



Ein Projekt des Klima- und Energiefonds



Graz University of Technology

Institut für Fahrzeugtechnik

Member of [FSI]

Jürgen FABIAN

Dipl.-Ing. Dr.techn.
Senior Researcher

Inffeldgasse 11/2
8010 Graz, Österreich

Tel. +43-316-873-35279
Fax +43-316-873-35252

E-Mail: juergen.fabian@tugraz.at
Web: www.ftg.tugraz.at

DVR: 008 1833 UID: ATU 574 77 929

Zusammenfassung Begleitforschung Elektromobilität - Modellregion für Elektromobilität Großraum Graz

Die Kernthemen des Projekts „Begleitende Forschung/Monitoring zur Modellregion Elektromobilität“ bestehen aus den Punkten

- Ausbau der Infrastruktur,
- Bewertung technischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte
- Entwicklung neuer Geschäfts- und Mobilitätsmodelle,
- technisches Monitoring zur Erfassung von elektro- und netztechnischen Kenngrößen (Energie und Leistungsverläufe) von elektrischen Ladestationen sowie dezentralen Stromerzeugungsanlagen.

Die begleitende Forschung/Monitoring zur Modellregion Elektromobilität Großraum Graz wurde von der Technischen Universität vertreten durch folgende Institute durchgeführt:

- Institut für Fahrzeugtechnik (FTG)
- Institut für Elektrische Messtechnik und Signalverarbeitung (EMT)
- Institut für Elektrische Anlagen (IFEA)

Als Subauftragnehmer in diesem Projekt wurde das Beratungsunternehmen Quintessenz Organisationsberatung GmbH miteinbezogen.

Das Leistungsverzeichnis der begleitenden Forschung/Monitoring zur Modellregion Elektromobilität besteht insgesamt aus sieben Arbeitspaketen (AP), diese lauten wie folgt:

- AP 1: Modellregionen-Vergleich österreichweit, Datengrundlagen, Standards, Koordination mit anderen AP
- AP 2: Fahrzeuge, NutzerInnen
- AP 3: Ladestationen
- AP 4: Erneuerbare Stromerzeugung, Aufbringung, Entnahme, Abdeckung, Zuverlässigkeit
- AP 5: Nutzerverhalten, Akzeptanz, Bedürfnis
- AP 6: Marktpotentiale
- AP 7: Bewertung technischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte

AP 1: Modellregionen-Vergleich österreichweit, Datengrundlagen, Standards, Koordination mit anderen AP

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 eingepprägten 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 speziell die urbane Mobilität in voraussehender Zeit auf die Weiterentwicklung der Elektromobilität auswirken.

Weitere entscheidende Erfolgsfaktoren für die flächendeckende Einführung der Elektromobilität ist die Nutzerakzeptanz, sowie in welchem Ausmaß die neue Technologie seitens des Benutzerverhaltens und den gesellschaftlichen Strukturen angenommen wird. Signifikante Veränderungen im Wertschöpfungsprozess können sich ergeben, sofern Automobilhersteller, Verkehrsunternehmen und Elektroenergieversorger miteinander zusammenarbeiten und gemeinsam Mobilitätsangebote entwickeln und anbieten.

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.

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.

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 basierenden Modellen 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 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.

AP 2: Fahrzeuge, NutzerInnen

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. Basierend auf diesen Messungen ist eine Vielzahl an Erkenntnissen möglich:

- Aufgrund der Aufzeichnungen in den Fahrtenbücher und den Daten aus dem Bordcomputer kann auf die Benutzerakzeptanz geschlossen werden.
- Basierend auf den gemessenen Stromverläufen und dem aufgezeichneten GPS-Signal kann auf das Ladeverhalten des Benutzers geschlossen werden. Interessante Aussagen sind hierbei neben der Ladedauer und Ladehäufigkeit vor allem die Ladezeitpunkte, die Lademenge, als auch der Standort – wird nur zu Hause oder auch unterwegs das Fahrzeug wieder aufgeladen.
- Es lässt sich die Effizienz der Antriebsstrangkomponenten (Wirkungsgrade) des Energiemanagements als auch der Ladeelektronik bestimmen.
- Die Messungen erlauben einen Einblick in die Energiemanagementstrategie der Fahrzeuge.
- Basierend auf den gemessenen Stromverläufen und den aufgezeichneten Geschwindigkeiten kann mittels einer Längsdynamik-Simulation das Verhalten der Fahrzeuge mathematisch nachgebildet werden. Dies erlaubt eine Optimierung der Antriebskomponenten als auch des Energiemanagementsystems des betrachteten Elektrofahrzeugs für unterschiedliche Einsatzbedingungen und Betriebszustände. Von besonderem Interesse sind hierbei folgende Parameter: Reichweite unter Berücksichtigung des realen Nutzerverhaltens, Maximalgeschwindigkeit, Beschleunigung, Energieverbrauch, Wirkungsgrad, Effizienz der Nebenaggregate (Betrieb von Klimaanlage und Heizungsanlage). Die Kenntnisse dieser Parameter sind ausschlaggebend um zukünftige Elektrofahrzeuge den Bedürfnissen der Benutzer optimal anpassen zu können, und somit die Herstellungskosten der Fahrzeuge, die Kosten in Hinblick auf die

Infrastrukturbereitstellung und somit auch die laufenden Kosten des Fahrzeugs selbst weiter senken zu können.

- Außerdem kann die alterungsbedingte Kapazitätsabnahme der Batterie erfasst werden. Es können damit Rückschlüsse auf die im realen Betrieb erreichbare Batterielebensdauer gezogen werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein begleitendes technisches Monitoring essentiell für eine kundenorientierte Weiterentwicklung der Fahrzeuge ist. Nur so ist es möglich die eingesetzten Fahrzeuge zu validieren und einen realistischen Vergleich mit konventionellen Fahrzeugen zu machen.

AP 3: Ladestationen

Aktuell werden der Bedarf und die Auswirkungen der Elektromobilität anhand von Daten des motorisierten Individualverkehrs 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 verhält. Um nun zur Beurteilung der Auswirkung der Elektromobilität auf das elektrische Stromnetz notwendige detailliertere Daten zu erhalten, werden in Form eines technischen Monitorings von verschiedenen elektrischen Ladestationen mit standortspezifischem Verhalten (öffentliche, betriebliche, Einkaufszentrum-Ladestationen) folgende charakteristischer Parameter erfasst:

- Ladeenergiemenge (kWh)
- Ladebeginnzeitpunkte
- Ladehäufigkeit.

Die ausgewerteten und anonymisierten Daten werden im dargestellten probabilistischen Bottom-up Ansatz verwendet, um das elektrische Ladeverhalten von Kunden mit Elektrofahrzeugen nachzubilden. Dieses technische Monitoring ist essentiell, um die Auswirkungen einer zukünftig verstärkten Einbindung der Elektromobilität, unter der Anwendung real gemessener Daten von Kunden mit Elektroautos, auf das elektrische Netz insbesondere auf Niederspannungsnetze darstellen zu können. Eine höhere Anschlussleistung der elektrischen Ladestation führt im Allgemeinen zu einer Verkürzung der Ladedauer.

Erstellung elektrischer Ladeleistungsprofile für Elektroautos

Der Ablauf zur Erzeugung dieser probabilistischen Ladeleistungsprofile anhand gemessener und analysierter, standortspezifischer Daten der Ladestationen für Elektroautos auf Jahresbasis ist in Abbildung 1 dargestellt.

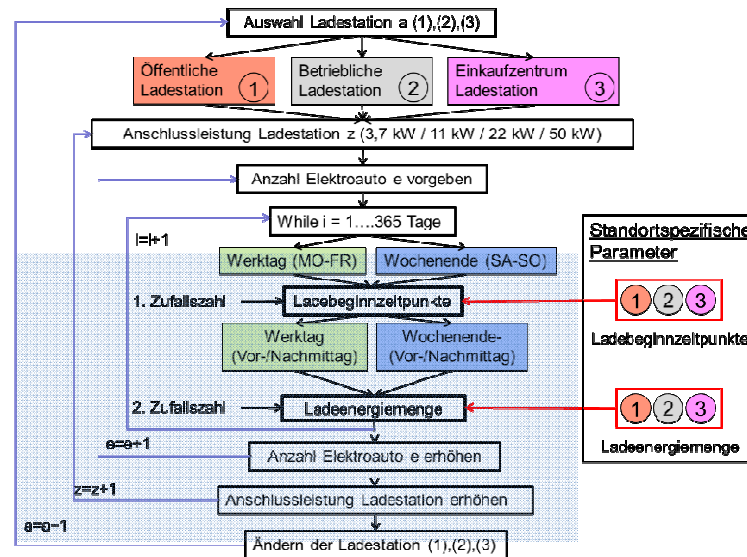


Abbildung 1: Methode zur Erstellung probabilistischer Ladeleistungsprofile anhand gemessener und analysierter Daten (Ladebeginnzeitpunkte, Ladeenergiemenge) für unterschiedliche Anschlussleistungen der Ladestationen (3, 7/11/22/50 kW)

Die vorgestellte Methode zur Erstellung von probabilistischen Ladeleistungsprofilen für eine unterschiedliche Anzahl an Elektroautos, auf Basis der ausgewerteten Parameter (Einschaltzeitpunkte, Ladeenergiemenge) des technischen Monitorings, ermöglicht es, tiefgehende Analysen bei zunehmender Integration der Elektromobilität hinsichtlich deren Auswirkungen auf das elektrische Niederspannungsnetz, basierend auf realen Daten von Elektrofahrzeugnutzungen, durchzuführen.

AP 4: Erneuerbare Stromerzeugung, Aufbringung, Entnahme, Abdeckung, Zuverlässigkeit Ermittlung des Energiebedarfs für Elektroautos und der Ökostrombereitstellung aus den PV-Anlagen in der KLI.EN Modellregion Großraum Graz

In der Mobilitätsregion Großraum Graz werden 480 einspurige Elektrofahrzeuge sowie 400 Elektroautos bis zum Projektende erwartet. Um den jährlichen Energiebedarf für diese Anzahl von Elektrofahrzeugen abzuschätzen, wurden

1. eine Kilometerleistung von 12.618 km/Jahr, die im Rahmen einer Befragung der Begleitforschung Elektromobilität in Großraum Graz ermittelt wurde, und andererseits
2. der durchschnittliche elektrische Energiebedarf von Elektroautos (0,245 kWh/km), die in einer repräsentativen Studie des ÖVK ermittelt wurde, herangezogen.

Zu 1.: Der Vergleich der im Rahmen der Begleitforschung in der Modellregion Großraum Graz ermittelten durchschnittlichen Kilometerleistung von 12.618 km/Jahr mit vorangegangenen Studien (z.B. Tichler, Austrian Energy Agency, VCÖ, Herry Consult, Leitfaden Elektromobilität) in denen für Österreich eine durchschnittliche Kilometerleistung von 12.592 km/Jahr angegeben werden, zeigt eine sehr gute Übereinstimmung.

Zu 2.: Der durchschnittliche elektrische Energiebedarf von Elektroautos, die in der Studie des ÖVK mit 0,245 kWh/km angegeben wurde, hängt im Wesentlichen von der durchschnittlichen Fahrbahnneigung, der durchschnittlichen Jahresaußentemperatur (+10°C in der Studie) und von den Lade- und Entladeverlusten der Akkumulatoren ab. Unter der Annahme, dass in Graz eine vergleichbare Fahrbahnneigung auftritt und die durchschnittliche Jahrestemperatur in Graz von

12,3°C zur vergleichbaren Energieaufwendungen für Klimatisierung (Heizen und Kühlen in Abhängigkeit von der monatlichen Umgebungstemperatur) führt und dass vergleichbare Lade- und Entladeverluste auftreten, kann auch für Graz ein durchschnittlicher Energiebedarf von 0,245 kWh/km angegeben werden. Durch Messungen im Rahmen des gegenständlichen Projektes an unterschiedlichen Elektrofahrzeugen (BMW i3, Renault Fluence, Renault Zoe, Renault Kangoo) und Messungen, die im Rahmen des Projekts VLOTTE in der E-Mobilitätsregion in Vorarlberg durchgeführt wurden, wurde dieser Energieverbrauch ebenfalls bestätigt.

Zusammenfassung der im Rahmen der Untersuchungen verwendete Kennzahlen für Elektrofahrzeuge und PV-Anlagen

- Auf Basis der jährlichen Kilometerleistung von 12.618 km/Jahr und des durchschnittlichen spezifischen Energieverbrauchs von 0,245 kWh/km kann für die 400 Elektroautos ein elektrischer Energiebedarf in der Höhe von 1.237 MWh/Jahr ermittelt werden.
- Der Energieverbrauch für 480 einspurige Elektrofahrzeuge kann bei einer jährlichen Kilometerleistung von 2.000 km/Jahr und einem durchschnittlichen Energiebedarf von 0,015 kWh/km mit 14 MWh/Jahr bestimmt werden.
- Der Gesamtenergiebedarf für die Elektromobilität in der Modellregion Großraum Graz kann mit 1.251 MWh/Jahr berechnet werden.
- Bei den zurzeit (2014) betriebenen PV-Anlagen der Energie Graz GmbH & Co KG mit einer installierten Leistung von 1.063 kWp wurde ursprünglich von einer Annahme von 1.000 Volllaststunden von einer PV-Stromerzeugung in der Höhe von 1.063 MWh/Jahr ausgegangen.

AP 5: Nutzerverhalten, Akzeptanz, Bedürfnis

Mit der Durchführung einer NutzerInnenbefragung 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, insbes. 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 15-25 Minuten.

Die Elektroautonutzung liegt im Durchschnitt bei ca. 12.500 km pro Jahr, das entspricht etwa der durchschnittlichen Jahreskilometerleistung von konventionellen PKW. Die intensivste Fahrzeugnutzung lag bei 34.000 km. Es hat sich aber auch die Art der PKW-Nutzung verändert.

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

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.

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 NutzerIn.
- 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 NutzerIn.

- 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 NutzerIn.

AP 6: Marktpotentiale

Zahlungsbereitschaft und Mehrpreisakzeptanz

Die Bereitschaft mehr für ein Elektroauto auszugeben ist bei PrivatnutzerInnen 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.

Ladeinfrastruktur

$\frac{2}{3}$ 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 $\frac{1}{4}$ der interviewten Personen, wobei dies in der Regel sporadisch erfolgt.

$\frac{3}{4}$ 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, ...)

Nutzerfreundlichkeit, insbes. der Ladeinfrastruktur sowie der Service- und Supportstruktur

Die Nutzerfreundlichkeit der Ladeinfrastruktur wird zwar 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? Etc.). 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.

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.

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 Ausdruck 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.

AP 7: Bewertung technischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte

Bei einem Vergleich zwischen dem Stromverbrauch eines Elektroautos zum Verbrauch eines fossilbetriebenen Fahrzeugs sollte nicht nur der durch die Nutzung entstandene Verbrauch, sondern auch der gesamte Energieaufwand miteinbezogen werden. Deshalb sollte man den

Primärenergiebedarf vergleichen, da somit auch die Verluste durch die Rohstoffgewinnung, die Energieumwandlung und -bereitstellung miteinbezogen werden. Zuerst müsste man die für die Herstellung und den Transport von Benzin oder Diesel benötigte Energie berechnen, um ein vergleichbares Resultat zu erhalten. Dadurch erhält man den sogenannten Verbrauchswert. Dieser verändert sich auch dadurch, ob der Ladestrom für das elektrisch betriebene Fahrzeug aus erneuerbaren Energiequellen hergestellt wird.

Für den Kunden selbst sind die Kosten wichtig, die durch die Nutzung des Fahrzeugs zustande kommen. Nach heutigem Stand verbraucht ein Elektrofahrzeug, abhängig vom Fahrzeugtyp, zwischen 13 und 25 kWh pro 100 km. Der Tank-to-Wheel (TtW) Wirkungsgrad liegt bei circa 76 %, was verglichen mit fossilbetriebenen Fahrzeugen, welche einen TtW von etwa 16 % bis 35 % aufweisen, relativ hoch ist. Experten rechnen damit, dass bis zum Jahr 2030 eine Erhöhung des Wirkungsgrades um bis zu 9 % möglich sein wird. Dies kann einerseits durch die Verbesserung des Antriebs und andererseits durch die Verringerung des Akkumulatorgewichts erfolgen. Könnte man durch Verbesserung der Energiedichte das Gewicht des Akkus um die Hälfte reduzieren, wäre eine Reduktion des Verbrauchs um circa 13 % möglich.

Elektrofahrzeuge müssen viel gefahren werden, damit sie wirtschaftlicher als konventionelle Fahrzeuge sind. Nur so können sich die höheren Anschaffungsausgaben über die günstigeren Verbrauchs- und Wartungskosten amortisieren. Bei geringen jährlichen Fahrleistungen wird auch in Zukunft weiterhin der Benzinmotor dominieren, beziehungsweise bei Vielfahrern der Dieselmotor. Bei einer ausreichenden jährlichen Fahrleistung und bei relativ gleichmäßigen täglichen Fahrzyklen sind Elektroautos wirtschaftlich am sinnvollsten einsetzbar.

Bei privaten KFZ-Besitzern, hier vor allem Vollzeitbeschäftigte aus ländlichen Gebieten aus kleinen bis mittelgroßen Städten beziehungsweise Vororten von größeren Städten, sind E-Fahrzeuge eine Alternative. Nutzer mit Garagen oder Stellplätzen, die etwa 60 Prozent der privaten Fahrzeughalter entsprechen, sind aufgrund der geringen Ladeinfrastrukturkosten unter ökonomischen Gesichtspunkten nochmals attraktiver als Fahrzeughalter, die auf eine öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen sind.

Rein gewerbliche Flotten weisen aus unterschiedlichen Gründen ein ökonomisches Potenzial auf. Diese liegen einerseits im Fahrprofil mit oftmals planbaren Routen, andererseits in den spezifischen ökonomischen Rahmenbedingungen, wie dem Wegfall der Mehrwertsteuer, was sich besonders bei den höheren Kaufpreisen von Elektrofahrzeugen positiv auswirkt.

Der Anschaffungspreis eines Elektrofahrzeuges liegt deutlich über einem KFZ mit einem konventionellen Antrieb. Ähnlichkeiten werden bei den laufenden Kosten sichtbar. Ein E-Fahrzeug benötigt zwar keinen Ölwechsel und besitzt auch kein Getriebe, welches repariert und serviciert werden muss, dafür sind die Kosten des Batteriewechsels bei Elektrofahrzeugen mit den Reparaturkosten von konventionell angetriebenen Fahrzeugen vergleichbar. Die Akzeptanz der Verbraucher wird einsetzen, wenn der Anschaffungspreis sinkt und die Ladeinfrastruktur, wie bei fossilen Energieträgern flächendeckend dichter wird. Es sollte absehbar sein, dass die Kapazität der Batterien in den nächsten Jahren signifikant erhöht werden kann und die Anschaffungskosten sinken.