

Ergebnisse und Schlussfolgerungen zur Begleitforschung der Modellregion Elektromobilität Großraum Graz

**Jürgen FABIAN¹, Thomas WIELAND², Markus ERNST^{1*}, Ernst SCHMAUTZER²,
Lothar FICKERT², Walter SLUPETZKY³, Robert SCHMIED⁴**

¹TU Graz, Institut für Fahrzeugtechnik, Inffeldgasse 11/II, 8010 Graz, +43 (316) 873 35279,
juergen.fabian@tugraz.at, <http://www.ftg.tugraz.at>

²TU Graz, Institut für Elektrische Anlagen, Inffeldgasse 18/I, 8010 Graz, +43 (316) 873 7550,
lothar.fickert@tugraz.at, <http://www.ifea.tugraz.at>

³QUINTESSENZ Organisationsberatung GmbH, Heigerleinstrasse 6/1/1, 1160 Wien,
w.slupetzky@quintessenz.or.at, <http://www.quint-e.at>

⁴e-mobility Graz GmbH, Steyrergasse 114, 8010 Graz, office@emobility-graz.at,
<http://www.emobility-graz.at>

Kurzfassung: Um die Entwicklung der Elektromobilität aussagekräftig prognostizieren zu können, bedarf es einer Gesamtbetrachtung heutiger und zukünftiger Mobilität. Dabei stellt sich für elektrisch angetriebene Fahrzeuge die Herausforderung, sich in die bereits eingprägten und vorhandenen Verkehrsmuster zu integrieren, sowie diese zu ergänzen. Konsens findet sich diesbezüglich zwischen den Nutzeranforderungen und dem möglichen Einsatzpotenzial von Elektrofahrzeugen in urbanen Gebieten, in welchen häufig Kurzstrecken gefahren werden, sowie eine flächendeckende Ladeinfrastruktur zur Verfügung gestellt werden kann. Daher wird sich vor allem die urbane Mobilität in absehbarer Zeit auf die Weiterentwicklung der Elektromobilität auswirken.

Kernthemen in der Modellregion Elektromobilität Großraum Graz sind der Ausbau der Infrastruktur, die Entwicklung neuer Geschäfts- und Mobilitätsmodelle und die Kombination von Elektromobilität mit erneuerbaren Energieträgern. Die eingereichte Publikation enthält den neusten Stand der Technik hinsichtlich Elektromobilität sowie aktuelle innovative Trends und Lösungsansätze zu den oben genannten Themenschwerpunkten. Die Bewertung der Auswirkungen der zukünftigen Elektromobilität auf das elektrische Versorgungsnetz, insbesondere der elektrischen Niederspannungs-Stromnetze, wird mittels einer Auswertung von vorhandenen Messdaten der sich in Betrieb befindlichen Elektrofahrzeuge durchgeführt. Das Monitoring der Ladestationen dient der Erfassung bzw. Analyse charakteristischer Parameter während des Ladeprozesses der Elektrofahrzeuge.

Die Forschungsinhalte sowie gewonnene Erkenntnisse aus dem Betrieb der Elektromobilitätsregionen sollen der Öffentlichkeit und potenziellen Multiplikatoren zugänglich gemacht werden. Die Schwerpunktthemen umfassen dabei: Ladeverhalten und Leistungsbedarf für das Laden; Auswirkungen auf das Stromnetz und die Energiebereitstellung bei Hochrechnung der Nutzungsdaten; Technisches Monitoring hinsichtlich der Fahrprofile; Kundenbedürfnisse sowie Nutzerverhalten; Bewertung technischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte.

Als bedeutsame Wandlungstreiber für Elektromobilität werden die weiterhin zunehmende Urbanisierung sowie die Verknappung fossiler Energieträger in Zusammenhang mit steigenden Abgasemissionen genannt, wobei alternative elektrische Antriebskonzepte einen wesentlichen Beitrag zur Lösung dieser Problematik liefern können. Ein weiterer entscheidender Erfolgsfaktor für die flächendeckende Einführung der Elektromobilität ist die Nutzerakzeptanz, sowie die Frage, in welchem Ausmaß die neue Technologie seitens des Benutzerverhaltens und der gesellschaftlichen Strukturen angenommen wird. Signifikante Veränderungen im Wertschöpfungsprozess können sich ergeben, sofern Automobilhersteller, Verkehrsunternehmen und Elektroenergieversorger miteinander zusammenarbeiten und gemeinsam Mobilitätsangebote entwickeln und anbieten.

Keywords: Elektromobilität, Modellregion, technisches Monitoring, Ladeverhalten, Ladeinfrastruktur, Fahrprofile, Nutzerverhalten, ökonomische Aspekte, ökologische Aspekte

1 Modellregionen für Elektromobilität

In Österreich gibt es derzeit acht so genannte Modellregionen E-Mobilität. In diesen Modellregionen, welche vom Klima- und Energiefonds und dem Lebensministerium initiiert und unterstützt werden, sollen Erfahrungen zu allen Aspekten rund um die Elektromobilität gesammelt werden. Diese Erfahrungen sind ein wesentlicher Bestandteil zur Unterstützung einer breiten Einführung von Elektromobilität in Österreich. Neue Mobilitäts- und Energiedienstleistungskonzepte sollen, basierend auf erneuerbarer Energie, zur Entwicklung von mit nachhaltigen Energiesystemen zu vereinbarenden Verkehrskonzepten, sowie zur Stärkung der Technologiekompetenz österreichischer Unternehmen beitragen.

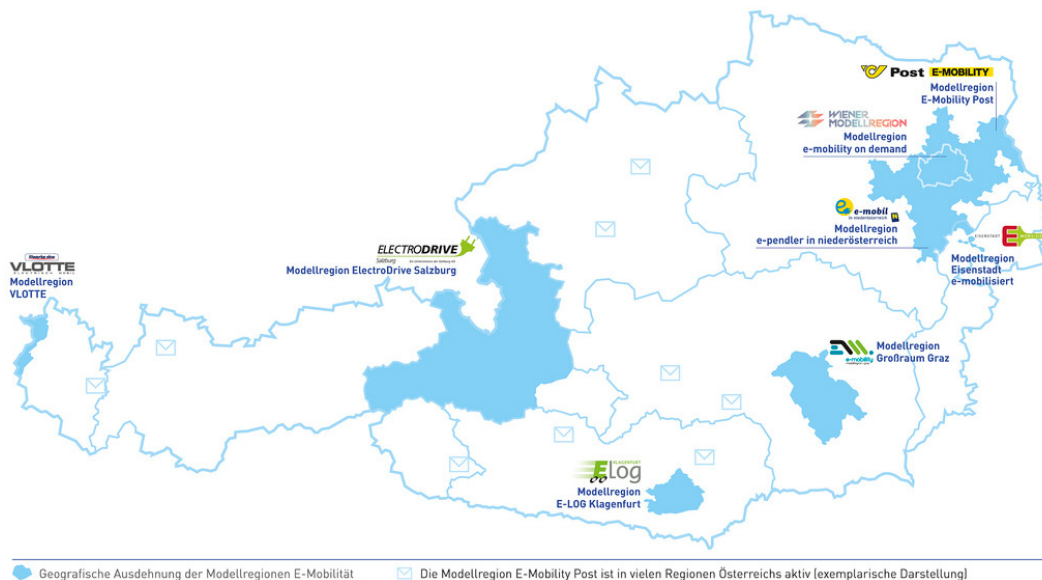


Abbildung 1: Die acht Modellregionen E-Mobilität Österreichs im Überblick [1]

1.1 Forschungsinhalte der Modellregionen

Die Forschungsinhalte sowie gewonnene Erkenntnisse aus dem Betrieb in den Elektromobilitätsregionen sollen der Öffentlichkeit und potenziellen Multiplikatoren zugänglich gemacht werden. Die Schwerpunktthemen umfassen dabei:

- Ladeverhalten und Leistungsbedarf für das Laden (erneuerbarer Strom und Ladeinfrastruktur),
- Auswirkungen auf das Stromnetz (Ortsnetzstationen) und die Energiebereitstellung bei Hochrechnung der Nutzungsdaten,
- Potenzial von Vehicle-to-Grid Modellen,
- Technisches Monitoring hinsichtlich der Fahrprofile,
- Kundenbedürfnisse und -akzeptanz sowie Nutzerverhalten,
- Bewertung technischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte.

Neben der Errichtung der notwendigen Ladeinfrastruktur ist der Ausbau des vorhandenen elektrischen Stromnetzes ebenso wichtig. Bedingt durch strengere Emissionsvorschriften, findet derzeit ein Paradigmenwechsel zugunsten der Elektromobilität sowie Hybridtechnologien statt. Energieeffizienz und Umweltschutz nehmen in der Bevölkerung einen zunehmend wichtigen Stellenwert ein, welcher einen starken Einfluss auf die Entwicklung zukünftiger Fahrzeuggenerationen haben wird. Zusätzlich ergeben sich durch die derzeit begrenzte Reichweite sowie die begünstigten Haltungskosten von Elektrofahrzeugen interessante Geschäftsmodelle für Fuhrparkbetreiber, wie beispielsweise E-Car-Sharing Modelle.

Kernthemen in den Modellregionen sind der Ausbau der Infrastruktur, die Entwicklung neuer Geschäfts- und Mobilitätsmodelle und die Kombination von Elektromobilität mit erneuerbaren Energieträgern. Da sich diese Regionen in Bezug auf geographische Ausdehnung, Zielgruppen und Geschäftsmodelle stark unterscheiden, wird in Zukunft verstärkt auf Kooperation und Vernetzung unter den Modellregionen gesetzt. Damit wird sichergestellt, dass die Erfahrungen der einzelnen Regionen untereinander ausgetauscht und Synergien genutzt werden können [2], [3].

1.2 Modellregion Elektromobilität Großraum Graz

Kernthemen in der Modellregion Elektromobilität Großraum Graz sind der Ausbau der Infrastruktur, die Entwicklung neuer Geschäfts- und Mobilitätsmodelle und die Kombination von Elektromobilität mit erneuerbaren Energieträgern. Die eingereichte Publikation beschreibt den neusten Stand der Technik hinsichtlich Elektromobilität sowie aktuelle innovative Trends und Lösungsansätze zu den oben genannten Themenschwerpunkten. Die Bewertung der Auswirkungen der zukünftigen Elektromobilität auf das elektrische Versorgungsnetz wird mittels real gemessener Daten von Kunden mit Elektroautos durchgeführt. Das technische Monitoring der Ladestationen dient der Erfassung bzw. Analyse charakteristischer Parameter während des Ladeprozesses der Elektrofahrzeuge.

Das technische Monitoring stellt die Grundlage für das oben beschriebene Vorhaben dar. Daher wurden in der Vergangenheit mehrere Elektrofahrzeuge der Modellregion Graz mit Sensoren ausgerüstet und Messdaten aufgezeichnet. Es stehen somit neben den durch die Benutzer geführten Fahrtenbüchern auch das aufgezeichnete GPS-Signal, die Stromverbräuche der wesentlichsten elektrischen Komponenten, sowie auch etwaige Fehlermeldungen des Bordcomputers im Fahrzeug zur Verfügung. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein begleitendes technisches Monitoring essentiell für eine kundenorientierte Weiterentwicklung der Elektrofahrzeuge ist [3], [4].

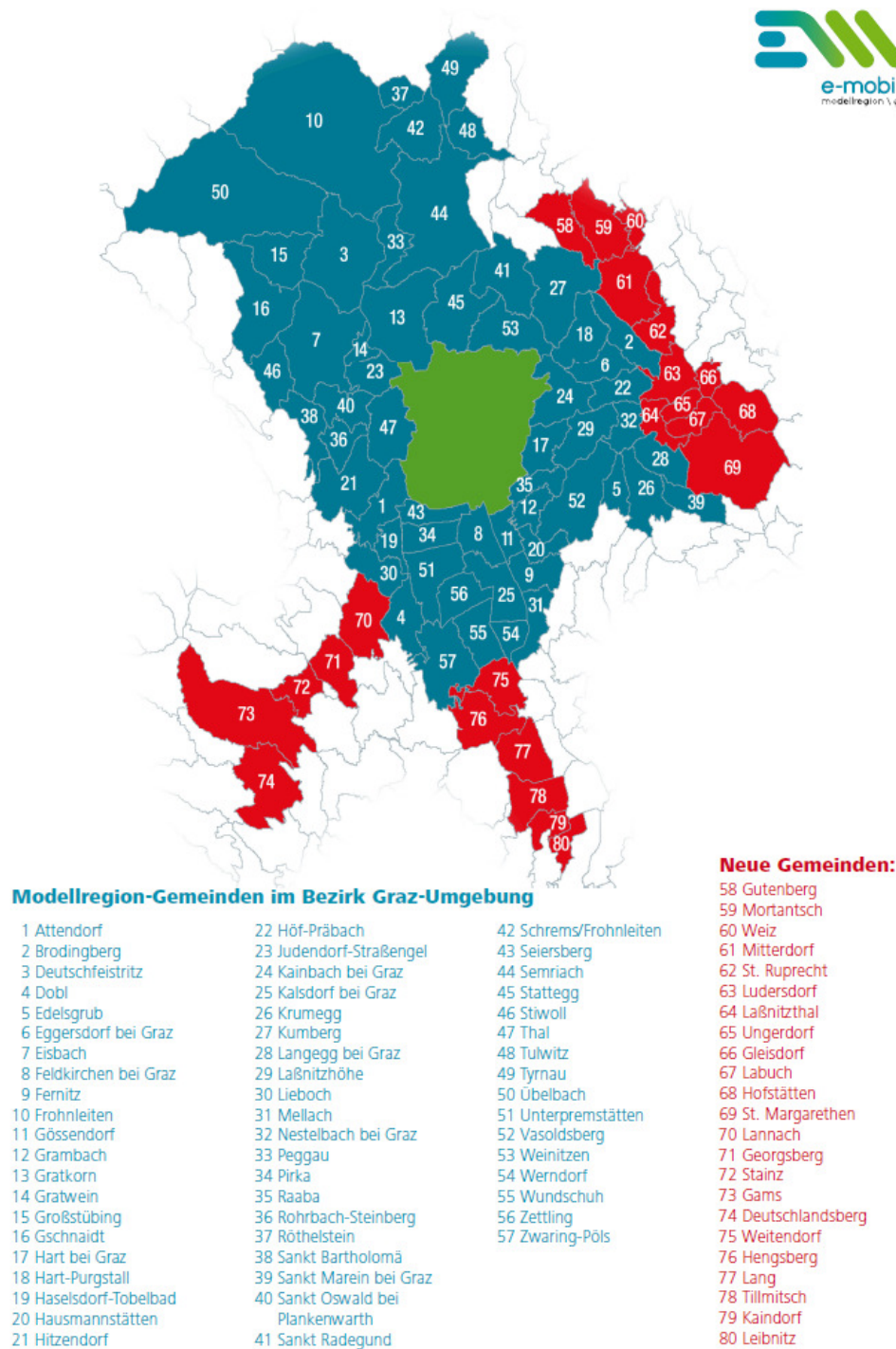


Abbildung 2: Geographische Ausdehnung der Modellregion Großraum Graz [2]

Die Modellregion Graz und Graz-Umgebung umfasst die Stadt Graz mit rund 260.000 EinwohnerInnen (mit Hauptwohnsitz; zusätzlich noch rund 30.000 EinwohnerInnen mit Nebenwohnsitz) und Graz-Umgebung mit rund 140.000 EinwohnerInnen. In Summe umfasst die Modellregion damit etwas mehr als ein Drittel der gesamten Bevölkerung der Steiermark. Flächenmäßig hat die Modellregion eine Ausdehnung von 1.228 km² [2].

2 Erneuerbare Stromerzeugung

Aufgrund des derzeitigen Wandels der elektrischen Energieversorgung nach technischen, wirtschaftlichen, politischen, gesellschaftlichen sowie ökologischen Perspektiven ergeben sich neue Herausforderungen an die elektrische Stromversorgung der Zukunft. Durch die voranschreitende Industrialisierung, Automatisierung und dem verstärkten Einsatz von Informationstechnologien nimmt auch der Energiebedarf an elektrischer Energie zu, wobei es einhergehend mit dem Knapper-Werden von fossilen Rohstoffen ein Umdenken in Richtung erneuerbarer und umweltfreundlicher Ressourcen zur Energieumwandlung gibt.

Die in der Modellregion errichteten Ökostromanlagen, insbesondere die Photovoltaik-Anlagen, wurden einem Monitoring unterzogen und folgende Parameter analysiert:

- Stromerträge (Tages-, Monats-, Jahresverlauf),
- Deckungsgrad der Stromeinspeisung (Ökostromanlagen) hinsichtlich Strombedarf der Elektromobilität,
- Protokollierung von Störungen sowie Stillstandszeiten.

Das Ziel für das Institut für Elektrische Anlagen der Technischen Universität Graz war es, die übermittelten Messdaten der Betreiber der Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) hinsichtlich des Tages-, Monats- und Jahresverlaufs auszuwerten. Der Strom seitens der PV-Anlagen wurde und wird verwendet, die elektrische Energie bilanziell für die Fahrzeuge der Elektromobilität zur Verfügung zu stellen. Somit konnten folgende im Leistungsverzeichnis gestellten Anforderungen erfüllt werden:

- Auswertung der bei den Betreibern der Stromerzeugungsanlagen vorliegenden Messdaten,
- Auswertung der vorliegenden Protokolle zu Störungsfällen,
- Bewertung des zusätzlichen Leistungs- und Energiebedarfs für die Beladung der E-Fahrzeuge der Modellregion bzw. von hochgerechneten zukünftigen Fahrzeugflottenzahlen auf Grundlage gemessener Fahr- und Ladeprofile bzw. Ladedaten inklusive,
- wirtschaftlicher Bewertung,
- Modellierung ungesteuerter bzw. gesteuerter Beladung und deren Einfluss auf Lastspitzen im Stromnetz,
- Kostenanalyse zum Vergleich unterschiedlicher Speichersysteme für erneuerbaren Strom.

2.1 PV-Anlagen

Die übermittelten Betriebsdaten der PV-Anlagen werden hinsichtlich aufgetretener technischer Störungsarten klassifiziert und deren Zuverlässigkeit analysiert. Zusätzlich werden die gemessenen Energiewerte seitens des Anlagenbetreibers der PV-Anlagen mit einem von der Europäischen Union geförderten Planungstool (PVGIS) [5] zur Ertragsermittlung geprüft.

Der jährliche Energiebedarf der Elektromobilität bestehend aus 480 einspurigen Elektrofahrzeugen sowie erwarteten 400 Elektroautos bis zum Projektende beträgt für die Modellregion Großraum 1.251 MWh/Jahr [6]. Dies steht einer installierten Gesamtleistung

von 1.063 kWp seitens der PV-Anlagen mit einer umgewandelten Energiemenge von 1.063 MWh/Jahr gegenüber.

Die für das Jahr 2020 gemäß dem Ziel des Umweltbundesamtes [7] hochgerechnete Anzahl von 5.250 Elektroautos für Graz würde einen Energiebedarf von 16.230 MWh/Jahr ergeben. Um diese Energiemenge aus erneuerbaren Erzeugungsanlagen bilanziell zu decken, würde z.B. eine – gegenüber dem Bestand der PV-Anlagen im Jahr 2014 – 16 mal größere installierte Leistung seitens der PV-Anlagen benötigt werden. Die Einbeziehung des Wasserkraftwerkes in Gössendorf im Süden von Graz, mit z.B. einer installierten Leistung von 18.750 kW könnte den elektrischen Energiebedarf der Elektromobilität mit einem Jahresertrag von 80.000 kWh/Jahr ebenfalls decken [8].

Auswertung vorhandener Fehlerprotokolle der PV-Anlagen

Die von dem Betreiber protokollierten Störungen der PV-Anlagen, werden in folgende technische Störungsarten gegliedert:

- keine Leistungsabgabe,
- keine Messung,
- Wechselrichterstörung,
- Überspannungsableiter Störung,
- Erdschluss,
- Spannungseinsenkung,
- Allgemeine Störung.

Durch die Unterteilung in Anlagen- und Störungstage kann die Ausfallshäufigkeit der unterschiedlichen Betriebsjahre berechnet werden. Als Basis dienen die übermittelten Fehlerprotokolle der Anlagenbetreiber. Um die Ausfallshäufigkeit $H_{PV-Anlagen}$ der PV-Anlagen zu berechnen, wird die Unterscheidung zwischen Anlagen- und Betriebstagen durchgeführt.

Ausfallhäufigkeit von PV Anlagen

Um die Störungshäufigkeit der PV-Anlagen $H_{PV-Anlagen}$ bspw. für das Betriebsjahr 2011 zu berechnen, werden die Störungstage und die Betriebstage der ausgewerteten PV-Anlagen herangezogen und mit folgender Formel (1) berechnet.

$$H_{PV-Anlagen}(2011) = \frac{n_{Störungstage}}{n_{Betriebstage}} = \frac{33}{1641} = 0,020 \text{ p. u.} \quad (1)$$

In der Tabelle 1 sind die ermittelten Ausfallshäufigkeiten der PV-Anlagen $H_{PV-Anlagen}$ mit der Aufteilung in unterschiedliche Betriebsjahre (2011-2013) aufgelistet.

Tabelle 1: Ausfallshäufigkeit H der PV-Anlagen der Betriebsjahre (2011 bis 2013)

H 2011	H 2012	H 2013	H (2011-2013)
Störungs-/ Anlagentage	Störungs-/ Anlagentage	Störungs-/ Anlagentage	Störungs-/ Anlagentage
p.u.	p.u.	p.u.	p.u.
0,020	0,007	0,037	0,023

Die in Tabelle 1 berechnete Ausfallshäufigkeiten sind am geringsten für PV-Anlagen im Betriebsjahr 2012 und am größten Betriebsjahr 2013. Die Störungshäufigkeit aller drei Betriebsjahr (2011-2013) beträgt im Mittel 0,023 p.u.

Ein in der Literatur [9] angegebener Vergleichswert für die Ausfallshäufigkeit von Wechselrichtern **mit galvanischer Trennung** wird mit 0,02 WR-Defekten pro WR-Betriebsjahr und **ohne galvanische Trennung** mit 0,18 WR-Defekten pro WR-Betriebsjahr angegeben.

Diese beiden Kennzahlen lassen sich jedoch sehr schwer miteinander vergleichen, da bei den Störungstagen nach Tabelle 1 eine zeitliche Komponente für die Dauer der Störung miteinbezogen wird und bei den Kennzahlen aus der Literatur die Defekte lediglich durch die Anzahl der Störungen berechnet, jedoch die Dauer bei dieser Berechnung vernachlässigt wird.

2.2 Elektrische Ladestationen und Auswertung vorhandener Fehlerprotokolle

Ladestationen

Die zusätzliche Protokollierung der aufgetretenen Störungen während des Ladevorganges wird verwendet, um eine Störstatistik und daraus in weiterer Folge eine Analyse der Ausfallhäufigkeit von Ladestationen für Elektrofahrzeuge zu erhalten.

Die Fehlerprotokolle von öffentlichen bzw. halböffentlichen Ladestationen und Einkaufszentrum-Ladestationen wurden mit unterschiedlichen Auswertezwischenräumen seitens der Betreiber anonymisiert zur Verfügung gestellt. Die Auswertung der Datensätze erfolgte durch das Institut für Elektrische Anlagen der Technischen Universität Graz.

Die folgende Tabelle 2 zeigt einen Auszug der Anzahl an registrierten Beladungen, Störungen und durchgeführten Beladungen der elektrischen Ladestationen. Um die durchgeführten Beladungen von den registrierten Beladungen (100 % Beladungen) zu unterscheiden, werden diese erst ab einer geladenen Energiemenge von > 0,1 kWh in der Auswertung berücksichtigt. Diese Unterscheidung wird durchgeführt, da bei einigen Elektroautos zwar ein „Ereignis“ (Zeitstempel Ladestation vorhanden) seitens der Ladestation registriert wurde, jedoch keine bzw. eine sehr geringe Energiemenge geladen wurde.

Tabelle 2: Auszug registrierter Beladungen, durchgeführter Beladungen (>0,1 kWh) sowie Störungsaufzeichnungen elektrischer Ladestationen (öffentlich, halböffentlich)

Standort	Registrierte Beladungen	Störungen	Durchgeführte Beladungen
Ladestation A (öffentlich)	2369	28	2185
Ladestation B (öffentlich)	39	1	15
Ladestation C (halböffentlich)	336	0	18

Ausfallhäufigkeit von Ladestationen

In die Auswertung der Störungshäufigkeit $H_{\text{Ladestationen}}$ der elektrischen Ladestationen werden aufgrund fehlender Informationen nur diese Störungen der öffentlichen und der halböffentlichen Ladestationen miteinbezogen. Die Gleichung (1) zeigt die Berechnung der Störungshäufigkeit $H_{\text{Ladestationen}}$.

$$H_{\text{Ladestationen}} = \frac{n_{\text{Störungen}}}{n_{\text{durchgeführte Beladungen}}} = \frac{29}{2218} = 0,013 \text{ p. u.} \quad (2)$$

Dies entspricht einer Verfügbarkeit von 98,7 %. Um die oben angeführte Störungshäufigkeit der elektrischen Ladestationen $H_{\text{Ladestationen}}$ mit weiteren belastbaren Zahlen belegen zu können, wurden an folgende Institutionen: Netzbetreiber, Ladestellenbetreiber, Mobilitätsregionen, Energieversorgungsunternehmen zusätzliche Anfragen bzgl. deren Erfahrungen mit den Störungen von elektrischen Ladestationen ausgesendet. Folgende Antworten können zusammengefasst werden:

Die Störungsmeldungen

- **mit einem Informations-/Datenmanagementsystem** inkl. IKT-Infrastruktur¹ sind detektierbar.

Bei einer Störung erfolgt die Meldung direkt an die technische Überwachungsstelle, hierbei wird eine Entscheidung bzgl. der Art der Störungsbehebung getroffen, bspw. kann eine Behebung durch den Entstördienst erfolgen.

Die Störungsmeldungen

- **ohne ein Datenmanagementsystem** und ohne IKT-Infrastruktur sind **nicht** detektierbar.

Da nur sehr wenige Ladestationen aktuell eine IKT-Infrastruktur besitzen, kann bei einer Störung die Meldung nicht automatisch an die technische Überwachungsstelle erfolgen. Eine vorhandene Störungsmeldung einer nicht funktionsfähigen Ladestation könnte beispielsweise durch Kunden über ein Callcenter gemeldet werden. Erst danach erfolgt eine Meldung bspw. an einen Techniker und die Behebung kann beispielsweise durch den Entstördienst durchgeführt werden.

Erst wenn eine große Anzahl von elektrischen Ladestationen mit einem Datenmanagementsystem und IKT-Infrastruktur ausgestattet ist und diese zusätzlich zwischen unterschiedlichen Fehlerarten unterscheiden können, wird es möglich sein, aussagekräftige Kennzahlen für die Störungshäufigkeit bzw. die Verfügbarkeit von elektrischen Ladestationen zu bestimmen.

¹ IKT-Infrastruktur: Informations- und Kommunikationstechnik Infrastruktur

3 Auswirkungen der Elektromobilität auf das elektrische Stromnetz [10]

Gegenwärtig werden der Bedarf und die Auswirkungen der Elektromobilität anhand von Daten des motorisierten Individualverkehrs [11], [12] durch Heranziehen zurückgelegter gewerblicher und privater Wegstrecken sowie dem Standverhalten beurteilt. Hierbei wird vereinfachend angenommen, dass sich die zukünftige Elektromobilität gleich wie der motorisierte Individualverkehr heute verhält [13].

Das technische Monitoring der elektrischen Ladestationen dient der Erfassung bzw. Analyse charakteristischer technischer Kenngrößen (z.B. geladene Energiemenge, Ladebeginnzeitpunkte) unter Berücksichtigung von standortspezifischen Gegebenheiten (öffentliche, betriebliche und Einkaufszentrum-Ladestationen) bei der Beladung der Elektroautos. Um auch die Auswirkungen der zukünftigen Elektromobilität auf das bestehende elektrische Versorgungsnetz zu eruieren, insbesondere auf das Niederspannungsverteilernetz, werden die im Zuge des technischen Monitorings real gemessenen Daten von Kunden mit Elektroautos herangezogen. Die ausgewerteten und anonymisierten Daten werden in dem in [54] dargestellten probabilistischen Bottom-up Ansatz verwendet, um das elektrische Ladeverhalten von Kunden mit Elektroautos nachzubilden.

3.1 Erstellung elektrischer Ladeleistungsprofile für Elektroautos

Der Ablauf zur Erzeugung dieser probabilistischen Ladeleistungsprofile anhand gemessener und analysierter Daten der elektrischen Ladestationen von Elektroautos unter Berücksichtigung des standortspezifischen Verhaltens von öffentlichen, betrieblichen, Einkaufszentrum-Ladestationen wird auf Jahresbasis in Abbildung 3 dargestellt [14].

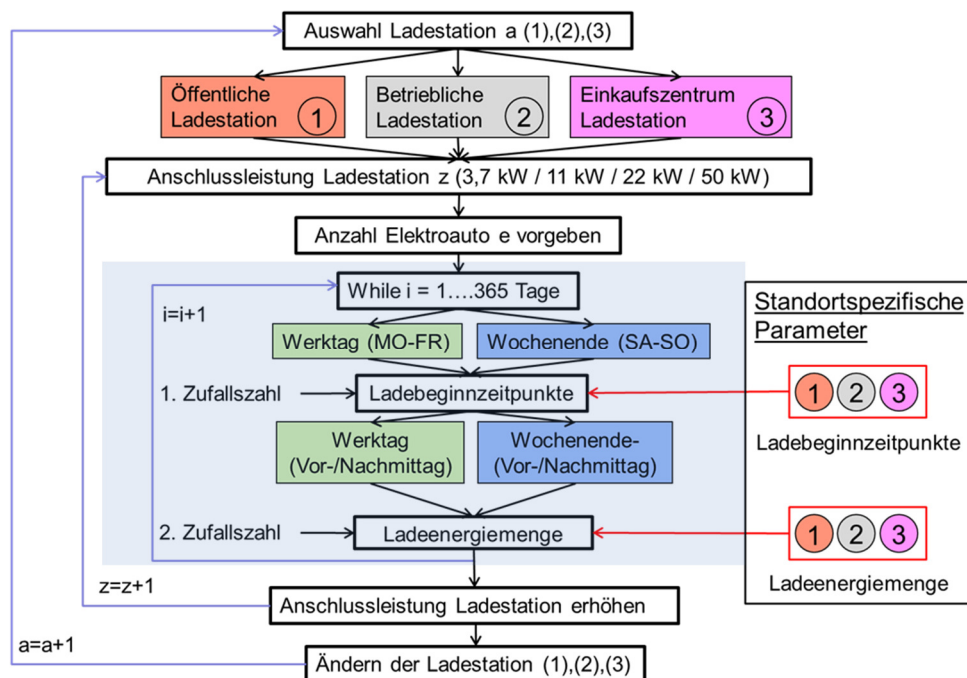


Abbildung 3: Methode zur Erstellung probabilistischer Ladeleistungsprofile anhand gemessener und analysierter Daten (Ladebeginnzeitpunkte, Ladeenergiemenge) für unterschiedliche Anschlussleistungen der Ladestationen (3,7/11/22/50 kW) [14]

Die ausgewerteten Parameter (geladene Energien, Ladebeginnzeitpunkte) der elektrischen Ladestationen dienen als Inputparameter der in Abbildung 3 dargestellten Methode, um probabilistische Ladeleistungsprofile, auf Basis dieser ausgewerteten Daten, für eine unterschiedliche Anzahl an Elektrofahrzeugen zu erzeugen [14]. In Abbildung 4 a) befindet sich das Histogramm der relativen Ladebeginnzeitpunkte für den Werktag bzw. in Abbildung 4 b) das Histogramm der relativ geladenen Energien für Werktag Vormittag einer öffentlichen Ladestation (Zeitraum der Auswertung 01/2013 bis 04/2015).

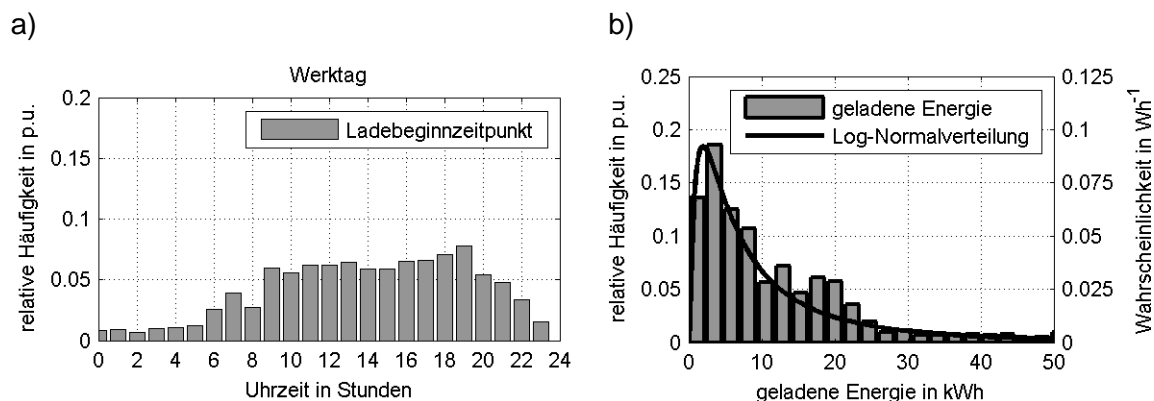


Abbildung 4: Darstellung a) der relativen Ladebeginnzeitpunkte (Werktag) und b) der geladenen Energien (Werktag Vormittag) – öffentliche Ladestationen [14]

In Abbildung 4 a) ist ersichtlich, dass ab 19:00 Uhr die Ladezeitpunkte kontinuierlich absinken. Die geladenen Energien in Abbildung 4 b) werden mittels der Log-Normalverteilung beschrieben und in den weiterführenden Simulationen genutzt.

3.2 Auswirkungen der Elektromobilität auf ein reales Niederspannungsnetz

Die Auswirkungen der zukünftigen Elektromobilität auf das elektrische Netz werden an einem realen städtischen Niederspannungsverteilernetz mit den Haushalten (HH) und den zukünftigen elektrischen Ladestationen (LA) der Elektromobilität dargestellt. Hierbei werden die Auswirkungen der zukünftig zu erwartenden Elektromobilität d.h. den Lademustern der Elektromobilität mit den gemessenen und ausgewerteten Daten von

- a) öffentlichen Ladestationen (Einschaltzeitpunkte, geladene Energie) und
- b) betrieblichen Ladestationen (Einschaltzeitpunkte, geladene Energie)

sowie die standortspezifischen Charakteristika untersucht.

Die alternative Zugrundelegung dieser beiden Lademuster ist dem Umstand geschuldet, dass keine projektspezifischen real gemessenen Daten von privaten Ladestationen vorliegen. Im Folgenden werden 4 Szenarien mit einem unterschiedlichen prozentuellen Anteil an Elektroautos – bezogen auf die Anzahl der Haushalte definiert, um die Auswirkungen bei unterschiedlicher Ausprägung der zukünftigen Elektromobilität für eine Simulationsdauer von einem Jahr, darzustellen. Zusätzlich wird der Einfluss der ausgewerteten standortspezifischen Lademuster (Ladeenergiemenge, Ladebeginnzeitpunkte) der a) **öffentlichen Ladestationen** sowie der b) **betrieblichen Ladestationen** in den Szenarien auf das elektrische Niederspannungsverteilernetz untersucht.

Die folgenden Szenarien in Tabelle 3 wurden definiert, um die Auswirkungen der zukünftigen Elektromobilität bei unterschiedlichen Ausprägungen der Elektromobilität bezogen auf die Anzahl der Haushalte für eine Simulationsdauer von einem Jahr darzustellen. Das Basisszenario wurde verwendet, um den Stand der Auslastung des Transformators darzustellen.

Tabelle 3: Definition unterschiedlicher Szenarien mit städtischen Haushaltslasten und mit/ohne Elektromobilität

Elektrische Lasten	Szenario 1 (Basis-szenario)	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Städtische Haushaltslast (HH)	100 %	100 %	100 %	100 %
Elektromobilität (EV)	0 %	50 %	75 %	100 %

Das in Abbildung 5 dargestellte Niederspannungsverteilernetz beinhaltet eine Ortsnetztransformatorstation mit einem 1000-kVA-Transformator sowie 4 Niederspannungsabgängen mit einer unterschiedlichen Anzahl daran angeschlossener städtischer Haushalte (HH). Die auf probabilistischer Jahresbasis generierten städtischen Haushaltslasten werden gemäß [15]-[17] mit einer 15-minütigen Auflösung erzeugt. Zusätzlich zur probabilistisch erzeugten Wirkleistung der städtischen Haushalte wird für die Spannungsbetrachtung ein fixer Verschiebungsfaktor $\cos \varphi = 0,97$ angenommen [18]. Die probabilistischen Ladeleistungsprofile der Elektroautos werden mit einem fixen Verschiebungsfaktor $\cos \varphi = 1,0$ angenommen.

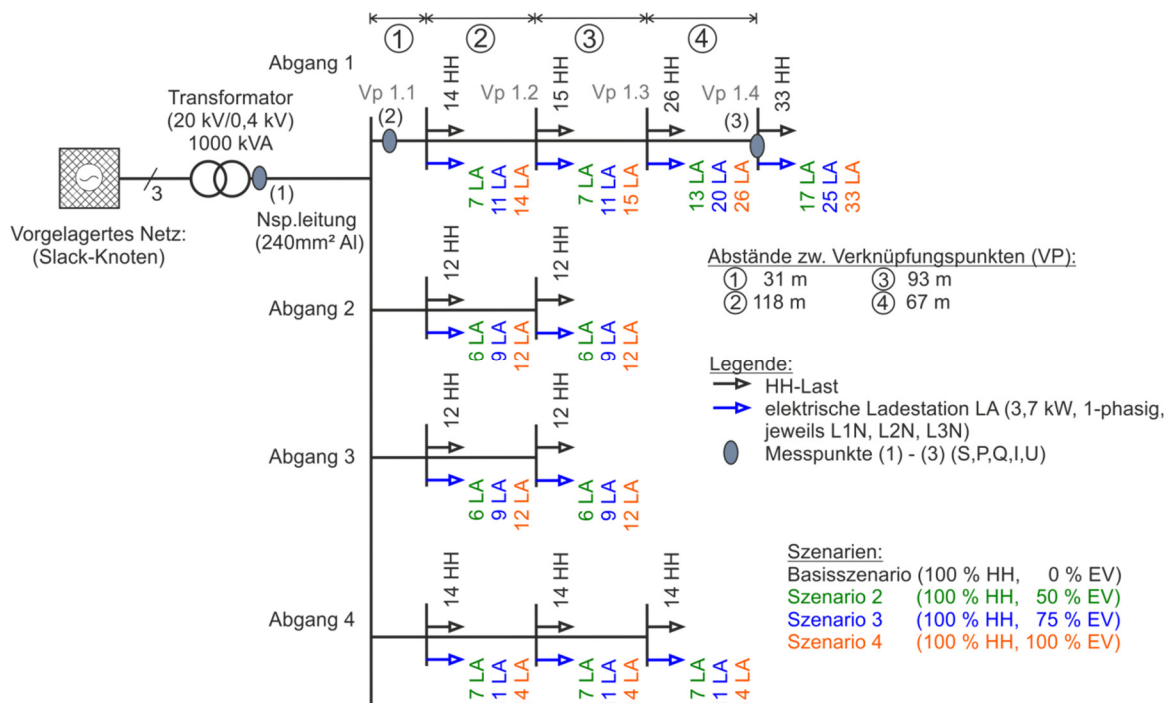


Abbildung 5: Reales städtisches Niederspannungsnetz mit 4 Abgängen, städtischen Haushaltslasten (HH), elektrischen Ladestationen (EV) und den dargestellten Messpunkten (1)-(3)

Die Lastflusssimulationen wurden mit dem Programm NEPLAN durchgeführt. Die Messpunkte (1) – (3) im realen Niederspannungsverteilternetz werden genutzt, um die Auswirkungen der zukünftigen Elektromobilität darzustellen. Jedes Elektroauto (EV) besitzt eine eigene Ladestation (LA) mit jeweils einer möglichen Anschlussleistung von 3,7/11/22 kW, um die Auswirkungen der unterschiedlichen Ladeleistungen auf das exemplarische Niederspannungsverteilternetz darzustellen.

Bei den in Abbildung 5 dargestellten neun elektrischen Ladestationen (9 LA – Szenario 3) handelt es sich im einen Fall um 9 einphasige Ladestationen (LA) mit einem Anschlusspunkt zwischen Außenleiter und Neutraleiter L1N, L2N bzw. L3N. Bei höheren Anschlussleistungen (11/ 22 und 50 kW) werden die elektrischen Ladestationen (LA) dreiphasig angeschlossen. Die Strombelastbarkeit der Abgangsleitung 1 von der Trafostation beträgt gemäß ÖVE/ÖNORM E 8200-603 [19] 364 A (E-AYY 240 mm² Al) [20].

In der Abbildung 6 befinden sich die aus den Lastflusssimulationen berechneten Dauerlinien der elektrischen Leistung für den a) Transformator (Nennscheinleistung 1000 kVA) sowie für die Ströme der b) Abgangsleitung 1. Zusätzlich sind die einzelnen Szenarien (Basisszenario, Szenario 2 bis 4) mit dem **öffentlichen Lademuster** mit einer maximal möglichen Ladeleistung von 3,7 kW je Ladestation dargestellt.

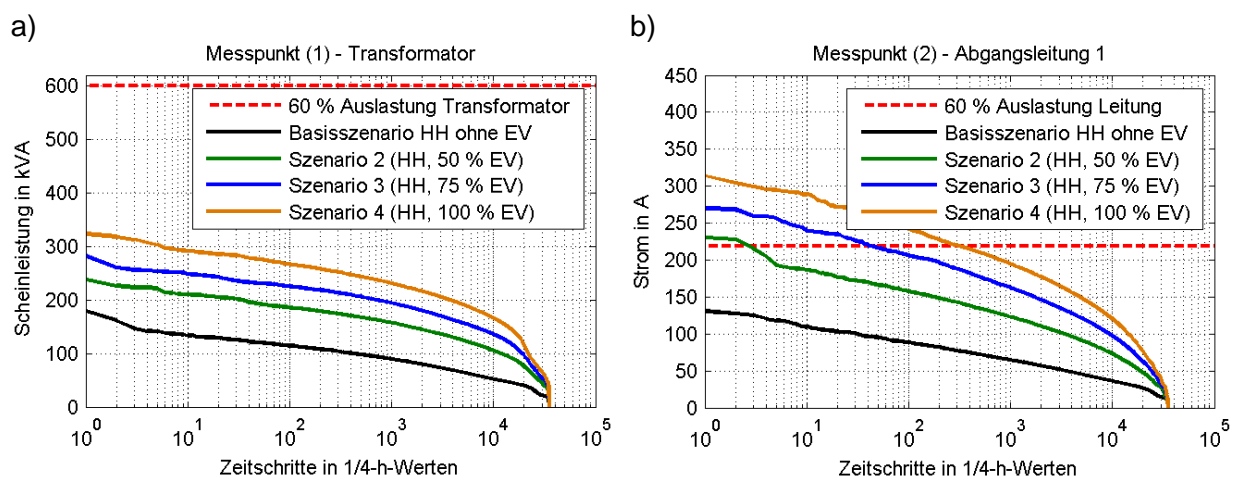


Abbildung 6: Dauerlinie a) Transformators – Messpunkt (1) sowie b) der Abgangsleitung 1 – Messpunkt (2), mgl. Ladeleistung 3,7 kW – öffentliches Lademuster

Aus Abbildung 6 a) ist ersichtlich, dass durch die Integration der Elektromobilität die Spitzenbelastung (Max) des Transformators von 179 kVA (Basisszenario) auf 324 kVA (Szenario 4) ansteigt (+81 %), siehe Tabelle 4. Das 95 % Quantil (1752 Messwerte von 35 040 Messwerten) steigt von 82 kVA (Basisszenario) auf 219 kVA (Szenario 4, +167 %). Hingegen steigt das 50 % Quantil der Scheinlast des Transformators von 42 kVA (Basisszenario) auf 132 kVA (Szenario 4, +214 %).

Ähnliche Steigerungen von 140 % bzw. 205 % (Max. bzw. 95 % Quantil) ergeben sich bei Betrachtung der Abgangsleitung 1. Bei Betrachtung von Szenario 4 (100 % EV) wird für 79 Stunden, bei Szenario 3 (75 % EV) wird für 11 Stunden bzw. bei Szenario 2 (50 % EV) wird für eine halbe Stunde innerhalb eines Jahres eine Überschreitung der 60 % Auslastungsgrenze der Abgangsleitung 1 erreicht (Abbildung 6 b).

Die Ergebnisse der durchgeführten Lastflussrechnungen für eine mögliche Ladeleistung von 3,7 kW je elektrischer Ladestation mit dem öffentlichen Lademuster werden in der Tabelle 4 zusammengefasst. Zusätzlich werden die aus der Lastflusssimulation ausgewerteten netztechnischen Parameter (Leistung, Strom, Spannung) sowie die prozentuellen Steigerungen bei Integration der Elektromobilität (Szenario 2 bis 4) bezogen auf das Basisszenario dargestellt. Die Leiterspannungen sind jeweils auf die Nennspannung im Niederspannungsbereich bezogen und werden in p.u. angegeben.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse der Lastflusssimulationen – mögliche Ladeleistung 3,7 kW – öffentliches Lademuster (Basisszenario bis Szenario 4)

		Szenario – öffentliches Lademuster			
		Szenario 1 (Basis- szenario)	Szenario 2 (100 % HH, 50 % EV)	Szenario 3 (100 % HH, 75 % EV)	Szenario 4 (100 % HH, 100 % EV)
Scheinleistung Transformator – Messpunkt (1) in kVA	Max	179	238 (↑33%)	282 (↑58%)	324 (↑81%)
	95 % Quantil	82	147 (↑79%)	183 (↑123%)	219 (↑167%)
	50 % Quantil	42	84 (↑100%)	107 (↑155%)	132 (↑214%)
Strom Abgangsleitung 1 – im Messpunkt (2) in A	Max	131	230 (↑76%)	270 (↑106%)	314 (↑140%)
	95 % Quantil	59	113 (↑92%)	149 (↑153%)	180 (↑205%)
	50 % Quantil	29	53 (↑83%)	70 (↑141%)	86 (↑197%)
Leiterspannung am Leitungsende – Messpunkt (3) in p.u.	Min	0,981	0,960 (↓2,1%)	0,947 (↓3,5%)	0,940 (↓4,2%)
	5 % Quantil	0,992	0,982 (↓1,0%)	0,976 (↓1,6%)	0,971 (↓2,1%)
	50 % Quantil	0,996	0,994 (↓0,2%)	0,991 (↓0,5%)	0,990 (↓0,6%)

Wie aus den einzelnen Simulationen ersichtlich ist, werden die Spannungsgrenzen gemäß ÖVE/ÖNORM EN 50160 [21] bis zum letzten Hausanschluss (Messpunkt (3), VP 1.4) eingehalten und liegen innerhalb der vorgegebenen Grenzen von ± 10 % der Versorgungsspannung für 95 % der Zeit.

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich ist, ergibt sich bei Integration der zukünftigen Elektromobilität in das städtische Verteilernetz hinsichtlich des eingesetzten Transformators keine Überlastung desselben. Die Verwendung eines leistungsschwächeren Transformators (630 kVA) unter Voraussetzung eines (n-1)-strukturierten Betriebs wäre diesen Annahmen ebenfalls möglich. Aufgrund vorhandener freien Flächen ist eine höhere Transformatorauslastung in naher Zukunft durch Erweiterung der Anlagen zu erwarten.

Die Ergebnisse mit dem betrieblichen Lademuster zeigen im Vergleich zu den Ergebnissen aus mit dem zugehörigen öffentlichen Lademuster eine geringere Belastung. Dies lässt sich auf die ermittelten und ausgewerteten Parameter der standortspezifischen Ladestationen zurückzuführen [22].

4 Ökonomische und ökologische Zielsetzungen

Durch die stetig ansteigende Bevölkerung in städtischen Großräumen wird es in den nächsten Jahren zu einer erhöhten Verkehrsdichte sowie einem Engpass an Stellplätzen im urbanen Raum kommen [23]. Zusätzlich ist zu erwarten, dass durch das erhöhte Verkehrsaufkommen die Feinstaub- sowie Treibhausgas-Emissionen ausgehend vom aktuellen hohen Niveau, wie in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt, noch weiter ansteigen werden [24], [25].

Um diesen unerwünschten Effekten entgegenzuwirken und um die Lebensqualität der Bürgerinnen und Bürger zu steigern, wird nach neuen Entwürfen für nachhaltigen Personenverkehr gesucht. Durch den Anstieg der Optionenvielfalt innerhalb der individuellen Mobilität bietet sich Multimodalität als alternatives Verkehrskonzept an, das eine Veränderung bisheriger ressourcenintensiver Mobilitätsmuster im Personenverkehr, die durch automobiler Einzelpersonen geprägt sind, hin zu flexibler, verschiedene Verkehrsmittel je nach Wegzweck und Tagessituation umfassender, sowie innerhalb einer Interessensgemeinschaft von Familienmitgliedern, Nachbarn, Arbeitskollegen, etc. koordinierter Mobilität propagiert. Intermodalität geht noch einen Schritt weiter und bewirkt das intelligente Kombinieren mehrerer Verkehrsmittel auf demselben Weg.

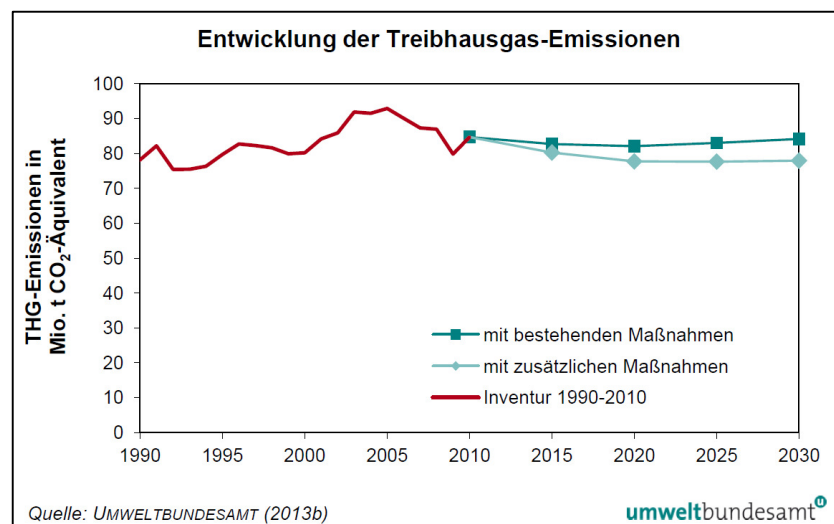


Abbildung 7: Projektion der Treibhausgas-Emissionen Österreichs [24]

4.1 Aktuelle Fördervorhaben im Bereich Elektromobilität

Einschlägige Strategiepapiere auf EU-, nationaler und lokaler/regionaler Ebene fordern den Wandel zu Elektromobilität:

- 20/20/20 Ziele: Die 20/20/20 Ziele fokussieren auf die Reduktion der Treibhausgase, den Ausbau der erneuerbaren Energieträger und die Reduktion des Energieverbrauchs um jeweils 20 %. Änderungen im Mobilitätsverhalten sind notwendig um diese Ziele zu erreichen, da Mobilität für rund ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs verantwortlich ist [26].

- Action Plan on Urban Mobility [27]: In diesem Aktionsplan geht es vorrangig um die Erstellung und den Erhalt zukunftsträchtiger und nachhaltiger Mobilitätskonzepte für den urbanen Raum. Im Rahmen dieses Aktionsplans wurde schon eine Vielzahl, teilweise sehr großer und mittlerweile sehr bekannter Projekte im Mobilitätsbereich umgesetzt, u. a. die CIVITAS Initiative und ELTIS PLUS.
- White Paper on Transport: Diese umfassende Strategie für ein wettbewerbsfähiges und umweltfreundliches Verkehrssystem umfasst auch den Stadt- und Pendlerverkehr, für den in erster Linie der Umstieg auf alternativ betriebene Fahrzeuge und die notwendige Stärkung des öffentlichen Nahverkehrs genannt werden [28].
- European Road Map 2050: Die Energy Road Map 2050 ist ein weiterer wichtiger Meilenstein der Europäischen Kommission im Klimaschutz. Auch hier wird Elektromobilität als ein Weg die Treibhausgasemissionen zu reduzieren anerkannt [29].
- Österreichische Energiestrategie: Die Energiestrategie Österreichs hebt gemäß Abbildung 5 vielzählige Aspekte hervor, unter anderem die Forderung nach attraktiven und vernetzten Angeboten für den öffentlichen Personenverkehr, die Verbesserung des Modal Split und ein österreichweiter Taktfahrplan inklusive attraktivem Ticketangebot. Ebenso ist die Begünstigung schadstoffarmer Antriebssysteme wie die Elektromobilität hier ein Thema [30].
- Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels 2008-2012: Auch in dieser 2007 erlassenen Strategie spielt Mobilität eine wesentliche Rolle. Einige der darin vorgeschlagenen Maßnahmen sind: Bewusstseinsbildungsmaßnahmen, Förderung des Rad- und Fußgängerverkehrs, Ausbau des öffentlichen Verkehrs und Mobilitätsmanagements sowie Beratungs- und Förderprogramme [30-31].
- Nationaler Einführungsplan Elektromobilität: Diese Initiative unterstreicht die Notwendigkeit, Elektromobilität in Rahmenbedingungen aus Verkehrspolitik, Raumplanung und Ladestelleninfrastruktur einzubetten [30], [32].

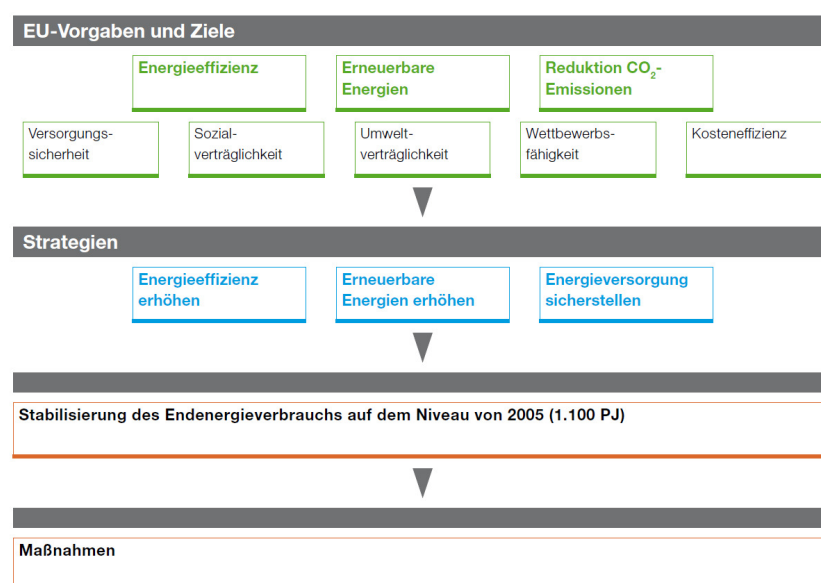


Abbildung 8: Drei Strategiesäulen Österreichs: Steigerung der Energieeffizienz, der Energieeinsparung und Ausbau der erneuerbaren Energien [30]

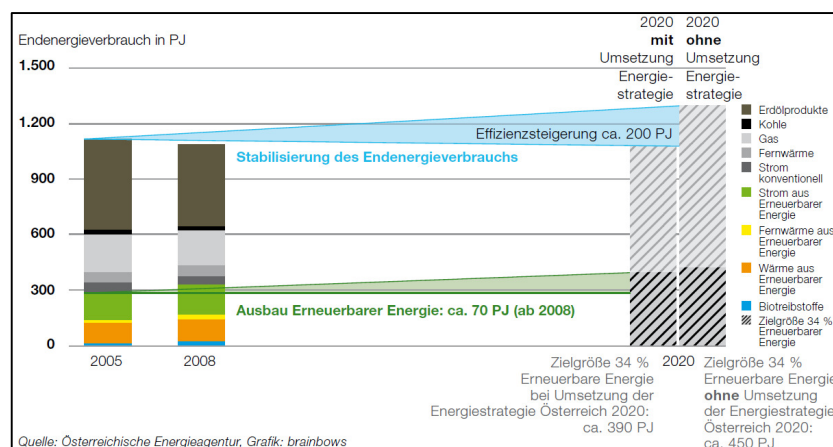


Abbildung 9: Modell der Energiestrategie in Österreich [30]

Anwendung	Pendler	Taxis	Urbaner ÖV-Benutzer	Freizeit-Verkehr	öffentliche Flotten	betriebliche Flotten	City-Logistik	Güter-Straßen-Fernverkehr
Fahrzeugklasse	E-Fahrrad	E-Moped	E-Motorräder	PKW	Leichte NFZ	Busse	schwere NFZ	
Technologie	Full-Hybrid	Plug-In-Hybrid	Batterie-Elektrofahrzeug	Brennstoffzellen-Fahrzeug				
räumliche Verortung	urban	Agglomeration	Verkehrskorridor	ländlicher Flächenverkehr				
Intermodale Verknüpfung	Fußgänger, Rad	Schiene kurz	Schiene lang	Busse	Flugverkehr	Schiff		
Handlungsfeld	Umsetzungs-regionen	Legistische Maßnahmen	F&E-Förderung	Infrastruktur	Ministeriums-Internes	Synergien mit ÖV		
Stakeholder	Öffentliche Beschaffung	Verkehrs-politik	Intermodale Verknüpfung	Öffentlichkeits-Arbeit	Internationale Vernetzung			
Zeitplan	Aus- und Weiterbildung	Finanzielle Förderung & Ausgleichsmaßnahmen	Betreiber-Modelle	Energie-Bereitstellung	Mobilitäts-Management			
Stakeholder	Ministerien, Gemeinden, Länder	Unter-nehmen	F&E-Institutionen	Fahrzeug-Industrie	Energie-Versorger	Verkehrs-Dienstleister	Infrastruktur-Unternehmen	
Zeitplan	kurzfristig	mittelfristig	langfristig					

Abbildung 10: Dimensionen der Elektromobilität [32]

- Energiestrategie Steiermark 2025: Auch das Land Steiermark unterstützt die Schaffung alternativer Mobilitätsangebote, besonders im Zuge des Ausbaus des S-Bahn Systems und der Forcierung des Radland Steiermark [33].
- Klimaschutzplan Steiermark 2020/2030: Der Klimaschutzplan identifiziert eine Vielzahl an Handlungsoptionen zur Reduktion der Umweltauswirkungen des Verkehrs in der Steiermark. Unter anderem werden der Ausbau der öffentlichen Verkehrs, alternativer Antriebe und des Rad- und Fußverkehrs sowie flexible Verkehrslösungen, intermodaler Verkehr, Car-Sharing, u. v. m. genannt [33].
- Roadmap Elektromobilität Steiermark 2025: Verfasst von der Grazer Energieagentur im Jahr 2012, liefert die Roadmap Elektromobilität Steiermark eine Handlungsgrundlage für die Entscheidungsträger des Land Steiermark um das Land für Elektromobilität fit zu machen. Dazu zählen auch Aspekte des Fahrzeug-Poolings, die Forcierung multi- und intermodaler Mobilitätsangebote und die Bewusstseinsbildung [34].
- Mobilitätsstrategie der Stadt Graz: In den Verkehrspolitischen Leitlinien 2020 und im Grazer Mobilitätskonzept 2020 spielt Multimodalität und sanfter Verkehr eine essentielle Rolle.

4.2 Praktische Umsetzung der Klimaschutzziele

Als zukünftige Schlüsselstrategie zählt die Elektromobilität zu einem wichtigen Baustein zur Erfüllung der europäischen Klimaschutzziele. Durch die Bereitstellung eines umfassenden Mobilitätskonzeptes kann Elektromobilität nutzer- und umweltfreundlich aufbauend auf der bestehenden Infrastruktur eingesetzt werden. Ein erhöhtes Bewusstsein der Bevölkerung hin zu klimafreundlicher Mobilität muss durch vermehrte Information und Wissen geschaffen werden, um ein nachhaltiges Mobilitätsverhalten zu bewirken.

Die praktische Umsetzung beinhaltet schwerpunktmäßig drei Zielsetzungen:

- Gesamtheitliches Mobilitätskonzept: Elektromobilität soll besonders verstärkt in die bisherige Verkehrsstruktur (öffentlicher Verkehr, Fuß- sowie Radverkehr, konventionelle Pkw und Pooling-/Sharing-/Verleihkonzepte) nutzerfreundlich integriert werden. Dabei ist der Elektromobilität (E-Bike, E-Roller, E-Auto usw.) im Besonderen eine Schlüsselrolle im innerstädtischen Nahverkehr zugeordnet, um den NutzerInnen eine flexible, schnelle und umweltfreundliche Transporttechnologie zur Verfügung zu stellen.

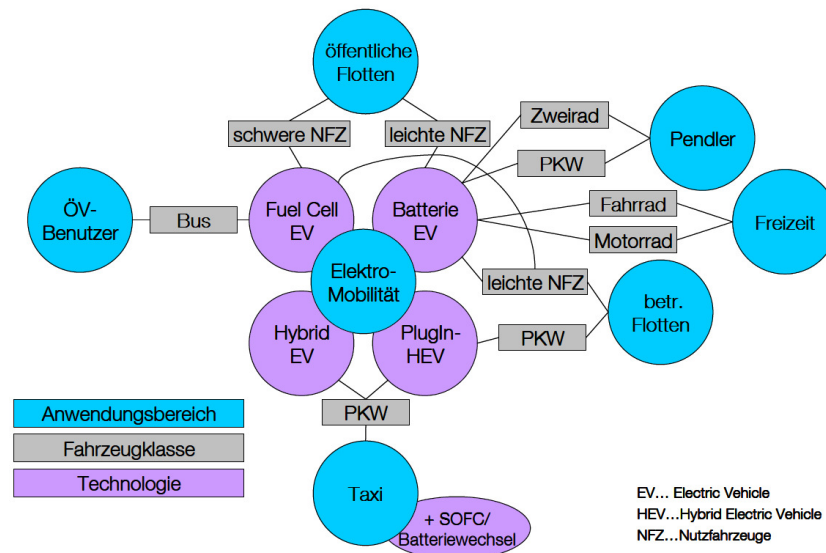


Abbildung 11: Mögliche Wege bei der Einführung der Elektromobilität [32]

- Nutzergruppenorientierung: Das Mobilitätsverhalten der einzelnen Nutzergruppen soll entsprechend ihrer Bedürfnisse und Interessenslagen innerhalb eines gesamtheitlichen Mobilitätskonzeptes abgedeckt werden. Dies soll durch ein abgestimmtes Zusammenspiel zwischen NutzerInnen, Infrastruktur und Verkehrsmittel über ein interaktives Mobilitätsservice (Smartphone sowie Internet) ermöglicht werden. Eine einfache und verständliche Handhabung eines interaktiven Apps soll Synergien erkennen und so Mitfahrgelegenheiten aufzeigen, welche in weiterer Folge Kosten sparen und Umwelteinflüsse reduzieren.
- Mobilitätsbewusstsein: Durch die aktive Vernetzung und Erfassung des Mobilitätsverhaltens der NutzerInnen lassen sich Nachhaltigkeitsbewertungen bezüglich Ökonomie (Fahrkosten, Lebenszykluskosten), Ökologie (CO₂-Emissionen, ökologischer Fußabdruck) sowie zu sozialen Aspekten (Kontakte, Gesundheit) erstellen. Speziell zu diesem Zweck entworfene Werkzeuge (Informationsplattform)

sollen unterstützend ein Bewusstsein für die Kosten und Umweltauswirkungen schaffen und den Ausgangspunkt für selbstreflektiertes Mobilitätshandeln bereitstellen.

Im Besonderen wirkt sich die Elektromobilität in Ländern mit hohem Ökostromanteil, wie es in Österreich beispielsweise der Fall ist, auf die CO₂-Bilanz sehr günstig aus. So werden durch die Elektromobilität nicht nur fossile Ressourcen geschont, sondern es wird auch zusätzlich durch die Verwendung erneuerbarer Energien nachhaltig Ökostrom umweltfreundlich umgesetzt [35-37].

5 Nutzerverhalten, -akzeptanz und -bedürfnisse [38]

Mit der Durchführung einer NutzerInnenbefragung [38] im Großraum Graz sollen qualitative Daten zu Nutzerverhalten, -akzeptanz und -bedürfnissen erhoben werden. Von der Modellregion Graz wurden davon ausgehend 2 Schwerpunkte definiert:

- Ladeinfrastruktur,
- multimodale Verknüpfung, insbesondere mit dem Öffentlichen Verkehr.

Folgende Aspekte sollen bei der Erhebung berücksichtigt werden:

- Veränderung des Mobilitätsverhaltens,
- Motive für den Umstieg auf Elektromobilität,
- Zahlungsbereitschaft und Mehrpreisakzeptanz,
- Substitution konventioneller PKW,
- Nutzerfreundlichkeit, insbesondere der Ladeinfrastruktur sowie der Service- und Supportstruktur.

Der Stichprobenumfang umfasst dabei die Größenordnung von 80 bis 90 Testpersonen. Zwischen März und Dezember 2014 wurden insgesamt 86 Interviews durchgeführt. Sie waren auf folgende NutzerInnen-Gruppen verteilt:

- 24 gewerbliche E-Auto NutzerInnen, Befragungsschwerpunkt „Laden“,
- 17 private E-Auto NutzerInnen, Befragungsschwerpunkt „Mobilitätsverhalten“,
- 20 regelmäßige Pedelec-NutzerInnen, Befragungsschwerpunkt „Mobilitätsverhalten“,
- 5 regelmäßige E-Carsharing-NutzerInnen, Befragungsschwerpunkt „Mobilitätsverhalten“,
- 20 Personen, die E-Fahrzeuge getestet und sich gegen einen Erwerb entschieden haben.

Bei allen InterviewpartnerInnen wurden Zahlungsbereitschaft, Substitution konventioneller PKW, NutzerInnenzufriedenheit und Umstiegs motive abgefragt. Die Erhebung fand mittels Telefoninterviews statt. Die Interviewdauer betrug 15 bis 25 Minuten. Die E-Fahrzeug-NutzerInnen entsprechen noch sehr den klassischen Merkmalen der „Early Adopters“:

- etwa 75% sind männlich,
- hoher Bildungsgrad,
- Alter überwiegend zwischen 40 und 59 Jahren.

Nur bei den Pedelec-NutzerInnen ist der Frauenanteil etwas höher (35%) und der Bildungsgrad stärker am gesellschaftlichen Durchschnitt. Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass Pedelecs ihre Pionierphase überschritten haben und schon für breitere Kundenschichten interessant sind.

5.1 E-Fahrzeugnutzung

Die Elektroautonutzung liegt im Durchschnitt bei ca. 12.500 km pro Jahr, das entspricht etwa der durchschnittlichen Jahreskilometerleistung von konventionellen PKWs. Die intensivste Fahrzeugnutzung lag bei 34.000 km.

Fahrleistung:

Summe aus 24 Antworten: 300.000 km pro Jahr
Durchschnitt: 12.500 km pro Jahr
Median: 10.000 km pro Jahr

Fahrleistung:

Summe aus 17 Antworten: 216.500 km pro Jahr
Durchschnitt: 12.735 km pro Jahr
Median: 12.000 km pro Jahr

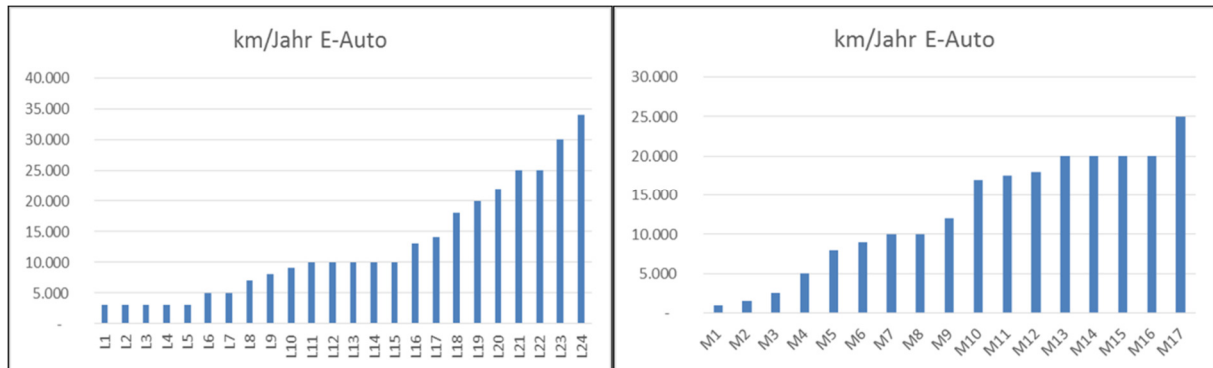


Abbildung 12: Auswertung der Elektrofahrzeugnutzung: gewerbliche NutzerInnen (links), private NutzerInnen (rechts) [38]

Eine detaillierte Auswertung der Befragung ergab dabei die folgenden Ergebnisse:

Gewerbebetriebe, die ein Elektroauto einsetzen:

- haben die Routenplanung geändert: lange Distanzen mit dem konventionellen PKW, kurze Wege (< 50 km) und Stadtverkehr durch das E-Auto,
- nützen den konventionellen PKW deutlich weniger oder haben ihn verkauft, hauptsächlich mit der Begründung, dass E-Autos weniger technische Probleme machen,
- verwenden im Sommer mehr das E-Auto, im Winter mehr den konventionellen PKW.

Privatpersonen:

- nützen das E-Auto mehr, als vorher der konventionellen PKW, da dieses Fahrzeug ein gutes Gewissen vermittelt, insbesondere wenn es mit Ökostrom betrieben wird,
- erweitern mit dem E-Auto den Nutzerkreis, da es auch von Familienmitgliedern gerne und mehr als vorher gefahren wird,
- setzen das E-Auto im Nahverkehr ein und verwenden für weite Strecken konventionelle PKW.

Aber auch bei *Pedelec-NutzerInnen* ist es zu erheblichen Veränderungen in der Fahrzeugnutzung gekommen:

- Sie legen kurze Strecken mit dem Pedelec statt mit dem PKW zurück.
- Der Arbeitsweg wird primär mit dem Pedelec statt mit dem PKW bewältigt.

5.2 Substitution konventioneller PKW

Substitutionseffekte waren klar erkennbar:

- Bei den *gewerblichen NutzerInnen* hat das E-Auto den konventionellen PKW mehrheitlich ersetzt. Elektroautos wurden jedoch auch häufig zur Aufstockung des bestehenden Fuhrparks angeschafft.
- Die *privaten User* haben den konventionellen PKW in einem sehr hohen Ausmaß durch das E-Auto ersetzt. Dabei wurden mehrheitlich Erstwagen durch das E-Auto abgelöst. Anders als oft vermutet, wurden Zweitwagen weniger durch E-Autos substituiert. Das liegt vermutlich daran, dass E-Autos als Zweitwagen für viele Menschen zu teuer sind.
- Das Pedelec hat die Anzahl der konventionellen PKW im Haushalt kaum reduziert. Es wurde einmal ein Zweitwagen durch ein Elektrofahrrad abgelöst.

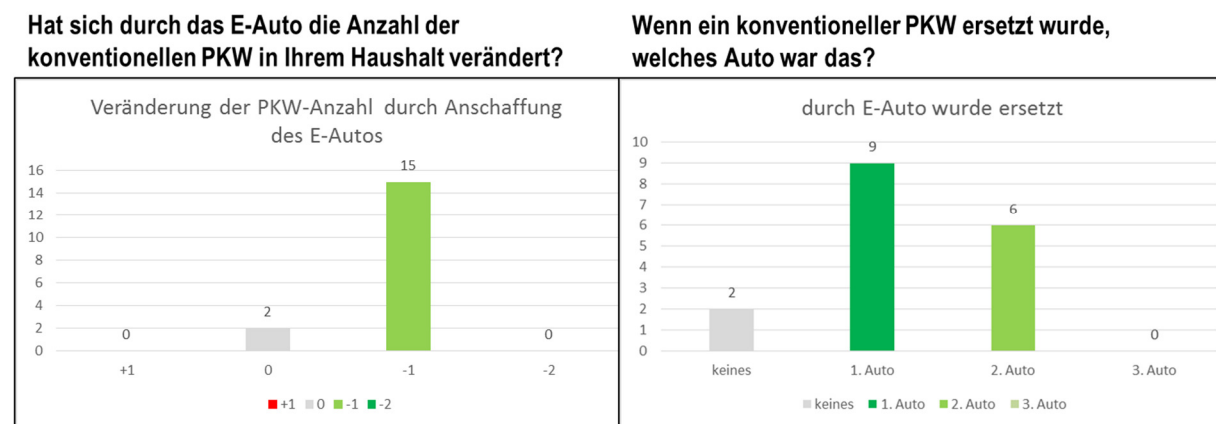


Abbildung 13: Substitution konventioneller PKW durch das E-Auto [38]

Die jährlich eingesparten Kilometer von konventionellen PKW betragen laut Angaben der Befragten:

- bei den *GewerbenutzerInnen* ca. 300.000 km insgesamt, das sind etwa 12.500 km pro NutzerIn. Daraus ergibt sich eine jährliche CO₂-Reduktion von 40 Tonnen insgesamt und 1,75 Tonnen pro NutzerIn².
- bei den *PrivatnutzerInnen* ca. 220.000 km insgesamt, das sind etwa 12.700 km pro NutzerIn. Daraus ergibt sich eine jährliche CO₂-Reduktion von 30 Tonnen insgesamt und 1,75 Tonnen pro NutzerIn³.
- bei den *PedelecnutzerInnen* ca. 40.000 km insgesamt, das sind etwa 2.300 km pro NutzerIn. Daraus ergibt sich eine jährliche CO₂-Reduktion von 5 Tonnen insgesamt und 0,3 Tonnen pro NutzerIn⁴.

² Annahme: 140g/km durchschnittlicher CO₂-Verbrauch je konventionellem PKW

³ Annahme: 140g/km durchschnittlicher CO₂-Verbrauch je konventionellem PKW

⁴ Annahme: 140g/km durchschnittlicher CO₂-Verbrauch je konventionellem PKW

5.3 Veränderung des Mobilitätsverhaltens

Bei der Veränderung des Mobilitätsverhaltens ist zwischen E-Auto und Pedelec zu unterscheiden:

- *Elektroauto-NutzerInnen* ersetzen mit dem E-Auto praktisch ausschließlich den konventionellen PKW. Die Nutzung von Fahrrad und Öffentlichem Verkehr sowie das zu Fuß gehen ändert sich kaum. Diese Mobilitätsformen werden vom E-Fahrzeug weder positiv noch negativ beeinflusst.
- Die *Pedelec-NutzerInnen* substituieren den konventionellen PKW sehr stark (etwa Halbierung der Autonutzung). Das Fahrrad wird praktisch durch das Pedelec ersetzt. Aber auch der Öffentliche Verkehr wird etwas mehr genutzt.

Die *multimodale Verknüpfung von E-Fahrzeugnutzung mit dem Öffentlichen Verkehr* kommt in den Rückmeldungen wenig zum Ausdruck. So wird ein starker Zusammenhang zwischen *E-Auto* und ÖV-Nutzung von den Befragten nicht bestätigt. Das alleinige zur Verfügung stellen von E-Autos scheint keine Auswirkung auf die ÖV-Nutzung zu haben. Dazu ist es erforderlich Mobilitätskonzepte zu entwickeln, die eine kombinierte Nutzung für die User attraktiv machen. Ein Beispiel für ein solches integriertes Konzept, das vorgeschlagen wurde: Schaffung von E-Parkplätzen bei ÖV-Haltestellen mit einem integrierten P&R-Paket (Parkplatz & Strom & ÖV-Ticket).

Bei den *Pedelec-Usern* ist eine verstärkte ÖV-Nutzung an Schlechtwetter-Tagen zu beobachten. Nur $\frac{1}{3}$ greift bei Regen auf den Privat-PKW zurück, $\frac{2}{3}$ steigen in den Öffentlichen Verkehr ein.

Die *intermodale Kombination von Pedelec und ÖV* entlang einer Wegekette ist jedoch nicht attraktiv. Die Gründe dafür sind einerseits in der Angst vor Diebstahl zu finden und andererseits, dass der Wechsel des Verkehrsmittels zu umständlich bzw. das Pedelec für ein Mitnehmen im ÖV zu schwer ist. Ein Ausbau der Schnittstellen-Infrastruktur mit sicheren Abstellanlagen, stufenlosen Wegen und Einstiegen an den Knotenpunkten, etc. wäre daher für eine verstärkte intermodale Pedelec-Mobilität von Vorteil.

5.4 Zahlungsbereitschaft und Mehrpreisakzeptanz

Die Bereitschaft mehr für ein Elektroauto auszugeben ist bei PrivatanutzerInnen und Gewerbebetrieben unterschiedlich ausgeprägt. Während die befragten Privatpersonen durchschnittlich ca. Euro 8.500 mehr für ein Elektroauto zu zahlen bereit sind, sind die UnternehmerInnen mit durchschnittlich Euro 3.500 deutlich zurückhaltender. Bei letzteren ist der Rechenstift ein gewichtiges Kriterium für die E-Fahrzeuganschaffung. Etwa ein Drittel der Gewerbetreibenden erwartet sich eine Kostenparität zum konventionellen PKW über die Laufzeit des Elektroautos. Das ist insofern bemerkenswert, als es bedeutet, dass schon jetzt eine große Nutzergruppe davon ausgeht, dass sich Elektromobilität zu den gegenwärtigen Konditionen (inkl. Förderungen) rechnet.

Als Vorteile, die diesem höheren Anschaffungspreis gegenüber stehen, werden einerseits die Imagewirkung (Umweltbewusstsein, Vorreiter), andererseits das Gratisparken in der Innenstadt betrachtet. Die Benützung von Busspuren, wie dies etwa in Norwegen der Fall ist, hat hingegen für die befragten Elektroauto-NutzerInnen in Graz keine große Bedeutung.

5.5 Ladeinfrastruktur

⅓ der Befragten laden nur an der eigenen Ladestelle, also entweder zu Hause oder in der Firma. Gewerbetreibende laden auch oft bei den KundInnen, mit normalem Schukostecker (Notladekabel). Öffentlich laden nur ¼ der interviewten Personen, wobei dies in der Regel sporadisch erfolgt.

¾ der befragten Elektroauto-NutzerInnen wünschen sich im öffentlichen Bereich Schnellladestationen bzw. beschleunigtes Laden. Das könnte auch die Nutzung öffentlicher Ladestellen erhöhen. Eine typische Aussage war: „Öffentliches Laden macht nur Sinn, wenn es schnell geht!“

Wichtig für die Befragten ist Beratung und Information durch den Ladestellenprovider. Dies betrifft einerseits die Unterstützung beim Aufbau der eigenen Ladeinfrastruktur (Wallbox, geeignete Verkabelung, abgesicherte Stecker). Andererseits wird intensivere Information über die öffentlichen Lademöglichkeiten benötigt (Wo? Welche Stecker? Verfügbarkeit? Rasches Update von Änderungen).

5.6 Nutzerfreundlichkeit, insbesondere der Ladeinfrastruktur sowie der Service- und Supportstruktur.

Die *Nutzerfreundlichkeit der Ladeinfrastruktur* wird zwar als gut, aber doch verbesserungswürdig beurteilt. Derzeit ist öffentliches Laden aus Sicht der befragten noch kompliziert und aufwendig (Passt der Stecker? Habe ich die richtige Karte? Bekomme ich den An- und Absteckvorgang richtig hin? Wie lange wird es dauern?). Wünschenswert wäre es, dass das Laden so einfach, wie das Tanken an der Tankstelle funktioniert. Möglicherweise werden öffentliche Ladestellen auch deshalb so wenig genutzt, weil diese Einfachheit noch nicht erreicht ist.

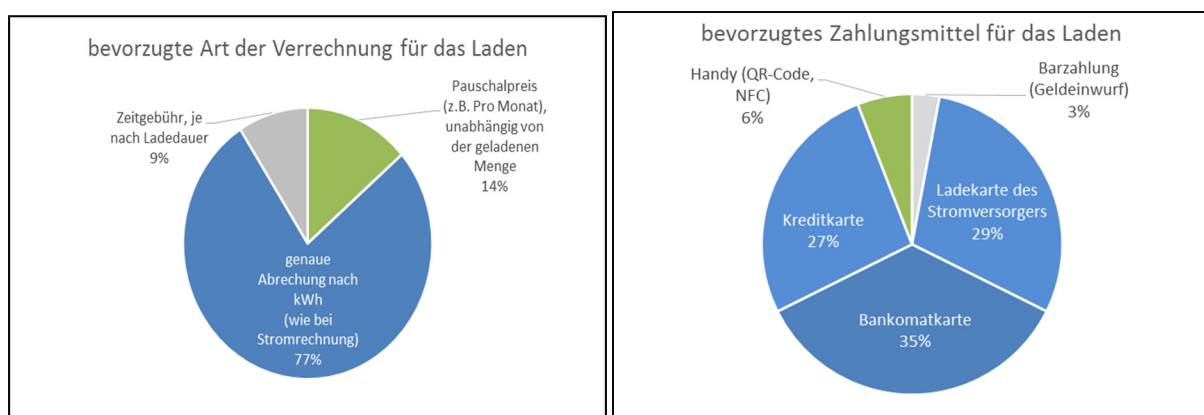


Abbildung 13: Verrechnung und Bezahlung beim Laden [38]

Bei der *Nutzung der Fahrzeug-Supportstruktur* (Service, Werkstatt) stand primär die Behebung von Softwareproblemen im Vordergrund. Die Zufriedenheit war grundsätzlich hoch. Als problematisch wurde jedoch die fristgerechte Erledigung genannt.

Ein ähnliches Bild bot sich bei der *Nutzerfreundlichkeit des Lade-Supports* (Energieversorger, Ladestellenprovider). Auch hier wurde ausschließlich die fristgerechte Erledigung bemängelt, während sonst hohe Zufriedenheit besteht.

5.7 Motive für den Umstieg auf Elektromobilität

Umweltschutz und finanzielle Aspekte sind die ausschlaggebenden Gründe für die Befragten, ein Elektrofahrzeug zu nutzen. Dabei wird klar ersichtlich, dass ökologische Argumente alleine nicht ausreichend sind. Es muss die Kombination aus Umweltbewusstsein und Wirtschaftlichkeit stimmen, damit der Umstieg auf die Elektromobilität zustande kommt. Unter „Wirtschaftlichkeit“ wird dabei folgendes verstanden:

- Die geringen Wartungskosten beim Betrieb des E-Fahrzeuges.
- Das kostenlose Parken im Stadtgebiet von Graz.
- Der Bezug von Strom aus der privaten Photovoltaik-Anlage: Damit kann die eigene Stromversorgung voll ausgenutzt und deren Return on Investment verbessert werden. Weiters kann so die unrentable Einspeisung von überschüssiger selbstproduzierter Energie in das öffentliche Netz vermieden werden, weil diese dann vom E-Fahrzeug aufgenommen wird.
- Die Ausnützung von Förderungen für die Fahrzeuganschaffung.

Ein drittes wichtiges Motiv für den Umstieg auf Elektromobilität ist es, sich damit das Image eines Vorreiters zu geben. Dabei steht die neue Technologie und der damit verbundene Pioniercharakter im Vordergrund. Um dieses innovative und zukunftsorientierte Selbstverständnis zum Aus-druck zu bringen, sind viele E-Fahrzeug-NutzerInnen auch bereit, tiefer in die Tasche zu greifen.

Die geweckten Erwartungen an das E-Fahrzeug haben sich aus Sicht der Befragten im Nachhinein auch durchwegs erfüllt, bis auf einen wesentlichen Aspekt. Bei den Informationen über die Reichweite ist es nach dem Erwerb bei einer großen Zahl der NutzerInnen zu Enttäuschungen gekommen. Zu diesem Thema ist eine genauere Informationsarbeit erforderlich, die über Werksangaben hinausgeht und die Mobilitätsverhältnisse der NutzerInnen berücksichtigt (Topographie, Fahrstil, Zielorte, erlaubte Geschwindigkeiten).

Andererseits hat sich im Zuge der Interviews herausgestellt, dass auch eine Reihe von positiven Erfahrungen gemacht wurden, die in den Informationen über das *E-Auto* gar nicht enthalten waren. Vor allem das Fahrerlebnis – leise, entspannt, angenehm, Fahrspaß – wird dabei hervorgehoben. Auch auf die tolle Beschleunigung von E-Fahrzeugen wurde vorab anscheinend nicht ausreichend hingewiesen. Diese ist insbesondere für das sichere Überholen auf Landstraßen relevant.

Bei den *Pedelecs* machten die User die Erfahrung, dass sich das subjektive Sicherheitsgefühl durch deren stabile Bauweise erhöht. Außerdem waren viele NutzerInnen über die außerordentliche Bergfahrtauglichkeit überrascht. Weiters stellte sich heraus, dass in den Verkaufsinformationen dem Vergleich zum PKW nicht ausreichend Beachtung geschenkt wird, etwa, dass das Pedelec in Nahverkehr schneller als der PKW ist, das Parkplatzsuchen wegfällt und das Fahren im Vergleich zum Auto entspannter ist bzw. eine intensivere Umweltwahrnehmung erlaubt [38].

6 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die gemessenen Energieerträge der einzelnen PV-Anlagen in der Modellregion Großraum Graz für die Betriebsjahre (2011 bis 2014) passen gut mit den Werten der aus der Planung und mit dem von der Europäischen Union geförderten Ertragstool (PVGIS) [5] ermittelten Werten überein. Aufgrund des sukzessiven Zubaus von PV-Anlagen mit einer sehr großen Anlagenleistung ergeben sich für das Betriebsjahr 2013 leichte Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten. Die berechneten Ausfallshäufigkeiten der PV-Anlagen sind für die einzelnen Betriebsjahre (2011 bis 2013) relativ gering und zeigen somit eine gute Zuverlässigkeit.

Die einfachen Vergleichsrechnungen der unterschiedlichen Antriebsenergieträger (Strom, Wasserstoff, Erdgas, Super, Diesel) hinsichtlich erreichter Wirtschaftlichkeit zeigen, dass für Erdgas und elektrischen Strom als Energieträger für die Fahrzeuge die geringsten Kosten auftreten. In dieser Betrachtung werden jedoch aufgrund fehlender Vergleichswerte die Investitions-, Wartungs- und Instandhaltungskosten nicht berücksichtigt sondern nur die Energie-Kosten. Ein weiterer Einflussfaktor auf die Wirtschaftlichkeit sind die sehr schwer zu prognostizierbaren Entwicklungen der eingesetzten und zu vergleichenden Energiekosten (Strom, Erdgas, Super, Diesel, Wasserstoff).

Wie die bisherigen Simulationen gezeigt haben, sind aufgrund der unvollständigen Datenlage über das Ladeverhalten entweder weitere Messungen oder probabilistische Untersuchungen notwendig. Berechnungen sind auf jeden Fall durchzuführen, denn nur mit diesen können vorab Kostenabschätzungen erfolgen und somit teure Fehlinvestitionen vermieden werden. Lastflusssimulationen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Lademuster von Ladestationen (Ladeenergiemenge, gewünschte Ladeleistung, Ladebeginnzeitpunkte, Ladehäufigkeit), der Charakteristik des Ladevorgangs an den Ladestationen (häusliche, betriebliche öffentliche Ladestationen) sowie der Verteilernetzstruktur (urbanes oder ländliches Netz, Kabel-/Freileitungsanteil, Alter der Netzkomponenten) müssen berücksichtigt werden, um qualifizierte Aussagen hinsichtlich der Auswirkungen der zukünftigen Elektromobilität auf das Netz und seine Übertragungskapazität treffen zu können.

Erste Analysen zeigen, dass Ladestationen bis 3,5 kW in bestehende urbane Netze integriert werden können, in ländlichen Netzen kann es zu Engpässen kommen. Nutzer von Elektrofahrzeugen bevorzugen zu Hause eine Beladung mit 3,5 kW Ladeleistung, unterwegs im öffentlichen Bereich werden leistungsstarke und damit schnelle Ladesysteme bevorzugt. Diese Ladestationen haben aber aufgrund ihrer hohen Leistung einen direkten Einfluss auf die Netzinfrastruktur und können nur in Lastschwerpunkten und bei leistungsfähigen Netzkomponenten wie z.B. Leitungen, Transformatorstationen Schaltanlagen problemlos integriert werden [39].

Die in der Störungsauswertung enthaltene geringe Anzahl von Störungsmeldungen lässt auf eine hohe Zuverlässigkeit der elektrischen Ladestationen schließen. Um jedoch statistisch aussagekräftige Kennzahlen für elektrische Ladestationen zu erhalten, ist es notwendig, eine Vielzahl von elektrischen Ladestationen mit einem Datenmanagementsystem und IKT-Infrastruktur auszustatten und zu überwachen sowie die erforderlichen Daten zentral zu erfassen und auszuwerten.

Um die technischen Störungen in weiterer Folge klassifizieren zu können, ist es wichtig, dass die Ladestationen zwischen unterschiedlichen Fehlerarten unterscheiden können, um somit den weiteren Entwicklungsbedarf hinsichtlich der Verbesserung der Zuverlässigkeit zu identifizieren.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein begleitendes technisches Monitoring einerseits essentiell für eine kundenorientierte Weiterentwicklung der elektrischen Ladestationen ist, andererseits stellt dieses Monitoring einen äußerst wichtigen Beitrag zur Planung zukunftssicherer elektrischer Verteilernetze dar.

Die Elektromobilität zeigt großes Potenzial, die Verringerung der verkehrsbedingten Probleme in Ballungsräumen zu unterstützen. Allerdings stellt diese Technologie keine Insellösung dar, sondern muss in Zusammenhang mit einem Bündel an Maßnahmen bewertet werden. Nur im Verbund mit dem Ausbau öffentlicher und privater Ladestationen, der Anpassung des elektrischen Versorgungssystems und der Bereitstellung neuer Mobilitätskonzepte kann die Elektromobilität einen nachhaltigen Beitrag zur Mobilität der Zukunft leisten. Aktuelle Forschungsthemen beschäftigen sich mit verschiedenen Aspekten und Einflussgrößen der Elektromobilität. Neben der Analyse des potenziellen Nutzerverhaltens hinsichtlich der Mobilitätsbedürfnisse, des Transportbedarfs und Aspekten des Komforts werden technologisch relevante Themenstellungen untersucht. Dazu gehören das Ladeverhalten und der Energiebedarf in Abhängigkeit von Uhrzeit und Wochentag, die Möglichkeiten elektrisch angetriebene Fahrzeuge in Versorgungsnetze zu integrieren, sowie das Verhalten der Fahrzeuge selbst. Eine besondere Herausforderung stellt die Integration der Elektromobilität in bestehende Verkehrssysteme dar.

Interessante Alternativen zu gewohnten Verhaltensmustern repräsentieren neue Mobilitätskonzepte, welche die Gesamtheit des Mobilitätsbedarfs durch eine Kombination aus individueller Transportleistung und öffentlichen Verkehrsmitteln abbilden. Die individuelle Transportleistung kann dabei durch eigene Fahrzeuge oder durch auf Leihfahrzeugen basierende Modelle abgedeckt werden. Im Sinne der Effizienzsteigerung stellen Mitfahrbörsen einen Ansatz dar, der durch den Einsatz moderner Software-Anwendungen über Smartphones deutlich an Attraktivität gewinnen kann.

Die Forschungsinhalte sowie gewonnene Erkenntnisse aus dem Betrieb der Elektromobilitätsregionen sollen der Öffentlichkeit und potenziellen Multiplikatoren zugänglich gemacht werden. Signifikante Veränderungen im Wertschöpfungsprozess können sich nur dann ergeben, sofern Automobilhersteller, Verkehrsunternehmen und Elektroenergieversorger miteinander zusammenarbeiten und gemeinsam Mobilitätsangebote entwickeln und anbieten. Die große inhaltliche Breite der Forschungsthemen lässt auf die Komplexität bei der Gestaltung der Mobilität der Zukunft schließen. Nur ein effizientes Zusammenspiel aller Beteiligten – Fahrzeugindustrie, Energieversorger, öffentliche Hand, Gesetzgebung und natürlich die Nutzer selbst – wird auch in Zukunft unsere wachsenden Ballungsräume lebenswert gestalten.

7 Literatur

- [1] e-connected, Plattform des Klima- und Energiefonds, www.e-connected.at, heruntergeladen am 27.01.2014
- [2] e-mobility Graz GmbH, <http://www.emobility-graz.at>
- [3] J. Fabian, H. Brunner, M. Hirz, T. Wieland, E. Schmutzner, L. Fickert, H. Wegleiter, W. Slupetzky, R. Schmied: „Aktuelle Forschungsthemen und innovative Trends der Elektromobilität in Österreich“, 13. Symposium Energieinnovation, Graz, Österreich, 2014
- [4] J. Fabian, T. Wieland, E. Schmutzner, L. Fickert, W. Slupetzky, R. Schmied: „Forschungserkenntnisse zum technischen Monitoring und Mobilitätsverhalten anhand der Modellregion für Elektromobilität im Großraum Graz“, Internationale Energiewirtschaftstagung, Wien, Österreich, 2015
- [5] Joint Research Centre: „Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)“, European Commission, Joint Research Centre Institute for Energy, Renewable Energy Unit, Ispra, Italien, 2012
- [6] R. Schmied, „Ziele der Modellregion Großraum Graz“, Telefonische Besprechung R. Schmied und T. Wieland, 01/2015.
- [7] Umweltbundesamt, „Elektromobilität in Österreich – Szenario 2020 und 2050“, Report, Wien, Österreich, 2010.
- [8] e-mobility Graz GmbH, „Statusbericht der E-Mobilitätsmodellregion Großraum Graz“, Bericht, Graz, Österreich, 2015
- [9] H. Häberlin, „Langzeitverhalten von Photovoltaik-Anlagen über bis zu 18 Jahren“, Berner Fachhochschule, Energie-Apéros 2011, Burgdorf, Schweiz, 2011.
- [10] T. Wieland: „Neuartige probabilistische Methode zur Dimensionierung elektrischer Betriebsmittel anhand aktueller Verbraucher und Erzeuger in urbanen Niederspannungsverteilernetzen“, Arbeitstitel Dissertation, Institut für Elektrische Anlagen, Technische Universität Graz, geplante Fertigstellung 2016
- [11] SEM: „Smart-Electric-Mobility – Speichereinsatz für regenerative elektrische Mobilität und Netzstabilität“, Publizierbarer Endbericht, 2. Ausschreibung Neue Energien 2020, Wien, Österreich, 2011
- [12] M. Litzlbauer: „Erstellung und Modellierung von stochastischen Ladeprofilen mobiler Energiespeicher mit MATLAB“, Diplomarbeit, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, TU Wien, Wien, Österreich, 2009
- [13] M. Herry, N. Sedlacek, I. Steinacher, „Verkehr in Zahlen – Österreich“, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Österreich, 2007
- [14] T. Wieland, M. Reiter, E. Schmutzner, L. Fickert, J. Fabian, R. Schmied: „Probabilistische Methode zur Modellierung des Ladeverhaltens von Elektroautos anhand gemessener Daten elektrischer Ladestationen – Auslastungsanalysen von Ladestationen unter Berücksichtigung des Standorts zur Planung von elektrischen Stromnetzen“, e&i Elektrotechnik und Informationstechnik, Springer-Verlag, Wien, Österreich, 2015

- [15] T. Wieland, M. Reiter, E. Schmutzer, L. Fickert, M. Lagler, S. Eberhart: „Gleichzeitigkeitsfaktoren in der elektrischen Energieversorgung – Konventioneller & probabilistischer Ansatz“, e&i Elektrotechnik und Informationstechnik, Springer-Verlag, Wien, Österreich, 2014
- [16] T. Wieland, M. Reiter, E. Schmutzer, L. Fickert, S. Eberhart: „Urbane Netzplanung unter Berücksichtigung probabilistischer Haushaltslastgänge in Kombination mit dezentralen Erzeugungsanlagen im Niederspannungsnetz“, 9. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, Wien, Österreich, 2015
- [17] T. Wieland, M. Reiter, E. Schmutzer, L. Fickert, S. Eberhart: „Urbane Netzplanung unter Berücksichtigung probabilistischer Haushaltslastgänge in Kombination mit dezentralen Erzeugungsanlagen im Niederspannungsnetz“, 9. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, Wien, Österreich, 2015
- [18] T. Wieland, F. Otto, L. Fickert: „Analyse, Bewertung und Steigerung möglicher Einspeisekapazität dezentraler Energieerzeugungsanlagen in der Verteilnetzebene“, 8. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, Wien, Österreich, 2013
- [19] ÖVE/ÖNORM E 8200-603, „Energieverteilungskabel mit Nennspannung 0,6/1 kV“, ÖVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik, Wien, Österreich, 2011
- [20] Meinhart Kabel Österreich GmbH, „Kabel und Leitungen - Preisliste und technischer Katalog“, St. Florian, Österreich, 2009
- [21] ÖVE/ÖNORM EN 50160: „Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, Norm, ÖVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik, Wien, Österreich, 2011
- [22] T. Wieland, E. Schmutzer, L. Fickert: „Begleitenden Forschung/Monitoring Modellregion für Elektromobilität Großraum Graz - Endbericht AP 3 und AP 4“, Institut für Elektrische Anlagen, Technische Universität Graz, 2015
- [23] Universität für Bodenkultur, Abteilung Raum, Landschaft und Infrastruktur: „Grundlagen der Verkehrsplanung“, Wien, Österreich, 2010
- [24] Umweltbundesamt: „Zehnter Umweltkontrollbericht“, 2013, <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/umweltkontrollbericht/ukb/>, heruntergeladen am: 02.10.2013
- [25] BMVIT: „Verkehrsprognose 2025+“, 2009, http://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/verkehrsprognose_2025/index.html, heruntergeladen am: 25.09.2013
- [26] Umweltbundesamt: „Energie in Europa“, 2013, http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/energie/energie_eu/, heruntergeladen am: 25.09.2013
- [27] Europäische Kommission: „Action Plan on Urban Mobility“, 2009, http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility/action_plan_en.htm, heruntergeladen am: 27.01.2014
- [28] Europäische Kommission, Weißbuch: „Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem“, 2011,

- <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:DE:PDF>,
heruntergeladen am: 27.01.2014
- [29] Europäische Kommission: „Energy Roadmap 2050“, 2011,
http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/index_de.htm, heruntergeladen am:
27.01.2014
- [30] BMWFJ und Lebensministerium: „Energiesstrategie Österreich“, 2010,
http://www.bmwfj.gv.at/Ministerium/Staatspreise/Documents/energiesstrategie_oesterr_eich.pdf, heruntergeladen am: 25.09.2013
- [31] Lebensministerium: „Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels 2008-2013“, 2007,
http://www.lebensministerium.at/publikationen/umwelt/archiv/anpassung_der_klimastrategie_oesterreichs_zur_erreichung_des_kyoto-ziels_2008-2012.html,
heruntergeladen am: 27.01.2014
- [32] BMVIT: „Strategie und Instrumente sowie prioritäre Anwender- und Einsatzbereiche für den Nationaler Einführungsplan Elektromobilität“, 2012,
<http://www.bmvit.gv.at/bmvit/verkehr/strasse/elektromobilitaet/index.html>,
heruntergeladen am: 25.09.2013
- [33] Land Steiermark: „Klimaschutzplan“, 2010,
http://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11514048_67473811/a74a6e78/KSP-Steiermark-201101-low.pdf, heruntergeladen am: 02.10.2013
- [34] Land Steiermark: „Road Map Elektromobilität Steiermark 2025“, 2012,
http://www.grazer-ea.at/cms/upload/intelekt/roadmap_vnwsii_stadtschreiber_2012-09-04.pdf, heruntergeladen am: 19.08.2013
- [35] Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typengenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6), 2007, **Fehler! Linkreferenz ungültig.**, heruntergeladen am: 25.09.2013
- [36] Commission of the European Communities, Communication from the Commission to the European Council and the European Parliament: „An Energy Policy for Europe“, Brüssel, Belgien, 2007,
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0001:FIN:EN:PDF>,
heruntergeladen am: 25.09.2013
- [37] Intergovernmental Panel on Climate Change, Klimaänderung 2007: Ein Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen, 2007,
<http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutch/IPCC2007-SYR-german.pdf>, heruntergeladen am: 25.09.2013
- [38] J. Fabian, T. Wieland, E. Schmutzner, L. Fickert, W. Slupetzky: „Endbericht zur begleitenden Forschung/Monitoring Modellregion für Elektromobilität Großraum Graz“, Forschungsbericht, Technische Universität Graz, 2015.
- [39] T. Wieland, E. Schmutzner, C. Schlintl, E. Imrek, I. Absenger-Helmli, L. Fickert: „Statistische Auswertung zum e-Carsharing-Projekt „Will e fahren““, 14. Symposium Energieinnovation, Graz, Österreich, 2016