Korridore (transeuropäisches Straßennetz) ist ein verhältnismäßig sehr dicht ausgebautes Ladeinfrastrukturnetz installiert.¹¹⁰

¹⁰⁸ Quelle: Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ), <http://www.beoe.at/groesstes-ladenetz/> (Zugriff: 04.05.2019); Statistik Austria, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (Zugriff: 03.08.2019) (eigene Darstellung)

¹⁰⁹ Vgl. Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ), <http://www.beoe.at/groesstes-ladenetz/> (Zugriff: 04.05.2019); Statistik Austria, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (Zugriff: 03.08.2019)

¹¹⁰ Vgl. austriatech (2019b)

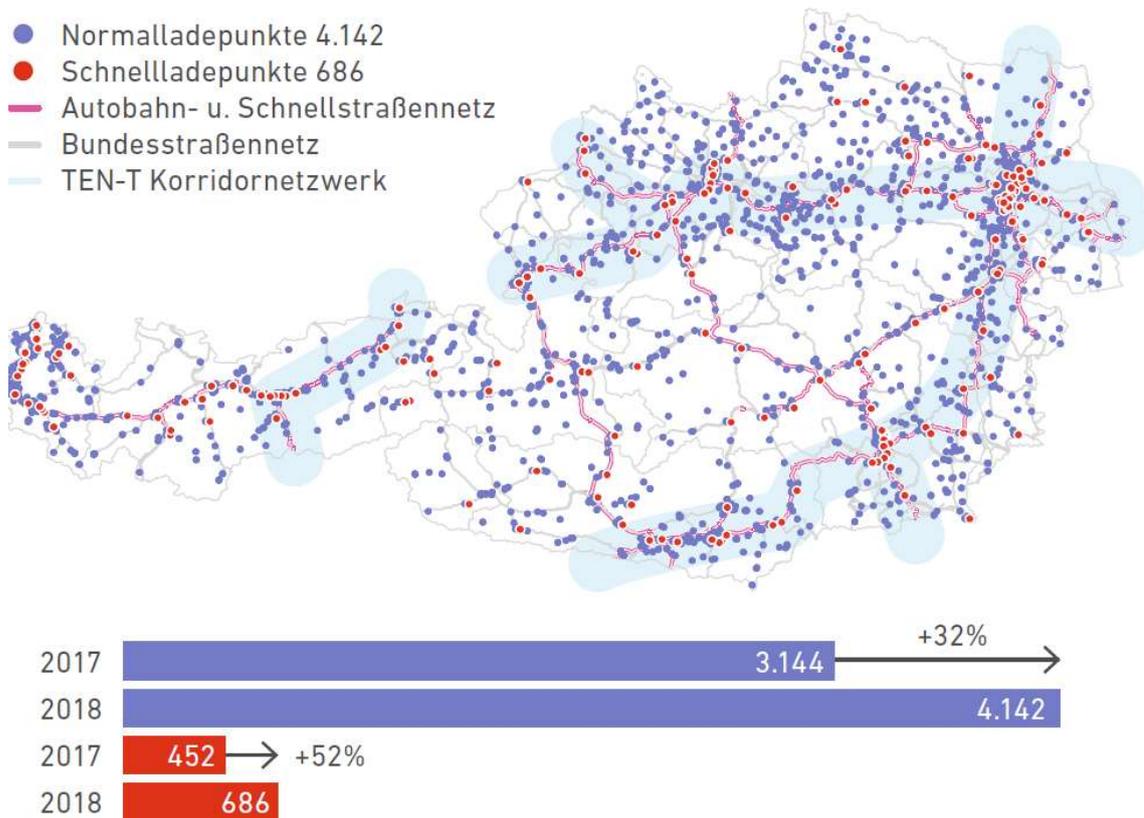


Abbildung 24: Position und Anzahl der öffentlichen Ladepunkte in Österreich ¹¹¹

Im Balkendiagramm ist zudem das Wachstum der installierten Ladepunkte in den letzten Jahren ersichtlich. Während die Anzahl der Normalladepunkte von 2017 auf 2018 um 32% gestiegen ist, ist die Anzahl der Schnellladepunkte in diesem Zeitraum um über 50% gewachsen. ¹¹²

Anbieter in Österreich

Im folgenden Abschnitt werden kurz die wichtigsten Anbieter der fast 5.000 österreichischen öffentlichen Ladepunkte vorgestellt. Der Großteil der Ladestationen wird von den größeren österreichischen Energieversorgungsunternehmen und der Firma „Smatrics“ betrieben. Die restlichen Lademöglichkeiten werden von kleineren Energieversorgern, Kommunen und anderen Unternehmen zu Verfügung gestellt. ¹¹³

Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ)

Wie bereits erwähnt wurde, haben sich elf Energieversorgungsunternehmen, welche Mitglieder des Bundesverbands Elektromobilität Österreich sind,

¹¹¹ Quelle: austriatech (2019b)

¹¹² Vgl. austriatech (2019b)

¹¹³ Vgl. KELAG-Kärntner Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, <https://e-tankstellenfinder.com/at/de/elektrotankstellen> (Zugriff: 30.04.2019)

zusammengeschlossen, um ein dichtes österreichweites Ladenetz aufzubauen. Gemeinsam stellen sie knapp 3.000 Ladepunkte zu Verfügung.¹¹⁴

*Mitglieder:*¹¹⁵

- › Energie Burgenland AG (Burgenland)
- › Energie AG (Oberösterreich)
- › Energie Steiermark AG (Steiermark)
- › Energie Graz GmbH & Co KG (Steiermark)
- › EVN AG (Niederösterreich)
- › Innsbrucker Kommunalbetriebe AG (Tirol)
- › KELAG-Kärntner Elektrizitäts-Aktiengesellschaft (Kärnten)
- › Linz AG Strom (Oberösterreich)
- › Salzburg AG (Salzburg)
- › Vorarlberger Kraftwerke AG (Vorarlberg)
- › Wien Energie GmbH (Wien)

Smatrics

Das Joint Venture von OMV, Siemens und Verbund arbeitet am Aufbau eines High-Speed-Ladenetzes mit Ladeleistungen von bis zu 350 kW. Neben dem Betrieb von knapp 450 Ladepunkten bietet es auch Komplettlösungen für Unternehmen, Energieversorger und Tankstellen an.¹¹⁷

Im Mai 2019 wurde zudem eine Kooperation mit dem BEÖ eingegangen, sodass auch Smatrics-Kunden die Ladestationen der elf BEÖ-Mitglieder ohne zusätzliche Ladekarte verwenden können. Dies gilt auch umgekehrt.¹¹⁸

*Weitere nennenswerte Ladeinfrastrukturbetreiber*¹¹⁹

- › Institut für Technologie und alternative Mobilität (IAM)
- › has.to.be GmbH
- › Ella GmbH
- › Lidl Österreich GmbH
- › Tesla Inc.

¹¹⁴ Vgl. Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ), <http://www.beoe.at/groesstes-ladenetz/> (Zugriff: 04.05.2019)

¹¹⁵ Vgl. Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ), <http://www.beoe.at/groesstes-ladenetz/> (Zugriff: 04.05.2019)

¹¹⁷ Vgl. SMATRICES GmbH & Co KG, <https://smatrics.com/ueber-uns> (Zugriff: 30.04.2019)

¹¹⁸ Vgl. Wildburger, B., <https://smatrics.com/news/beoe-smatrics-zusammenschluss-ladenetz> (Zugriff: 16.05.2019)

¹¹⁹ Vgl. KELAG-Kärntner Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, <https://e-tankstellenfinder.com/at/de/elektrotankstellen> (Zugriff: 30.04.2019)

2.5 Einfluss neuer Technologien auf die Ladeinfrastruktur

Viele Unternehmen aus der Automobil-, der Energieversorgungs- und der IT-Branche arbeiten seit Jahren an weiteren Neuheiten und Verbesserungen, welche einen großen Einfluss auf die Entwicklung der Elektromobilität haben können.

Einige der im folgendem Abschnitt vorgestellten Technologien und Trends sind bereits technisch möglich und im kleineren Kreis bereits in Anwendung, andere benötigen noch einige Jahre zur Marktreife, haben jedoch das Potenzial die gesamte (Elektro)-Mobilität zu verändern. Der genaue Einfluss einiger dieser Technologien auf den Ausbau der Ladeinfrastruktur kann (noch) nicht vorausgesagt werden. Bei den Schlussfolgerungen handelt es sich somit primär um Annahmen.

Es erfolgt eine Unterteilung in Technologien mit einer direkten Veränderung der Ladeinfrastruktur und in Technologien, die aufgrund ihres Einflusses auf die gesamte Mobilität indirekt auch die benötigte Ladeinfrastruktur verändern.

2.5.1 Technologien mit direktem Einfluss auf die Ladeinfrastruktur:

Dynamisches induktives Laden für Elektroautos

Im Abschnitt 2.2.3 wurde das statische induktive (kabellose) Laden von Elektroautos kurz vorgestellt. Eine mögliche Weiterentwicklung dieser Technologie ist das dynamische induktive Laden.

Bei dieser Ladeart erfolgt der Energietransport direkt während der Fahrt und erfordert somit keine längeren Stehzeiten. Dies kann entweder an Standorten erfolgen, an denen das Fahrzeug ohnehin zum Stehen kommt (Ampel, Bushaltestelle, Taxistand) oder direkt während des Fahrens indem ganze Straßenabschnitte mit induktiven Ladestationen ausgestattet werden. Diese Form des Aufladens befindet sich momentan noch in den Kinderschuhen und wird noch einige Jahre benötigen, um großflächig angeboten werden zu können.¹²¹ Für den Fall, dass diese Technologie Marktreife erreicht und ein wirtschaftlicher Betrieb möglich wird, hätte sie potenziell einen großen Einfluss auf die Ladeinfrastruktur in Städten. Es ist anzunehmen, dass durch das dynamische induktive Laden weniger fixe Ladestationen benötigt werden, da durch das permanente Aufladen während der Fahrt die Reichweite des Elektroautos ständig verlängert wird.

Batteriewechsel

Eine weitere Möglichkeit die langen Ladezeiten der Elektroautos zu vermeiden, besteht darin, die Akkus extern aufzuladen und anschließend mit den leeren Akkus des Fahrzeugs auszutauschen. Die ausgebaute leere Batterie wird bei der Wechselstation aufgeladen und ins nächste Fahrzeug eingebaut. Der Vorteil dabei ist, dass die Akkus netzschonend mit niedriger Leistung aufgeladen werden und der Wechsel an sich nicht länger als das Tanken eines herkömmlichen Fahrzeugs dauert. Eine wichtige Voraussetzung für dieses System ist die Gleichartigkeit und die Standardisierung der Batterien. Die verschiedenen Automobilhersteller müssten die gleichen Akkus

¹²¹ Vgl. Mazharov, N. D. et al. (2017), S.2 ff.

verwenden und sie an leicht zugänglichen Stellen einbauen. Für die Fahrzeugbesitzer besteht dabei auch ein gewisses Risiko, da man einen guten Akku gegen einen schlechteren tauschen könnte und somit an Reichweite verlieren würde.¹²² Das bereits erwähnte amerikanische Unternehmen Tesla oder das israelische Unternehmen „Better Place“ versuchten sich in der Vergangenheit am Aufbau einer Wechselstationen-Infrastruktur, mussten jedoch die Projekte aufgrund von Nichtwirtschaftlichkeit einstellen. Eine Marktreife dieser Technologie hätte vor allem Einfluss auf die öffentliche Schnellladeinfrastruktur und würde mit dieser konkurrieren.¹²³

2.5.2 Technologien und Geschäftsmodelle mit indirektem Einfluss auf die Ladeinfrastruktur

Autonome Fahrzeuge

Die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen ist neben der Elektromobilität einer der großen Trends in der Automobilbranche des 21. Jahrhunderts. Eine Marktreife von vollständig autonomen Fahrzeugen ist nicht vor 2030 zu erwarten, jedoch ist davon auszugehen, dass diese Technologie das globale Transportwesen grundlegend verändern wird.¹²⁴ Folglich hätte dies auch einen Einfluss auf die dafür erforderliche Ladeinfrastruktur. Zum einen benötigen autonome Fahrzeuge auch Ladestationen, welche die Autos ohne menschlichen Eingriff laden können und zum anderen ist davon auszugehen, dass sich auch die Ladeorte verändern werden.

Die südkoreanischen Automobilhersteller Hyundai und Kia veröffentlichte bereits ein Konzept in dem autonome Fahrzeuge selbständig induktive Ladestationen in Parkhäusern aufsuchen und nach der Vollladung zu einem regulären Parkplatz wechseln.¹²⁵ Ausgehend von diesem Konzept ist anzunehmen, dass in Zukunft autonome Fahrzeuge in zentralen „Charging-Hubs“ aufgeladen und geparkt werden können, wodurch die benötigte Ladeinfrastruktur grundlegend verändert wird.¹²⁶

„Mobility on Demand“ (MoD) und „Mobility as a Service“ (MaaS)

Ein weiterer großer Trend im Bereich der Mobilität ist die wachsende Beliebtheit von Sharing und Ride-Hailing-Diensten. Es ist anzunehmen, dass Anbieter wie DriveNow oder Uber die Nachfrage nach privaten Fahrzeugen verringern. In Kombination mit autonomen Fahrzeugen können diese Dienste in Zukunft noch attraktiver werden, da es künftig günstiger sein wird solche Mobilitätsdienstleister zu verwenden, als ein eigenes Auto zu besitzen. Eine Ausweitung dieser Angebote und Dienstleistungen führt somit in erster Linie zu einer Reduktion der Autoanzahl.¹²⁷

¹²² Vgl. Karle, A. (2018), S.106

¹²³ Vgl. Adegbohun, F. et al. (2019)

¹²⁴ Vgl. KPMG International (2019)

¹²⁵ Vgl. Hyundai Motor Company, <https://news.cision.com/global/hyundai-motor-baltic/r/hyundai-motor-group-unveils-innovative-electric-vehicle-charging-and-automated-parking-systems-concept,c2729794> (Zugriff: 05.02.2019)

¹²⁶ Vgl. Spöttle, M. et al. (2018)

¹²⁷ Vgl. KPMG International (2019)

Es ist anzunehmen, dass weniger Fahrzeuge auch weniger Ladestationen erfordern, wodurch die Entwicklung von „MoD“ und „MaaS“ indirekt Einfluss auf den Ausbau der Ladeinfrastruktur hätte. Es ist zu erwarten, dass nicht nur die Anzahl der Lademöglichkeiten beeinflusst wird, sondern auch die Art der Ladestation beziehungsweise der Installationsort. Der Schwerpunkt der Ladevorgänge wird sich möglicherweise weg vom privaten Haushalt und dem Arbeitgeber, hin zu öffentlichen Ladestationen oder von den Anbietern zur Verfügung gestellten Lademöglichkeiten verlagern.

Gesteigerte Reichweite

Die Verbesserung der Akkus und die damit verbundene gesteigerte Reichweite könnte ebenfalls einen Einfluss auf die benötigte Ladeinfrastruktur haben. Wie im Abschnitt 2.4 bereits erwähnt wurde, reduziert eine gesteigerte Reichweite zwar die Anzahl an Ladestationen, jedoch in geringeren Maß als die Reichweite zunimmt.¹²⁸

Brennstoffzellen in mobilen Anwendungen

Seiten vielen Jahren wird auch der Einsatz von Brennstoffzellen und Wasserstoff in Fahrzeugen untersucht. Zahlreiche Vorteile hinsichtlich der Reichweite und der Betankungsgeschwindigkeit machen Fahrzeuge, die mit Wasserstoff betrieben werden, zu einer attraktiven Alternative zu Elektroautos mit Akkumulatoren. Gegenwärtig gibt es noch Herausforderungen bei der effizienten Wasserstoffherstellung und der Kostensenkung der Fahrzeuge.¹²⁹

Es ist anzunehmen, dass durch eine Verbesserung der Technologie der Brennstoffzellen und eine Effizienzsteigerung der Wasserstoffherstellung in Zukunft auch ein Teil des motorisierten Individualverkehrs durch Wasserstofffahrzeuge übernommen wird und so den Bedarf an Ladeinfrastruktur senkt.

Durch die, in diesem Abschnitt beschriebenen, neuen Technologien und Geschäftsmodelle kann die prognostizierte Entwicklung der Elektromobilität und der Ladeinfrastruktur maßgeblich beeinflusst werden und langfristig ist auch mit der Marktreife einiger dieser Technologien zu rechnen. Es ist jedoch zu erwarten, dass auch diese Entwicklungen anfangs nur langsam eingeführt werden und deshalb ein durchdachter, strategischer und bedarfsgerechter Ausbau der Ladeinfrastruktur zu empfehlen ist. Auf der einen Seite kann so das Risiko für Fehlinvestitionen verringert und auf der anderen Seite den Ladebedarf der Elektroautonutzer dennoch zu gedeckt werden.

¹²⁸ Vgl. Anderson, J. E. et al. (2016)

¹²⁹ Vgl. VDI Verein Deutscher Ingenieure e; VDE Verband der ElektrotechnikElektronik Informationstechnik e.V. (2019)

2.6 Bedarfsgerechter Ausbau von Ladeinfrastruktur

In diesem Abschnitt wird das Konzept des bedarfsgerechten Ausbaus von Ladeinfrastruktur und bestehende Methoden zur Potenzialanalyse für Ladeinfrastruktur beschrieben und analysiert.

Wie man in den letzten Abschnitten bereits erkennen konnte, muss bei zunehmendem Elektroautoanteil am Gesamtmarkt auch die Ladeinfrastruktur dementsprechend ausgebaut und weiterentwickelt werden. Die Berücksichtigung der Nutzungspotenziale von privaten Ladestationen und halböffentlichen Lademöglichkeiten hat dabei einen großen Einfluss auf die Notwendigkeit und die Auslastung von öffentlichen Ladepunkten. Eine passende Kombination der drei Segmente ist somit der Schlüssel zur erfolgreichen, effizienten und kostengünstigen Elektrifizierung des Automobilverkehrs. In der Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe wurden deshalb folgende Empfehlungen abgegeben:

„Die Mitgliedstaaten sollten sicherstellen, dass öffentlich zugängliche Ladepunkte mit einem angemessenen Abdeckungsgrad errichtet werden, damit Elektrofahrzeuge zumindest in städtischen bzw. vorstädtischen Ballungsräumen und anderen dicht besiedelten Gebieten sowie gegebenenfalls in Netzen, die von den Mitgliedstaaten bestimmt werden, verkehren können. Die Zahl dieser Ladepunkte sollte unter Berücksichtigung der Zahl, der bis 2020 vermutlich in jedem Mitgliedstaat zugelassenen Elektrofahrzeuge festgelegt werden. Der Richtwert für eine angemessene durchschnittliche Zahl von Ladepunkten sollte mindestens einen Ladepunkt für je 10 Fahrzeuge sein, wobei auch dem Fahrzeugtyp, der Ladetechnologie und verfügbaren privaten Ladepunkten Rechnung zu tragen wäre. Es sollte insbesondere an Haltestationen der öffentlichen Verkehrsmittel, wie etwa Fahrgastterminals in Häfen, Flughäfen oder auf Bahnhöfen, eine angemessene Zahl von öffentlich zugänglichen Ladepunkten installiert werden. Privateigentümer von Elektrofahrzeugen sind weitgehend vom Zugang zu Ladepunkten auf Gemeinschaftsparkplätzen, etwa von Wohngebäuden und Büro- und Geschäftsgebäuden, abhängig. Die Behörden sollten zur Unterstützung der Nutzer solcher Fahrzeuge Maßnahmen ergreifen, damit Bauherren und Immobilienverwalter die entsprechende Infrastruktur mit einer ausreichenden Zahl von Ladepunkten für Elektrofahrzeuge errichten.“¹³⁰

Um diese Empfehlungen und Ziele auch effizient verwirklichen zu können, braucht es Methoden und Systeme, welche die Kommunen beim Aufbau der Ladeinfrastruktur unterstützen. Der Aufbau der Ladeinfrastruktur kann dabei entweder nachfrageorientiert oder strategisch erfolgen. Wie in einer Studie aus den Niederlanden ersichtlich wird, haben beide Einführungsstrategien Stärken und Schwächen. Bei der nachfrageorientierten Strategie werden Ladestationen auf Anfrage der Elektroautobesitzer in der Nähe des Wohnorts oder des Arbeitsplatzes installiert. Bei der

¹³⁰ Richtlinie 2014/94/EU (2014), S.4

strategischen Einführung werden Standorte Großteils in der Nähe von vielbesuchten Orten, wie Einkaufszentren und Touristenattraktionen, errichtet. Aus diesem Grund unterscheidet sich auch die Auslastung der verschiedenen Ladestationen. Während an den nachfrageorientierten Ladestationen vor allem über Nacht und mehrere Stunden aufgeladen wird, werden die strategisch platzierten Ladestationen von vielen verschiedenen Elektroautofahrern untertags genutzt. Ein weiteres Ergebnis war, dass in der ersten Einführungsphase das nachfrageorientierte Modell effektiver ist und ab einer gewissen Reife des Ladenetzes zunehmend das strategische Modell an Bedeutung gewinnt.¹³¹

Im folgendem Abschnitt werden deshalb kurz weitere bestehende Ansätze und Pilotprojekte für die Potenzialanalyse von Ladeinfrastruktur in Städten vorgestellt. In den vergangenen Jahren wurden vor allem in Deutschland mehrere Projekte, die einen systematischen Ausbau von Ladeinfrastruktur ermöglichen, gestartet. Der Ansatz der verwendeten Modelle ist davon abhängig, ob der Standort von potenziellen Ladestationen genau verortet oder nur die Anzahl und Art der Ladepunkte ermittelt werden soll. In der Folge werden Modelle mit beiden Ansätzen vorgestellt. Das Projekt „SIMONE“ wird dabei am genauesten betrachtet, da der verwendete Ansatz am ehesten mit dem im Kapitel 3 beschriebenen Tool vergleichbar ist.¹³²

2.6.1 „SIMONE“¹³³

Im Zuge des Projektes „SIMONE“ (**S**iedlungsorientiertes **M**odell für nachhaltigen Aufbau und Förderung der **e**-Infrastruktur) wurde ein bedarfsorientiertes Verfahren zur Planung von öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur entwickelt. Das Projekt wurde 2015 veröffentlicht und vom deutschen Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert. Es wurde im Rahmen des Verbundprojekts „Metropol-E“ zwischen 2012 und 2015 erarbeitet und in Kooperation mit den Städten Dortmund, Regensburg und Chemnitz umgesetzt. Des Weiteren wurde es noch in den Städten Gelsenkirchen und Cloppenburg eingesetzt. Der Markthochlauf von Elektroautos und Ladeinfrastruktur wurden für die Berechnung von der „Nationalen Plattform Elektromobilität“ übernommen, wobei für das Jahr 2020 ein Bedarf von 106 Ladepunkten (16 davon (halb)öffentlich) je 100 Elektroautos ermittelt wurde. Insgesamt wurde bei den Hochlaufphasen zwischen den drei Stufen „Marktvorbereitung“, „Markthochlauf“ und „Massenmarkt“ und zwei Zwischenstufen differenziert.

Ansatz und Annahmen

Am Anfang wurden im Zuge des Projektes sieben Gebietstypen, welche prinzipiell den Großteil der in Städten vorkommenden Gebiete abdecken sollen, festgelegt.

- > Kerngebiet
- > Mischgebiet
- > Allgemeines Wohngebiet
- > Reine Wohngebiete

¹³¹ Vgl. Helmus, J. R. et al. (2018)

¹³² Vgl. NOW GmbH (2014)

¹³³ Vgl. PTV AG (2015)

- › Gebiet mit hohem Kunden- und Besucheraufkommen
- › Gebiet mit Arbeitsplätzen
- › Gebiet sowohl mit hohem Kunden- und Besucheraufkommen und großer Anzahl an Arbeitsplätzen

Es wird angenommen, dass diese unterschiedlichen Gebietstypen auch unterschiedliche Anforderungen bezüglich Ladeinfrastruktur haben. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass es Gebiete gibt, die ein erhöhtes Potenzial für Erstnutzer von Elektrofahrzeugen haben.

Insgesamt wurden folgende Standortindikatoren identifiziert:

- › Laderelevantes Zielverkehrsaufkommen im Verkehrsbezirk
- › Laderelevantes Zielverkehrsaufkommen potenzieller Erstnutzer im Verkehrsbezirk
- › Bedeutung öffentlich zugänglicher Stellplatzanlagen im Verkehrsbezirk
- › Intermodale Verkehrsverknüpfungspunkte

Laderelevantes Zielverkehrsaufkommen im Verkehrsbezirk

Es wurde angenommen, dass Elektroautos vor allem an Zielorten laden und das eine bestimmte Standzeit erforderlich ist, damit ein Ladevorgang Sinn macht. Für das Laden mit 22 kW wurde die minimale Standzeit auf 20 Minuten und für das Laden mit 3,7 kW auf zwei Stunden festgelegt.

Laderelevantes Zielverkehrsaufkommen potenzieller Erstnutzer im Verkehrsbezirk

Wie bereits erwähnt wurde, wird davon ausgegangen, dass Weitpendler, Wohlsituierte und Nutzer von standortungebundenem Carsharing als potenzielle Erstnutzer von Elektroautos in Frage kommen und separat betrachtet werden.

Bedeutung öffentlich zugänglicher Stellplatzanlagen im Verkehrsbezirk

Da Elektroautos vor allem Laden, wenn sie parken, eignen sich bewirtschaftete Parkplätze sehr gut für die Installation von Ladestationen. Die Standzeit auf diesen Parkanlagen beträgt meist zwischen 20 Minuten und mehreren Stunden, weshalb eine Ladeleistung von 22 kW empfohlen wird.

Intermodale Verkehrsverknüpfungspunkte

Vor allem für Pendler, Carsharing- und Mietwagennutzer spielen intermodale Verkehrsverknüpfungspunkte hinsichtlich Lademöglichkeiten eine wichtige Rolle. Sie sind oft Start- und Zieldestination des täglichen Weges und eignen sich deshalb sehr gut für das Aufladen des Elektroautos, während sein Nutzer die öffentlichen Verkehrsmittel beansprucht. Beispiele für intermodale Verkehrsverknüpfungspunkte sind Fernverkehrs- und Regionalbahnhöfe als auch wichtige Haltestellen von Straßenbahn-, U-Bahn-, Schnellbahn- oder Buslinien. Auch hier wird eine Ladeleistung von 22 kW empfohlen. Eine weitere Annahme ist, dass Carsharing-Autos und gewerblich verwendete Fahrzeuge an Stationen des Anbieters laden und somit keine oder nur wenig öffentliche Ladeinfrastruktur benutzen.

Die gebietstypischen Zusammenhänge zwischen Strukturgrößen und Ladeinfrastrukturbedarf wurden über Korrelations- und Regressionsanalysen auf ihre Signifikanz geprüft, nachdem sie über ein an die Nutzwertanalyse angelehntes Verfahren ermittelt wurden. Das Planungsinstrument wurde in Microsoft Excel realisiert.

Benötigte Informationen und Eingabe der Daten

Um das Excel-Tool vollständig auszufüllen, werden einige Daten und Beschreibungen der zu betrachtenden Stadt benötigt. In der Folge werden die erforderlichen Daten der Reihenfolge der Eingabe nach aufgelistet. Abschließend erfolgt die Berechnung der Ergebnisse nach dem Ausführen eines integrierten VBA-Makros.

Blatt „EINGABE-Ladeinfrastrukturbedarf“:

- › Einwohnerzahl der Stadt für das Jahr 2013
- › Prognose der Einwohnerzahl für das Jahr 2020
- › Kraftfahrzeugbestand der Stadt für das Jahr 2013

Optional:

- › Anzahl (geplanter) E-Fahrzeuge für die unterschiedlichen Markthochlaufphasen

Blatt “EINGABE-Intermodal“:

- › Name des intermodalen Verknüpfungspunkt
- › Priorität des Verknüpfungspunktes
 - Priorität 1: Regional- und Fernbahnhöfe sowie Fernbusbahnhöfe
 - Priorität 2: Haltestellen des schienengebundenen ÖPNV, Bushaltestellen, sowie Park-and-Ride-Plätze mit hoher Relevanz für Umsteiger

Blatt “EINGABE-Stellplatzanlagen“:

- › Name der Stellplatzanlage
- › Stellplatzanzahl

Blatt “EINGABE-Gebiete“:

- › Gebietsnummer und Name
- › Anzahl Einwohner, Arbeitsplätze, Arbeitsplätze im tertiären Sektor, Schul-Studienplätze, Verkaufsfläche

Die einzelnen Gebiete können außerdem noch in maximal drei Teilgebiete eingeteilt werden.

- › Gebietstyp (sieben verschiedene)
- › Überwiegend 1- und 2-Familienhausbebauung (Ja/Nein)
- › Erhöhtes Erstnutzerpotenzial (Ja/Nein)

Blatt “EINGABE-Kosten“:

- › Verschiedene Investitionskosten- und Betriebskostenpositionen

Bei der Darstellung der Ergebnisse wurde außerdem angenommen, dass eine Ladestation aus zwei Ladepunkten besteht.

Ergebnisse

Im Excel-Tool findet man die Ergebnisse der Berechnung in vier verschiedenen Tabellenblättern.

Folgende Ergebnisse werden ausgegeben:

- › Geschätzte Anzahl an Elektrofahrzeugen in der Stadt
- › Resultierender Ladeinfrastrukturbedarf (Ladesäulen/punkte)
- › Ladeinfrastrukturbedarf nach Ladeleistung (3,7 kW und 22 kW)
- › Räumliche Verteilung der Ladeinfrastruktur
 - An intermodalen Verknüpfungspunkten
 - An Stellplatzanlagen
 - Je Gebiet (differenziert nach Ladeleistung)
- › Kosten für Bau und Betrieb
 - Investitionskosten je Phase und insgesamt
 - Jährliche Kosten differenziert nach Investitions- Betriebs- und Folgekosten

Das SIMONE-Modell hat den Vorteil, dass es für alle (deutschen) Städte und Gemeinden nutzbar ist, da es überwiegend auf manuell einzugebenden Daten beruht. Die Eingabe der Daten und die Bedienung des Modells ist grundsätzlich sehr einfach aufgebaut und garantiert so einfache Skalierbarkeit. Als Ergebnis liefert diese Methode die Anzahl an Ladepunkten, die in den vordefinierten und eingegebenen Suchräumen verortet werden können. Die Verortung der Ladepunkte muss in einer nachfolgenden Analyse durchgeführt werden. Die Ermittlung der Ladepunkteanzahl erfolgte im Modell „Top-Down“ über ein konstantes, von der Anzahl der Elektroautos abhängiges, Verhältnis für ganz Deutschland und wird anschließend auf die einzelnen Gebiete aufgeteilt. Es wird von nur einem Szenario ausgegangen, welches in fünf Phasen unterteilt wurde.¹³⁵

2.6.2 „STELLA“

Auch das Modell „STELLA“ („STandortfindungsmodell für ELEktrische LAdeinfrastruktur“) hat das Ziel den Ladestationsbedarf zu ermitteln indem es über den Ladebedarf auf Standortpotenziale für Ladestationen umrechnet. Das Modell wurde am Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr der RWTH Aachen entwickelt und wurde unter anderem im Projekt „HansE“ im Metropolraum Hamburg verwendet. Die Potenzialermittlung mit STELLA erfolgt in mehreren Schritten.

Zuerst werden die Nutzerebene und die dazugehörigen Nutzermerkmale betrachtet und mit dem aus verschiedenen Erhebungen stammenden Mobilitätsverhalten zu einem Grundpotenzial zusammengerechnet. Dieses Grundpotential wird durch die Verbindung mit den Potentialen aus der großräumlichen Verkehrsverflechtung des Fernstraßennetzes und der Verbreitung der elektrischen Fahrzeuge beziehungsweise

¹³⁵ Vgl. NOW GmbH (2014); PTV AG (2015)

Ladeinfrastruktur zu einem Gesamtpotenzial verknüpft und anschließend um die überregionale Verkehrsbetrachtung ergänzt indem eine Erreichbarkeitsanalyse der intermodalen Verkehrsknoten und die Anbindung an das Fernstreckennetz miteinbezogen wird. Das auf Ebene des Stadtquartiers beziehungsweise Straßenzuges vorliegende Potenzial wird daraufhin mit weiteren Informationen (unterschiedliche Nutzergruppen, POI, vorhandene Ladeinfrastruktur, Verfügbarkeit von Elektroautos) angereichert und anschließend in ein Gitternetz mit einer Kantenlänge von 250 Metern zerlegt.¹³⁶



Abbildung 25: Grundlegende Vorgehensweise beim Modell STELLA¹³⁷

In Abbildung 25 ist noch einmal die grundlegende Vorgehensweise im Projekt STELLA dargestellt. Bei diesem Modell wird das Ladeinfrastrukturpotenzial mit Daten aus den vier verschiedenen Bereichen ermittelt.

Das „STELLA“-Modell liefert unter anderem als Ergebnis das Potenzial für Ladeinfrastruktur auf Stadtquartiersebene in ganz Deutschland. Darüber hinaus kann durch die Disaggregation der Stadtquartierpotenziale und die Verbindung mit zusätzlichen Informationen ein noch detaillierteres Potenzial in einem kleinen Raster ermittelt werden. Die „STELLA“-Methode erfordert vergleichsweise viele Daten da, beispielsweise auch das Mobilitätsverhalten der Autonutzer, die Nutzerstruktur, die Raumstruktur oder die Verkehrsnetze bei der Berechnung miteinbezogen werden.¹³⁸

2.6.3 „EMiS – Elektromobilität im Stauferland“¹³⁹

Die deutschen Städte Göppingen und Schwäbisch Gmünd haben dieses Projekt mit mehreren Partnern gestartet um mit dem Konzept der „Elektromobilen Quartierstypologie“ eine Abschätzung der Potenziale und Erfordernisse der Elektromobilität nach Quartieren differenziert zu leisten. Bei der Quartierstypologie spricht man von der flächendeckenden Zuordnung der Siedlungsflächen in verschiedene Kategorien (z.B Ein- und Mehrfamilienhäuser, innerstädtischer Bereich etc.), welche im Vorhinein erstellt werden müssen. Die Einteilung erfolgte dabei mit einfachen Kriterien (Anteil der Wohnnutzung, Geschossflächenzahl, Entfernung zum Zentrum etc.), wobei

¹³⁶ Vgl. Brost, W. (2016); Brost, W., <http://www.isb.rwth-aachen.de/cms/ISB/Forschung/Projekte/~mdac/STELLA/> (Zugriff: 06.04.2019)

¹³⁷ Quelle: Brost, W., <http://www.isb.rwth-aachen.de/cms/ISB/Forschung/Projekte/~mdac/STELLA/> (Zugriff: 06.04.2019)

¹³⁸ Vgl. Brost, W., <http://www.isb.rwth-aachen.de/cms/ISB/Forschung/Projekte/~mdac/STELLA/> (Zugriff: 06.04.2019)

¹³⁹ Vgl. Braun, A. et al. (2015)

die verwendeten Geodaten von der Stadt zur Verfügung gestellt wurden. Eine Stadt lässt sich mit diesem System in verschiedene Quartiere einteilen. Für jeden Quartierstyp wurden allgemeine Annahmen gemacht um das Ladeinfrastrukturpotenzial zu ermitteln.

Auszug aus den Annahmen:

- › In Quartieren mit vielen Einfamilienhäusern wird weniger öffentliche Ladeinfrastruktur benötigt, da ein großer Teil der Ladevorgänge auf privaten Stellplätzen stattfindet.
- › Bei vielen Mehrfamilienhäusern kommt es demnach zu hohem Bedarf an öffentlichen Ladestationen
- › In der Innenstadt ist Ladeinfrastruktur in Parkhäusern und Tiefgaragen sinnvoll.

Anschließend wurden Standortvorschläge entwickelt und mit einem Bewertungsschema evaluiert, wobei insbesondere der Faktor „Auslastung“ eine wesentliche Rolle einnimmt.

Folgende Standorte wurden als aussichtsreich eingeschätzt:

- › Kliniken und Ärztezentren
- › Versorgungsstätten mit guter verkehrlicher Anbindung und hohem Verkehrsaufkommen (z.B. Raststationen)
- › Veranstaltungshallen, Kongresszentren, Sportstadien
- › Zentren des Tourismus und der Freizeit (Vergnügungspark, Thermen, besondere Ausflugsziele)
- › Bildungszentren: (Berufs-)Schulen, Hochschulen
- › Knotenpunkte des Öffentlichen Verkehrs (insb. Bahnhöfe)
- › Park & Ride-Parkplätze
- › großflächiger Einzelhandel in Gewerbegebieten (Einkaufszentren, Baumärkte, etc.)
- › Andere Einzelhandelskonzentrationen (z.B. Shopping Malls)

Für die Ermittlung der Auslastung wurden die potenziellen Nutzer in vier Gruppen (Anwohner, Beschäftigte, Besucher, Intermodale) eingeteilt und deren Nutzerpotenziale in verschiedenen Kriterien bewertet.

Die Evaluation der Modellergebnisse erfolgte in einer Multi-Stakeholder-Diskussion und darauf aufbauend wurden 15 Ladestationen in Göppingen installiert.¹⁴²

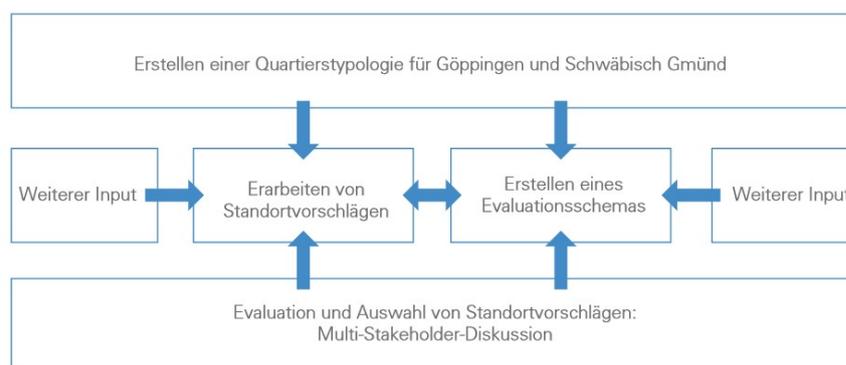


Abbildung 26: Grundlegende Vorgangsweise im Projekt "EMiS"¹⁴³

¹⁴² Vgl. Kumpf, C., <https://www.goepingen.de/start/Wirtschaft/Nachhaltige+Mobilitaet.html> (Zugriff: 29.07.2019)

¹⁴³ Quelle: Braun, A. et al. (2015)

In Abbildung 26 ist noch einmal die grobe Vorgehensweise des Modells dargestellt. Ausgehend von der Quartierstypologie wird mit zusätzlichen Inputs eine Liste von Standortvorschlägen erarbeitet und mit verschiedenen Stakeholdern evaluiert.

Ähnlich dem „SIMONE“-Modell basiert die Methode im Projekt „EMiS“ vor allem auf der Aufteilung der Stadt in Quartierstypen und liefert eine empfohlene Anzahl an Ladepunkten pro Verkehrszeile. Für die einzelnen Quartierstypen wurden allgemeine Einschätzungen zum Ladeinfrastrukturbedarf gemacht und Standorte mit besonderem Potenzial hervorgehoben. Die Analyse der Quartiere in den Teststädten erfolgt über Geodaten und ist somit auch für andere (deutsche) Städte nutzbar, sofern die benötigten Daten verfügbar sind. Die genaue Verortung erfolgt nachgelagert im Zuge einer Multi-Stakeholder-Diskussion.¹⁴⁴

Die vorgestellten Modelle zur Ermittlung von Ladeinfrastrukturpotenzial in Kommunen unterscheiden sich in der Komplexität der Berechnung und der Einfachheit der Bedienung. Während das SIMONE-Modell durch die einfache Handhabung und manuelle Eingabe der Daten eine gute Skalierbarkeit ermöglicht, werden im „STELLA“-Modell eine Vielzahl unterschiedlicher Faktoren und Einflüsse berücksichtigt. Beim Projekt „EMiS“ wurde die Eingabe und Sammlung der Eingaben durch die Verwendung von GIS-Daten und Bebauungsplänen reduziert. Die anschließende Ladeinfrastrukturpotenzialermittlung wurde jedoch einfach gehalten.¹⁴⁵

Im Idealfall verbinden Modelle zur Ermittlung des Ladeinfrastrukturpotenzials die Vorteile der einzelnen vorgestellten Methoden. Eine gute Skalierbarkeit und eine einfache Bedienung sind dabei ebenso wichtig, wie die automatische Bereitstellung von Daten und die Berücksichtigung der wichtigsten Einflüsse und Faktoren. Darüber hinaus sind auch die unterschiedlichen Ladestationen und Standorte, sowie das Ladeverhalten der Elektroautonutzer bei der Berechnung zu beachten.

¹⁴⁴ Vgl. NOW GmbH (2014)

¹⁴⁵ Vgl. NOW GmbH (2014); Brost, W., <http://www.isb.rwth-aachen.de/cms/ISB/Forschung/Projekte/~mdac/STELLA/> (Zugriff: 06.04.2019)

3 Methode zur Ladeinfrastrukturpotenzialermittlung in österreichischen Gemeinden

In diesem Kapitel wird der Entwicklungsprozess und das Ergebnis eines Excel-basierten Modells zur Berechnung des Ladeinfrastrukturbedarfs in österreichischen Gemeinden und Städten beschrieben. Die im Theorieteil diskutierten Trends und Fakten werden bei der Erstellung des Tools berücksichtigt und in die Berechnungen miteinbezogen.

3.1 Einführung

Die Prognose und die Potenzialabschätzung von Ladeinfrastruktur für die kommenden Jahrzehnte ist ein hochkomplexes und ein mit großer Unsicherheit behaftetes Gebiet. Der Markthochlauf der Elektromobilität wird von vielen verschiedenen Faktoren maßgeblich beeinflusst und sollte nur als Prognose verstanden werden. Die damit verbundene Entwicklung der Ladeinfrastruktur und folglich auch die Ergebnisse des vorgestellten Tools sind folglich ähnlich unsicher, können jedoch als zusätzliche Informationsgrundlage für die Strategieentwicklung und Entscheidungsfindung für den Ladeinfrastrukturausbau genutzt werden.

3.1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Ein wissenschaftliches Modell zur Abschätzung der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung, welches für die Ladeinfrastrukturpotenzialermittlung verwendet werden kann, ist meist mit hohen Kosten verbunden, sodass meist nur größere Städte oder Städteverbände auf diese Methode zurückgreifen können. Kleinere Städte oder Verbände kleinerer Kommunen benötigen einfachere Modelle und Berechnungen, um ihren Ladeinfrastrukturbedarf zu ermitteln. Dies kann beispielsweise in Form einer vereinfachten Typisierung des Stadtgebiets nach siedlungsstrukturellen Parametern oder auch mit einer Zielgruppenanalyse anhand einer Marktstudie gemacht werden.¹⁴⁷

Aus diesem Grund hat das in diesem Kapitel vorgestellte Tool das Ziel kleinere Kommunen bei der Ermittlung des Ladeinfrastrukturbedarfes zu unterstützen.

Grundsätzlich wird in dem vorgestellten Modell jede Art von Ladeinfrastruktur berücksichtigt, sodass das Ergebnis sowohl private als auch öffentliche Ladestationen beinhaltet. Mit der Ausnahme von Wien ist jede österreichische Gemeinde im Tool zur Auswahl verfügbar. Wien konnte aufgrund der inkonsistenten Datenverfügbarkeit nicht berücksichtigt werden.

Der Fokus bei der Erstellung des Modells liegt vor allem auf den Anforderungen der privaten Endnutzer, da diese Nutzergruppe am meisten vom Ausbau der Ladeinfrastruktur betroffen ist und auch zahlenmäßig die größte Gruppe repräsentiert.

Die Verortung der berechneten Ladestationen ist nicht Ziel des Tools. Das Ergebnis ist eine Schätzung der zahlenmäßig erforderlichen Ladestationen unter Betrachtung

¹⁴⁷ Vgl. Brandauer, W. et al. (2018)

verschiedener einstellbarer Szenarien. Wie im vorigen Kapitel bereits erläutert wurde, wird zwischen einer nachfrageorientierten und einer strategischen Ladeinfrastrukturausbaustrategie unterschieden. In dem in der Folge beschriebenen Modell wird versucht beide Strategien zu verbinden. Die Berücksichtigung der Wohn- und Parksituation in den Gemeinden soll dabei Einblicke in das nachfrageorientierte Ladeinfrastrukturpotenzial bieten, während die Einbindung der anderen Zielorte dem strategischen Ausbau ähnelt.

149

3.1.2 Vorgehensweise bei der Entwicklung

In der Folge wird kurz beschrieben wie bei der Entwicklung des Excel-Tools und der Zielerreichung vorgegangen wurde.

1. Aufbau Wissen über Elektromobilität, Ladestationen und –infrastruktur
Im Zuge der Recherchetätigkeiten und der Bearbeitung des Theorieteils wurde Wissen über die relevantesten Themengebiete rund um den Ladeinfrastrukturausbau gesammelt.
2. Analyse von Ladeinfrastrukturkonzepten einzelner (vor allem deutscher) Städte(verbünde) und bestehenden Modellen zur Potenzialermittlung
Eine wesentliche Aufgabe bei der Entwicklung des Instruments war die Betrachtung und der Vergleich bereits vorhandener Ladeinfrastruktur- und Elektromobilitätskonzepte einzelner Städte. In Kombination mit der Erstellung eines Ladeinfrastrukturkonzeptes wurde zum Teil auch die Übertragungsfähigkeit auf andere Kommunen diskutiert. Allgemeine Methoden zur Abschätzung des Ladeinfrastrukturbedarfs wurden im Zuge der Recherchetätigkeiten ebenfalls analysiert, wobei das bereits vorgestellte SIMONE-Planungstool am intensivsten betrachtet wurde.
3. Suche nach Datensätzen und Aufbau einer Datenbank
Das entwickelte Tool greift auf eine selbst erstellte Datenbank mit Datenpunkten zu sämtlichen Bezirken und Gemeinden Österreichs zu. Basierend auf den Erkenntnissen in der Analyse der bereits bestehenden Tools wurde im Internet nach Datensätzen auf Gemeindeebene gesucht, welche für die Ermittlung des Ladeinfrastrukturbedarfs geeignet sind. Wurde ein Datensatz nicht auf Gemeindeebene gefunden, wurden die Daten des Bezirkes verwendet und auf die Gemeinden aufgeteilt.
Die für die Berechnungen verwendeten Daten stammen von „Statistik Austria“ der Homepage des „ÖAMTC“ und aus der Mobilitätsstudie „Österreich unterwegs 2013/14“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (Datensätze siehe Anhang). Grundsätzlich wurde versucht möglichst aktuelle Datensätze zu verwenden. Einige Daten waren jedoch nur mit unterschiedlicher Aktualität verfügbar, wurden aber als ausreichend genau eingeschätzt, da die Aussagekraft aus strategischer Sicht nur geringfügig verändert wird

¹⁴⁹ Vgl. Herry Consult GmbH (2016); Statistik Austria, <https://www.statistik.at/atlas/> (Zugriff: 22.08.2019); ÖAMTC, https://maps.oeamtc.at/bin/query.exe/dn?L=vs_oeamtc (Zugriff: 25.08.2019); ÖAMTC, <https://www.oeamtc.at/poi> (Zugriff: 25.08.2019)

Des Weiteren musste eine Prüfung der Konstanz der Datenqualität gemacht werden und die teilweise fehlende Vereinheitlichung der Gemeinamen in den unterschiedlichen Datensätzen berichtigt werden. Die Zusammenlegungen und Neuzuteilungen einzelner Gemeinden in den letzten Jahren wurden überprüft, da Datensätze vor und nach den Umstrukturierungen verwendet wurden.

4. Markthochlauf der Elektromobilität

Für die Ermittlung des Elektroautoanteils in den einzelnen Jahren wurden verschiedene Studien zur Entwicklung des Elektroautoanteils verglichen. Als Basis diente schlussendlich das Szenario der „austriatech“, welches die Erreichung der Ziele der österreichischen Klima- und Energiestrategie „#mission2030“ ermöglicht und bereits im Abschnitt 2.1.2 vorgestellt wurde.¹⁵⁰

Grundsätzlich wurden drei Szenarien erstellt, welche auf dem S-Kurven-Konzept beruhen. Die S-Kurve ist ein Instrument des strategischen Innovationsmanagements und beschreibt den idealtypischen Entwicklungsverlauf einer Technologie angelehnt an den Produktlebenszyklus.¹⁵¹ Da die ermittelten Szenarien den österreichischen Durchschnitt repräsentieren, wurden zur Anpassung des Ergebnisses auf jede einzelne Gemeinde vier Kennzahlen identifiziert mit welchen ein über- oder unterdurchschnittlicher Hochlauf eingestellt werden kann.

5. Einteilung der Ladevorgänge in einzelne Kategorien

Für die Berechnung des Ladeinfrastrukturbedarfs wurde das Tool in vier verschiedene Bereiche aufgeteilt. Die Zuteilung gemäß der EBP AG aus dem Abschnitt 2.3.2 stellte sich als am praktikabelsten heraus.

- > Laden zuhause bzw. in der Nähe des Wohnortes
- > Laden in der Arbeit bzw. in der Nähe des Arbeitsplatzes
- > Laden bei Zieldestinationen bzw. in der Nähe davon
- > Laden unterwegs bzw. Reichweitenverlängerung

6. Ermittlung des Ladesbedarfes

Die Ermittlung des Ladeinfrastrukturbedarfs erfolgte „Bottom-Up“ und berücksichtigte somit keine Ladeinfrastrukturprognosen für ganz Österreich. Ausgangsbasis waren grundsätzlich die Erkenntnisse der Literaturrecherche, wobei vor allem das Modell aus Abbildung 16 im Abschnitt 2.3.2 als Basis für die Bewertung der einzelnen Kategorien verwendet wurde.

7. Optimierung des Tools und Erstellung einer zentralen Eingabemaske

Um einen Einsatz in der Praxis zu ermöglichen wurde eine übersichtliche Eingabemaske erstellt. Die Trennung in einen vereinfachten Modus und einen erweiterten Modus verspricht sowohl gute Bedienbarkeit als auch die Möglichkeit zur Anpassung des Tools.

3.1.3 Aufbau und Verwendung des Tools

Das Nutzerverhalten aktueller Elektroautonutzer, welches im Theorieteil erläutert wurde, zeigte auf, dass ein großer Anteil der Ladevorgänge zuhause erfolgt. Das Laden in der

¹⁵⁰ Vgl. austriatech (2019a)

¹⁵¹ Vgl. Schumann, M. (2003)

Arbeit oder am Zielort wird dazu ergänzend angeboten, ist aber nicht für alle Nutzer notwendig. Das Laden an Schnellladestationen (=Laden unterwegs) wird von vielen Nutzern nur selten genutzt, wird aber zur Reichweitenverlängerung der Elektroautos als unbedingt notwendig betrachtet.

Der Ladeinfrastrukturbedarf kann folglich in Form einer Pyramide, wie in Abbildung 27, visualisiert werden. Die Ladestationen zuhause decken den größten Teil des Ladebedarfes ab und bilden somit die Basis für den Betrieb von Elektroautos. Die nächste Stufe in der Ladeinfrastrukturpyramide ist das Laden bei der Arbeit, welches aufgrund der üblicherweise längeren Stehzeit ebenfalls enormes Potenzial für das Aufladen von Elektroautos bietet. Das Laden an Zielpunkten stellt eine Ergänzung zu den beiden Basisstufen dar und ist für den Erfolg der Elektromobilität wahrscheinlich nicht unbedingt ausschlaggebend. An einigen Standorten, wie Einkaufszentren, Parkhäusern oder Verkehrsverknüpfungspunkten, machen Ladestationen dennoch Sinn und werden von Elektroautonutzern gewünscht. Die (Schnell)Ladestationen werden zwar von den meisten Elektroautofahrern nur selten genutzt, sind aber dennoch unbedingt notwendig, um Langstreckenfahrten zu ermöglichen. Diese Ladestationen sind in der Regel teurer, weshalb eine hohe Auslastungsrate angestrebt wird. Aus diesem Grund werden Schnellladestationen vor allem entlang von vielbefahrenen Straßen, wie Autobahnen, installiert.

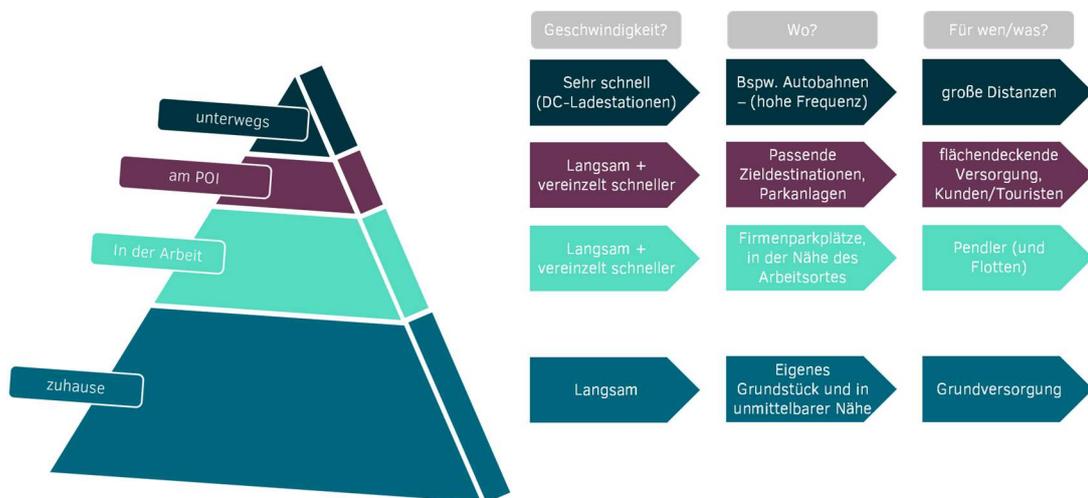


Abbildung 27: Verwendete Logik für Aufbau des Tools¹⁵⁴

Basisinformationen

In den einzelnen Berechnungen wird des Öfteren der Begriff „Bezirksart“ verwendet. In der Studie „Österreich unterwegs 2013/2014“ wurde das Mobilitätsverhalten der Österreicher studiert und ausgewertet. Wesentlicher Teil der Studie war das unterschiedliche Verhalten in den Kategorien „Wien“, „Großstädte ohne Wien“, „zentrale Bezirke“ und „periphere Bezirke“. Im Anhang der Studie ist die Zuweisung jedes österreichischen Bezirkes zu einem dieser fünf Kategorien nachzulesen. Jede

¹⁵⁴ Quelle: in Anlehnung an Economic Development Queensland Department of State Development (2018)

Gemeinde wurde standardmäßig mit der Kategorie des dazugehörigen Bezirkes berechnet.¹⁵⁵

In der Eingabemaske kann diese Zuweisung manuell geändert werden, da sich eine einzelne Gemeinde sehr wohl vom dazugehörigen Bezirk beziehungsweise dessen Durchschnitt unterscheiden kann. Zur Hilfestellung bei der manuellen Einstellung werden beispielsweise die Kennzahlen „Einwohner pro Quadratkilometer Siedlungsraum“, „Einwohner pro Quadratkilometer Dauersiedlungsraum“ und „Anteil Gebäude mit einer oder zwei Wohnungen“ im Vergleich zum Durchschnitt des dazugehörigen Bezirkes und dem Durchschnitt der Gemeinden in der ausgewählten Bezirksart, angezeigt. Passt keine der auswählbaren Bezirksarten, kann durch manuelle Eingabe auch ein Wert zwischen den zwei passendsten Bezirksarten verwendet werden. Diese Eingabe ist nur für die Berechnung des Ladepotenzials bei der Arbeit relevant.

Information zu Darstellungen

In den folgenden Seiten wird unter anderem die Berechnung der Ladepunkte im Tool beschrieben und die Logik in Form von Flussdiagrammen visualisiert. Anschließend werden Ausschnitte des beispielhaft ausgefüllten Tools eingefügt und beschrieben. Eine Legende zu den verschiedenen Symbolen in den Flussdiagrammen wurde bei jeder Visualisierung hinzugefügt.

Neben den Symbolen kommen auch zwei verschiedene Arten an Pfeilen vor.

→ Dieser Pfeil zeigt grundsätzlich nur an, dass eine Information weitergegeben wird. Ist dieser Pfeil alleine zu sehen, wird das Ergebnis nicht verändert. Gehen zwei dieser Pfeile in ein Kästchen werden die Inputs addiert.

Beispiel:

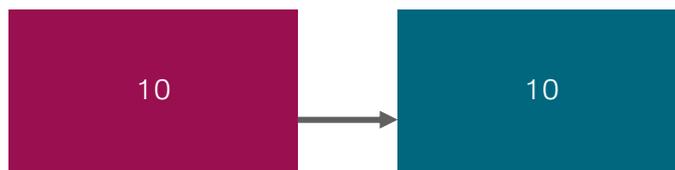


Abbildung 28: Erklärung Flussdiagramme 1

¹⁵⁵ Vgl. Herry Consult GmbH (2016)

➔ Dieser Pfeil zeigt an, dass eine Rechenoperation (nur Multiplikation verwendet) erfolgt oder ein, den Input beeinflussender, Hinweis angezeigt wird.

Beispiel:

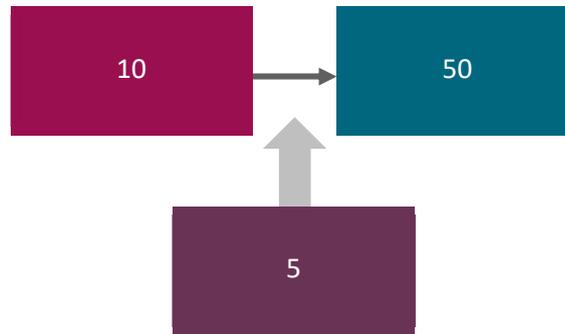


Abbildung 30: Erklärung Flusdiagramme 2

In Abbildung 31 ist die Legende des MS-Excel-Tools zu sehen. Wie zu erkennen ist, wird zwischen Inputfeldern (blau) und Informationsfeldern (grau) unterschieden.

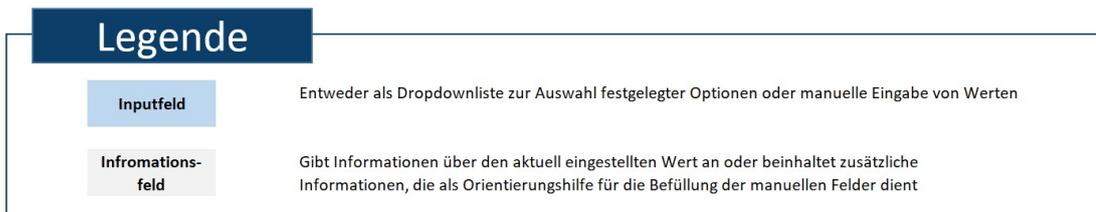


Abbildung 31: Legende im Tool

Im Bereich „Zusatzinformationen“, welcher für jede Kategorie erstellt wurde, sind zudem weitere Erklärungen und Ausfüllhilfen angegeben.

3.2 Bestandsentwicklung von Elektroautos in Österreich

Um das Ladeinfrastrukturpotenzial ermitteln zu können, muss auch der Anteil der Elektroautos am Gesamtbestand prognostiziert werden. Aus diesem Grund wurden auf Basis des Markthochlaufs der „austriatech“ drei Szenarien erstellt. (siehe Abbildung 5) Wie später in Abbildung 31 zu sehen ist, folgen die drei Szenarien dem „S-Kurven“-Markthochlauf, welcher in diesem Fall mit folgender logarithmischen Funktion angenähert wurde:

$$MA_e = \frac{MA_{\max}}{1 + e^{-k \cdot (a - a_{50})}} \quad \text{Formel 1}^{156}$$

„MA_e“ ist dabei der prognostizierte Marktanteil im Jahr „a“, „MA_{max}“ der maximal mögliche Marktanteil im Jahr 2050 und „a₅₀“ ist das Jahr beziehungsweise der Zeitpunkt in welchem 50% des „MA_{max}“ erreicht werden.

¹⁵⁶ Vgl. Brandewinder, M., <https://brandewinder.com/2008/06/08/S-shaped-market-adoption-curve/> (Zugriff: 22.08.2019)

Die konstanten „k“ und „a₅₀“ wurden mit Hilfe zweier manuell festgelegter Eingabedatenkombinationen folgendermaßen ermittelt:

$$k = \frac{\ln\left(\frac{1}{MA_1}-1\right)-\ln\left(\frac{1}{MA_2}-1\right)}{a_2-a_1} \quad \text{Formel 2}^{157}$$

$$a_{50} = \ln\left(\frac{1}{\frac{MA_1-1}{k}} + a_1\right) \quad \text{Formel 3}^{158}$$

„MA₁“ und „MA₂“ sind dabei die gewünschten Marktanteile in den Jahren „a₁“ und „a₂“.

Für die drei Szenarien wurden in der Standardeinstellung folgende Eingabedaten verwendet:

Tabelle 6: Eingabedaten verwendeter Szenarien

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
a₅₀	2037,35	2033,14	2030,00
k	0,26	0,35	0,46
MA_{max}	80%	100%	100%
a₁	2020	2020	2020
MA₁	1%	1%	1%
a₂	2030	2030	2030
MA₂	13%	25%	50%

Die Werte für Szenario 2 wurden manuell angepasst, um möglichst genau den Markthochlauf der „austriatech“ nachzubilden. Verglichen mit den sechs Datenpunkten aus Abbildung 5 kommt es mit der Standardeinstellung zu kleinen Abweichungen. Im Szenario 1 verläuft die Bestandsentwicklung am langsamsten und erreicht maximal 80% bis 2050. Szenario 3 beschreibt hingegen einen sehr schnellen Markthochlauf der Elektroautos in Österreich, sodass bereits 2030 mit einem Marktanteil von 50% gerechnet wird. Die Eingabedaten für Szenario 1 und Szenario 3 wurden manuell festgelegt um einen langsameren und schnelleren Hochlauf nachzubilden.

3.2.1 Individualisierung der Markthochläufe

Der beschriebene Markthochlauf wurde für das Land Österreich im Durchschnitt ermittelt. Es ist jedoch zu erwarten, dass sich vor allem am Anfang manche Gemeinden/Städte etwas schneller oder etwas langsamer als der Durchschnitt entwickeln werden. Folglich werden für einige Gemeinden zusätzliche Berechnungen und ein weiterer Markthochlauf ermittelt. Mit einer Nutzwertanalyse wird jede einzelne Gemeinde in vier Kriterien mit dem österreichischen Durchschnitt des Wertes verglichen und bei einer größeren Abweichung des Gesamtergebnisses vom österreichischen

¹⁵⁷ Vgl. Brandewinder, M., <https://brandewinder.com/2008/06/08/S-shaped-market-adoption-curve/> (Zugriff: 22.08.2019)

¹⁵⁸ Vgl. Brandewinder, M., <https://brandewinder.com/2008/06/08/S-shaped-market-adoption-curve/> (Zugriff: 22.08.2019)

Durchschnitt wird ein zusätzliches Szenario mit einem langsameren oder schnelleren Hochlauf für das ausgewählte Grundszenario ermittelt.

Ausgewählte Kriterien und Gewichtung

Die folgenden Kriterien wurden aufbauend auf die Studie „Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland“ des DLR ausgewählt.¹⁶⁰

Anteil der Bevölkerung mit Hochschul- oder Akademieabschluss

Laut der Studie verfügen Erstnutzer von Elektroautos über einen überdurchschnittlich hohen Bildungsabschluss, weshalb der Anteil der Bevölkerung mit Hochschul- oder Akademieabschluss als sinnvolles Kriterium identifiziert wurde. Die Standardgewichtung wurde mit 10% eingeschätzt.

Durchschnittlicher Jahresbruttobezug ganzjährig beschäftigter Arbeitnehmer

Gemäß der DLR-Studie verfügen Elektroautoerstnutzer über ein hohes Einkommen, weshalb auch der durchschnittliche Jahresbruttobezug ganzjährig beschäftigter Arbeitnehmer als Kriterium verwendet wird. Elektroautos sind aktuell in der Anschaffung teurer als Autos mit Verbrennungsmotoren und somit eher für Besserverdienende zugänglich. Aus diesem Grund wurde die Gewichtung mit 40% angenommen.

Photovoltaikanlagen pro 1000 Einwohner

Erstnutzer von Elektroautos haben eine positive Einstellung gegenüber Umweltthemen und besitzen überdurchschnittlich oft eine eigene Photovoltaikanlage. Die Gewichtung wurde mit 10% angenommen, da erhöhtes Umweltbewusstsein den Besitz einer Photovoltaikanlage nicht voraussetzt.

Anteil an Wohngebäuden mit einer oder zwei Wohnungen

Die meisten privaten Nutzer von Elektroautos laden regelmäßig am Wohnort. Ein eigener Parkplatz mit einer Ladestation ist dafür am besten geeignet. Es wird davon ausgegangen, dass eigene Stellplätze vor allem bei Wohngebäuden mit nur einer Wohnung (Annahme Einfamilienhaus) oder Wohngebäuden mit zwei Wohnungen verfügbar sind und somit das Laden zuhause eher möglich ist. In der Studie „Mobilität in Deutschland 2017“ wurde ermittelt, dass Elektroautos zu 92% auf privaten Stellplätzen stehen. Werden auch Autos mit anderen Antriebsformen berücksichtigt, sinkt dieser Wert auf 75%. Die Annahme, dass ein eigener Stellplatz die Wahrscheinlichkeit für den Besitz eines Elektroautos erhöht, wird somit bestätigt.¹⁶¹ Aus diesem Grund wurde dieses Kriterium mit 40% gewichtet.

Wie in Tabelle 7 zu sehen ist, werden die Werte der ausgewählten Gemeinde mit dem durchschnittlichen Wert Österreichs verglichen und anschließend mit einer einstellbaren Gewichtung zu einer Punktzahl zusammengerechnet. Wenn die Gesamtpunktzahl (Summe der Teilpunkte) um einstellbaren Prozentsatz größer oder kleiner ist als ein (österreichischer Durchschnitt) wird das entsprechende Szenario zusätzlich berechnet.

¹⁶⁰ Vgl. Frenzel, I. et al. (2015)

¹⁶¹ Vgl. infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH (2019)

Liegt die Gesamtpunkteanzahl zwischen der oberen und der unteren Grenze, wird davon ausgegangen, dass der österreichische Durchschnitt für die ausgewählte Gemeinde passt.

Tabelle 7: Exemplarische Nutzwertanalyse Markthochlauf Elektroautos

Kriterium	Wert Gemeinde	Ø Wert Österreich	Vergleich	Gewichtung	Punkteanzahl
Anteil der Bevölkerung mit Hochschul- oder Akademieabschluss	10%	15%	69%	10%	0,07
Durchschnittlicher Jahresbruttobezug ganzjährig beschäftigter Arbeitnehmer	36070€	38626€	93%	40%	0,37
Photovoltaikanlagen pro 1000 Einwohner	6,16	12,55	49%	10%	0,05
Anteil an Wohngebäuden mit einer oder zwei Wohnungen	50%	74%	67%	40%	0,27
Gesamtpunkte					0,76
Obere Grenze für Durchschnitt					1,2
Untere Grenze für Durchschnitt					0,8

In Tabelle 7 wurden exemplarisch die Daten für eine fiktive Gemeinde eingefügt. Da die Gesamtpunkteanzahl unter der unteren Grenze liegt, wird ein unterdurchschnittlichen Markthochlauf angenommen und ein zusätzliches Szenario berechnet. Die Standardeinstellung für die Grenzen liegt bei 1,2 und 0,8. Die Berechnung der individuellen Entwicklungen erfolgt ähnlich den klassischen Szenarien. Nur die Werte MA_1 und MA_2 werden mit einem einstellbaren Faktor multipliziert. Die Standarteinstellung für die Faktoren beträgt 1,2 für den schnelleren und 0,8 für den langsameren Markthochlauf. In der nachfolgenden Abbildung 32 sind die verschiedenen Szenarien für den Markthochlauf der Elektroautos in Österreich zu erkennen.

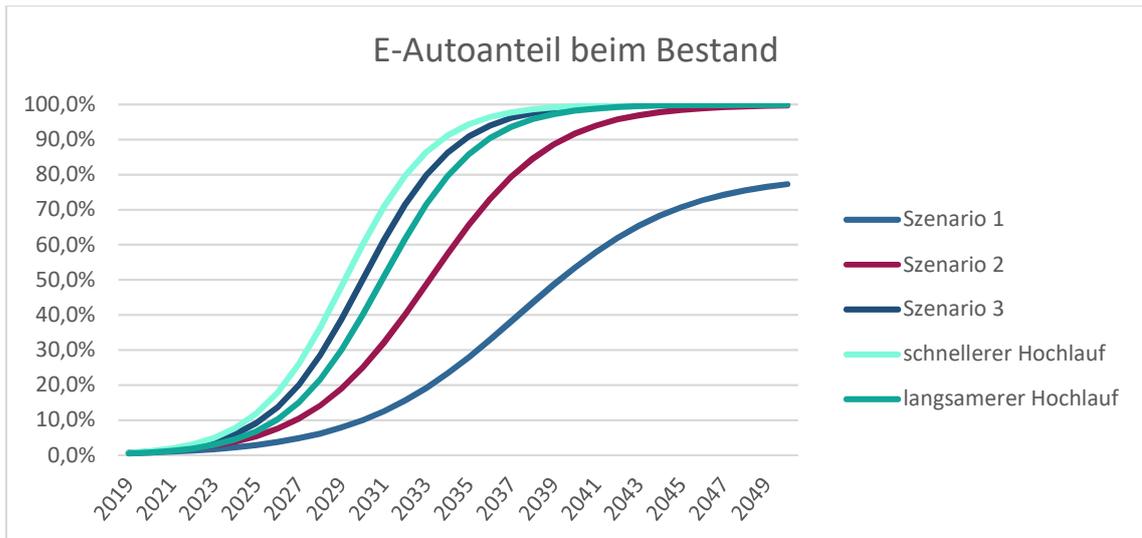


Abbildung 32: Verschiedene Szenarien des Markthochlaufes der Elektromobilität in Österreich

In diesem Fall werden die individuellen Markthochläufe für das Szenario 3 berechnet, da die türkise und die grüne Kurve die dunkelblaue Kurve des Szenarios 3 einhüllen.

3.2.2 Ansicht im Tool „Gemeindeauswahl und Markthochlauf Elektroautos“

In der nachfolgenden Abbildung 33 des Tools in MS-Excel ist links oben der Bereich zur Gemeindeauswahl zu erkennen (Punkt 1). Gestartet wird dabei mit der Auswahl des Bundeslandes, gefolgt von der Auswahl des Bezirkes und schließlich der gewünschten Stadt oder Gemeinde. Als Information werden die Anzahl der Bevölkerung, die geschätzte Anzahl an Pkw und die Anzahl der bestehenden Gebäude darunter angezeigt.

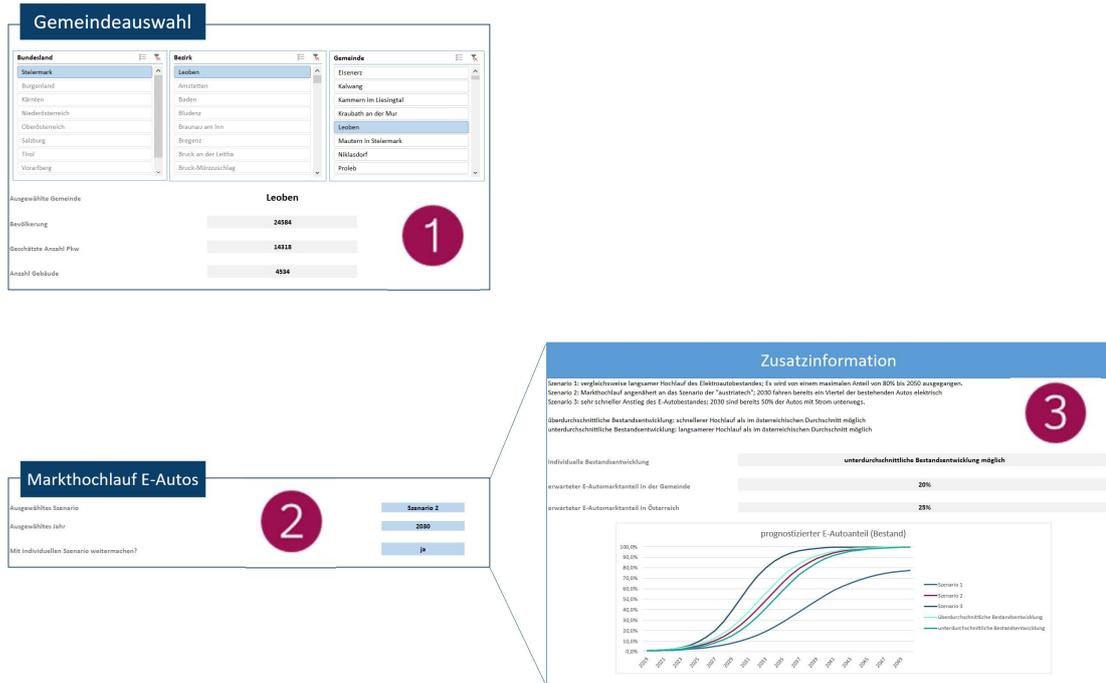


Abbildung 33: Ausschnitt Tool "Gemeindeauswahl und Markthochlauf Elektroautos"

Im linken unteren Bereich sind das Szenario und das Jahr einzustellen (Punkt 2). Zusätzlich kann ausgewählt werden ob mit dem individuellen Szenario weitergerechnet werden soll, falls die Nutzwertanalyse ein Potenzial für eine über- oder unterdurchschnittliche Entwicklung ergibt.

Im Bereich Zusatzinformationen findet man weitere Daten zum Markthochlauf sowie eine Grafik mit den verschiedenen Szenarien (Punkt 3).

3.2.3 Annahmen und Diskussionspunkte bei der Berechnung des Markthochlaufes

- › Der Markthochlauf betrifft nur rein elektrische Fahrzeuge und die Daten für die Berechnung des Hochlaufes wurden angenommen.
- › Der Markthochlauf folgt grundsätzlich dem „S-Kurven“-Konzept beziehungsweise der verwendeten Formel.
- › Der Einfluss der ausgewählten Kriterien für die Individualisierung der Szenarien ist mit einer Unsicherheit behaftet.

3.3 Laden zuhause

Um das Potenzial und die bedarfsgerechte Ladeinfrastruktur für das Laden zuhause ermitteln zu können, werden Daten(sätze) zur Wohnsituation in den Gemeinden und Städten benötigt. Der wesentliche Faktor beim Laden zuhause ist die Verfügbarkeit von Stellplätzen/Parkplätzen, welche mit Ladestationen ausgestattet werden können.

Dies hängt oftmals direkt mit der Wohnsituation und der Größe der Stadt/Gemeinde zusammen. Wird das Auto am eigenen Grundstück (Einfahrt oder Garage) geparkt, kann mit einer hohen Wahrscheinlichkeit eine eigene Lademöglichkeit installiert werden.

Schwieriger ist es natürlich, wenn man keinen fixen Parkplatz und somit keine Möglichkeit für die Installation einer Ladestation hat. In der Regel sind diese Nutzer auf öffentliche Ladestationen in Wohnungsnähe oder auf andere Ladeinfrastruktur angewiesen.

Der Begriff „Wohnung“ wird in der Folge äquivalent zu „Wohneinheiten“ verwendet. Ein Einfamilienhaus (eine Wohneinheit) wird somit ebenfalls als eine Wohnung bezeichnet.

3.3.1 Verwendete Datensätze und Vorgehen bei „Laden zuhause“

Inputs „Laden zuhause“

Anzahl Gebäude

Dieser Eingabewert enthält die Anzahl aller Gebäude in der Gemeinde.

Anteile an Wohngebäuden mit einer, zwei oder drei und mehr Wohnungen

Diese drei Werte beschreiben die Anteile der drei Wohngebäudearten an der Gesamtanzahl der Gebäude. Dieser Datensatz ist für die Berechnung der Anzahl der Wohngebäude in den drei Kategorien notwendig und wird dafür mit der Anzahl der Gebäude multipliziert.

Anzahl an Wohnungen je Wohngebäude

Dieser Wert muss für Wohngebäude mit drei oder mehr Wohnungen ermittelt werden.

Bei Wohngebäuden mit einer Wohnung oder zwei Wohnungen wird für die Berechnung der durchschnittlichen Wohnungsanzahl pro Wohngebäude eins (für Gebäude mit einer Wohnung) beziehungsweise zwei (für Gebäude mit zwei Wohnungen) verwendet. Für Wohngebäude mit drei oder mehr Wohnungen wird folgende Formel verwendet:

$$\begin{aligned} & \text{Durchschn. Anz. an WHG pro WG } (\geq 3 \text{ WHG}) \\ & = \frac{\text{Anz. WHG in der Gemeinde} - \text{Anz. WG (1 WHG)} * 1 - \text{Anz. WG (2 WHG)} * 2}{\text{Anz. WG } (\geq 3 \text{ WHG})} \end{aligned} \quad \text{Formel 4}$$

„WHG“ steht hierbei für „Wohnung(en)“ und „WG“ für „Wohngebäude“.

Pkw pro Wohnung

Verhältnis von (geschätzter) Anzahl an Pkw in der Gemeinde zur Anzahl an Wohnungen in der Gemeinde. Dieser Datensatz zur Pkw-Anzahl pro Gemeinde war auf Gemeindeebene nicht verfügbar, weshalb der Motorisierungsgrad (Pkw/Einwohner) des dazugehörigen Bezirkes mit der Bevölkerungsanzahl der Gemeinde multipliziert wurde. Der Motorisierungsgrad wurde von Statistik Austria übernommen und in die Datenbank des Tools eingefügt.¹⁶⁴

¹⁶⁴ Vgl. Statistik Austria, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (Zugriff: 03.08.2019)

Elektroautoanteil

Der Elektroautoanteil wird je nach Einstellung in der Eingabemaske aus der Markthochlaufberechnung übernommen.

Stellplätze pro Auto beim Gebäude

Damit wird berücksichtigt, wie viele Autos der Wohnungsbesitzer einen fixen Stellplatz beim Wohngebäude haben. Als maximale Stellplatzanzahl pro Auto wurde „1“ festgelegt, da angenommen wird, dass auf privaten Stellplätzen nicht mehr Ladepunkte installiert als Elektroautos geparkt werden. Wie in Abbildung 34 zu sehen ist, steigt die Wahrscheinlichkeit für einen eigenen Stellplatz mit der Ländlichkeit des Bezirkes.

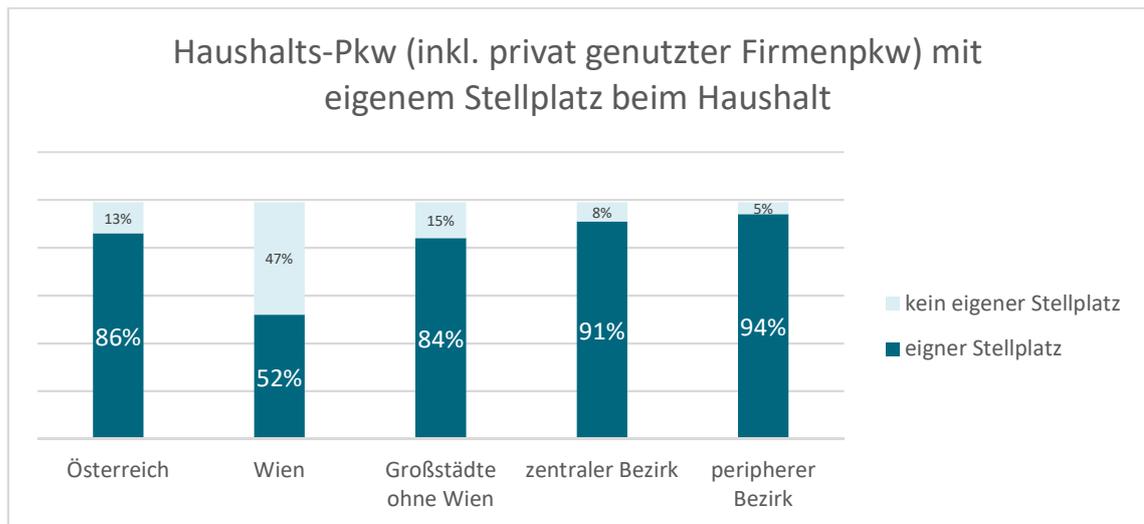


Abbildung 34: Eigene Stellplätze privater Pkw je nach Bezirksart (2013/2014)¹⁶⁵

Es wird davon ausgegangen, dass der Anteil an Wohnungen in Wohngebäuden mit einer oder zwei Wohnungen in ländlicheren Gemeinden höher und somit oft ein eigener Stellplatz verfügbar ist. Nur in Wien besitzen relativ viele Pkw-Besitzer keinen eigenen Stellplatz. Aufgrund der zu erwartenden Unterschiede wird dieser Wert manuell eingegeben, jedoch kann Abbildung 34 als Orientierungshilfe dienen.

Ladefähige Stellplätze

Es ist davon auszugehen, dass nicht jeder Stellplatz mit einer Lademöglichkeit ausgestattet werden kann. Wie in der Grafik 35 erkennbar ist, gibt es vor allem bei Parkplätzen bei Wohngebäuden mit mehreren Wohnungen nur eine beschränkte Möglichkeit Ladestationen zu installieren.

¹⁶⁵ Quelle: Herry Consult GmbH (2016) (leicht modifiziert)

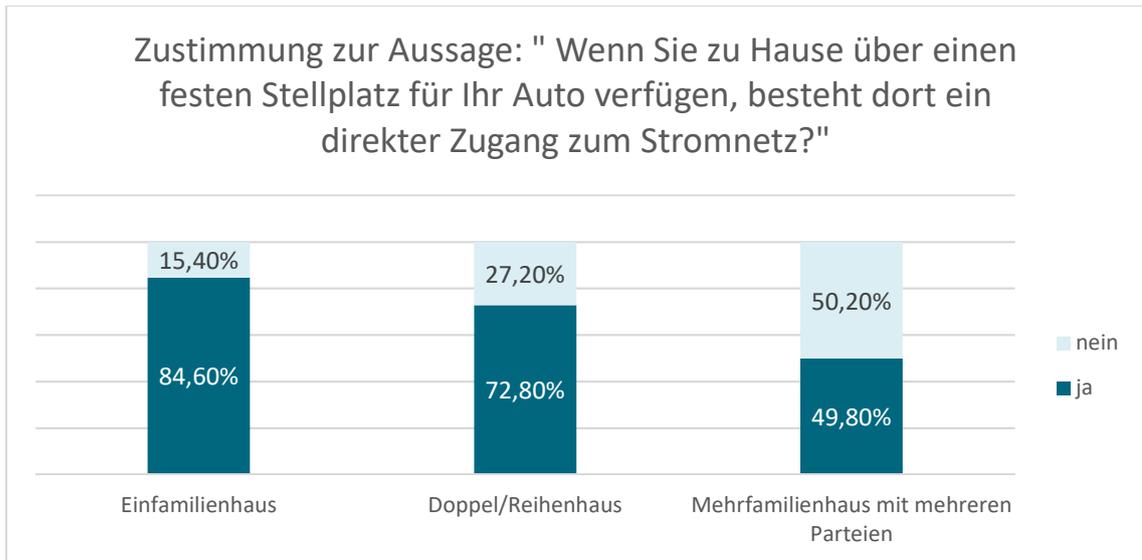


Abbildung 35: Stromnetzanschluss bei eigenem Stellplatz je nach Gebäudeart¹⁶⁶

Dieser Faktor ist dennoch manuell einzugeben, da durch die gesteigerte Präsenz der Elektromobilität die Elektroautobesitzer bereit sein könnten, nachträglich einen Stromnetzzugang hinzuzufügen. Auch hier können Werte aus Abbildung 35 als Orientierung beim Ausfüllen der Eingabemaske verwendet werden.

Flussdiagramm für „Laden zuhause“

In Abbildung 36 ist das Flussdiagramm für das Laden zuhause zu erkennen. Diese Berechnung wird grundsätzlich für jede der drei Wohngebäudearten durchgeführt und deren Ergebnisse zu einem Gesamtergebnis addiert. Wie in der Legende ersichtlich ist, wird zwischen zwei Arten von Inputgrößen unterschieden. Die automatischen Inputdaten (Rot) stammen aus der hinterlegten Datenbank, während die manuellen Inputdaten (violett) manuell in der Inputmaske eingetragen werden müssen.

¹⁶⁶ Quelle: Bozem, K. et al. (2013), S.53 (leicht modifiziert)

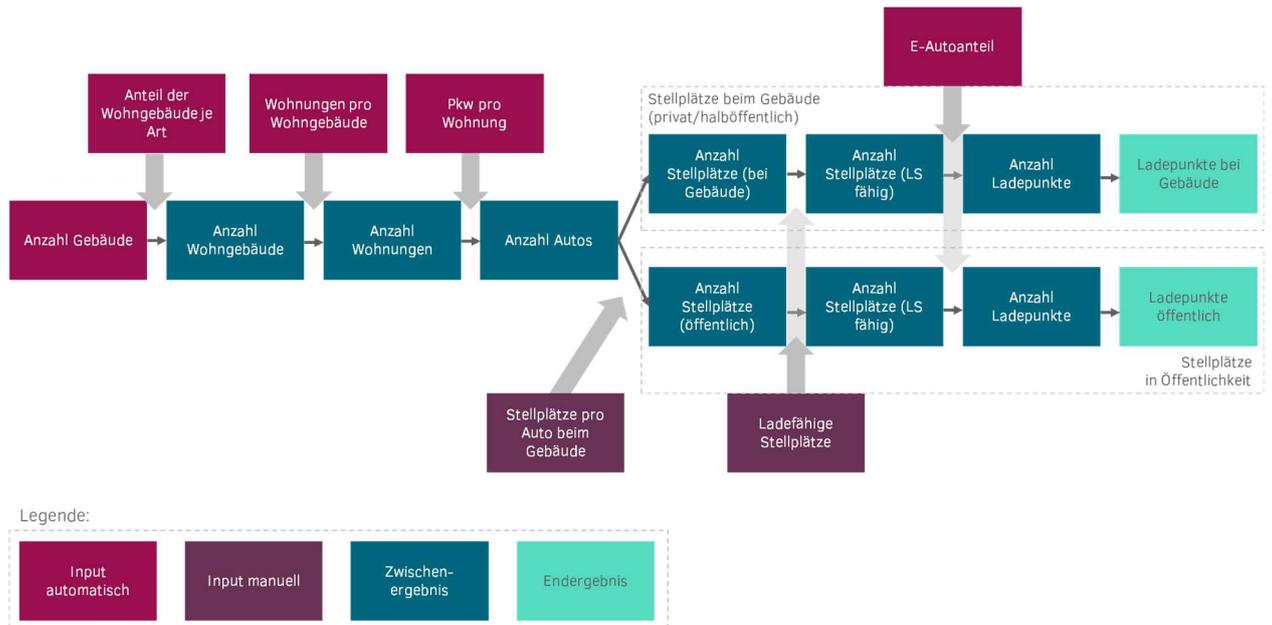


Abbildung 36: Flussdiagramm „Laden zuhause“

Zuerst wird die Anzahl der Wohngebäude in jeder der drei Kategorien berechnet indem die Anzahl der Gebäude in der Gemeinde mit dem jeweiligen Anteil an Wohngebäuden multipliziert wird. Anschließend wird die Anzahl an Wohnungen in jeder der drei Wohngebäudekategorien berechnet. Dazu wird die Anzahl der jeweiligen Wohngebäude mit der durchschnittlichen Anzahl an Wohnungen pro Wohngebäudeart multipliziert.

Es wird davon ausgegangen, dass jedes Auto einen Stellplatz besitzt und jedes Elektroauto einen Ladepunkt in der Nähe des Wohngebäudes erhält. Der Stellplatz oder der Ladepunkt befindet sich entweder auf privatem Grund (Annahme bei Wohngebäuden mit einer oder zwei Wohnungen), halböffentlichen Grund (Annahme bei Wohngebäuden mit drei oder mehr Wohnungen) oder auf öffentlichen Grund (Annahme, wenn kein Stellplatz beim Wohngebäude verfügbar ist). Die berechneten Ladepunkten werden aus diesem Grund ebenfalls in private, halböffentliche und öffentliche Ladepunkte unterteilt.

3.3.2 Ansicht im Tool „Laden zuhause“

In den nachfolgenden zwei Abbildungen 37 und 38 sind der Input- und der Ergebnisbereich der Kategorie „Laden zuhause“ im MS-Excel-Tool zu erkennen.

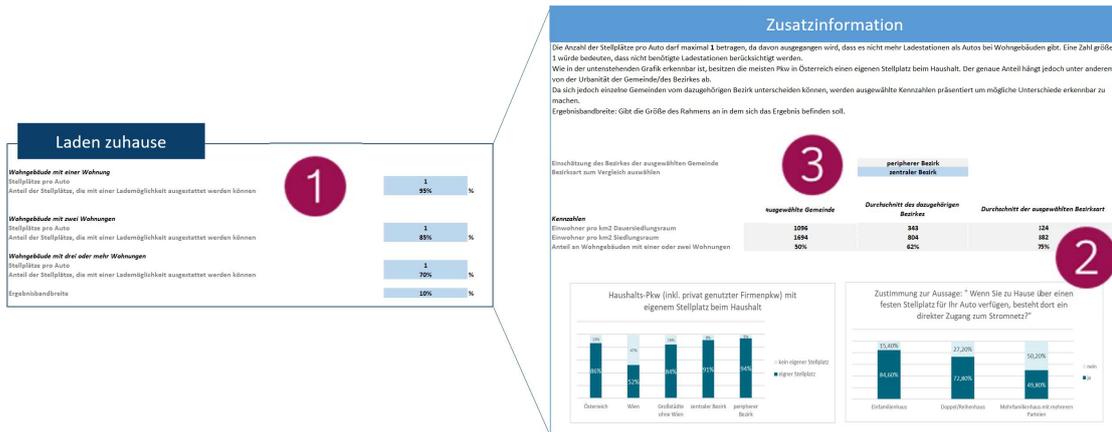


Abbildung 37: Ausschnitt Tool Input "Laden zuhause"

In linken Eingabebereich sind die Anzahl der Stellplätze je Wohnungsgebäudeart und jeweils der Anteil der Stellplätze, die mit einer Lademöglichkeit ausgestattet werden können, einzutragen. Zusätzlich kann noch die Ergebnisbandbreite eingestellt werden. (Punkt 1). Als Zusatzinformation sind neben den Abbildungen 34 und 35 auch die Werte der Kennzahlen „Einwohner pro km² Dauersiedlungsraum“, „Einwohner pro km² Siedlungsraum“ und „Anteil an Wohngebäuden mit einer oder zwei Wohnungen“ zu sehen. Diese werden mit den Durchschnittswerten des dazugehörigen Bezirkes und der ausgewählten Bezirksart verglichen (Punkt 2). Die in der Studie „Österreich unterwegs 2013/2014“ ermittelte Bezirksart wird als Information beim Punkt 3 angezeigt. Es kann jedoch auch eine andere Bezirksart ausgewählt werden. In Abbildung 38 sind die Ergebnisse für die Kategorie „Laden zuhause“ zu sehen.

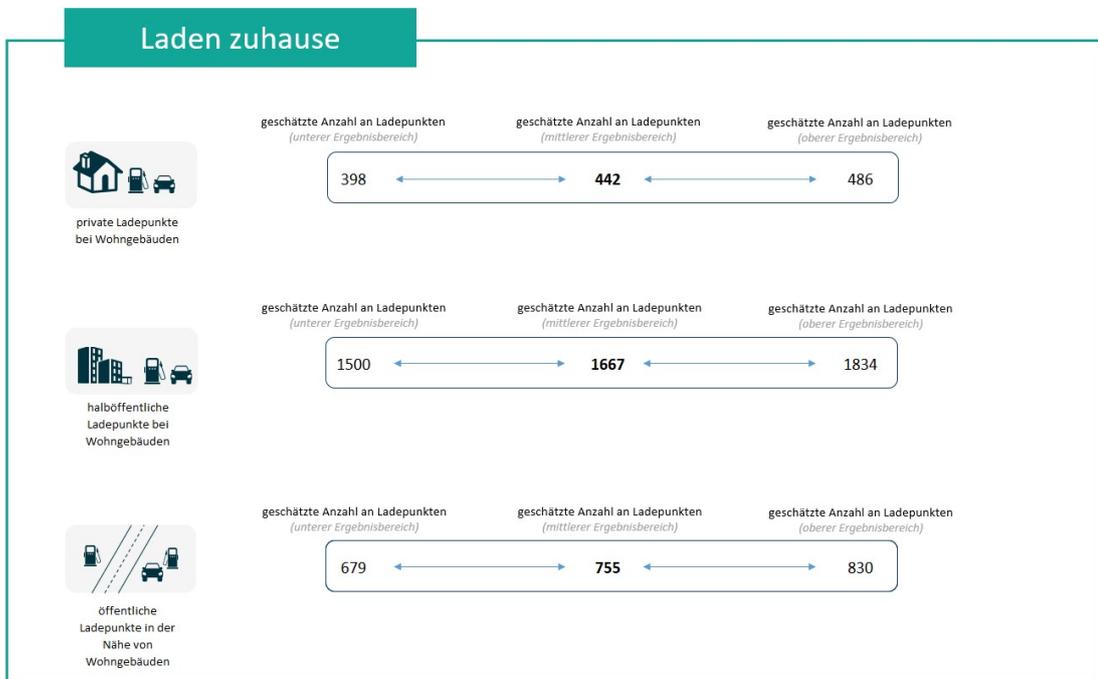


Abbildung 38: Ausschnitt Tool Ergebnisse "Laden zuhause"

Wie zu erkennen ist, gibt es hier die Unterteilung in „private Ladepunkte bei Wohngebäuden“, „halböffentliche Ladepunkte bei Wohngebäuden“ und „öffentliche

Ladepunkte in der Nähe von Wohngebäuden“. Mit der eingestellten Ergebnisbandbreite wird zusätzlich ein unterer und ein oberer Ergebnisbereich berechnet, indem das berechnete mittlere Ergebnis um den eingestellten Prozentsatz erhöht beziehungsweise verringert wird. Diese Berechnung wird in den anderen Bereichen äquivalent durchgeführt.

3.3.3 Annahmen und Diskussionspunkte für „Laden zuhause“

- › Wohngebäude für Gemeinschaften, welche in der Datenbank der Statistik Austria gesondert angeführt werden, werden bei der Berechnung nicht berücksichtigt, da sie mit vielen Unsicherheiten verbunden sind und meist nur einen geringen Anteil ausmachen.
- › Beim Ergebnis der öffentlichen Ladepunkte wird davon ausgegangen, dass jeder Elektroautofahrer in der Nähe seines Zuhauses aufladen wird. Es ist davon auszugehen, dass vor allem die E-Autobesitzer ohne private Parkmöglichkeit teilweise gar nicht in Wohnungsnähe aufladen werden, da sie entweder das Auto in einer externen Parkanlage abstellen (und laden) oder Lademöglichkeiten in der Arbeit, bei Zieldestinationen oder an Schnellladestationen nutzen.
- › Der Motorisierungsgrad des gesamten Bezirkes wird für jede Gemeinde des Bezirkes verwendet und somit Unterschiede zwischen den Gemeinden nicht berücksichtigt.

3.4 „Laden in der Arbeit“

3.4.1 Verwendete Datensätze und Vorgehen bei „Laden bei der Arbeit“

Neben dem Laden zuhause wurde auch das Laden am Arbeitsplatz als sinnvoll identifiziert, da es auch hier meist zu längeren Stehzeiten des Autos kommt.

Entscheidend für die Ermittlung des Ladeinfrastrukturpotenzials ist dabei der Anteil an Einpendler, die mit dem Auto zur Arbeitsstätte fahren, deren Fahrdistanz und die Parksituation am Arbeitsplatz. Befindet sich der Arbeitsplatz in der unmittelbaren Nähe des Wohnortes (beispielsweise in der gleichen Gemeinde/Stadt) ist nicht unbedingt eine Lademöglichkeit notwendig. Auch wenn gleichzeitig keine private Lademöglichkeit vorhanden ist, wird davon ausgegangen, dass eine eigene Ladestation am Arbeitsort keinen Sinn macht, da entweder an anderen Zielorten oder an Schnellladestationen geladen werden könnte. Alternativ besteht die Möglichkeit, dass der Arbeitgeber zusätzlich weitere Ladestationen für elektrische Firmenfahrzeuge bereitstellt, welche in Ausnahmefällen auch von den Beschäftigten genutzt werden können. Ein weiterer Faktor ist die Qualität der zum Auto konkurrierenden Verkehrsmittel für die Fahrt zur Arbeit. Verfügt eine Gemeinde/Stadt über eine sehr gute regionale öffentliche Verkehrsanbindung ist zu erwarten, dass tendenziell weniger Arbeiter mit dem Auto in die Arbeit kommen.

Inputs „Laden bei der Arbeit“

Einpendler

Es wird angenommen, dass nur Einpendler einen Bedarf an Ladestationen in der Arbeit haben, da Binnenpendler meist eine nur sehr kurze Anreise zum Arbeitsplatz haben und somit nicht auf ein regelmäßiges Aufladen während der Arbeit angewiesen sind.

Anteil des motorisierten Individualverkehrs in der Gemeinde (MIV-Anteil Gemeinde)

Es wird davon ausgegangen, dass Einpendler nicht nur mit dem Auto in die Arbeit kommen, sondern auch andere Verkehrsmittel nutzen. Im Tool gibt es zwei Varianten diesen Wert zu ermitteln. Im ersten Fall wird vom durchschnittlichen MIV-Anteil an Fahrten in die Arbeit in der ausgewählten Bezirksart ausgegangen und mit einem manuell einstellbaren Faktor zur Qualität der öffentlichen Verkehrsanbindung an die Gemeinde angepasst. Es wird angenommen, dass eine hohe Qualität des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) den MIV-Anteil senkt und umgekehrt. Es gibt sechs verschiedene Stufen (sehr gut bis sehr schlecht)

Bei der Einstellung „durchschnittlich“ wird der durchschnittliche Wert je Bezirksart verwendet. Die Werte für die sechs Stufen können manuell geändert werden (erweiterter Modus). In der zweiten Variante kann man den MIV-Anteil in der Gemeinde direkt manuell einstellen.

Elektroautoanteil

Der Elektroautoanteil wird je nach Einstellung in der Eingabemaske aus der Markthochlaufberechnung übernommen.

Gleichzeitigkeitsfaktor

Es wird davon ausgegangen, dass in der Realität nicht alle Einpendler gleichzeitig in der Arbeit sind (Beispiel Schichtbetrieb). Über die Einstellung des Gleichzeitigkeitsfaktors kann dies berücksichtigt werden. Wird der Wert „1“ eingestellt, wird angenommen, dass alle Einpendler zur selben Zeit in die Arbeit fahren und der Ladebedarf dementsprechend höher.

Anteil Einpendler mit laderelevanter Anreise

Es wird angenommen, dass es auch Einpendler gibt, welche nur einen sehr kurzen Weg in die Arbeit haben (ähnlich Binnenpendler) und folglich nicht unbedingt am Arbeitsort aufladen werden. Aus diesem Grund wird der Anteil an Einpendlern mit laderelevanter Anreise ermittelt. Auch bei dieser Einstellung gibt es zwei Varianten, wobei in der zweiten Variante wieder direkt manuell der entsprechende Wert eingetragen werden kann. In der anderen Methode wird zuerst festgelegt, ob eine Anreisedistanz von mindestens 20 Kilometer oder 50 Kilometer als laderelevant gilt. Es wird davon ausgegangen, dass bei Anreisedistanzen unter 20 Kilometer kein Ladebedarf entsteht. Mit der Einstellung ob eine Anreise bereits ab 20 Kilometer oder erst ab 50 Kilometer einen Ladebedarf verursacht, kann zusätzlich indirekt der Ladeinfrastrukturbedarf beeinflusst werden. Anschließend wird der Anteil der Einpendler, welche mindestens die ausgewählte Distanz für die Fahrt in die Arbeit zurücklegen müssen, in Abhängigkeit von der

Bezirksart (siehe „Österreich unterwegs 2013/2014), gesucht. Dieser Wert kann außerdem mit dem Faktor „Anteil an Einpendlern von weiter weg“ noch manuell an die Gemeinde angepasst werden. Es gibt sechs verschiedene Stufen (sehr hoch bis sehr niedrig). Bei der Einstellung „durchschnittlich“ wird der durchschnittliche Wert je Bezirksart verwendet. Die Werte für die sechs Stufen können manuell geändert werden (erweiterter Modus).

Parkplätze bei der Arbeit

Ähnlich wie beim Laden zuhause wird davon ausgegangen, dass nicht jeder Mitarbeiter unbedingt einen Parkplatz von seinem Arbeitgeber zur Verfügung gestellt bekommt. Mit diesem Faktor können die benötigten Ladepunkte am Arbeitsplatz und die benötigten öffentlichen Ladepunkte berechnet werden.

Flussdiagramm „Laden in der Arbeit“

In Abbildung 39 wird das Vorgehen bei der Berechnung der Anzahl der Ladepunkte in Form eines Flussdiagrammes dargestellt. Über den prozentuellen Eingabefaktor „Parkplätze bei der Arbeit“ wird ausgehend von der Anzahl an Stellplätzen bei der Arbeitsstätte der Bedarf an öffentlichen Stellplätzen ermittelt. Wie im Flussdiagramm zu sehen ist, gibt es für den MIV-Anteil der Gemeinde und für den Anteil der Einpendler mit laderelevanter Anreise zwei verschiedene Möglichkeiten den entsprechenden Wert einzugeben.

Beim Anteil der Einpendler mit laderelevanter Anreise gibt es zudem die Auswahl ob eine Anreise als laderelevant ab einer Distanz von 20 km oder erst einer Anreise von 50 km gilt.

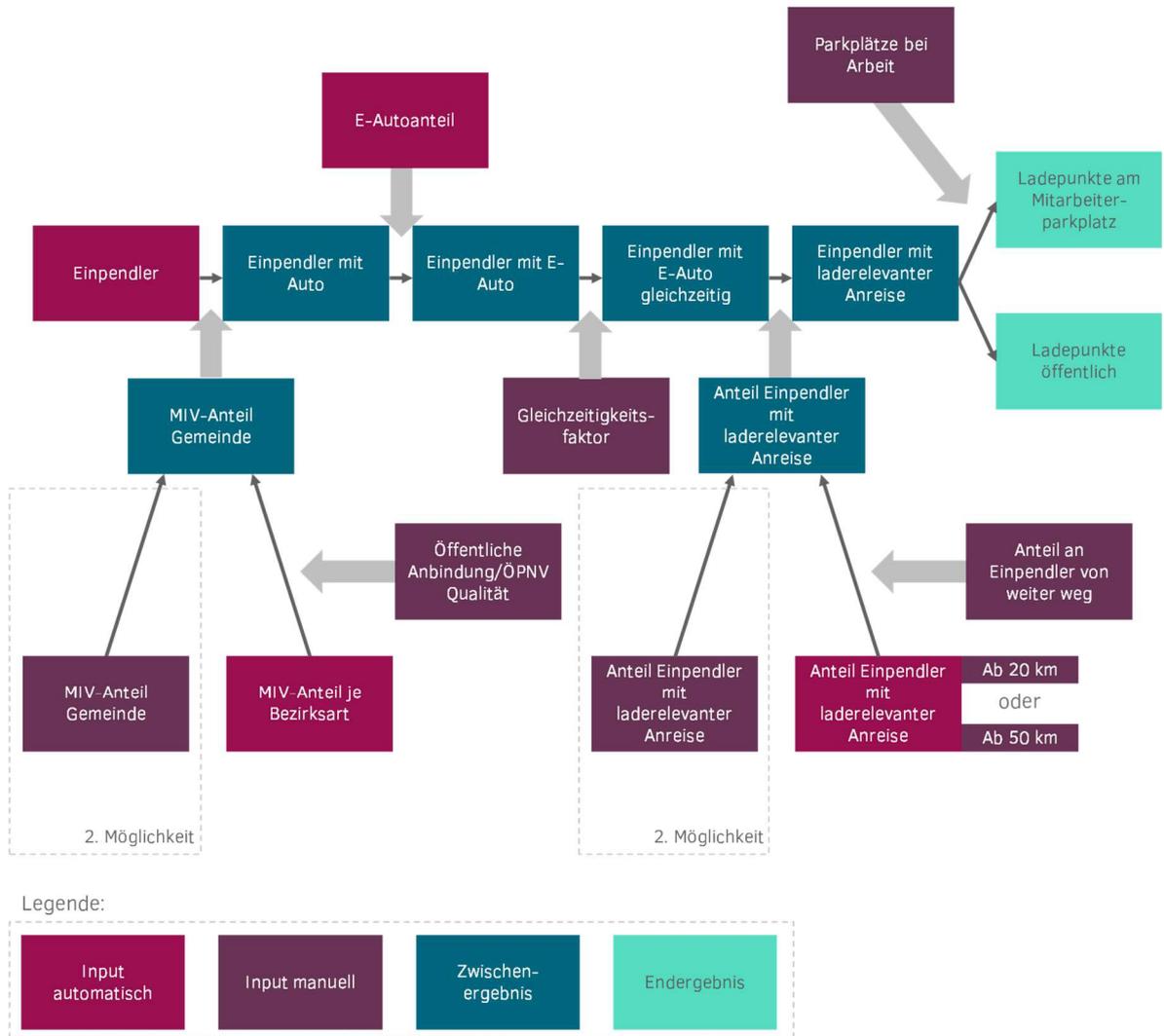


Abbildung 39: „Flussdiagramm Laden in der Arbeit“

Das Ergebnis wird in Anzahl der benötigten Ladepunkte bei der Arbeitsstätte und in Anzahl der benötigten öffentlichen Ladepunkte, welche notwendig sind um jeden Einpender mit relevanter Anreisedistanz mit einer eigenen Lademöglichkeit zu versorgen, ausgegeben.

3.4.2 Ansicht im Tool „Laden in der Arbeit“

In den beiden nachfolgenden Abbildungen 40 und 41 sind der Input- und der Ergebnisbereich der Kategorie „Laden in der Arbeit“ im MS-Excel-Tool zu erkennen.

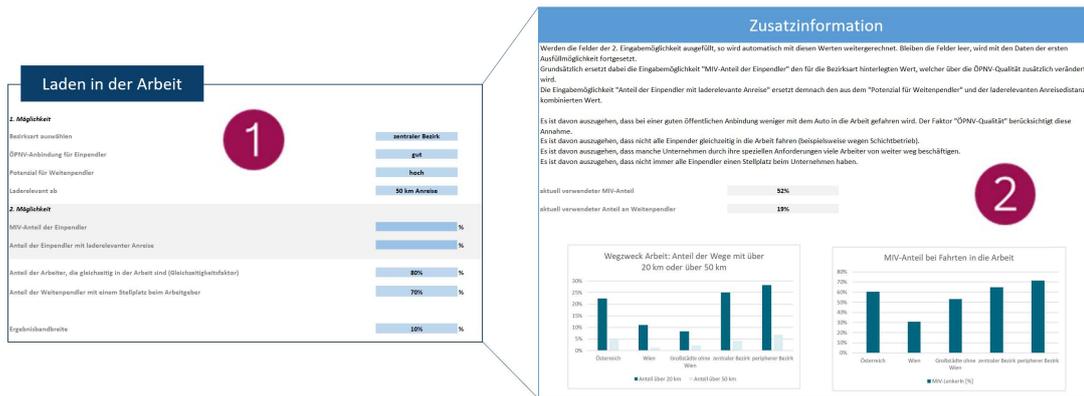


Abbildung 40: Ausschnitt Tool Input "Laden in der Arbeit"

Im Inputbereich können entweder Einschätzungen zur Bezirksart, der ÖPNV-Anbindung für Einpendler und des Potentials für Weitenpendler angegeben werden oder direkt der MIV-Anteil der Einpendler und der Anteil der Weitenpendler eingetragen werden. Darüber hinaus muss bestimmt werden welcher Anteil der Einpendler gleichzeitig arbeitet und wie groß der Anteil der Einpendler mit laderelevanter Anreisedistanz (Weitenpendler) und fixem Stellplatz bei der Arbeit ist (Punkt 1). Als Zusatzinformationen werden in diesem Bereich unter anderem Ergebnisse der Studie „Österreich unterwegs 2013/2014“ mit Bezug zum Wegzweck „Arbeit“ dargestellt. Darüber hinaus wird der aktuell verwendete MIV-Anteil und der Anteil an Weitenpendlern als Information angezeigt (Punkt 2). In Abbildung 41 sind die Ergebnisse des Bereiches „Laden in der Arbeit“ zu erkennen.

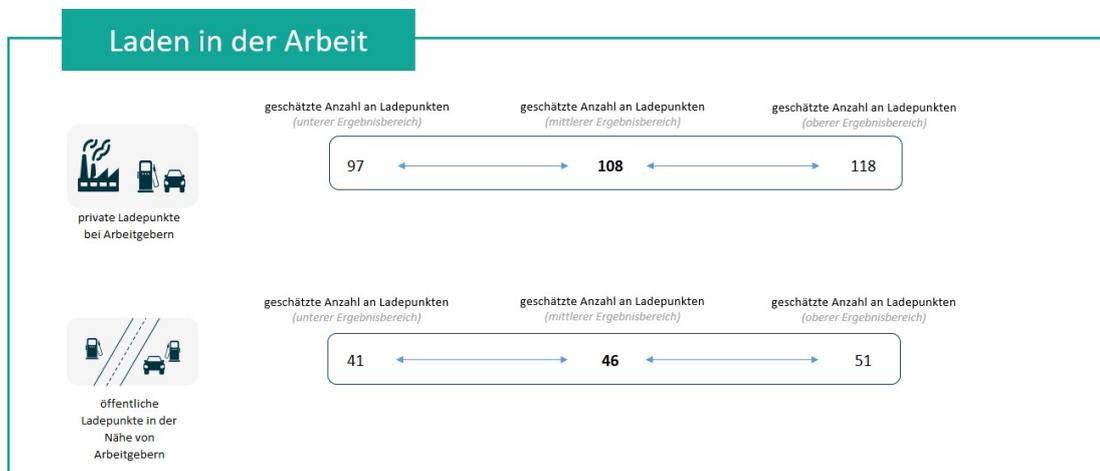


Abbildung 41: Ausschnitt Tool Ergebnisse "Laden in der Arbeit"

In diesem Fall wird zwischen Ladepunkten direkt beim Arbeitgeber und öffentlichen Ladepunkten in der Nähe des Arbeitgebers unterschieden. Das Ergebnis wird wieder in einem einstellbaren Ergebnisbereich ermittelt.

3.4.3 Annahmen und Diskussionspunkte für „Laden in der Arbeit“

- › Die Ladeinfrastruktur für elektrische Firmenfahrzeuge wird in der Berechnung nicht berücksichtigt. Es ist anzunehmen, dass ein Teil der Firmenfahrzeuge von

Mitarbeitern privat genutzt wird beziehungsweise die Option besteht, die am Arbeitsort verbleibenden Fahrzeuge, nachts an den Ladestationen der Mitarbeiter aufzuladen.

- › In Unternehmen mit höheren Besucheraufkommen (beispielsweise im tertiären Sektor) fällt in der Regel auch ein zusätzlicher Bedarf an Ladestationen für Gäste an (im Detail im nächsten Abschnitt „Laden an anderen Zielorten (POI)“). Die gemeinsame Verwendung der Ladeinfrastruktur und wird in diesem Fall nicht berücksichtigt und getrennt betrachtet. Bei Unternehmen mit niedrigem Besucheraufkommen wird keine zusätzliche Ladeinfrastruktur angenommen.
- › Es wird angenommen, dass der MIV-Anteil über alle Anreisedistanzen hinweg konstant ist.
- › Arbeiter mit Elektroauto bekommen nicht eher einen Stellplatz am Firmengelände als Arbeiter mit anders angetriebenen Fahrzeugen. Eine mögliche Bevorzugung von Elektroautofahrern bei der Bereitstellung von Parkplätzen am Firmengelände ist von den jeweiligen Unternehmen abhängig und kann aufgrund dieser Unsicherheit nicht berücksichtigt werden.
- › Personen, die sich in Ausbildung befinden (Schüler, Studenten) und mit dem Auto zum Ausbildungsort fahren, werden nicht berücksichtigt.

3.5 „Laden an anderen Zielorten (POI)“

Neben dem eigenen Zuhause und der Arbeit gibt es natürlich auch andere Zielorte oder sogenannte „Points of Interest“ (POI) an denen ein Ladebedarf entstehen kann. Vor allem bei längerer Stehzeit und Anreise kann eine Ladestation beim Zielort oder in der Nähe des Zielortes zum (Zwischen)-Laden verwendet werden. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit Schnellladestationen an „Points of Interest“ bereitzustellen, jedoch wir davon ausgegangen, dass bei den meisten Zielorten lange genug geparkt wird um auch mit weniger Ladeleistung ausreichend Energie aufnehmen zu können.

Wie in der Abbildung 42 zu sehen ist, wurde für die Berechnung zwischen „spezifischen“ und „unspezifischen“ POI unterschieden. Bei den spezifischen „Points of Interest“ handelt es sich um Zielorte mit eigener Parkmöglichkeit. Unspezifische „Points of Interest“ sind dagegen nur Zwischenziele, bei denen auf ein anderes Fortbewegungsmittel gewechselt wird. Dazu zählen auch öffentliche Parkplätze, die eine weitere Fortbewegung zu Fuß erfordern. Auch öffentliche Parkplätze neben dem eigentlichen Ziel zählen zu dieser Kategorie.

Parkanlagen und -häuser, welche extra für einen „Point of Interest“ bereitgestellt werden, sind demnach trotzdem den spezifischen POI zuzurechnen.

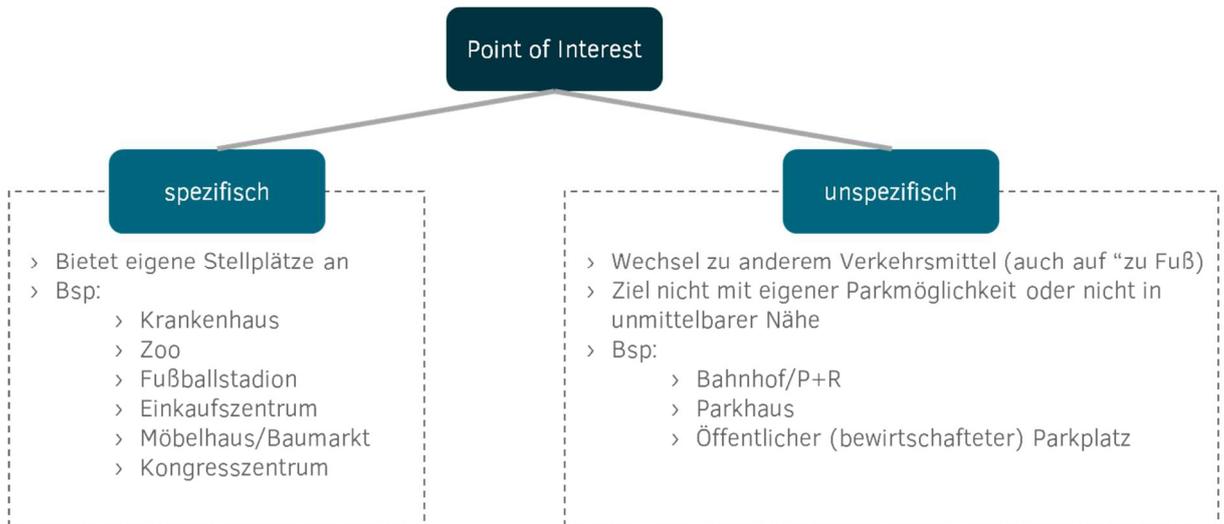


Abbildung 42: Unterteilung der „Points of Interest“

Das Vorgehen in den beiden Kategorien wird in den Abbildungen 44 und 45 dargestellt. Die Eingabe der „Points of Interest“ erfordert im Vergleich zu den anderen Bereichen mehr manuelle Eingaben, da keine aussagekräftigen Datensätze zur Verfügung stehen. Wie bereits erwähnt wurde, muss zwischen Parkanlagen für einen „Point of Interest“ und allgemeinen (öffentlichen) Parkanlagen unterschieden werden. Ein Parkhaus eines Krankenhauses ist beispielsweise Teil der spezifischen POI.

3.5.1 Verwendete Datensätze und Vorgehen bei spezifischen POI

Inputs spezifischer POI

„Points of Interest“

Als Point of Interest bezeichnet man in der Regel Orte mit einer besonderen Bedeutung und erhöhter Besucherfrequenz. Für potenzielle Ladevorgänge eignen sich im Speziellen „Points of Interest“, an welchen eine lange Verweildauer oder eine lange Anreise erforderlich ist. In Abbildung 43 ist eine Auflistung der in Deutschland häufigsten „Verweilplätze“ zu sehen, wobei die Häufigkeit von links nach rechts und von oben nach unten abnimmt.

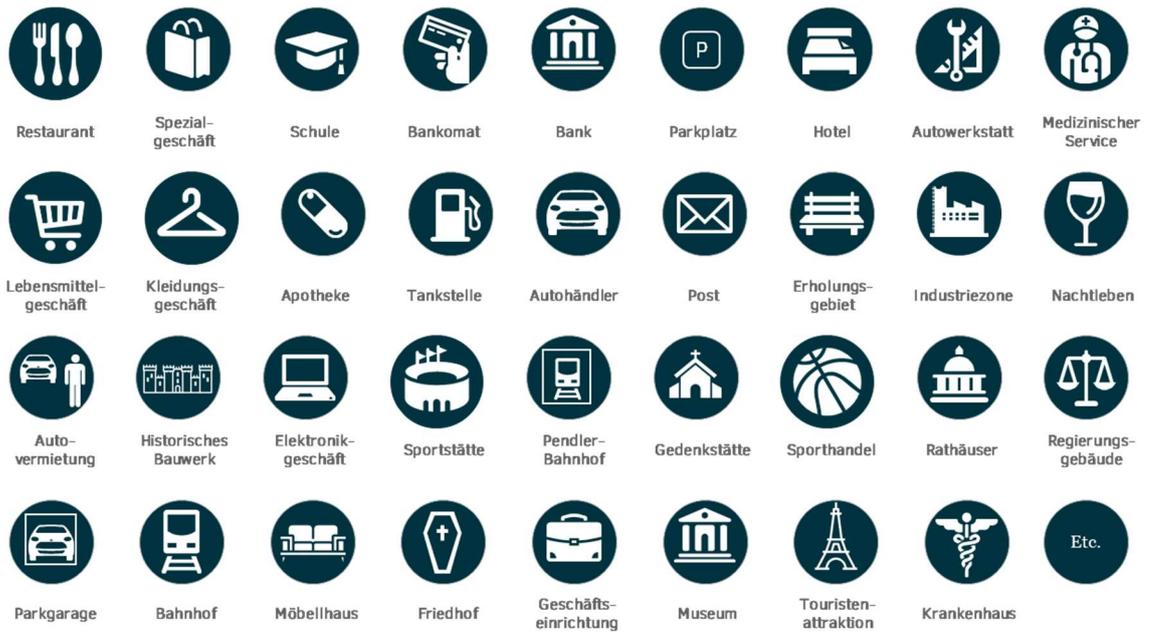


Abbildung 43: Verweilplätze nach Häufigkeiten in Deutschland¹⁶⁷

Einige dieser Standorte eignen sich aufgrund der kurzen Stehdauer nur bedingt für das Aufladen des Elektroautos. Grundsätzlich bietet die Grafik jedoch einen guten Überblick über mögliche „Points of Interest“, welche auch in der Eingabemaske eingetragen werden können. Die Anzahl der Stellplätze an „Points of Interest“ ist zusätzlich manuell einzutragen. Bei der Auswahl der „Points of Interest“ wird empfohlen, auch die mögliche Auslastung zu berücksichtigen. Standorte, die nur sehr selten oder unregelmäßig von Besuchern mit Ladebedarf besucht werden, sollten als Spezialfall betrachtet werden.

Anteil Stellplätze mit LIS (Ladeinfrastruktur)

Dieser Wert kann auf zwei Varianten ermittelt werden und legt fest, welcher Anteil der verfügbaren Parkplätze an einem Point of Interest mit Ladeinfrastruktur ausgestattet werden soll. Den Wert kann man direkt manuell eintragen oder durch die manuelle Eingabe des Anteils der Besucher mit laderelevanter Anreise und dem prognostizierten Elektroautoanteil ermitteln lassen. Wie bei den Einpendlern zuvor wird davon ausgegangen, dass nicht unbedingt jeder Besucher am Zielort laden muss.

Elektroautoanteil

Der Elektroautoanteil wird je nach Einstellung in der Eingabemaske aus der Markthochlaufberechnung übernommen.

¹⁶⁷ Quelle: Harendt, B. et al. (2017) (leicht modifiziert)

Flussdiagramm vom Laden bei spezifischen POI

In der nachfolgenden Abbildung 44 ist der Ablauf der Berechnung der Ladepunkte bei spezifischen „Points of Interest“ zu sehen.

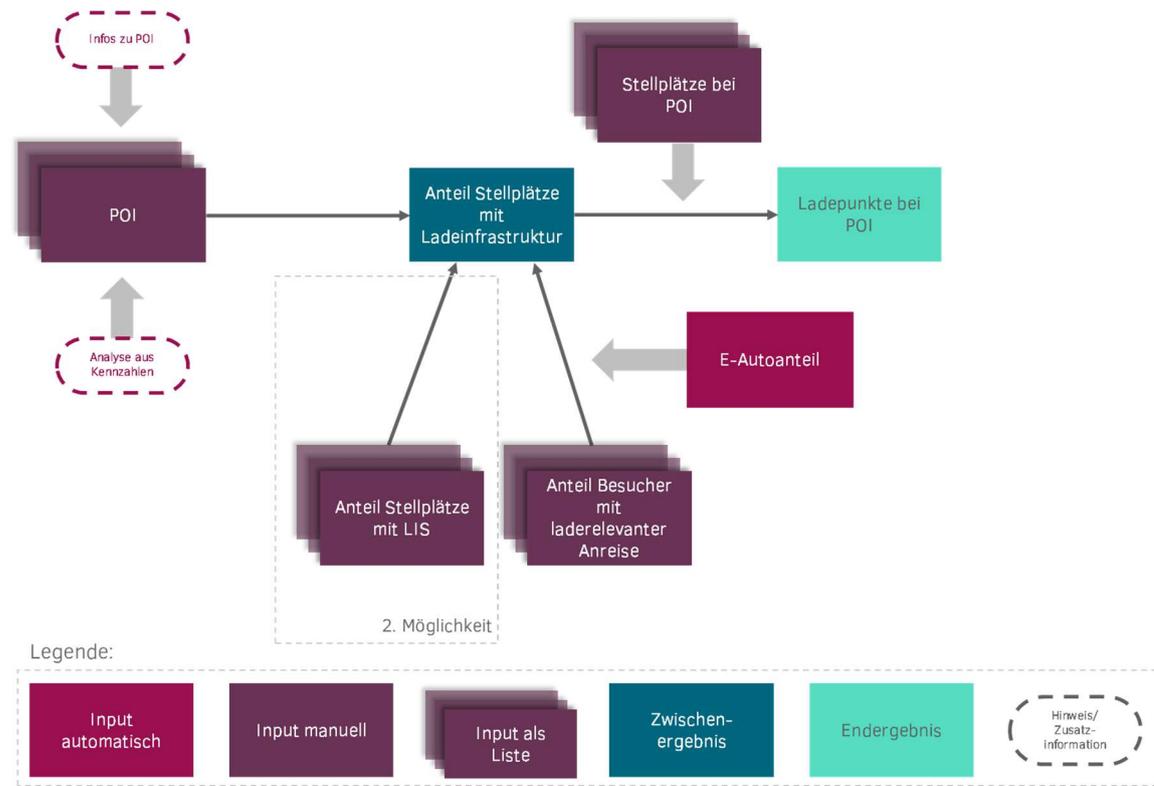


Abbildung 44: Flussdiagramm „Laden an anderen Zielorten (POI)“; spezifische POI

Wie zu erkennen ist, ist die manuelle Eingabe der „Points of Interest“ inklusive einer (geschätzten) Anzahl der Stellplätze die Ausgangsbasis für diese Berechnung. Mit dem Anteil an Stellplätzen mit Ladeinfrastruktur wird mit auf die Anzahl der benötigten Ladepunkte umgerechnet. Im Vergleich zu der Berechnung von „Laden zuhause“ und „Laden in der Arbeit“ wird in diesem Fall kein Bedarf an öffentlichen Ladepunkten in der Nähe von „Points of Interest“ berechnet, da dem „Laden an anderen Zielorten“ im Vergleich nur eine untergeordnete Rolle beim Ausbau der bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur zugeordnet wird. Es wird angenommen, dass ein besonderer Ausbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur in der Nähe von POI nicht unbedingt notwendig ist und alternativ bei den unspezifischen „Points of Interest“ berücksichtigt werden kann.

3.5.2 Verwendete Datensätze und Vorgehen bei unspezifischen POI

Inputs unspezifischer POI

Stellplätze bei P+R-Anlagen und Stellplätze bei anderen Parkanlagen

Ausgehend vom Datensatz des ÖAMTC, welcher eine Vielzahl, der in Österreich zu findenden Parkanlagen und der Stellplatzanzahl beinhaltet, wird die Anzahl der Stellplätze als Grundlage für die Berechnung der notwendigen Ladepunkte verwendet.

Aufgrund möglicherweise fehlender Parkanlagen besteht zudem die Möglichkeit manuell Stellplätze hinzuzufügen.¹⁶⁸

Öffentliche Stellplätze

Die Anzahl der öffentlichen Stellplätze ist manuell einzutragen. Es ist anzunehmen, dass bei öffentlichen Parkplätzen am ehesten bewirtschaftete Parkplätze Potenzial für Ladeinfrastruktur haben.

Elektroautoanteil

Der Elektroautoanteil wird je nach Einstellung in der Eingabemaske aus der Markthochlaufberechnung übernommen.

Potenzial für LIS in Parkanlagen/öffentlich

Damit wird allgemein das Potenzial von Parkanlagen oder öffentlichen Parkplätzen für die Bereitstellung von Ladestationen bewertet. Es ist anzunehmen, dass die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur in Parkhäusern aufgrund des Witterungsschutzes und der vorhandenen Infrastruktur besonderes Potenzial bietet. Auf der anderen Seite kann es bei Ladestationen auf öffentlichen Parkplätzen auch zu Platzproblemen kommen (beispielsweise im innerstädtischen Bereich), somit das Potenzial verringern.

¹⁶⁸ Vgl. ÖAMTC, <https://www.oeamtc.at/poi> (Zugriff: 25.08.2019)

Flussdiagramm Laden bei unspezifischen POI

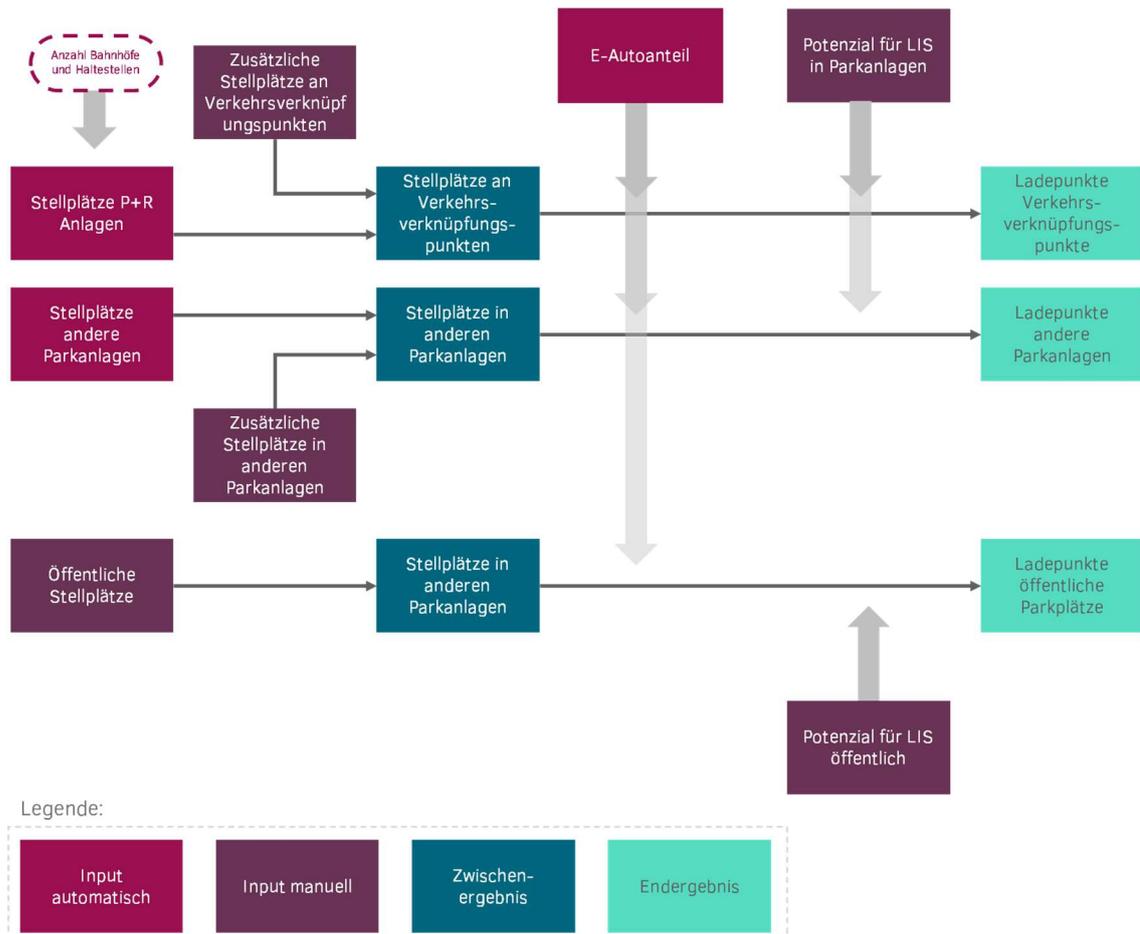


Abbildung 45: Flussdiagramm „Laden an anderen Zielorten (POI)“, unspezifische POI

Bei den unspezifischen „Points of Interest“ handelt es sich in erster Linie um Verkehrsverknüpfungspunkte (Bahnhöfe), Parkhäuser und allgemein öffentliche Stellplätze. Die Datensätze zu den Parkhäusern und Bahnhöfen stammen vom Verkehrsclub „ÖAMTC“.¹⁶⁹ Die Anzahl der Stellplätze kann jedoch manuell beliebig erweitert werden. Öffentliche Parkplätze müssen manuell eingegeben werden. Ist die Anzahl der Bahnhöfe/Haltestellen größer als die Anzahl der P+R-Anlagen, wird ein Hinweis angezeigt, dass noch mehr Stellplätze bei den Verkehrsverknüpfungspunkten erwartet werden.

Grundsätzlich wird über den eingestellten Elektroautoanteil die Anzahl der benötigten Ladepunkte berechnet, jedoch gibt es zusätzlich einen Faktor, der das Potenzial für Ladeinfrastruktur in Parkhäusern und auch auf öffentlichen Parkplätzen anpasst. Als Endergebnis wird die Anzahl der notwendigen Ladepunkte bei P+R-Anlagen, anderen Parkanlagen und öffentlichen Parkplätzen ausgegeben.

¹⁶⁹ Vgl. ÖAMTC, <https://www.oeamtc.at/poi> (Zugriff: 25.08.2019); ÖAMTC, <https://www.oeamtc.at/poi> (Zugriff: 25.08.2019)

3.5.3 Ansicht im Tool „Laden bei anderen Zielorten (POI)“

In den nachfolgenden zwei Abbildungen 46 und 47 sind der Input- und der Ergebnisbereich der Kategorie „Laden zuhause“ im MS-Excel-Tool zu erkennen.



Abbildung 46: Ausschnitt Tool Input "Laden bei POI"

Im Bereich links ist eine Tabelle für die Eingaben der spezifischen „Points of Interest“ und der dazugehörigen Stellplätze vorbereitet. Darüber hinaus ist entweder das Potenzial für Besucher mit laderelevanter Anreise oder der Anteil der Stellplätze mit Ladestationen einzutragen (Punkt 1). Im unteren Teil sind Daten zu den unspezifischen „Points of Interest“ zu ergänzen. Die Anzahl der zusätzlichen Stellplätze bei Verkehrsverknüpfungspunkten, anderen Parkanlagen und öffentlichen Stellplätzen können eingetragen werden. Auch das unterschiedliche Potenzial für Ladeinfrastruktur in Parkanlagen und öffentlichen Stellplätzen wird hier eingestellt (Punkt 2).

Als Zusatzinformation ist auf der rechten Seite eine Grafik mit den häufigsten „Points of Interest“ am Beispiel Deutschland zu sehen. Diese kann als Orientierungshilfe für die Eingabe der spezifischen „Points of Interest“ verstanden werden. Beim Punkt 4 sind zwei Tabellen zu den momentan in der Datenbank enthaltenen Parkanlagen und Bahnhöfe zu sehen. Es werden jedoch nur die fünf größten Parkanlagen und drei Bahnhöfe angezeigt. In Abbildung 47 sind die Ergebnisse der Berechnung für Ladeinfrastruktur bei „Points of Interest“ zu sehen.

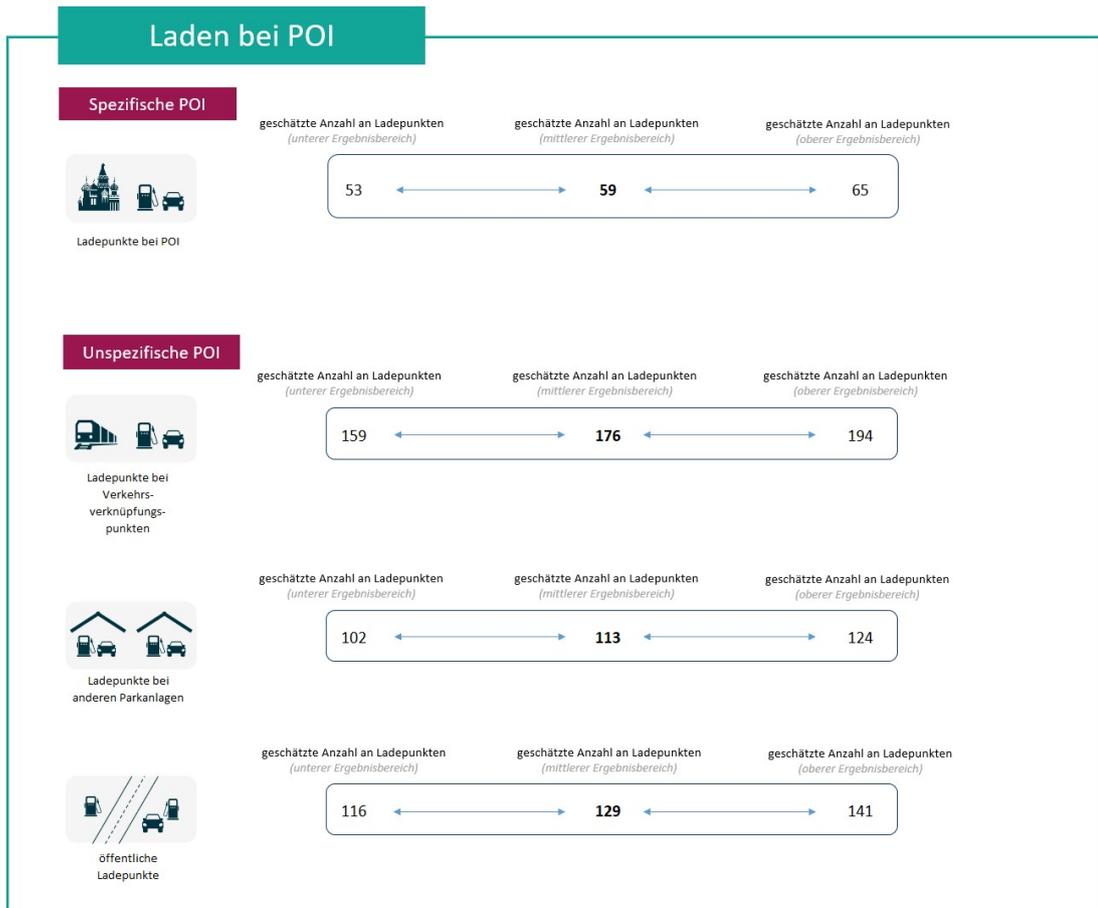


Abbildung 47: Ausschnitt Tool Ergebnisse "Laden bei POI"

Beim Ergebnis wird zwischen Ladepunkten bei spezifischen POI, bei Verkehrsverknüpfungspunkten, in Parkanlagen und im öffentlichen Raum unterschieden. Die Gesamtanzahl der öffentlichen Ladepunkte aus allen drei Kategorien (zu Hause, in der Arbeit und POI) wird im Ergebnisblatt des Excel-Tools noch zusätzlich extra ausgewiesen.

3.5.4 Annahmen und Diskussionspunkte bei „Laden bei anderen Zielorten (POI)“

- › Die Annahme, dass nur „Points of Interest“ mit langer Anreisedistanz und Verweildauer relevant für Ladeinfrastruktur sind, widerspricht gegenwärtig dem Modell einiger Lebensmittelgeschäfte, welche auf ihren Parkplätzen Ladestationen installieren. Es handelt sich dabei zwar oft um Schnellladestationen mit 50 kW Ladeleistung, die in der kurzen Verweilzeit trotzdem eine merkliche Reichweitenverlängerung ermöglichen, jedoch ist durch die hohe Dichte des Geschäftsnetzes nicht von einer laderelevanten Anreise der Besucher auszugehen.
- › Es kann sein, dass Verkehrsverknüpfungspunkte primär von Personen aus der Umgebung angefahren werden, sodass grundsätzlich nur wenig Ladebedarf besteht.
- › Es ist jedoch auch anzunehmen, dass Car-Sharing in Zukunft wachsen wird und vor allem Verkehrsverknüpfungspunkte als Abstellorte beziehungsweise

Übergabestationen für Sharing-Fahrzeuge genutzt werden können. Ausreichende Ladeinfrastruktur an den Stellplätzen wäre dafür von großer Bedeutung.

- › Die subjektive Einschätzung des Anteils der laderelevanten Besucher und der Anzahl der Stellplätze ist mit hoher Unsicherheit verbunden.

3.6 „Laden unterwegs“ (Schnellladestationen)

Schnellladestationen, meist DC-Ladestationen, nehmen bei der Marktentwicklung der Elektromobilität eine entscheidende Rolle ein. Gegenwärtig besitzt das durchschnittliche Elektroauto eine um ein Vielfaches geringere maximale Reichweite als ein Auto mit Diesel oder Benzin. Um längere Distanzen in kurzer Zeit mit dem Elektroauto zurücklegen zu können, sind die Nutzer auf Schnellladestationen angewiesen. Aufgrund der vergleichsweise hohen Installationskosten ist eine möglichst hohe Auslastung der Ladestationen angestrebt. Die Positionierung entlang von Autobahnen, vielbefahrenen Bundesstraßen oder in der Nähe von anderen „Hotspots“ mit hoher Schnellladenachfrage erscheint deshalb als sehr sinnvoll. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden die Standorte der Schnellladestationen von IONITY, Tesla und Smatrics überprüft. Es war zu erkennen, dass der Großteil der Schnellladestationen in unmittelbarer Nähe von Autobahnen positioniert waren. Des Weiteren war zu sehen, dass die Ladestationen von Smatrics des Öfteren auf den Parkplätzen von Geschäften oder bei normalen Tankstellen installiert waren. Die Anzahl an Ladepunkten pro Standort unterscheidet sich je nach Anbieter. Die Standorte von Smatrics sind oftmals nur mit einer Ladestation und drei Ladepunkten ausgestattet, während Ladestandorte von Tesla meist über acht bis zwölf Ladestationen und -punkte verfügen.¹⁷⁰

Im Tool wird zwischen Ladestandorten entlang von Autobahnen und Ladestandorten entlang von Bundesstraßen oder Hotspots unterschieden, wobei sich der Unterschied nur auf die Anzahl der Ladepunkte pro Standort bezieht. Das Ziel ist es, den Bedarf für öffentliche Schnellladestationen zur Reichweitenverlängerung zu ermitteln. Mögliche Schnellladestationen an „Points of Interest“ werden nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass Schnellladestationen an Zielorten nicht unbedingt notwendig sind. Ladestationen an den Zielorten wurden im vorigen Abschnitt behandelt. Die Berechnung des Bedarfes an Schnellladeinfrastruktur in den einzelnen Gemeinden wurde im Vergleich zu den anderen Kategorien etwas unterschiedlich aufgebaut und ähnelt einem Entscheidungsdiagramm.

¹⁷⁰ KELAG-Kärntner Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, <https://e-tankstellenfinder.com/at/de/elektrotankstellen> (Zugriff: 30.04.2019)

3.6.1 Verwendete Datensätze und Vorgehen bei „Laden unterwegs“

Inputs „Laden unterwegs“

Gibt es eine Autobahn mit Raststation, Parkplatz oder Abfahrt?

Wie bereits erwähnt wurde, wird davon ausgegangen, dass Schnellladestationen vor allem in Autobahnnähe am ehesten benötigt werden. Bereits vorhandene Infrastruktur bietet sich demnach auch als Standort für Schnellladestationen an. Gibt es in der Datenbank des ÖAMTC eine Raststation in der ausgewählten Gemeinde, wird dies als zusätzliche Information angezeigt.¹⁷¹

In der Dissertation von Jonas Hildebrandt der TU Berlin wurden zusammenfassend folgende Orte als vorstellbar für Schnellladestationen bewertet:

- › Nebenbetriebe an Bundesautobahnen (Raststationen)
- › Unbewirtschaftete Rastanlagen an Bundesautobahnen
- › Straßentankstellen nahe Bundesautobahnen und an Bundesstraßen
- › Weitere Betriebe nahe Fernstraßen¹⁷²

Gibt es vielbefahrene Bundes- oder Durchzugsstraßen?

Auch entlang anderer vielbefahrener Straßen kann es potenzielle Standorte für Schnellladestationen geben. Dies ist insbesondere der Fall, wenn keine Autobahn in der Nähe ist.

Gibt es besondere Hotspots von Fahrzeugen mit Schnellladebedarf?

Bei den „Hotspots“ soll der Bedarf an öffentlichen Schnellladestationen ermittelt werden, welche aufgrund besonderer Rahmenbedingungen Sinn machen könnten. Ein Beispiel dafür sind zusätzliche Schnellladestationen in Flughafennähe, da durch die hohe Dichte von Taxis erhöhter Schnellladebedarf entstehen kann.

Anzahl der Ladepunkte je Standort

Die Anzahl der Ladepunkte pro Standort kann jeweils manuell eingetragen werden. Grundsätzlich wird jedoch davon ausgegangen, dass in Autobahnnähe mehr Ladepunkte pro Standort installiert werden, da hier die Anzahl an potenziellen Standorten geringer ist.

Wie viele verschiedene?

Gibt es mehrere potenzielle Standorte, sollte geprüft werden, ob es Möglichkeiten zur Zusammenlegung der Standorte gibt beziehungsweise ob an jedem Standort eine Lademöglichkeit Sinn macht.

¹⁷¹ Vgl. ÖAMTC, <https://www.oeamtc.at/poi> (Zugriff: 25.08.2019)

¹⁷² Vgl. Hildebrandt, J. (2016), S.114

Flussdiagramm vom „Laden unterwegs“

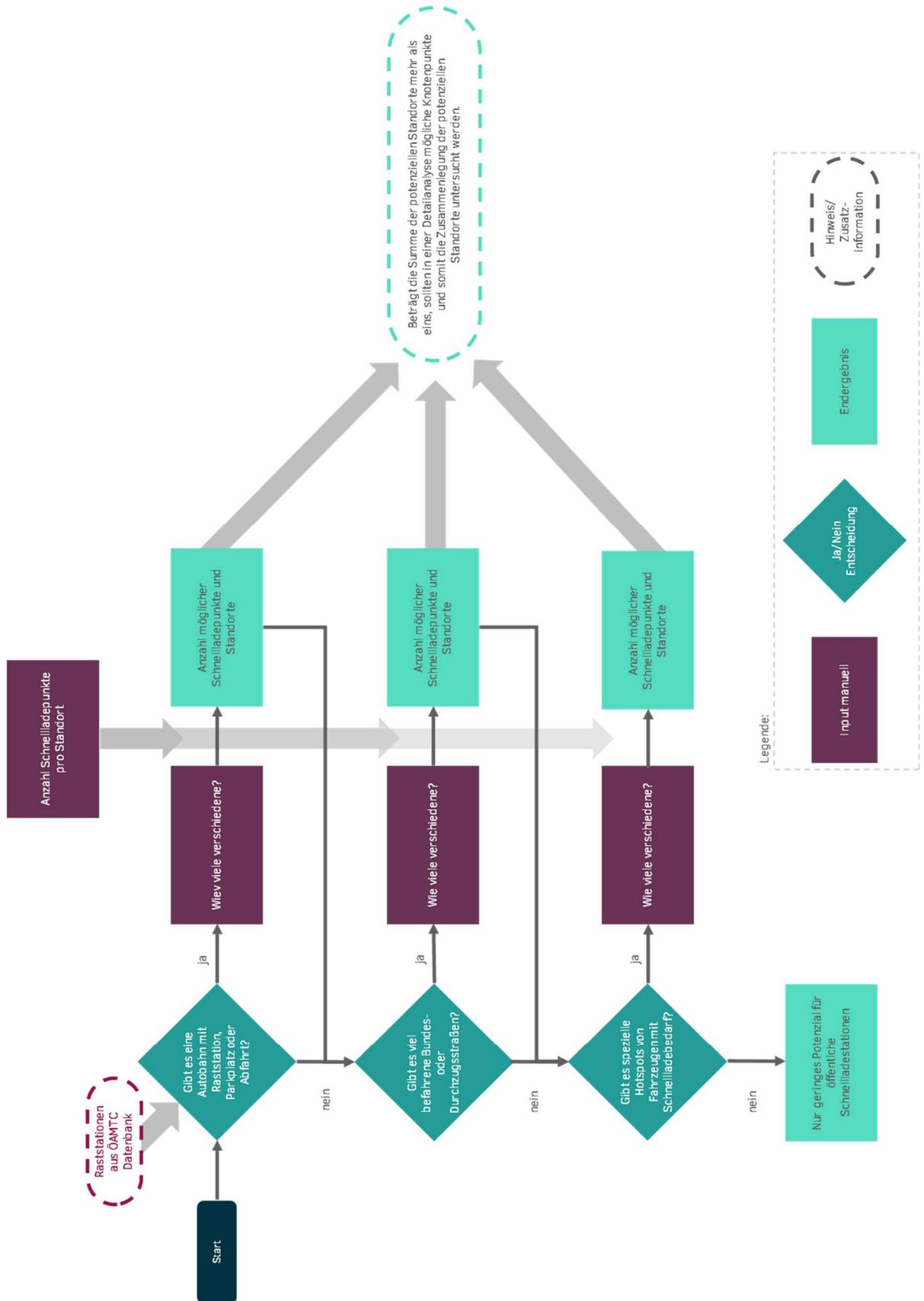


Abbildung 48: Flussdiagramm „Laden unterwegs“

Wie bereits erwähnt wurde, folgt der Aufbau der Kategorie „Laden unterwegs“ einer etwas anderen Logik. Gestartet wird mit Entscheidungsfragen, welche nach positiver Antwort von einer Ergänzungsfrage gefolgt werden. Basierend auf den Antworten wird ein Schnellladestationspotenzial ermittelt. Als Informationsinput wird angegeben, ob in der ausgewählten Gemeinde eine Raststation vorhanden ist. Die Daten stammen hierbei, wie bereits erwähnt, von der ÖAMTC-Webseite.¹⁷³

3.6.2 Ansicht im Tool “Laden unterwegs”

In den nachfolgenden Abbildungen 48 und 49 sind die Input- und Ergebnisbereiche für die Ermittlung der Schnellladestationen zu erkennen.

The screenshot shows the 'Laden unterwegs' tool interface. On the left, there are input fields for 'Anzahl Ladepunkte bei großem Ladehub (Bspw. Autobahn)' (set to 8), 'Anzahl Ladepunkte bei kleinem Ladehub (Bspw. Taxi-Hotspots und Bundesstraßen)' (set to 4), and several yes/no questions. A red circle with the number '1' highlights the input fields. On the right, the 'Zusatzinformation' section contains a text box explaining the tool's purpose and a field for 'Anzahl der Raststationen laut ÖAMTC-Datenbank' (set to 0). A red circle with the number '2' highlights this field. Below the field, there is a recommendation: 'Empfehlung: Detailanalyse ob mehrere Schnellladehubs notwendig sind oder an Knotenpunkten platziert werden können'.

Abbildung 49: Ausschnitt Tool Input "Laden unterwegs"

Im Eingabebereich kann zuerst die Anzahl der Ladepunkte von großen und kleinen Ladehubs festgelegt werden. Anschließend sind die Entscheidungsfragen zu beantworten und optional die Anzahl der potenziellen Standorte einzutragen (Punkt 1). Auf der rechten Seite wird unter anderem angezeigt, ob eine Raststation in der ÖAMTC-Datenbank auffindbar ist.¹⁷⁴ Darüber hinaus erscheint ein Textfeld, welches ein Hinweis zur weiteren Detailanalyse des Schnellladeinfrastrukturpotenzials angezeigt, falls mehrere Standorte infrage kommen.

In Abbildung 49 ist abschließend das theoretische Ergebnis der Berechnung der Schnellladepunkte zu sehen.

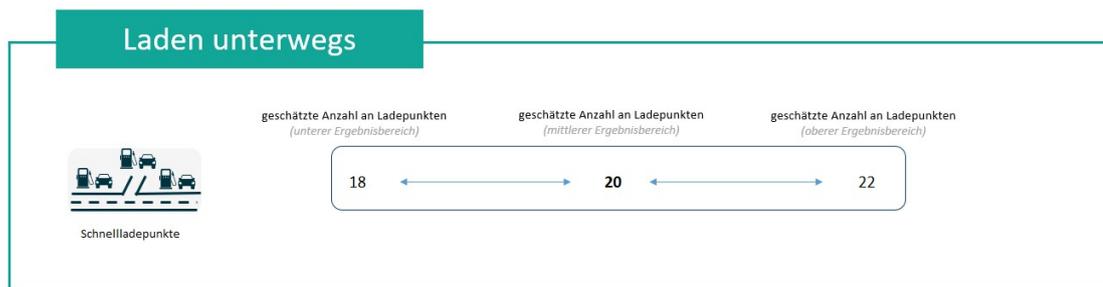


Abbildung 50: Ausschnitt Tool Ergebnisse "Laden unterwegs"

Wie jedoch bereits erwähnt wurde, sollte bei Schnellladestationen jedoch eine genaue Analyse des Potenzials gemacht werden, da Schnellladestationen in der Regel mit hohen Kosten verbunden sind und besondere Anforderungen an das Stromnetz stellen.

¹⁷³ Vgl. ÖAMTC, <https://www.oeamtc.at/poi> (Zugriff: 25.08.2019)

¹⁷⁴ Vgl. ÖAMTC, <https://www.oeamtc.at/poi> (Zugriff: 25.08.2019)

3.6.3 Annahmen und Diskussionspunkte bei „Laden unterwegs“

- › Es wird angenommen, dass Schnellladestationen auch in Zukunft vergleichsweise kostspielig sind und deshalb nur ein Betrieb an hochfrequentierten Standorten in Frage kommt.
- › Mobile Ladestationen werden im Modell nicht berücksichtigt.
- › Aktuell werden zum Teil auch Schnellladestationen mit 50 kW Ladeleistung beim Einzelhandel installiert. Dies widerspricht grundsätzlich der Annahme, dass Schnellladestationen prinzipiell in der Nähe von hochfrequentierten Straßen installiert werden sollen. Es wird angenommen, dass diese Unternehmen gegenwärtig damit versuchen, Elektroautofahrer verstärkt an den eigenen Standort zu „locken“. Für die allgemeine Entwicklung der Elektromobilität wird dieser Trend jedoch nicht als Notwendigkeit klassifiziert.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es, ein Tool zu entwickeln, welches das Ladeinfrastrukturpotenzial für österreichische Gemeinden in Abhängigkeit von der Elektroautobestandsentwicklung ermittelt. Das entstandene Tool dient als Orientierungshilfe und informiert über die mögliche Entwicklung der Elektromobilität und der dazugehörigen Ladeinfrastruktur. Die Ergebnisse des Tools können dabei für die Entwicklung eines Ladeinfrastrukturausbauplanes verwendet werden und bei der Erstellung von Elektromobilitätsstrategien helfen. Langfristig betrachtet, scheint vor allem eine Kombination aus einer strategischen und einer nachfrageorientierten Ladeinfrastrukturausbaustrategie, wie sie im Abschnitt 2.6 beschrieben wurde, am vielversprechendsten. Das entwickelte Tool hilft dabei beide Ausbaustrategien zu verbinden. Durch die Berücksichtigung der Wohn- und Einpendler-Situation wird das Potenzial des nachfrageorientierten Ausbaus ermittelt und kann für so in einen strategischen Ansatz überführt werden.

Es wurde erkannt, dass vor allem das Laden zuhause und das Laden am Arbeitsplatz den Großteil des Ladebedarfs der privaten E-Autobesitzer decken kann und aktuell die öffentliche Ladeinfrastruktur nur selten benötigt wird. Während gegenwärtig vor allem Menschen mit privaten Stellplätzen Elektroautos kaufen, werden in Zukunft auch zunehmend Bewohner von Wohnungen ohne eigenen Stellplatz zu Elektroautos wechseln. Der Bedarf an (halb)öffentlicher Ladeinfrastruktur wird dadurch maßgeblich verändert. Aufgrund der langen Stehzeiten untertags wird dem Laden in der Arbeit ein enormes Potenzial zugerechnet. Vor allem für Weitenpendler oder Arbeiter ohne Lademöglichkeit zuhause kann das Aufladen des Elektroautos während des Arbeitens notwendig sein und die Stehzeit sinnvoll genutzt werden. Lademöglichkeiten an anderen Zielorten oder „Points of Interest“ (POI) stellen aktuell nur eine Ergänzung zum Laden zuhause und in der Arbeit dar. Für die meisten Elektroautonutzer sind sie nicht unbedingt notwendig und gegenwärtig werden die Ladestationen eher als „Lockmittel“ für Elektroautofahrer installiert.

Parkhäuser und „Park & Ride“-Anlagen können vor allem in Zukunft eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der Elektromobilität einnehmen. Durch die vorhandene Infrastruktur und dem Schutz vor Umwelteinflüssen sind Parkhäuser sehr gut für die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur geeignet. Ein Ziel vieler Städte ist es, die Autos zunehmend von der Straße zu bekommen. Die Steigerung der Attraktivität von Parkhäusern durch den Aufbau von Ladeinfrastruktur kann zur Erreichung dieses Ziels beitragen. Auch Verkehrsverknüpfungspunkte besitzen zukünftig erhöhtes Potenzial für Ladebedarf, da erwartet wird, dass zukünftig multimodale Mobilität inklusive Carsharings an Popularität gewinnt. „Park & Ride“-Anlagen nehmen hierbei eine wichtige Rolle ein, da es hier zum Wechsel der Fortbewegungsmittel kommt und vorhandene elektrische Carsharing-Fahrzeuge so direkt bei den „Park & Ride“-Anlagen aufladen können.

Das aktuelle Tool berechnet nur die Anzahl der benötigten Ladepunkte in den verschiedenen Kategorien, während in regional beschränkten Methoden auch die Verortung inkludiert ist. Um dies auch für alle österreichischen Gemeinden durchführen zu können, wäre der Einsatz von Geoinformationssystemen und zusätzliche Datensätze

notwendig. Während der Entwicklung wurde auch mit dem Einsatz von OpenStreetMap für die Verortung von Ladestationen experimentiert, jedoch wurde diese Methode, aufgrund der als unzureichend eingeschätzten Vollständigkeit der Datensätze in Österreich, nicht berücksichtigt.

Des Weiteren wäre die Berücksichtigung der bestehenden Ladepunkte eine interessante Erweiterung des aktuellen Tools. In Österreich gibt es jedoch kein offizielles Verzeichnis, welches alle (halb)öffentlichen Ladestationen enthält. Ein Auszug aus der Datenbank des meist verwendeten Verzeichnisses (e-tankstellenfinder.com) zeigte auf, dass Ladestationen teilweise falsch eingegeben werden, da es keine ausreichende Überprüfung der eingegebenen Daten gibt. Ein offizielles Verzeichnis wie es in Deutschland von der Bundesnetzagentur zur Verfügung gestellt wird, würde diese Unsicherheiten beseitigen.

Beim Ausbau der Ladeinfrastruktur muss neben der existierenden Nachfrage auch die technische Umsetzbarkeit geprüft werden. Etwaige Netzüberlastungen und die Verfügbarkeit der benötigten Stromnetze müssen beim Ausbau von Ladestationen berücksichtigt werden. Zudem beeinflusst das Wachstum der Elektromobilität nicht nur die Verkehrsindustrie, sondern bietet auch wirtschaftliche Chancen und Risiken für die Energieversorgung und Netzstabilisierung. Aus diesem Grund sind neben den Automobilherstellern vor allem Energieversorgungsunternehmen bemüht, die Ladeinfrastruktur weiter auszubauen.

Neue technologische Fortschritte und Änderungen im allgemeinen Mobilitätsverhalten können den Bedarf an Ladeinfrastruktur in Zukunft maßgeblich verändern. Dabei haben vor allem autonome Fahrzeuge und der Trend in Richtung „Mobility as a Service“ das Potenzial, die vorgeschlagenen Ladeinfrastrukturausbaupläne zu verändern. Eine Marktreife dieser Technologien ist jedoch noch mehrere Jahrzehnte entfernt und hat somit noch keinen Einfluss in den nächsten Jahren.

Die oft diskutierte Verwendung von Wasserstoff als Treibstoff für Pkw stellt eine weitere Unsicherheit für die Entwicklung der Elektromobilität und folglich auch für den Ausbau von Ladeinfrastruktur dar. An den zu rein batterieelektrischen Elektroautos in Konkurrenz stehenden Elektroautos mit Brennstoffzellen wird aktuell auch in Österreich intensiv geforscht und ein Durchbruch bei der Entwicklung kann den prognostizierten Markthochlauf stark beeinflussen.

Dennoch wird davon ausgegangen, dass in Zukunft die Elektromobilität eine wichtige Rolle einnimmt und vor allem im motorisierten Individualverkehr Einzug halten wird. Die in dieser Arbeit geschilderte Ladeinfrastrukturpotenzialermittlung kann deshalb österreichische Gemeinden beim strategischen Aufbau der Ladeinfrastruktur unterstützen und so Versorgung der Elektroautofahrer langfristig sicherstellen und verbessern.

Literaturverzeichnis

- ACEA (2018): Making the Transition to Zero-Emission Mobility, URL: https://www.acea.be/uploads/publications/Study_ECV_barriers.pdf (Zugriff: 25.04.2019).
- Adegbohun, F.; von Jouanne, A.; Lee, K. (2019): Autonomous Battery Swapping System and Methodologies of Electric Vehicles. In: *Energies*, Jg. 12, Nr. 4, S. 667.
- Anderson, J. E.; Bergfeld, M.; Hoffmann, N.; Kuhnimhof, T. (2016): Laden2020, URL: https://elib.dlr.de/111054/2/LADEN2020_Schlussbericht.pdf (Zugriff: 24.04.2019).
- austriatech (2019a): Elektro-Autos zuhause laden, URL: http://www.oevg.at/fileadmin/user_upload/Editor/Dokumente/Arbeitskreise/ak_em/zuhause_laden_austriatech.pdf (Zugriff: 21.05.2019).
- austriatech (2019b): Highlights der Elektromobilität 2018/19, URL: https://www.austriatech.at/assets/Uploads/Publikationen/PDF-Dateien/24020edb86/Highlight_Report_2019.pdf (Zugriff: 05.02.2019).
- BMW Group (2016): BMW Group, Daimler AG, Ford Motor Company and Volkswagen Group with Audi & Porsche Plan a Joint Venture for Ultra-Fast, High-Power Charging Along Major Highways in Europe. URL: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0266311EN/bmw-group-daimler-ag-ford-motor-company-and-volkswagen-group-with-audi-porsche-plan-a-joint-venture-for-ultra-fast-high-power-charging-along-major-highways-in-europe?language=en> (Zugriff: 24.04.2019).
- Bozem, K.; Nagl, A.; Rath, V.; Haubrock, A. (2013): *Elektromobilität: Kundensicht, Strategien, Geschäftsmodelle*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN 978-3-658-02627-1.
- Brandauer, W.; Brandstätter, H.; Lechner, H.; Pauritsch, G.; Wanjek, M. (2018): Städtische Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge, URL: https://www.staedtebund.gv.at/index.php?eID=tx_securedownloads&p=9424&u=0&g=0&t=1566466276&hash=ed1458219799065a06a54303d17682fdfe5f2298&file=fileadmin/USERDATA/gemeinsame_dateien/dokumente/Leitfaden_Staedtische_Ladeinfrastruktur_final.pdf (Zugriff: 21.08.2019).
- Brandewinder, M. (2008): S-shaped market adoption curve. URL: <https://brandewinder.com/2008/06/08/S-shaped-market-adoption-curve/> (Zugriff: 22.08.2019).
- Braun, A.; Herdtle, C.; Schmid, M.; Märker, F.; Rid, W. (2015): Toolbox für Elektromobilität in Mittelstädten, URL: https://www.schwaebisch-gmuend.de/files/upload/INTERN/04_LEBEN/ENERGIE%20KLIMA%20UMWELT/Klimaschutz/EMiS_Toolbox_Elektromobilitaet-3845.pdf (Zugriff: 29.07.2019).

- Brost, W. (2016): STELLA - Standortfindungsmodell für elektrische Ladeinfrastruktur. URL: <http://www.isb.rwth-aachen.de/cms/ISB/Forschung/Projekte/~mdac/STELLA/> (Zugriff: 06.04.2019).
- Brost, W. (2016): Vorstellung des Modells STELLA, URL: <http://www.slam-projekt.de/downloads/ap1.3-modellbeschreibung.pdf> (Zugriff: 06.04.2019).
- Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ) (2017): Was is E-Roaming? URL: <http://www.beoe.at/hubject/> (Zugriff: 30.04.2019).
- Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ) (2017): Wir machen Österreich e-mobil. URL: <http://www.beoe.at/oesterreich-emobil/> (Zugriff: 30.04.2019).
- Bundesverband Elektromobilität Österreich (BEÖ) (2019): Österreichs größtes Ladenetz wächst. URL: <http://www.beoe.at/groesstes-ladenetz/> (Zugriff: 04.05.2019).
- CHAdEMO Association (2018): CHAdEMO releases the latest version of the protocol enabling up to 400KW. URL: <https://www.chademo.com/chademo-releases-the-latest-version-of-the-protocol-enabling-up-to-400kw/> (Zugriff: 24.04.2019).
- Deloitte Global (2018): 2018 Deloitte Global Automotive Consumer Study, URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-business/2018_GACS_Data%20Deck_Germany.pdf (Zugriff: 25.04.2019).
- DKE/AK EMOBILITY.60 (2016): Der Technische Leitfaden - Ladeinfrastruktur Elektromobilität Version 2, URL: <https://www.vde.com/resource/blob/988408/750e290498bf9f75f50bb86d520cab a7/leitfaden-elektromobilitaet-2016--data.pdf> (Zugriff: 24.04.2019).
- Donath, A. (2018): Chademo drängt auf 400-kW-Ladeprotokoll für E-Autos. URL: <https://www.golem.de/news/ladesaeulen-chademo-draengt-auf-400-kw-ladeprotokoll-fuer-e-autos-1806-134996.html> (Zugriff: 24.04.2019).
- Economic Development Queensland Department of State Development (2018): Electric Vehicle (EV) Charging Infrastructure, URL: <https://www.goepingen.de/start/Wirtschaft/Nachhaltige+Mobilitaet.html> (Zugriff: 29.07.2019).
- Engel, H.; Hensley, R.; Knapfer, S. (2018): Charging ahead: Electric-vehicle infrastructure demand. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/charging-ahead-electric-vehicle-infrastructure-demand> (Zugriff: 06.03.2019).
- EP Elektromobilität des AK Verteilernetze (2018): Abschlussbericht des EP Elektromobilität, URL: https://oesterreichsenergie.at/files/Downloads%20Netze/Abschlussbericht_EP-Elektromobilit%C3%A4t.pdf (Zugriff: 24.04.2019).
- European Environment Agency (2016): Electric vehicles in Europe, URL: https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-in-europe/at_download/file (Zugriff: 14.02.2019).

- Fastned (2018): Press release: Fastned opens first fast charging station in Germany. URL: <https://fastned.nl/en/blog/post/fastned-opent-eerste-snellaadstation-in-duitsland> (Zugriff: 30.04.2019).
- Frenzel, I.; Jarass, J.; Trommer, S.; Lenz, B. (2015): Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland, URL: https://elib.dlr.de/96491/1/Ergebnisbericht_E-Nutzer_2015.pdf.
- Gommel, H.; Leidl, C.; Lemmerer, C.; Aichmaier, H.; Ludwig, B.; Bacher, C. (2016): E-MAPP, Klima- und Energiefonds Österreich. URL: <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/6/E-MAPPStudie.pdf> (Zugriff: 14.02.2019).
- Günsberg, G.; Fucik, J. (2018): Faktencheck E-Mobilität, Klima- und Energiefonds Österreich. URL: https://faktencheck-energiewende.at/wp-content/uploads/sites/4/FC_Mob18_gross_Web.pdf (Zugriff: 14.02.2019).
- de Haan, D. P.; Bianchetti, R.; Rosser, S.; Frantz, H. (2018): Szenarien der Elektromobilität in Deutschland, URL: https://www.ebp.ch/sites/default/files/unterthema/uploads/2018-04-20_EBP_D_EmobSzen_PKW_2018_0.pdf (Zugriff: 18.04.2019).
- Harendt, B.; Schumann, D.; Wirth, M. (2017): Abschlussbericht der Begleit- und Wirkungsforschung 2017, URL: https://www.bridging-it.de/media/download/ep30_abschlussbericht_2017_der_begleit-_und_wirkungsforschung.pdf (Zugriff: 01.08.2019).
- Helmus, J. R.; Spoelstra, J. C.; Refa, N.; Lees, M.; van den Hoed, R. (2018): Assessment of public charging infrastructure push and pull rollout strategies: The case of the Netherlands. In: Energy Policy, Jg. 121, S. 35–47.
- Herry Consult GmbH (2016): Österreich unterwegs 2013/2014, URL: https://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/statistik/oesterreich_unterwegs/downloads/oeu_2013-2014_Ergebnisbericht.pdf (Zugriff: 23.07.2019).
- Hildebrandt, J. (2016): Bereitstellung von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge unter Berücksichtigung idealtypischer Ladebedarfe. Dissertation, TU Berlin.
- Hubject GmbH Die eRoaming-Plattform für kundenfreundliches Laden von Elektrofahrzeugen. URL: <https://www.hubject.com/> (Zugriff: 30.04.2019).
- Hyundai Motor Company (2019): Hyundai Motor Group Unveils Innovative Electric Vehicle Charging and Automated Parking Systems Concept. URL: <https://news.cision.com/global/hyundai-motor-baltic/r/hyundai-motor-group-unveils-innovative-electric-vehicle-charging-and-automated-parking-systems-conce,c2729794> (Zugriff: 05.02.2019).
- illwerke vkw AG (2018): vlotte - elektrisch mobil in Vorarlberg. URL: <https://www.vlotte.at/ueber-die-vlotte.htm> (Zugriff: 28.08.2019).

- infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH (2019): Mobilität in Deutschland -MiD, URL: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf (Zugriff: 23.07.2019).
- IONITY GmbH (2019): THE POWER OF 350 KW. URL: <https://ionity.eu/en/design-and-tech.html> (Zugriff: 24.04.2019).
- Kampker, A.; Vallée, D.; Schnettler, A. (2018): Elektromobilität: Grundlagen einer Zukunftstechnologie. 2. Auflage, Berlin: Springer Vieweg. ISBN 978-3-662-53136-5.
- Karle, A. (2018): Elektromobilität: Grundlagen und Praxis mit 142 Bildern und 21 Tabellen. 3., aktualisierte Auflage, München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. ISBN 978-3-446-45657-0.
- KELAG-Kärntner Elektrizitäts-Aktiengesellschaft (2019): e-tankstellen-finder. URL: <https://e-tankstellen-finder.com/at/de/elektrotankstellen> (Zugriff: 30.04.2019).
- KPMG International (2019): Mobility 2030: Transforming the mobility landscape, URL: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2019/02/mobility-2030-transforming-the-mobility-landscape.pdf> (Zugriff: 05.02.2019).
- Kumpf, C. (2017): Ladestationen und Lademodalitäten in Göppingen. URL: <https://www.goepingen.de/start/Wirtschaft/Nachhaltige+Mobilitaet.html> (Zugriff: 29.07.2019).
- Leaseplan (2018): About LeasePlan. URL: <https://www.leaseplan.com/corporate/about-us> (Zugriff: 23.04.2019).
- Leaseplan (2019): EV Readiness Index 2019, URL: https://www.leaseplan.com/corporate/~/_media/Files/L/Leaseplan/documents/news-articles/2019/report-leaseplan-ev-readiness-index-2019.pdf (Zugriff: 15.02.2019).
- Mathieu, L. (2018): Roll-out of public EV charging infrastructure in the EU, URL: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/Charging%20Infrastructure%20Report_September%202018_FINAL.pdf (Zugriff: 24.04.2019).
- Mazharov, N. D.; Hristov, S. M.; Dichev, A.; Zhelezarov, I. S. (2017): Some Problems of Dynamic Contactless Charging of Electric Vehicles. Dissertation, Technical University of Gabrovo.
- Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2013): Technischer Leitfaden Ladeinfrastruktur, URL: <https://www.din.de/blob/97246/c0cbb8df0581d171e1dc7674941fe409/technischer-leitfaden-ladeinfrastruktur-data.pdf> (Zugriff: 03.11.2019).
- NOW GmbH (2014): Öffentliche Ladeinfrastruktur für Städte, Kommunen und Versorger, URL: <https://www.now-gmbh.de/content/1-aktuelles/1-presse/20140207-erfolgreiche-konferenz-elektromobilitaet-vor-ort-fachkonferenz-fuer-kommunale->

- vertreter/oeffentliche_ladeinfrastruktur_fuer_staedte_kommunen_und_versorg
er.pdf (Zugriff: 24.04.2019).
- N.V. Nuon Energy (2019): Een openbare laadpaal in Amsterdam. URL:
<https://www.nuon.nl/producten/elektrisch-rijden/openbare-laadpaal/laadpaal-amsterdam/> (Zugriff: 17.08.2019).
- OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik (2013): KOMPASS Elektromobilität
in Österreich, URL:
https://www.tiwag.at/fileadmin/user_upload/pdf/mobilitaet/ove_kompass.pdf
(Zugriff: 26.04.2019).
- Piazza, F. (2018): NEW PASSENGER CAR REGISTRATIONS BY FUEL TYPE IN
THE EUROPEAN UNION, European Automobile Manufacturers Association.
URL:
https://www.acea.be/uploads/press_releases_files/20190207_PRPC_fuel_Q4_2018_FINAL.pdf (Zugriff: 14.02.2019).
- Pischinger, S.; Seiffert, U. Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 8. Aufl., Springer
Fachmedien Wiesbaden. ISBN 3-658-09528-8.
- PTV AG (2015): SIMONE Bedarfsorientiertes Verfahren zur Planung von
Ladeinfrastruktur, URL: <https://www.starterset-elektromobilitaet.de/content/1-Bausteine/6-Ladeinfrastruktur/simone-leitfaden.pdf> (Zugriff: 05.02.2019).
- Puls, T.; Oberst, C. (2018): Ladesäulen für Elektroautos – Ein Henne-Ei-Problem, URL:
https://www.econstor.eu/bitstream/10419/181021/1/IW-Kurzbericht_2018-49_Ladesaeulen.pdf (Zugriff: 19.03.2019).
- Richtlinie 2014/94/EU (2014): Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für
alternative Kraftstoffe. Europäisches Parlament und Rat.
- Schumann, M. (2003): Strategisches Innovationsmanagement: Eine Bestandsaufnahme,
URL:
http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/serien/lm/arbeitsberichte_wi2/2003_12.pdf
(Zugriff: 09.03.2019).
- Schüler, D.; Dolega, P.; Degreif, S. (2018): Social, economic and environmental
challenges in primary lithium and cobalt sourcing for the rapidly increasing
electric mobility sector, URL:
https://www.stradeproject.eu/fileadmin/user_upload/pdf/STRADE_PB_Li_Co_EMobility.pdf (Zugriff: 14.02.2019).
- smartlab Innovationsgesellschaft mbH (2019): Vernetzung für grenzenlose
Elektromobilität. URL: <https://www.ladenetz.de/leistungen> (Zugriff:
30.04.2019).
- SMATRICS GmbH & Co KG (2019): PIONIERS, PARTNER,
ELEKTROMOBILISTEN. URL: <https://smatrics.com/ueber-uns> (Zugriff:
30.04.2019).

- Spöttle, M.; Jörling, K.; Schimmel, M.; Staats, M.; Grizzel, L.; Jerram, L.; Drier, W.; Gartner, J. (2018): Research for TRAN Committee - Charging infrastructure for electric road vehicles, URL: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/617470/IPOL_STU\(2018\)617470_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/617470/IPOL_STU(2018)617470_EN.pdf) (Zugriff: 05.08.2019).
- Statistik Austria (2019): Kraftfahrzeuge - Bestand. URL: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html (Zugriff: 03.08.2019).
- Statistik Austria (2019): STATatlas. URL: <https://www.statistik.at/atlas/> (Zugriff: 22.08.2019).
- The Mobility House AG (2018): Ladekabelarten und Steckertypen. URL: https://www.mobilityhouse.com/de_de/ratgeber/elektromobilitaet-ladekabelarten-und-steckertypen (Zugriff: 24.04.2019).
- VCÖ (2019): Österreich bei neuzugelassenen E-Pkw am EU-Podest, aber deutlich hinter Spitzenreiter Niederlande. URL: <https://www.vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/oesterreich-bei-neuzugelassenen-e-pkw-am-eu-podest-aber-deutlich-hinter-spitzenreiter-niederlande> (Zugriff: 03.08.2019).
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e; VDE Verband der ElektrotechnikElektronik Informationstechnik e.V. (2019): Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeuge, URL: <https://www.vde.com/resource/blob/1875246/3a4ac5081799af17650c62316c183eb4/studie-brennstoffzelle-data.pdf> (Zugriff: 31.08.2019).
- Wildburger, B. (2019): BEÖ und SMATRICS: Zusammenschluss zu Österreichs grösstem Ladenetz. URL: <https://smatrics.com/news/beoe-smatrics-zusammenschluss-ladenetz> (Zugriff: 16.05.2019).
- Yuzawa, K.; Yang, Y.; Bhandari, N.; Sugiyama, M.; Nakamura, S. (2016): Asia: Automobiles — Charging the future: Asia leads drive to next-generation EV battery market, URL: https://www.automotivenl.com/images/November_2016/Goldman_Sachs_On_Batteries_-_2016.pdf (Zugriff: 14.02.2019).
- ÖAMTC (2019): POI. URL: <https://www.oeamtc.at/poi> (Zugriff: 25.08.2019).
- ÖAMTC (2019): Verkehrsauskunft. URL: https://maps.oeamtc.at/bin/query.exe/dn?L=vs_oeamtc (Zugriff: 25.08.2019).

Anhang

Überblick verwendeter Datensätze

In den nachfolgenden Tabellen acht bis 13 werden die verwendeten Datensätze inklusive Jahr der Erhebung und Quelle angeführt.

In der Datenbank des Tools sind noch weitere Datensätze enthalten, welche jedoch aktuell in den Berechnungen nicht verwendet werden.

Zusatzinformationen

Tabelle 8: Datensätze Zusatzinformationen

Bezeichnung	Jahr	Quelle
Bevölkerungsanzahl	2019	Statistik Austria
Dauersiedlungsraum	2018	Statistik Austria
Siedlungsraum	2018	Statistik Austria

Markthochlauf Elektroautos

Tabelle 9: Datensätze „Markthochlauf Elektroautos“

Bezeichnung	Jahr	Quelle
Anteil der Bevölkerung mit Hochschul/Akademieabschluss	2016	Statistik Austria
Durchschnittlicher Jahresbruttobezug ganzjährig beschäftigter Arbeitnehmer	2017	Statistik Austria
Photovoltaikanlagen pro 1000 Einwohner	2019	Statistik Austria
Anteil der Wohngebäude mit einer Wohnung	2019	Statistik Austria
Anteil der Wohngebäude mit zwei Wohnungen	2019	Statistik Austria

Laden zuhause**Tabelle 10: Datensätze "Laden zuhause"**

Bezeichnung	Jahr	Quelle
Anzahl Gebäude	2018	Statistik Austria
Anteil der Wohngebäude mit einer Wohnung	2019	Statistik Austria
Anteil der Wohngebäude mit zwei Wohnungen	2019	Statistik Austria
Anteil der Wohngebäude mit drei oder mehr Wohnungen	2019	Statistik Austria
Anzahl Wohnungen	2019	Statistik Austria
Kfz-Bestand [Zulassungsbezirk]	2018	Statistik Austria

Laden in der Arbeit**Tabelle 11: Datensätze „Laden in der Arbeit“**

Bezeichnung	Jahr	Quelle
Anzahl Einpendler	2016	Statistik Austria
Hauptverkehrsmittel Wegzweck Arbeit	2014	Österreich unterwegs 2013/2014
Weglängenverteilung Wegzweck Arbeit	2014	Österreich unterwegs 2013/2014

Laden bei POI**Tabelle 12: Datensätze "Laden bei POI"**

Bezeichnung	Jahr	Quelle
Bahnhöfe in Österreich	2013	ÖAMTC
Parkhäuser und Stellplätze in Österreich	2019	ÖAMTC

Laden unterwegs**Tabelle 13: Datensätze "Laden unterwegs"**

Raststationen in Österreich	2019	ÖAMTC
-----------------------------	------	-------

Eingabefelder im Tool

In den nachfolgenden Tabellen 14 und 15 werden die im Tool manuell einzugebenden Informationen und Einstellungen aufgelistet:

Markthochlauf Elektroautos**Tabelle 14: Inputdaten "Markthochlauf Elektroautos"**

Bezeichnung	Format	Range	Kommentar
Ausgewähltes Szenario	Dropdown	Szenario 1, Szenario 2, Szenario 3	
Ausgewähltes Jahr	Dropdown	2019 bis 2050	
Mit individuellen Szenario weitermachen	Dropdown	Ja/Nein	

Laden zuhause:**Tabelle 15: Inputdaten "Laden zuhause"**

Bezeichnung	Format	Range	Kommentar
Stellplätze pro Auto	Zahl	0 bis 1	Für alle drei Wohngebäudekategorien
Anteil der Stellplätze, die mit einer Lademöglichkeit ausgestattet werden können	Prozentsatz	0% bis 100%	Für alle drei Wohngebäudekategorien
Ergebnisbandbreite	Prozentsatz	0% bis 100%	

Laden in der Arbeit

Tabelle 16: Inputdaten "Laden in der Arbeit"

Bezeichnung	Format	Range	Kommentar
Bezirksart auswählen	Dropdown	Peripherer Bezirk, zentraler Bezirk, Großstädte ohne Wien, Wien	Möglichkeit 1 von 2
ÖPNV Verbindung für Einpendler	Dropdown	sehr gut bis sehr schlecht	Möglichkeit 1 von 2
Potenzial für Weitenpendler	Dropdown	Sehr hoch bis kein	Möglichkeit 1 von 2
Laderelevant ab	Dropdown	20 km Anreise oder 50 km Anreise	Möglichkeit 1 von 2
MIV-Anteil der Einpendler	Prozentsatz	0% bis 100%	Möglichkeit 2 von 2
Anteil der Einpendler mit laderelevanter Anreise	Prozentsatz	0% bis 100%	Möglichkeit 2 von 2
Anteil, der Arbeiter, die gleichzeitig in der Arbeit sind (Gleichzeitigkeitsfaktor)	Prozentsatz	0% bis 100%	
Anteil der Weitenpendler mit einem Stellplatz beim Arbeitgeber	Prozentsatz	0% bis 100%	
Ergebnisbandbreite	Prozentsatz	0% bis 100%	

Laden bei POI

Tabelle 17: Inputdaten "Laden bei POI"

<u>Bezeichnung</u>	<u>Format</u>	<u>Range</u>	<u>Kommentar</u>
POI mit Potenzial für längere Anreise und Stehzeit	Text	Keine Einschränkung	Eintragung in Liste
Anzahl der Stellplätze	Zahl	Keine Einschränkung	Eintragung in Liste
Anteil mit laderelevanter Anreise (bspw. ab 50 km)	Prozentsatz	0% bis 100%	Eintragung in Liste; Möglichkeit 1 von 2
Anteil Stellplätze mit LS	Prozentsatz	0% bis 100%	Eintragung in Liste; Möglichkeit 2 von 2
Zusätzliche Stellplätze an Verkehrsverknüpfungspunkten (P&R)	Zahl	Keine Einschränkung	
Zusätzliche Stellplätze in anderen Parkanlagen	Zahl	Keine Einschränkung	
Zusätzliche öffentliche Stellplätze	Zahl	Keine Einschränkung	
Potenzial für Ladeinfrastruktur in Parkanlagen	Dropdown	sehr niedrig bis maximal	
Potenzial für Ladeinfrastruktur auf öffentlichen Stellplätzen	Dropdown	sehr niedrig bis maximal	
Ergebnisbandbreite	Prozentsatz	0% bis 100%	

Laden unterwegs

Tabelle 18: Inputdaten "Laden unterwegs"

Bezeichnung	Format	Range	Kommentar
Anzahl Ladepunkte bei großem Ladehub (bspw. Autobahn)	Zahl	Keine Einschränkung	
Anzahl Ladepunkte bei kleinem Ladehub (bspw. Taxi-Hotspots und Bundesstraßen)	Zahl	Keine Einschränkung	
Gibt es eine Raststation, einen Parkplatz oder eine Abfahrt (entlang einer Autobahn)?	Dropdown	Ja/Nein	
Wieviele verschiedene?	Zahl	Keine Einschränkung	Bei allen Entscheidungsfragen
Gibt es eine viel befahrene Bundesstraße durch die Gemeinde (Durchzugsstraße)?	Dropdown	Ja/Nein	
Gibt es Hotspots von Taxis/Flotten, die möglichst schnell aufgeladen werden müssen? (bspw. Flughafen)	Dropdown	Ja/Nein	
Ergebnisbandbreite	Prozentsatz	0% bis 100%	