



iENERGY 2.0 – IFEA Teilbericht 2/2

Statistische Auswertung zum e-Carsharing Projekt „will e-fahren“

Im Auftrag der FFG gefördert durch den
Klima und Energiefonds

Projekt Nr.: 2012-34
März 2016

TU Graz

Institut für Elektrische Anlagen

Inffeldgasse 18

A-8010 Graz

Institutsvorstand:

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Lothar Fickert

Projektleiter:

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Lothar Fickert

Dipl.-Ing. Dr. techn. Ernst Schmautzer

Wissenschaftliche Ausarbeitung:

Dipl.-Ing. Thomas Wieland

Carina Schlintl, Bsc.

Elisabeth Imrek, Bsc.

Dipl.-Ing. Thomas Höhn

März 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Methode	4
1.1	Kurzbeschreibung der angewandten statistischen Verfahren.....	5
1.2	Wissenschaftliche Fragestellungen.....	8
2	Wissenschaftliche Datenerhebung	9
2.1	Fragebögen	9
2.2	Fahrtenbuch	9
2.3	Geschäftsmodelle für e-Carsharing	11
3	Ergebnisse	13
3.1	Auswertung der Fragebögen	13
3.2	Soziodemographische Faktoren	13
3.3	Auswertung der Fahrtenbücher.....	32
3.4	Auswirkungen auf das elektrische Netz	46
3.5	Notwendige Anforderungen für das technische Monitoring bzw. eines möglichen Verbesserungspotentials	48
4	Zusammenfassung	49
5	Literaturverzeichnis	53
6	Anhang	56

1 Einleitung

Da der Verkehrssektor einen wesentlichen Teil zu den Treibhausgasemissionen in Österreich beiträgt, ist es das ausgesprochene umweltpolitische Ziel, bis zum Jahr 2020 eine Elektrofahrzeuganzahl (inklusive Hybridantrieb) von 210.000 Fahrzeugen in Österreich auf die Straßen zu bringen [1]. Da Personenkraftwagen außerordentlich viel knappen und teuren öffentlichen Raum beanspruchen, führen neue Denkansätze weg von Fahrzeugen, die nur einer Person gehören und nur von dieser Person oder nur von einem engen Personenkreis genutzt werden, hin zu Konzepten, in denen einzelne Fahrzeuge von mehreren Personen gemeinsam genutzt werden. Damit kommt es zu einer besseren Auslastung der Fahrzeuge, zu einem reduzierten Platzbedarf und sowohl zu niedrigeren Investitions- als auch zu niedrigeren Betriebs- bzw. Gesamtkosten. Zu diesen Konzepten gehören Carsharing und unter Berücksichtigung des Umweltschutzgedankens insbesondere e-Carsharing.

In einigen städtischen Ballungsgebieten gab es bereits e-Carsharing-Projekte, in denen aber die spezifischen Gegebenheiten, wie sie in ländlichen Regionen und Bezirksstädten auftreten, kaum berücksichtigt wurden. Das Teilprojekt „will e-fahren“ des vom Klima- und Energiefonds geförderten Projektes iENERGY 2.0¹⁾ [2] in der Smart Region Weiz-Gleisdorf, schließt diese Lücke.

Im Rahmen dieses Projekts sollen die Mobilitätsbedürfnisse verschiedener Kundengruppen erhoben, sowie die Auswirkungen eines e-Carsharing Systems im ländlichen Bereich auf die verschiedenen Komponenten des elektrischen Stromnetzes untersucht werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten in weiterer Folge der Entwicklung eines zielgruppenorientierten e-Carsharing Geschäftsmodells dienen.

2 Methode

Um die entscheidenden Einflussfaktoren hinsichtlich der Nutzung von e-Carsharing Fahrzeugen und deren Auswirkungen auf mögliche Geschäftsmodelle zu untersuchen, werden in diesem Projekt mehrere Elektrofahrzeuge an verschiedene Kundengruppen (junge Erwachsene, Erwachsene, ältere Personen) über einen bestimmten Zeitraum kostenlos zur Verfügung gestellt. Die TeilnehmerInnen in diesem Projekt müssen wissenschaftlich fundierte mehrteilige Fragebögen ausfüllen und ein detailliertes Fahrtenbuch führen. Diese Fragebögen werden verwendet, um die relevanten Einflussfaktoren (z.B. sozio-demographische, ökonomische, technologische Faktoren) sowie das Mobilitätsverhalten und die Bedürfnisse zur Beladung des Elektrofahrzeugs hinsichtlich der unterschiedlichen Kundengruppeninteressen und -gewohnheiten zu erfassen. Wichtige Parameter wie Nutzerverhalten, Ladeenergiebedarf, Ladezeitpunkte, die Möglichkeit der zeitlichen Verschiebung von Fahrten und die Zahlungsbereitschaft pro Fahrt werden erhoben, um einerseits die persönliche Einstellung zur Mobilität und zu den Bedürfnissen zur Beladung

¹⁾ Energie Steiermark (Konsortialführer), Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH, TU Graz, Weizer Energie- Innovations- Zentrum GmbH, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, BM Leitner Planung & Bauaufsicht Gesellschaft mbH (alle Projektpartner)

des Elektrofahrzeugs zu erfassen und andererseits Aussagen hinsichtlich der Belastung bzw. Auslastung des Verteilernetzes sowie möglicher ökonomischer Geschäftsmodelle zu analysieren.

Grundlegende Ergebnisse die im Rahmen dieses Projektes gefunden wurden, wurden bereits in [3] veröffentlicht.

1.1 Kurzbeschreibung der angewandten statistischen Verfahren

Mit Hilfe von inferenzstatistischen Verfahren kann von einem Stichprobenergebnis auf die Population geschlossen und somit können Wahrscheinlichkeitsaussagen über Populationswerte getroffen werden. Eine wichtige charakteristische Kenngröße ist dabei die Wahrscheinlichkeit p , mit der ein Stichprobenergebnis zufällig aus einer Population gezogen wird. Anhand von inferenzstatistischen Verfahren können Unterschieds- und Zusammenhangshypothesen überprüft werden, wobei stets von der sogenannten Nullhypothese ausgegangen wird. Mit der Nullhypothese will man also herausfinden, ob man die Ergebnisse einer Analyse oder eines Tests verwerfen oder annehmen kann. *Die Nullhypothese besagt somit, dass kein Zusammenhang oder Unterschied in der Population besteht.* Ein Ergebnis der statistischen Auswertungen ist dann *signifikant*, d.h. es besteht ein Unterschied bzw. ein Zusammenhang, wenn die Wahrscheinlichkeit die Nullhypothese zu verwerfen $p < 5\%$ ist, obwohl sie in der Population gilt. Beim Verwerfen der Nullhypothese wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % akzeptiert [4], [5], [6].

Bei der Auswahl eines geeigneten statistischen Verfahrens, spielt das Skalenniveau der erhobenen Daten eine entscheidende Rolle. Im Folgenden werden die Skalenniveaus erklärt und beispielhaft anhand eines Skirennens dargestellt.

- Nominalskala:

Klassen, deren Ausprägungen Namen haben und die untereinander keine Ordnung haben, werden als nominalskaliert bezeichnet, wie z.B.: Nationalitäten / Skimarken / Haarfarben der einzelnen Skirennfahrer.

- Ordinalskala:

Die Ordinalskala beinhaltet mehr Information als die Nominalskala, weil zuzüglich eine ordnende Funktion hinzukommt. Der Abstand zwischen den einzelnen Werten ist jedoch nicht definiert, wie z.B.: die erreichten Rangplätze der einzelnen Skirennfahrer (1., 2., 3,...)

- Intervallskala:

Die Intervallskala beinhaltet alle Eigenschaften der Ordinalskala und zuzüglich sind die Abstände definiert, wie z.B. die gefahrene Zeiten der einzelnen Skirennfahrer.

Beschreibung der angewendeten statistischen Verfahren

t-Test für abhängige Messungen

Ein t-Test für abhängige Messungen wird für ein Untersuchungsdesign angewendet, in dem mehrere Personen zu zwei Messzeitpunkten (unabhängige Variable) mit demselben Instrument (abhängige Variable) untersucht werden. Mithilfe des ermittelten t-Werts kann eine Entscheidung darüber getroffen werden, ob sich die beiden Mittelwerte (Mittelwert zum Messzeitpunkt 1 und Mittelwert zum Messzeitpunkt 2) in der Population unterscheiden, d.h. ungleich 0 sind.

Bsp.: Gibt es einen Unterschied zwischen den beiden Mess-/Erfassungszeitpunkten (Fragebogen 1 und Fragebogen 2; unabhängige Variable) in der Bereitschaft, ein e-Carsharing Fahrzeug zu verwenden (abhängige Variable)?

Varianzanalyse

Die Varianzanalyse ist ein Verfahren, das den Einfluss einer oder mehrerer unabhängiger Variablen auf eine bzw. mehrere abhängige Variablen prüft. Es wird mithilfe eines F-Tests geprüft, ob die Varianz zwischen den Gruppen größer als die Varianz innerhalb einer Gruppe (d.h. Fehlervarianz) ist. Fällt das Ergebnis signifikant aus ($p < 0,05$), weichen die Mittelwerte zwischen den Gruppen stärker voneinander ab, als durch den Zufall angenommen werden kann.

Bsp.: Gibt es einen Unterschied zwischen jungen Erwachsenen, Erwachsenen und älteren Personen (unabhängige Variable 1) zwischen den beiden Messzeitpunkten (unabhängige Variable 2) in der Bereitschaft, ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen (abhängige Variable)?

Mann-Whitney-U-Test

Dieses Verfahren wird angewendet, um zwei unabhängige Stichproben (unabhängige Variable) zu einem Messzeitpunkt mit einem Messinstrument (abhängige Variable) zu untersuchen. Die abhängige Variable muss in diesem Fall nicht intervallskaliert sein, sondern darf Ordinalskalenniveau aufweisen. Hier wird demnach nicht untersucht, ob sich zwei Mittelwerte in einer Population unterscheiden, sondern, ob ein Unterschied zwischen zwei Rangsummen in einer Population besteht.

Bsp.: Gibt es einen Unterschied zwischen Männern und Frauen (unabhängige Variable) im Ausbildungsniveau (abhängige Variable)?

Kruskal Wallis

Der Kruskal-Wallis Test ist ein Verfahren, mit dem es möglich ist, mehr als zwei Gruppen einer unabhängigen Variable zu einem Messzeitpunkt mit einem Messinstrument (abhängige Variable) zu untersuchen. Die abhängige Variable darf Ordinalskalenniveau aufweisen. Es wird demnach untersucht, ob ein Unterschied zwischen den Rangplätzen besteht.

Bsp.: Gibt es einen Unterschied zwischen jungen Erwachsenen, Erwachsenen und älteren Personen (unabhängige Variable) im Ausbildungsniveau (abhängige Variable)?

Chi-Quadrat-Anpassungstests

Chi-Quadrat-Anpassungstests (χ^2) werden für abhängige Variablen mit Nominalskalenniveau verwendet. Mit dieser Art von Test wird untersucht, ob ein Unterschied in den aufgetretenen Häufigkeiten besteht. Diese Klasse von Tests funktioniert, vereinfacht dargestellt, nach folgendem Prinzip: Von einem beobachteten Ergebnis wird ein unter der Nullhypothese erwartetes Ergebnis abgezogen und an dem erwarteten Ergebnis normiert.

Bsp.: Gibt es einen Unterschied in der Häufigkeit welches elektrische Beladungssystem für das eigene Elektrofahrzeug zu Hause gewählt wird?

Posttests

Nach der Anwendung von statistischen Verfahren, bei einer vorhandenen Stichprobe mit welchem mehr als zwei Gruppen verglichen wurden, einen signifikanten Unterschied ergeben hat, können Posttests angewendet werden. Mit Hilfe dieser Posttests werden durch Einzelvergleiche relevante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen erfasst.

Beispielsweise zeigt eine Varianzanalyse einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (junge Erwachsene, Erwachsene, ältere Personen) hinsichtlich der Zufriedenheit mit der Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz. Zusätzlich wird angezeigt, dass sich mindestens zwei Mittelwerte voneinander unterscheiden, jedoch nicht um welche es sich handelt. Durch Posttests werden die einzelnen Mittelwerte der verschiedenen Altersgruppen miteinander verglichen und es kann festgestellt werden, welche Mittelwerte sich voneinander unterscheiden. Somit wird durch die Anwendung der Posttests eruiert, dass die Gruppe der jungen Erwachsenen zufriedener mit der Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz ist, als die Gruppe der Erwachsenen und die Gruppe der älteren Personen. Weiters kann gezeigt werden, dass sich die Gruppe der Erwachsenen und die Gruppe der älteren Personen nicht voneinander unterscheiden.

In der Literatur gibt es zahlreiche Vorschläge zur Anwendung von Posttests [4]. Für folgende Auswertungen werden als Posttests der Tukey-HSD-Test, t-Tests mit Bonferroni-Korrektur, sowie der Mann Withney-U-Test verwendet.

Korrelation

Eine Korrelation spiegelt den Zusammenhang zwischen zwei Variablen bzw. Merkmalen wider. Korrelationen (r) können Werte zwischen minus und plus 1 annehmen. Je näher eine Korrelation an plus oder minus 1 heranreicht, desto höher ist der Zusammenhang. Ein negativer Zusammenhang bedeutet, je höher die Ausprägung im einen Merkmal, desto geringer die Ausprägung im anderen Merkmal. Je näher eine Korrelation bei null liegt, desto

geringer ist der Zusammenhang. Ein positiver Zusammenhang bedeutet, je höher die Ausprägung in einem Merkmal, desto höher die Ausprägung im anderen Merkmal.

Bsp.: Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Alter und der Bereitschaft, ein e-Carsharing Fahrzeug zu benutzen?

1.2 Wissenschaftliche Fragestellungen

Die folgenden Fragestellungen werden formuliert, um eine exemplarische Analyse des Beitrages verschiedener Kundengruppen (junge Erwachsene, Erwachsene, ältere Personen) auf den Auslastungsgrad von Transformatoren und Leitungen im Hinblick auf elektrische Leistung und Energie im Rahmen des e-Carsharing Projektes zu ermitteln.

- 1) Wodurch unterscheidet sich das Ladeverhalten (z.B. der Abfahrzeit, Lademenge, Ankunftszeit, Fahrleistung) der verschiedenen Kundengruppen (junge Erwachsene, Erwachsene, ältere Personen) voneinander?
- 2) Welche technische Ladeinfrastruktur bevorzugen diese Kundengruppen?
- 3) Was sind die Kostentreiber in der technischen Kette: Mittelspannungsnetz → Transformator → Kundenladeeinheit unter Berücksichtigung der Kundengranularität für die Integration der Elektromobilität?
- 4) Wie hoch sind die einzelnen Kosten? Wie hoch sind die Zielkosten €/kW(kWh)?
- 5) Welche Spitzenvermeidungs-, Lastglättungs- bzw. Lastbeeinflussungsmaßnahmen sind effektiv und effizient?
- 6) Welche Anforderungen werden an die technischen Methoden zur Datenbereitstellung (Uhrzeit Fahrtantritt und Ladebeginn, Zuordnung eines Ladeortes, Ladezustände, -dauer, -energiemengen etc.) gestellt? Welche Daten und in welcher Auflösung sind diese für das technische Monitoring notwendig, um die unterschiedlichen Kundengruppen abzubilden?
- 7) Wie sieht die Korrelation zwischen Persönlichkeitsprofil (Beruf, Einkommen, Alter, Wohnort, Nutzung des E-Autos), Fahrzeugtype, Nutzungszweck und Flexibilität aus?
- 8) Wie erfolgt die Ermittlung der Datenerhebung mittels verpflichtender Fragebögen, um
 - a. den grundsätzlichen Mobilitätsbedarf sowie das Mobilitätsverhalten zu erfragen?
 - b. den veränderten Mobilitätsbedarf sowie das Mobilitätsverhalten durch Nutzung eines kostenlosen e-Carsharing-Systems zu erheben?
 - c. die Zahlungsbereitschaft für ein e-Carsharing-System zu ermitteln?
- 9) Welche Grundlagen werden für zielgruppenorientierte Geschäftsmodelle benötigt?

2 Wissenschaftliche Datenerhebung

Am Teilprojekt „will e-fahren“ haben in Summe 216 Personen teilgenommen, die sich auf 24 Gruppen verteilten. Den einzelnen TeilnehmerInnen wurden zwei Elektrofahrzeuge (Renault ZOE, SMART fortwo electric drive) mit der Auflage, ein detailliertes Fahrtenbuch sowie die mehrteiligen Fragebögen zur weiteren wissenschaftlichen Auswertung auszufüllen, zur Verfügung gestellt. Die Koordination, Einschulung und Betreuung der einzelnen Gruppen übernahm vor Ort die „Energierregion Weiz-Gleisdorf“²⁾. Die Begleitforschung für dieses Teilprojekt übernahm das Institut für Elektrische Anlagen der TU Graz.

2.1 Fragebögen

Die mehrteiligen wissenschaftlichen Fragebögen wurden in Zusammenarbeit mit der „Energierregion Weiz-Gleisdorf“ und durch Unterstützung des Institutes für Innovations- und Nachhaltigkeitsforschung der Karl-Franzens-Universität Graz entworfen. Mit Hilfe des ersten Fragebogens, der von den ProjektteilnehmerInnen vor ihrer ersten Testfahrt mit einem zur Verfügung gestellten Elektrofahrzeug ausgefüllt wurde, wurden demographische Daten, Einstellungen zur Elektromobilität, Mobilitätsverhalten und Ladebedürfnisse erhoben. Um mögliche Veränderungen in den Einstellungen zur Elektromobilität und zu den Ladebedürfnissen, sowie zur Zufriedenheit im Rahmen des Projekts zu erfassen, wurde den TeilnehmerInnen nach ihrer letzten Fahrt ein weiterer Fragebogen vorgegeben. Anhand der Daten, die aus den Fragebögen gewonnenen wurden, kann u.a. das Mobilitätsverhalten, die Einstellungen zu einem e-Carsharing System, das Verhalten im Zusammenhang mit der Nutzung eines e-Carsharing Systems sowie die z.B. Wünsche hinsichtlich Ladeinfrastruktur der unterschiedlichen Altersgruppen erhoben werden.

2.2 Fahrtenbuch

In dem von dem Institut für Elektrische Anlagen der TU Graz und der „Energierregion Weiz-Gleisdorf“ entworfenen Fahrtenbuch wurden von den TeilnehmerInnen folgende Daten bei der Nutzung des Elektrofahrzeugs handschriftlich protokolliert:

- Uhrzeit Fahrtbeginn / Fahrtende
- Gefahrene Kilometer
- Anzahl der Personen im Fahrzeug
- Wegzweck (zur Arbeit / von der Arbeit bzw. Arbeitsstätte, beruflich, Privat/Freizeit)
- Art der Strecke (Stadt, Land, Berg)
- Durchschnittlicher Energiebedarf in kWh/100 km
- Akkustand vor / nach der Fahrt
- Uhrzeit Ladebeginn / Ladeende
- Akkustand vor / nach der Beladung

²⁾ Energierregion Weiz-Gleisdorf, <http://www.energieregion.at/> zuletzt abgerufen am: 14.03.2016

- Nachgeladene Energie (gemessen mittels Energiezähler – Schukozwischenstecker)
- Zeitliche Verschiebmöglichkeit der aktuellen Fahrt nach vor / nach hinten
- Ladeort (öffentlich / Arbeitsplatz / privat), Ladeleistung (3,7 / 11 / 22 kW)
- Zahlungsbereitschaft für eine Fahrt.

Da zu erwarten war, dass den TeilnehmerInnen ein detailliertes Kostenbewusstsein hinsichtlich der tatsächlich auftretenden Kosten für ein Fahrzeug (Investitionskosten, Energiekosten, Kosten für Versicherung, Wertverlust, Service- und Reparaturkosten, ...) fehlen würde, wurde ein Beiblatt zur Darstellung der monatlichen Kosten eines durchschnittlichen PKWs den TeilnehmerInnen zur Verfügung gestellt. Das Ziel dabei war es, unrealistische Kostenvorstellungen und Kostenangaben zu vermeiden.

In dem entworfenen Beiblatt werden die relevanten Kostentreiber gemäß ÖAMTC [7] aufgelistet. Ist nun die monatliche Kilometerleistung bekannt, können die Kosten pro Kilometer berechnet werden. Die folgende Tabelle 1 zeigt einen Auszug aus dem Beiblatt, mit dem die Gesamtkosten pro Monat sowie die Gesamtkosten pro Kilometer abgeschätzt werden können.

Tabelle 1: Gesamtkosten pro Monat bzw. pro Kilometer abhängig von der Kilometerleistung

Kilometerleistung	monatliche Teilkosten³⁾	Treibstoffkosten^{4), 5)}	Gesamtkosten	Gesamtkosten
km/Monat	Kosten / Monat	Kosten / Monat	Kosten / Monat	Kosten / Kilometer
10 km/Monat	€ 383	€ 1	€ 384	€ 38,4
500 km/Monat	€ 383	€ 38	€ 421	€ 0,84
1000 km/Monat	€ 383	€ 77	€ 460	€ 0,46
2000 km/Monat	€ 383	€ 153	€ 536	€ 0,27

Wie aus der Tabelle 1 ersichtlich ist, sinken die Kosten je Kilometer mit steigender Kilometerleistung.

- Für Personen, welche im Monat nur wenige Kilometer zurücklegen (500 km/Monat), können durchaus Carsharing bzw. in weiterer Folge e-Carsharing Modelle aus ökonomischen Gründen eine Alternative zur aktuellen Situation (Eigenbesitz PKW) darstellen.

Dieses Beiblatt dient den einzelnen TeilnehmerInnen als Information, um die monatlichen Kosten der Mobilität darzustellen. Zusätzlich sollte es genutzt werden, um die eigenen monatlichen Kosten in diesem Beiblatt auszurechnen und um den einzelnen

³⁾ Die monatlichen Teilkosten (Fixkosten) ergeben sich aus den Durchschnittskosten der 25 meistverkauften Autos [29]

⁴⁾ Der Treibstoffverbrauch wird mit 6,5 Liter/100 km angenommen

⁵⁾ Treibstoffkosten 1,18 €/Liter (Preisauskunft März 2015)

TeilnehmerInnen einen transparenten Kostenvergleich mit dem eigenen Fahrzeug zu ermöglichen.

Das Ziel des Fahrtenbuches ist es, das charakteristische Verhalten der unterschiedlichen Altersgruppen hinsichtlich der Abfahrts- und Ankunftszeiten sowie des Energiebedarfs pro Fahrt zu ermitteln. Zusätzlich werden die charakteristischen Kenngrößen wie z.B. die Zahlungsbereitschaft oder der Wegzweck von den einzelnen TeilnehmerInnen abgefragt.

2.3 Geschäftsmodelle für e-Carsharing

Die grundlegende Aufgabe bei der Entwicklung eines Geschäftsmodells besteht darin, herauszufinden, welchen Nutzen Kunden oder andere Partner⁶⁾ des e-Carsharing Anbieters aus der Geschäftsbeziehung ziehen können oder genauer gesagt, welche Art von Nutzen für Kunden so interessant ist, dass sie zu einem e-Carsharing Fahrzeug greifen. Der Nutzen für Kunden kann zum Beispiel in einem besseren Image, hoher Bequemlichkeit, mangelnder Liquidität, Freude am Elektrofahrzeug oder in einem Kostenvorteil liegen. In den Fragebögen werden den TeilnehmerInnen zu dieser Thematik eine Reihe von Fragen vor und nach der Teilnahme am Projekt gestellt und im Anschluss statistisch ausgewertet. Auch Fragen zum Interesse an alternativen Mobilitätskonzepten werden in den Fragebögen behandelt und im Rahmen der Auswertung berücksichtigt. Die Fragen, welche Kundengruppen besonderes Interesse an e-Carsharing haben, wie und wann sie das Fahrzeug benutzen würden, wie viele Kilometer pro Tag und sie wann fahren würden, welchen maximalen Weg sie akzeptieren würden um zu einem Stellplatz zu kommen usw. gestatten es eine Analyse der Wertschöpfung aufzustellen und die verschiedenen wirtschaftlichen Agenten und ihre Rollen zu bestimmen. Damit kann die Frage beantwortet werden, wie die wirtschaftlich nutzbaren Leistungen in welchen Konfigurationen erstellt werden können.

Da grundsätzlich die Kostenfaktoren für einen e-Carsharing Anbieter bekannt sind (Kosten für Investitionen, Energie, Leistung, Versicherungen, Service, Kredite, Werbung, Standplätze, Ladestationen, ...) kann daraus nach Berücksichtigung des Gewinnaufschlages der Preis für e-Carsharing in €/Zeiteinheit oder in €/gefahrte Strecke festgelegt werden und mit den Antworten aus den Fragebögen hinsichtlich der Zahlungsbereitschaft verglichen werden. Daraus ergibt sich eine wichtige Information hinsichtlich Wirtschaftlichkeit der angedachten Geschäftsmodelle.

Bei einem angenommenen Neukaufpreis für ein Elektrofahrzeug von 25 000 € (Neupreis), einer jährlichen Kilometerleistung von 10 000 km, den daraus folgenden Stromkosten von 400 € sowie den Wartungskosten von 6 000 € für den Beobachtungszeitraum von 10 Jahre, ergeben sich spezifische Kilometerkosten von 0,30 €/km. Die Miteinbeziehung eines üblichen Gewinnaufschlags mit einem Faktor von 2,2 ergeben sich Mindestkilometerkosten von 0,8 €/km ohne Berücksichtigung der Kosten für etwaige Ladeinfrastruktur.

⁶⁾ das können z.B. Verteilernetzbetreiber, Betreiber von Ladestationen, wie z.B. Kaufhäuser oder andere Geschäftspartner sein, die aus dem Vorhandensein der Ladestation einen Zusatznutzen ziehen können

Zusätzlich zu den direkten Kosten für e-Carsharing muss aber beachtet werden, dass Ladestationen abhängig von ihrer Anschlussleistung unter Umständen Auswirkungen auf die Stromversorgung, insbesondere auf das Verteilernetz haben, zum Beispiel Investitionen in das Verteilernetz und in die Ladestationen notwendig werden und diese Kosten müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Betroffen sind dabei insbesondere notwendige Schaltanlagen, Transformatorstationen, Leitungsverstärkungen, Aufwand für Grabungsarbeiten und gegebenenfalls erhöhter Platzbedarf. Kann durch die Ladestationen ein erhöhter Stromumsatz generiert werden, der sich langfristig über die Netzgebühren für den Verteilernetzbetreiber rechnet, können Investitionen in das elektrische Stromnetz erfolgen. Ebenso können sich Ladestationen und die gegebenenfalls notwendigen Investitionen in das Netz durch Umwegnutzen, wie z.B. durch erhöhte oder verlängerte und damit umsatzträchtigere Anwesenheit in Geschäften, rechnen – dies sind Faktoren, die bei einer detaillierten Entwicklung eines Geschäftsmodells untersucht und bewertet werden müssen. Dabei kommt erschwerend hinzu, dass Ladestationen in einem liberalisierten Markt von einem Verteilernetzbetreiber bewilligt werden müssen und dann entweder vom Verteilernetzbetreiber, einem Dienstleister oder von dem Grundeigentümer betrieben werden können.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Analyse der ausgefüllten Fragebögen einen wichtigen Beitrag zur Gewichtung der einzelnen Kosten- und Ertragskomponenten des Systems e-Carsharing (Fahrzeug, elektrisches Stromnetz) liefert. Auf diese Art und Weise können zuverlässige Informationen für die Entwicklung des Geschäftsmodells gewonnen werden.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den mehrteiligen Fragebögen (Teil 1 bzw. Teil 2) sowie aus den Fahrtenbüchern der einzelnen TeilnehmerInnen mittels statistischer Verfahren ausgewertet.

3.1 Auswertung der Fragebögen

Im Folgenden werden Antworten zum Mobilitätsverhalten, zu den Einstellungen bezüglich eines e-Carsharing Systems, zum Verhalten im Zusammenhang mit der Nutzung eines e-Carsharing Systems sowie zu den Ladebedürfnissen der unterschiedlichen Altersgruppen anhand der Fragebögen ausgewertet. Zusätzlich wird die Zufriedenheit der Organisation im Rahmen des Projektes sowie die Möglichkeit, ein Elektrofahrzeug zu testen, abgefragt.

3.2 Soziodemographische Faktoren

Für die Auswertung in diesem Projekt wurden die TeilnehmerInnen einer von drei Altersgruppen (junge Erwachsene, Erwachsene und ältere Personen) zugeordnet. Die folgende Tabelle 2 zeigt die Anzahl der TeilnehmerInnen pro Altersbereich sowie die in den Fahrtenbüchern aufgezeichneten Fahrten pro Altersgruppe. Da ein/e TeilnehmerIn kein Alter angegeben hat, konnte diese Person in den Auswertungen der Altersgruppen nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 2: Altersstruktur der verschiedenen Gruppen (1 bis 3) inkl. der Anzahl an TeilnehmerInnen sowie den getätigten Fahrten

Gruppe	Name	Altersbereich	Anzahl der TeilnehmerInnen	Anzahl der Fahrten
Gruppe 1	Junge Erwachsene	17 – 30 Jahre	69	156
Gruppe 2	Erwachsene	31 – 50 Jahre	99	268
Gruppe 3	Ältere Personen	51 – 80 Jahre	47	96
Summe			215 ⁷⁾	520

Wie in Abbildung 1 ersichtlich, gibt es laut Kruskal-Wallis Test einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (junge Erwachsene, Erwachsene, ältere Personen) im durchschnittlichen monatlichen Nettoverdienst ($\chi^2(2) = 20.681$, $p < .05$). Mann-Whitney-U-Tests haben gezeigt, dass junge Erwachsene ($M = 70.64$) weniger verdienen als ältere Personen ($M = 98.4$) und Erwachsene ($M = 111.95$). Zwischen Erwachsenen und älteren Personen gibt es keinen Unterschied im durchschnittlichen monatlichen Nettoverdienst.

⁷⁾ Ein/e TeilnehmerIn hat kein Alter angegeben und wurde in den Auswertungen der Altersgruppen nicht berücksichtigt werden

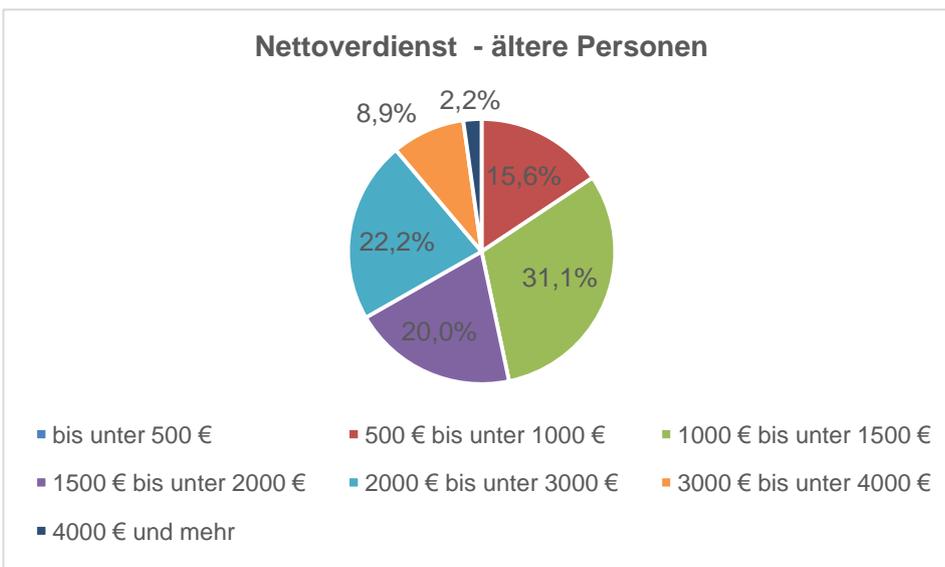
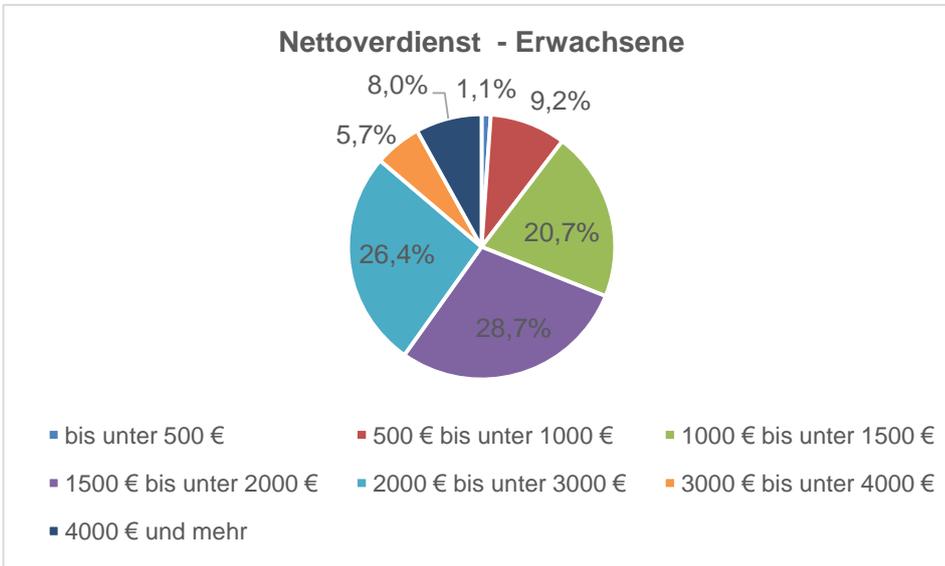
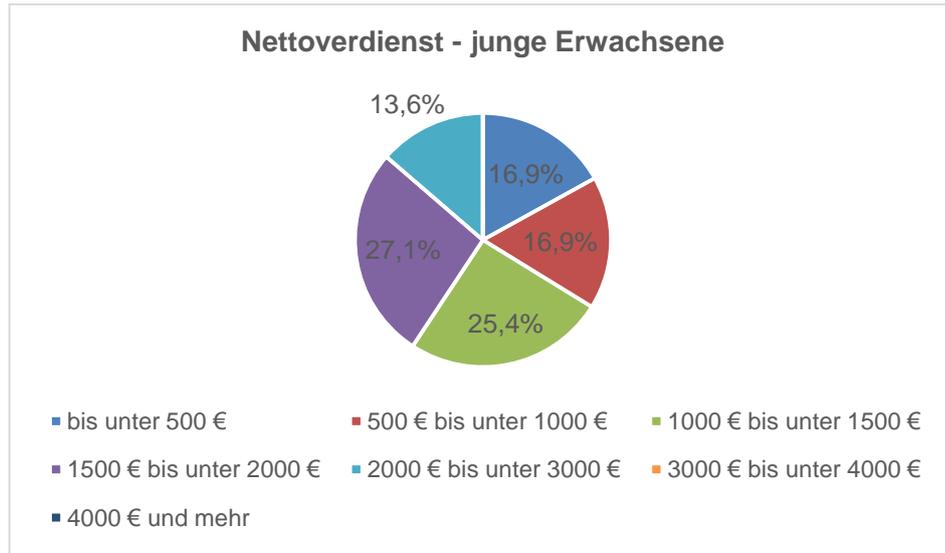


Abbildung 1: Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit vom monatlichen Nettoverdienst

In Abbildung 2 sieht man den Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit vom Wohnort. In Anlehnung an die Charakterisierung der elektrischen Infrastruktur werden die Gebiete Stadt, Vorstadt, Land unterschieden [8], [9].

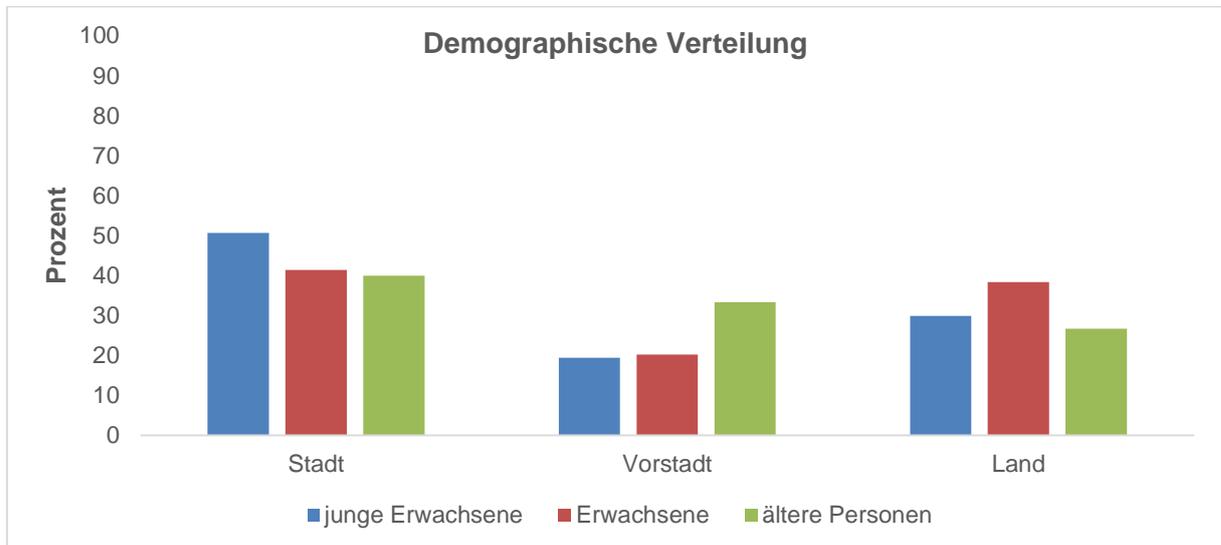


Abbildung 2 Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit der demographischen Verteilung
Ein mehrdimensionales χ^2 ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen in ihrem Wohnort (Stadt, Vorstadt, Land; $\chi^2(4) = 5.441$, n.s.).

In Abbildung 3 sieht man den Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit von der Berufskategorie.

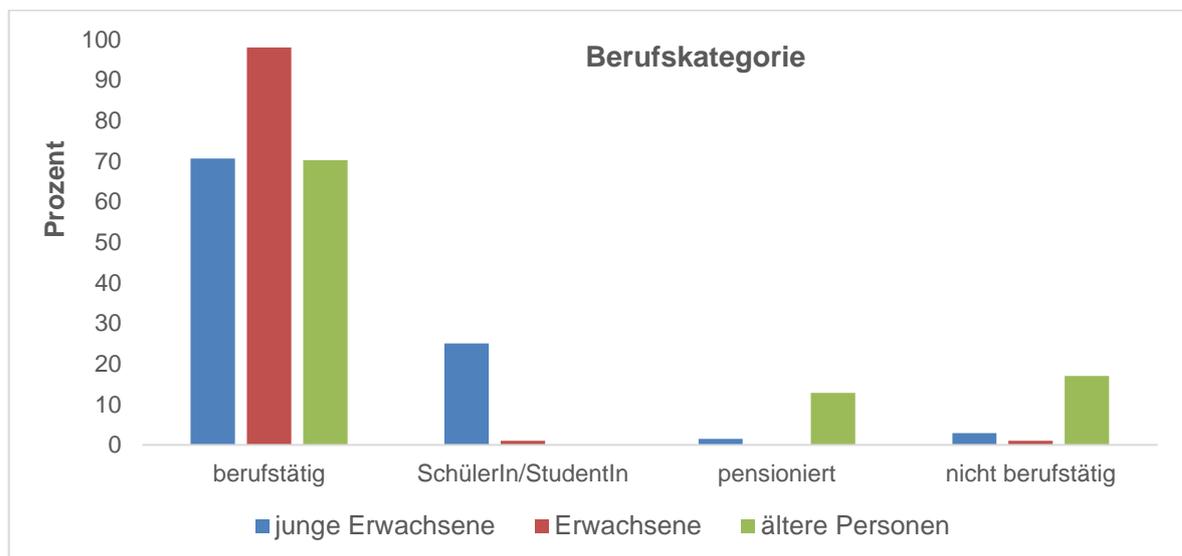


Abbildung 3: Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit von der Berufskategorie.

Ein eindimensionales χ^2 ergibt unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit einen signifikanten Unterschied in der Häufigkeit der Berufskategorie ($\chi^2(3) = 378.458$, $p < .05$). Personen sind insgesamt häufiger berufstätig (178) als SchülerIn/StudentIn (18), PensionistIn (7) oder nicht berufstätig (11).

Die Abbildung 4 zeigt den prozentuellen Anteil der Personen in Abhängigkeit der höchsten abgeschlossenen Ausbildung (Pflichtschule, Fachschule/Lehre, Matura, Fachhochschule/ bzw. Universität).

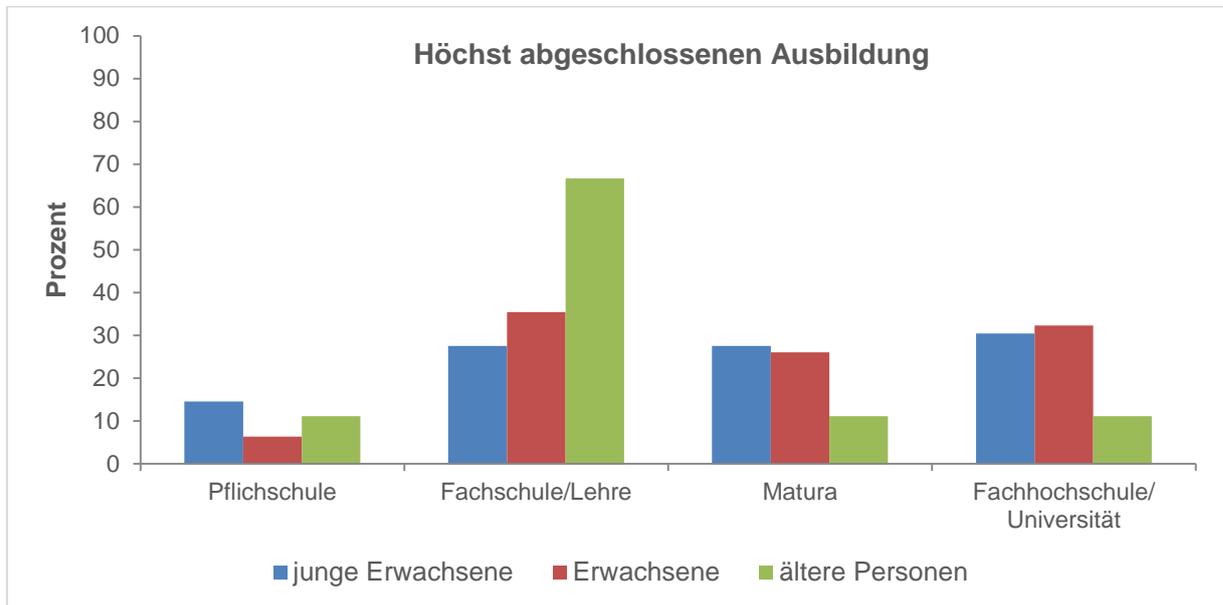


Abbildung 4: Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit von ihrer höchsten abgeschlossenen Ausbildung

Wie in Abbildung 4 ersichtlich ist, gibt es laut Kruskal-Wallis Test einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (junge Erwachsene, Erwachsene, ältere Personen) in der höchsten abgeschlossenen Ausbildung ($\chi^2(2) = 13.542$, $p < .05$). Mann-Whitney-U-Tests haben gezeigt, dass die Gruppe der jungen Erwachsenen ($M = 109.86$) und Erwachsenen ($M = 115.36$) durchschnittlich eine höhere Ausbildung abgeschlossen haben als die Gruppe der älteren Personen ($M = 77.78$), die an diesem Feldversuch teilgenommen haben. Zwischen jungen Erwachsenen und Erwachsenen gibt es keinen Unterschied in der höchsten abgeschlossenen Ausbildung.

1. Mobilitätsverhalten der unterschiedlichen Kundengruppen:

a. Gibt es einen Unterschied zwischen den untersuchten Kundengruppen in der Wegstrecke, die sie pro Jahr zurücklegen?

In Abbildung 5 ist die jährliche Kilometerleistung der unterschiedlichen Kundengruppen (junge Erwachsene, Erwachsene, ältere Personen) dargestellt.

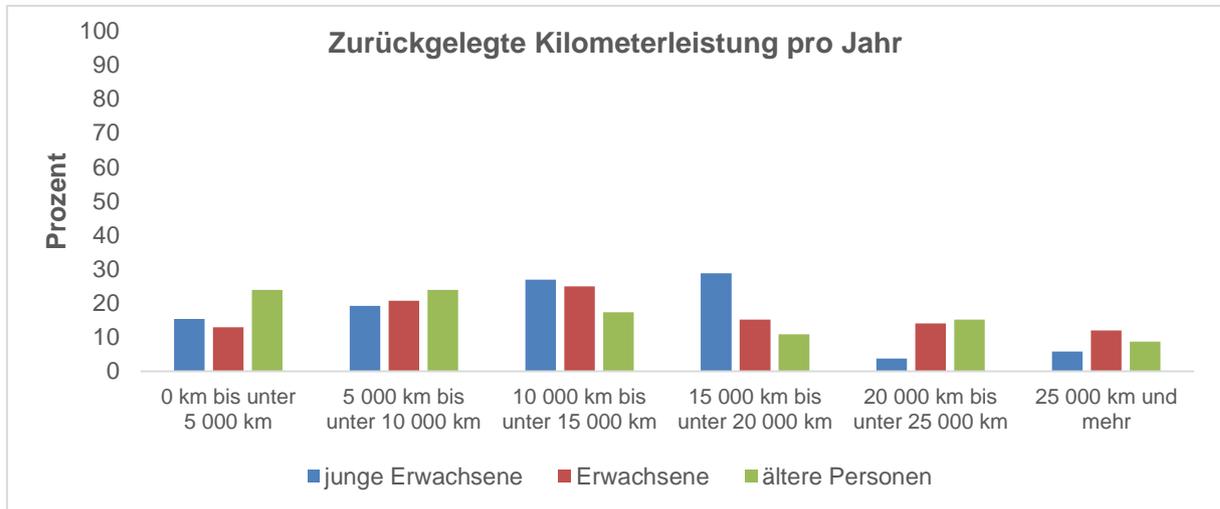


Abbildung 5: Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit der jährlich zurückgelegten Kilometerleistung

Wie in Abbildung 5 ersichtlich, gibt es laut Kruskal-Wallis Test einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (junge Erwachsene, Erwachsene, ältere Personen) in der zurückgelegten Wegstrecke pro Jahr ($\chi^2(2) = 9.499, p < .05$). Mann-Whitney-U-Tests haben gezeigt, dass junge Erwachsene ($M = 50.23$) und ältere Personen ($M = 47.64$) weniger Kilometer pro Jahr zurücklegen als Erwachsene ($M = 76.22$). Zwischen jungen Erwachsenen und älteren Personen gibt es keinen Unterschied in den zurückgelegten Kilometern (nicht signifikat n.s.).

b. Wie viele PKWs pro Haushalt bzw. welche PKW Kategorien besitzen die unterschiedlichen Kundengruppen?

In Abbildung 6 ist der Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit von der PKW-Kategorie (Kleinwagen, z.B. Opel Corsa; Mittelklasse, z.B. VW Golf; Oberklasse, z.B. Audi A4; Luxusklasse, z.B. BMW X5; Elektrofahrzeug; Sonstiges) ersichtlich.

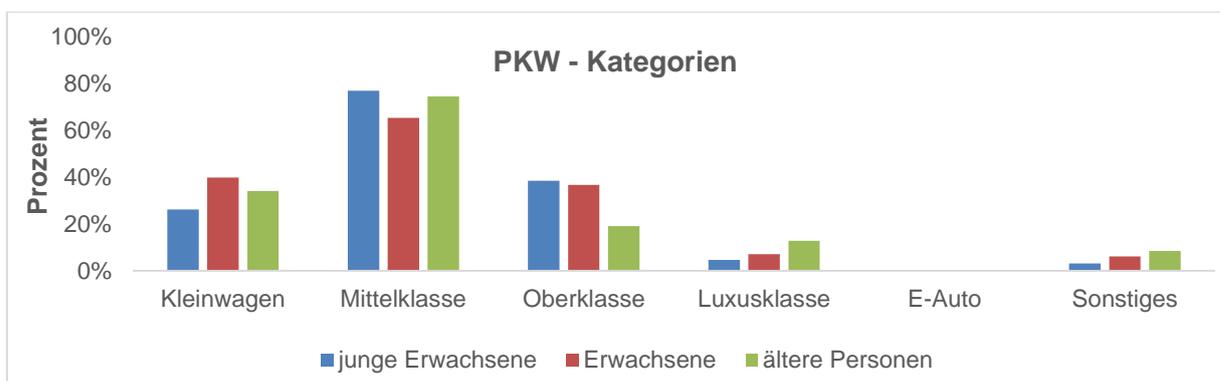


Abbildung 6: Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit von der PKW Kategorie

Es ist aus Abbildung 6 ersichtlich, dass unabhängig vom Alter der größte Prozentanteil Mittelklassefahrzeuge besitzt. Von keinem der Personen wurde angegeben, ein Elektrofahrzeug zu besitzen. Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt, dass kein signifikanter Unterschied in der Anzahl der PKWs pro Haushalt in Abhängigkeit vom Alter besteht ($F(2) = 2.811$, n.s.). Unabhängig von der Altersgruppe sind in einem Haushalt durchschnittlich 2 PKWs vorhanden.

c. Welche Fahrzeugtypen werden von den unterschiedlichen Kundengruppen zu welchen Zwecken genutzt?

In Abbildung 7 ist der Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp, den sie zum Arbeitsplatz/zur Ausbildungsstätte verwenden, ersichtlich.

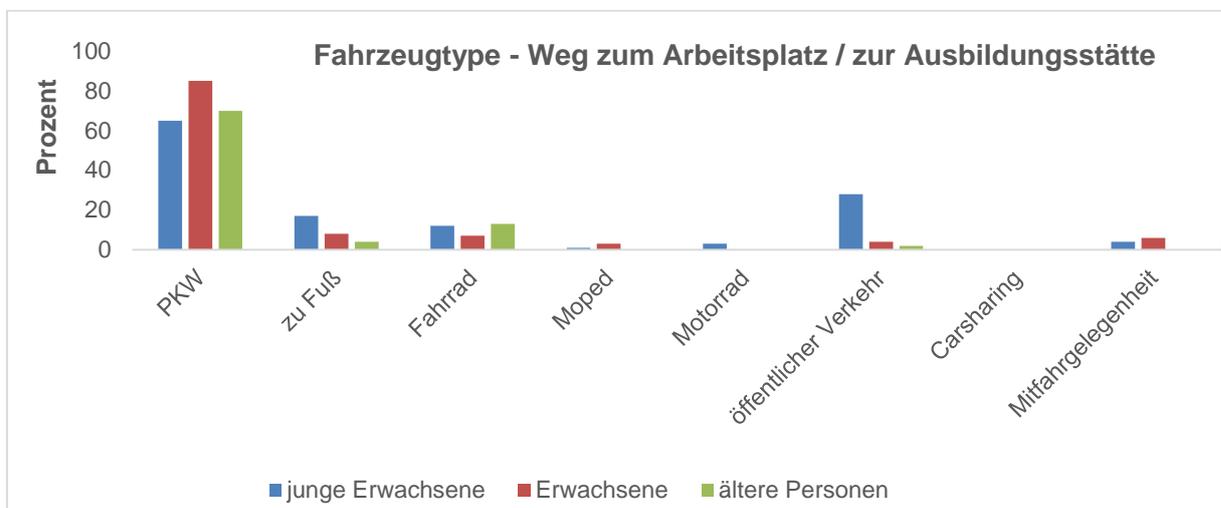


Abbildung 7 Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp, den sie zum Arbeitsplatz bzw. zur Ausbildungsstätte verwenden

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied in der Kilometerleistung, die pro Tag zur Arbeit/Ausbildungsstätte gefahren werden in Abhängigkeit vom Alter ($F(2) = 2.097$, n.s.). Unabhängig vom Fahrzeugtyp fahren die Personen im Untersuchungsgebiet durchschnittlich ca. **27 km pro Tag zur Arbeit/Ausbildungsstätte**.

In Abbildung 8 sind die durchschnittlichen Kilometer pro Tag in der Freizeit in Abhängigkeit von der Altersgruppe und vom Fahrzeugtyp werktags, samstags und sonntags ersichtlich.

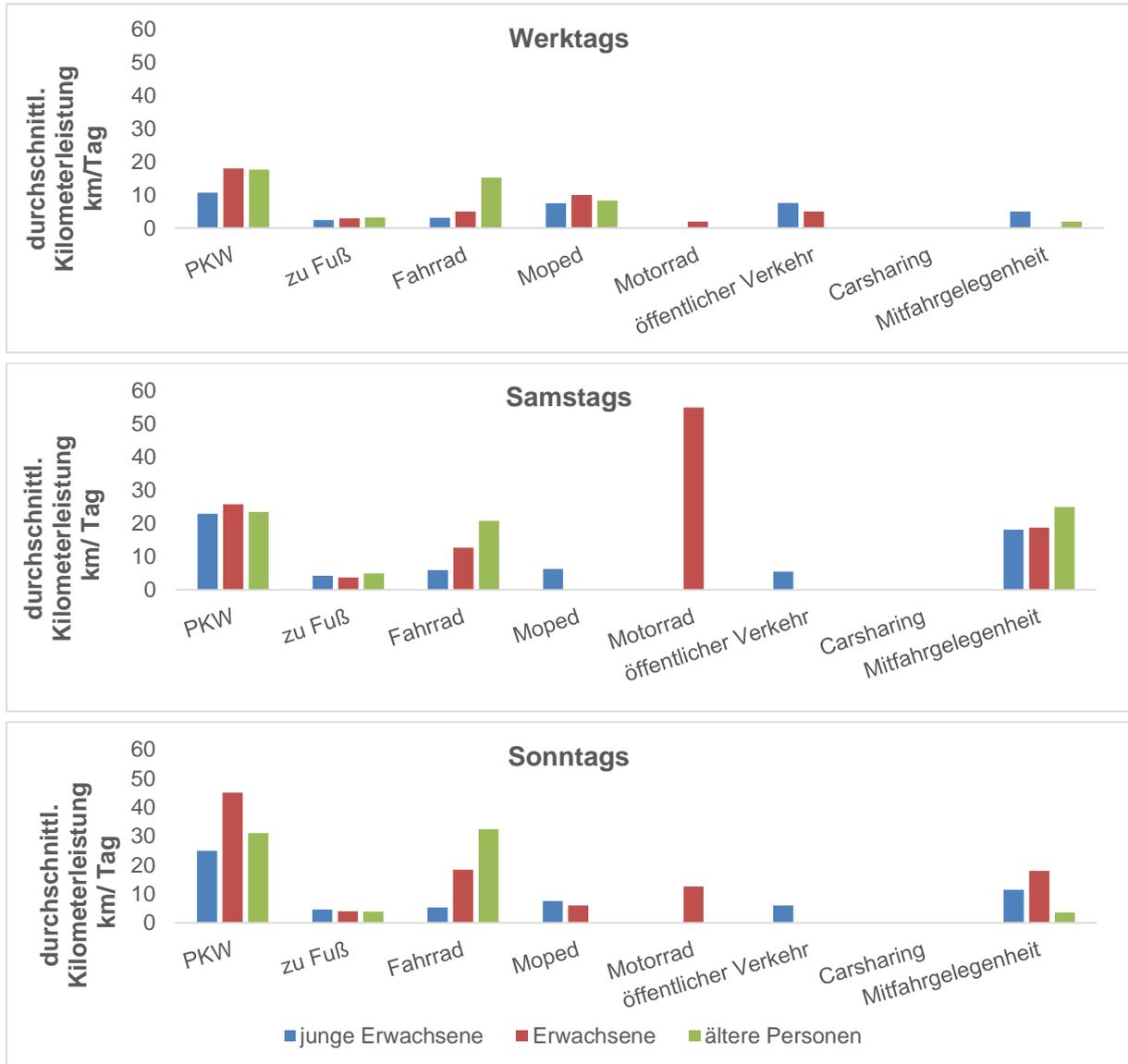


Abbildung 8: Durchschnittliche Kilometerleistung pro Tag in der Freizeit in Abhängigkeit von der Altersgruppe und vom Fahrzeugtyp – werktags, samstags und sonntags

Wie aus Abbildung 8 ersichtlich ist, werden in dieser Stichproben die meisten Kilometer pro Tag in der Freizeit (im Gegensatz zu Fahrten zum Arbeitsplatz / Ausbildungsstätte bzw. berufliche Erledigungen) mit dem PKW zurückgelegt. Samstags und sonntags werden viele Kilometer per Mitfahrgelegenheit zurückgelegt. Der öffentliche Verkehr wird in dieser Stichprobe in der Freizeit fast ausschließlich von jungen Erwachsenen genutzt.

d. Aus welchen Gründen besitzen die unterschiedlichen Kundengruppen einen/keinen PKW?

Abbildung 9 zeigt die durchschnittliche Zustimmung (1 = höchste Zustimmung bis 5 = geringste Zustimmung) zu den Gründen einen PKW zu besitzen, in Abhängigkeit von der Altersgruppe. Eine multivariate Varianzanalyse ergibt einen signifikanten Unterschied in der Zustimmung zu den Gründen, einen PKW zu besitzen ($F(4,126) = 301.935, p < .05, \text{ Pillai-Spur} = .882, \eta^2 = .88$) und keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen in

der Zustimmung zu den Gründen einen PKW zu besitzen ($F(8,326) = 1.830$, n.s., Pillai-Spur = .086).

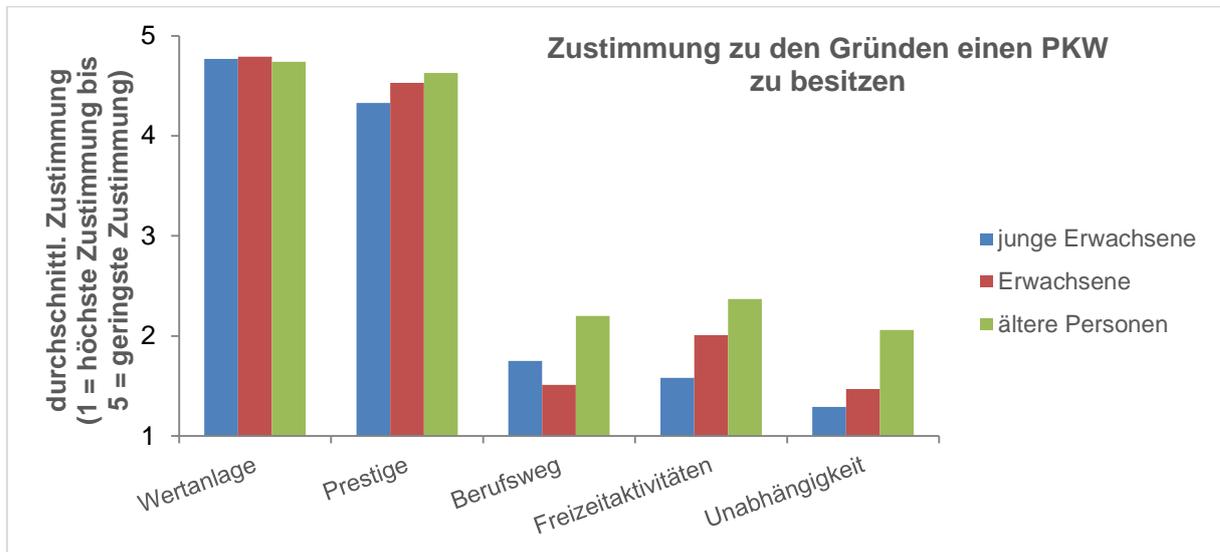


Abbildung 9: Durchschnittliche Zustimmung zu den Gründen (1 = höchste Zustimmung bis 5 = geringste Zustimmung) einen PKW zu besitzen in Abhängigkeit von der Altersgruppe

Posttests zeigen, dass generell dem Grund „Wertanlage“ ($MW = 4.77$, $s = .76$) weniger zugestimmt wird, als allen anderen Gründen. Dem Grund „Prestige“ ($MW = 4.49$, $s = .92$) wird weniger zugestimmt als dem Grund „Berufsweg“ ($MW = 1.72$, $s = 1.29$), dem Grund „Freizeitaktivitäten“ ($MW = 1.96$, $s = 1.29$) und dem Grund „Unabhängigkeit/Flexibilität“ ($MW = 1.54$, $s = 1.04$). Es wird dem Grund „Freizeitaktivitäten“ weniger zugestimmt als dem Grund „Unabhängigkeit/Flexibilität“.

In Abbildung 10 befindet sich durchschnittliche Zustimmung zu den Gründen keinen PKW zu besitzen, in Abhängigkeit von der Altersgruppe.

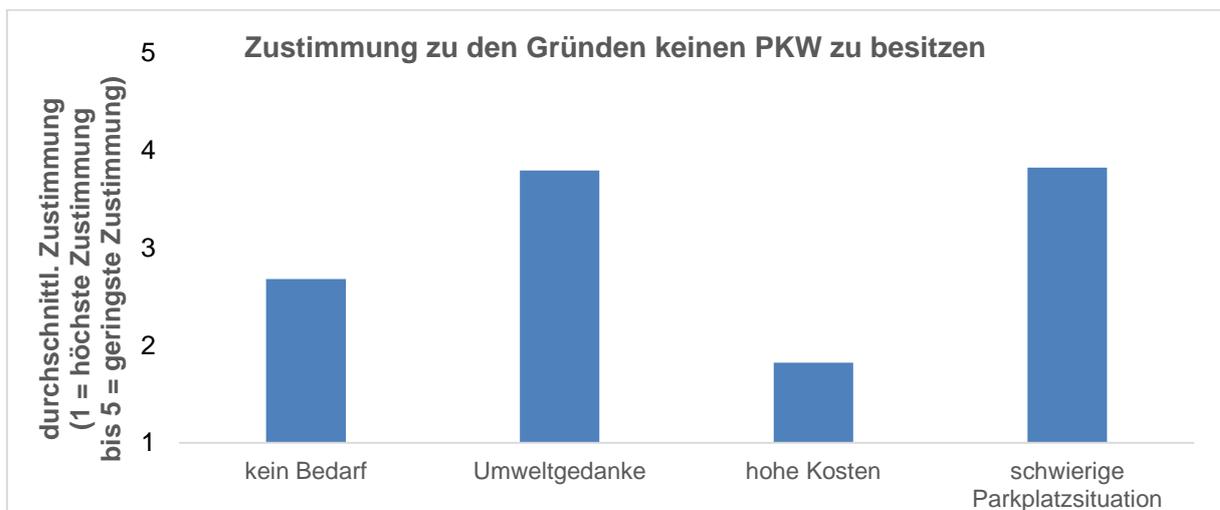


Abbildung 10: Durchschnittliche Zustimmung zu den Gründen (1 = höchste Zustimmung bis 5 = geringste Zustimmung) keinen PKW zu besitzen unabhängig von der Altersgruppe

In dieser Stichprobe besitzen 27.9 % der jungen Erwachsenen, 11.1 % der Erwachsenen und 8.7 % der älteren Personen keinen PKW. Bezüglich der Gründe, keinen PKW zu besitzen sieht man in Abbildung 10, dass in dieser Stichprobe auf einer Skala von 1 bis 5 (*1 = höchste Zustimmung, 5 = geringste Zustimmung*) den Gründen „kein Bedarf“ (MW = 2.68, s = 1.59) und „hohe Kosten“ (MW = 1.82, s = 1.28) mehr zugestimmt wird, als den Gründen „Umweltgedanke“ (MW = 3.79, s = 1.50) und „schwierige Parkplatzsituation“ (MW = 3.82, s = 1.49).

e. Gibt es einen Unterschied zwischen Kundengruppen in der Zufriedenheit mit der Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz?

Eine einfaktorielle Varianzanalyse bei der Zufriedenheit mit der Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz ergibt einen signifikanten Haupteffekt hinsichtlich des Unterscheidungsmerkmals „Alter“ ($F(2) = 14.312$, $p < .05$, $\eta^2 = .12$). Tukey Posttests zeigen, dass junge Erwachsene zufriedener mit der Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz sind als Erwachsene und ältere Personen. Auf einer Skala von 1 bis 5 (*1 = gar nicht, 2 = kaum, 3 = mittelmäßig, 4 = ziemlich, 5 = außerordentlich*) haben junge Erwachsene durchschnittlich einen Wert von 3.4 ($s = 1.13$), Erwachsene und ältere Personen haben einen Wert von 2.5 ($s_2 = 1.08$, $s_3 = 1.15$).

2. Ermittlung der Einstellungen der unterschiedlichen Kundengruppen zu einem e-Carsharing System:

a. Unterscheiden sich die Kundengruppen in der Bereitschaft, ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen und gibt es einen Unterschied in Abhängigkeit vom Wohnort?

Auf einer Skala von 1 bis 5 (*1 = keinesfalls, 2 = wahrscheinlich nicht, 3 = vielleicht, 4 = ziemlich wahrscheinlich, 5 = ganz sicher*) bewerteten die Personen ihre Bereitschaft ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen. Eine einfaktorielle Varianzanalyse zeigt einen signifikanten Haupteffekt im Unterscheidungsmerkmal „Alter“ ($F(2) = 4.984$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$). Tukey Posttests zeigen, dass junge Erwachsene (MW = 3, $s = .98$) eine größere Bereitschaft haben, ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen als ältere Personen (MW = 2, $s = .90$). Es gibt keinen Unterschied, in der Bereitschaft, ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen, zwischen jungen Erwachsenen und Erwachsenen (MW = 2, $s = .94$) sowie zwischen Erwachsenen und älteren Personen (n.s.).

Zusätzlich wurde der Wohnort der Personen erhoben, um zu untersuchen, ob es einen Unterschied zwischen Personen, die in einer Stadt, einer Vorstadt oder am Land wohnen, in der Bereitschaft ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen, gibt. Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Haupteffekt Wohnort ($F(2) = 1.966$, n.s.). Es gibt keinen Unterschied in der Bereitschaft, ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen, in Abhängigkeit vom Wohnort (MW = 2 *wahrscheinlich nicht*, $s = .97$).

b. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Bereitschaft, ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen, und der Zufriedenheit mit der Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz?

Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Zufriedenheit mit der Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz und der Bereitschaft, ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen ($r=.25$, $p < .05$). Je zufriedener die Personen mit der Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz sind, desto eher sind sie bereit ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen.

c. Aus welchen Gründen würden die unterschiedlichen Kundengruppen ein e-Carsharing Fahrzeug verwenden bzw. nicht verwenden?

In Abbildung 11 ist die durchschnittliche Zustimmung (1 = höchste Zustimmung zu bis 5 = geringste Zustimmung) zu den Gründen ein e-Carsharing Fahrzeug, in Abhängigkeit von der Altersgruppe zu nutzen, ersichtlich. Eine multivariate Varianzanalyse ergibt einen signifikanten Unterschied in der Zustimmung zu den Gründen ein e-Carsharing Fahrzeug zu benutzen ($F(7,137) = 31.303$, $p < .05$, Pillai-Spur = .615, $\eta^2 = .62$) und keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen in der Zustimmung zu den Gründen, ein e-Carsharing Fahrzeug zu benutzen ($F(14,276) = 1.231$, Pillai-Spur = .118, n.s.).

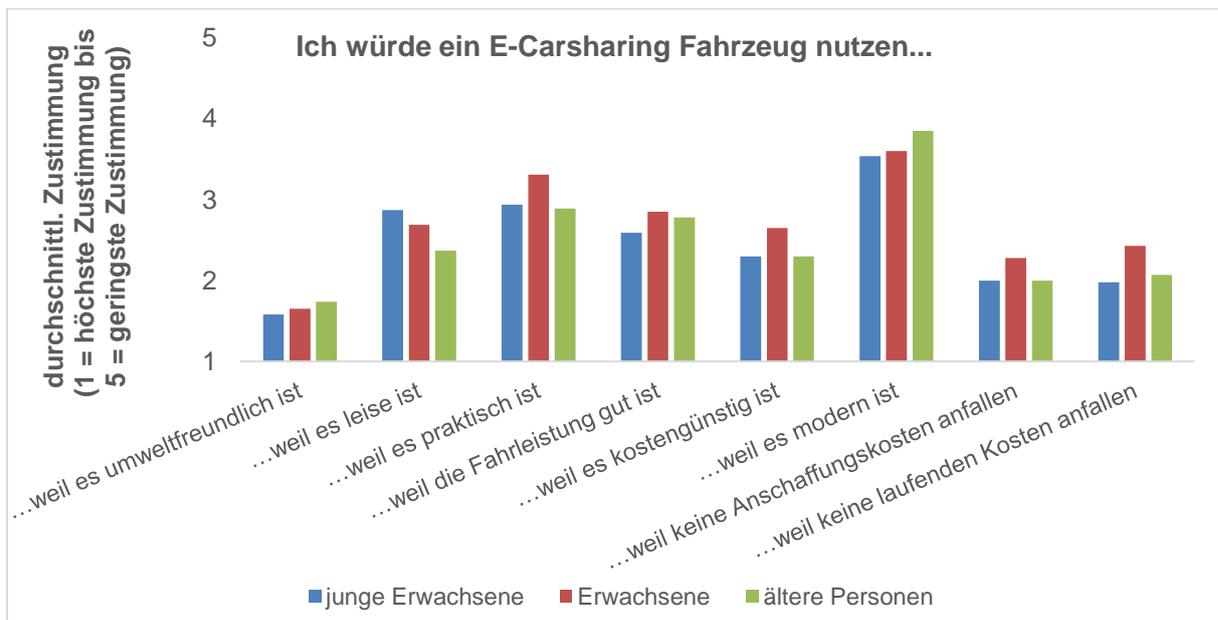


Abbildung 11: Durchschnittliche Zustimmung (1 = höchste Zustimmung bis 5 = geringste Zustimmung) zu den Gründen ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen in Abhängigkeit von der Altersgruppe

Posttests zeigen, dass dem Grund „umweltfreundlich“ ($MW = 1.74$, $s = 1.16$) mehr zugestimmt wird, als allen anderen Gründen. Dem Grund „modern“ ($MW = 3.62$, $s = 1.26$) wird weniger zugestimmt als allen anderen Gründen. Dem Grund „keine Anschaffungskosten“ wird mehr zugestimmt als den Gründen „leise“ ($MW = 2.70$, $s = 1.43$), „Fahrleistung“ ($MW = 2.74$, $s = 1.26$), „praktisch“ ($MW = 3.10$, $s = 2.02$). Dem Grund „praktisch“ wird weniger zugestimmt als den Gründen „kostengünstig“, „keine Anschaffungskosten“ und „keine laufenden Kosten“ ($MW = 2.20$, $s = 1.23$). Es besteht kein

Unterschied in der Zustimmung zu den Gründen „kostengünstig“ (MW = 2.45, s = 1.15), „keine Anschaffungskosten“ und „keine laufenden Kosten“.

Abbildung 12 zeigt die durchschnittliche Zustimmung (1 = höchste Zustimmung zu bis 5 = geringste Zustimmung) zu den Gründen kein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen, in Abhängigkeit von der Altersgruppe. Eine multivariate Varianzanalyse ergibt einen signifikanten Unterschied in der Zustimmung zu den Gründen kein e-Carsharing Fahrzeug zu benutzen ($F(5,154) = 28.891$, $p < .05$, Pillai-Spur = .484, $\eta^2 = .48$) und einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen in der Zustimmung zu den Gründen kein e-Carsharing Fahrzeug zu benutzen ($F(10,310) = 2.664$, $p < .05$, Pillai-Spur = .158, $p < .05$, $\eta^2 = .08$). Posttests zeigen, dass es in der Zustimmung zu den Gründen „teuer“ (MW1 = 2.75, s1 = 1.30, MW2 = 2.93, s2 = 1.26, MW3 = 2.58, s3 = 1.39), „wenig Ladestationen“ (MW1 = 2.46, s1 = 1.07, MW2 = 2.27, s2 = 1.26, MW3 = 2.70, s3 = 1.47), „lange Ladezeiten“ (MW1 = 2.21, s1 = 1.05, MW2 = 2.38, s2 = 1.27, MW3 = 2.58, s3 = 1.39), „unpraktisch“ (MW1 = 2.74, s1 = 1.33, MW2 = 2.32, s2 = 1.13, MW3 = 2.24, s3 = 1.35) und „kein ausreichendes Platzangebot“ (MW1 = 3.86, s1 = 1.22, MW2 = 3.46, s2 = 1.37, MW3 = 3.64, s3 = 1.45) keinen Unterschied zwischen den Altersgruppen gibt.

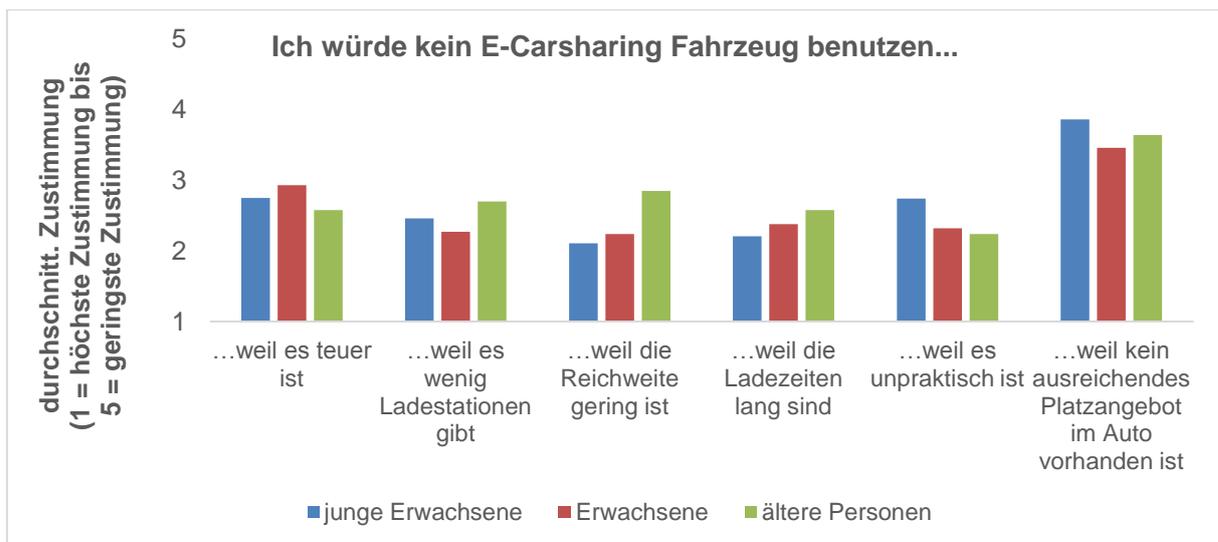


Abbildung 12: Durchschnittliche Zustimmung (1 = höchste Zustimmung zu bis 5 = geringste Zustimmung) zu den Gründen kein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen in Abhängigkeit von der Altersgruppe

Dem Grund „geringe Reichweite“ stimmen junge Erwachsene mehr zu als ältere Personen. Zwischen Erwachsenen und älteren Personen, sowie zwischen jungen Erwachsenen und Erwachsenen gibt es in diesem Grund keinen Unterschied (MW1 = 2.11, s1 = 1.11; MW2 = 2.24, s2 = 1.36; MW3 = 2.85, s3 = 1.50).

Wenn man die Zustimmung zu den Gründen innerhalb einer Altersgruppe miteinander vergleicht, zeigen Posttests, dass junge Erwachsene den Gründen „teuer“ und „wenig Ladestationen“ weniger zustimmen als dem Grund „geringe Reichweite“. Sie stimmen dem Grund „wenig Ladestationen“, „geringe Reichweite“, „lange Ladezeiten“, „unpraktisch“ und „teuer“ mehr zu als dem Grund „kein ausreichendes Platzangebot“.

Erwachsene stimmen dem Grund „teuer“ weniger zu als den Gründen „wenig Ladestationen“, „geringe Reichweite“, „lange Ladezeiten“ und „unpraktisch“. Sie stimmen dem Grund „kein ausreichendes Platzangebot“ weniger zu als den Gründen „wenig Ladestationen“, „geringe Reichweite“ und „unpraktisch“. Ältere Personen stimmen dem Grund „kein ausreichendes Platzangebot“ weniger zu als den Gründen „teuer“, „wenig Ladestationen“, „geringe Reichweite“, „lange Ladezeiten“ und „unpraktisch“.

d. Unterscheiden sich die Kundengruppen in der gewünschten Reichweite eines Elektrofahrzeugs?

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen in der gewünschten Reichweite eines Elektrofahrzeugs ($F(2) = .6.350$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$). Tukey Posttests zeigen, dass sich junge Erwachsene ($MW = 358$ km, $s = 190$ km) und Erwachsene ($MW = 320$ km, $s = 189$ km) eine größere Reichweite des Elektrofahrzeugs wünschen als ältere Personen ($MW = 235$ km, $s = 129$ km). Zwischen jungen Erwachsenen und Erwachsenen besteht kein Unterschied in der gewünschten Reichweite.

e. Unterscheiden sich die Kundengruppen im maximalen Weg, den Sie zu einem e-Carsharing Parkplatz zurücklegen würden?

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen im durchschnittlichen Weg, den sie maximal zu einem e-Carsharing Parkplatz zurücklegen würden ($F(2) = .32$, n.s.). Die Personen geben an, dass sie im Durchschnitt ca. 3 km ($s = 4.67$) zu einem e-Carsharing Parkplatz zurücklegen würden.

f. Unterscheiden sich die Kundengruppen in ihrer Ausgabebereitschaft für ein e-Carsharing Fahrzeug?

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen in der durchschnittlichen Ausgabebereitschaft pro Monat für ein e-Carsharing Fahrzeug ($F(2) = .70$, n.s.). Die Personen geben an, dass sie durchschnittlich ca. 57 € ($s = 78.90$) pro Monat für ein e-Carsharing Fahrzeug ausgeben würden.

g. Gibt es Veränderungen in der Bereitschaft ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen, in der Ausgabebereitschaft sowie in der gewünschten Reichweite, nachdem die Kundengruppen im Rahmen des Projekts ein e-Carsharing Fahrzeug getestet haben?

Zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung ergeben keine signifikanten Unterschiede im Vorher-/Nachhervergleich

- in der Bereitschaft ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen (Haupteffekt Messzeitpunkt ($F(1) = .114$, n.s.; Wechselwirkung zwischen Altersgruppe und dem Messzeitpunkt ($F(2) = .113$, n.s.),

- in der monatlichen Ausgabebereitschaft für ein e-Carsharing Fahrzeug (Haupteffekt Messzeitpunkt (F(1) = .250, n.s.; Wechselwirkung zwischen Altersgruppe und dem Messzeitpunkt (F(2) = .541, n.s.)
- sowie in der gewünschten Reichweite eines Elektrofahrzeugs (Haupteffekt Messzeitpunkt (F(1) = 1.548, n.s.; Wechselwirkung zwischen Altersgruppe und dem Messzeitpunkt (F(2) = .515, n.s.).

h. Wie zufrieden waren die Kundengruppen hinsichtlich der Möglichkeit ein e-Carsharing Fahrzeug zu testen?

In Abbildung 13 ist für die durchschnittliche Zufriedenheit auf einer Skala von 1 bis 5 (1 = *außerordentlich*, 2 = *ziemlich*, 3 = *mittelmäßig*, 4 = *kaum*, 5 = *gar nicht*) ersichtlich, wie die Personen ihre Zufriedenheit mit der Nutzung eines Elektrofahrzeuges im Rahmen des Projekts bewerteten.

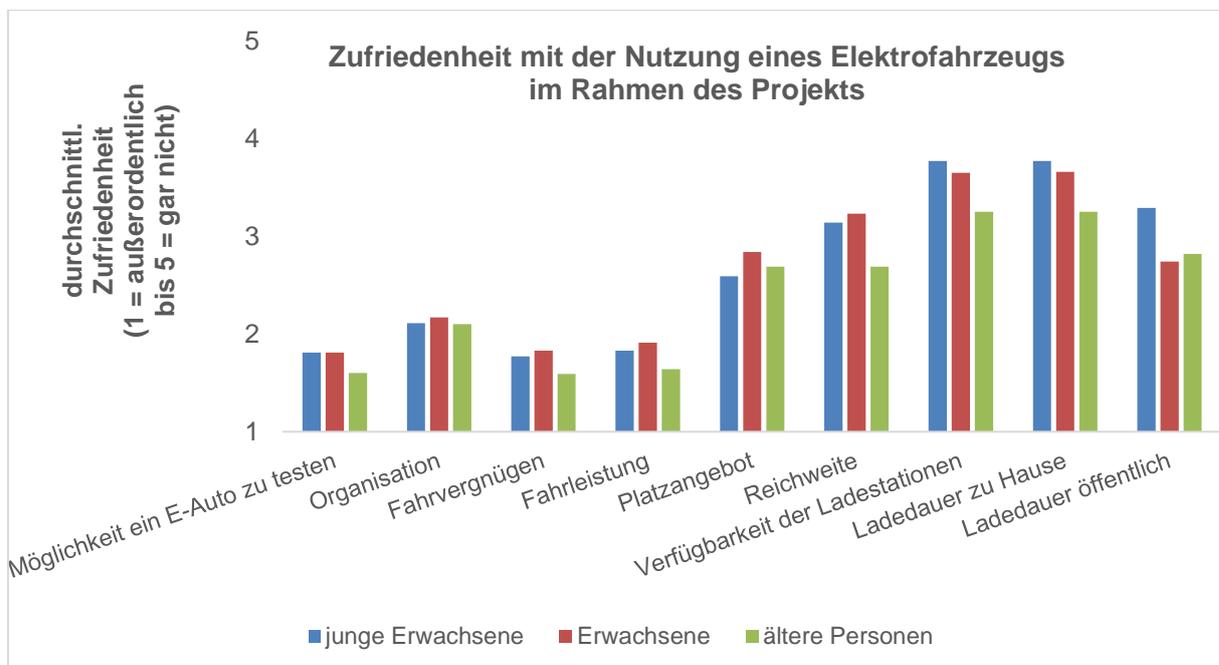


Abbildung 13: Durchschnittliche Zufriedenheit (1 = außerordentlich, 2 = ziemlich, 3 = mittelmäßig, 4 = kaum, 5 = gar nicht) mit der Nutzung eines Elektrofahrzeuges im Rahmen des Projekts in Abhängigkeit vom Alter

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (MW1 = 1.81, s1 = .82; MW2 = 1.81, s2 = .72; MW3 = 1.6, s3 = .65) in der Zufriedenheit mit der Möglichkeit ein e-Carsharing Fahrzeug zu testen (F(2) = 1.443, n.s.).

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (MW1 = 2.11, s1 = .75; MW2 = 2.17, s2 = .84; MW3 = 2.1, s3 = .74) in der Zufriedenheit mit der Organisation der Elektrofahrzeuge des e-Carsharing Projekts (F(2) = .176, n.s.).

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (MW1 = 1.77, s1 = .71; MW2 = 1.83, s2 = .75; MW3 = 1.59, s3 = .69) in der Zufriedenheit mit dem Fahrvergnügen ($F(2) = 1.693$, n.s.).

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (MW1 = 1.83, s1 = .71; MW2 = 1.91, s2 = .82; MW3 = 1.64, s3 = .61) in der Zufriedenheit mit dem Fahrleistung (Beschleunigung) ($F(2) = 1.892$, n.s.).

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (MW1 = 2.59, s1 = 1.05; MW2 = 2.84, s2 = .87; MW3 = 2.69, s3 = .92) in der Zufriedenheit mit dem Platzangebot ($F(2) = 1.390$, n.s.).

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (MW1 = 3.14, s1 = .92; MW2 = 3.23, s2 = .87; MW3 = 2.69, s3 = .92) in der Zufriedenheit in der Reichweite des e-Carsharing Fahrzeugs ($F(2) = 5.599$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$).

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (MW1 = 3.77, s1 = .75; MW2 = 3.65, s2 = .97; MW3 = 3.25, s3 = .79) in der Zufriedenheit mit der Verfügbarkeit der Ladestationen ($F(2) = 2.138$, n.s.).

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (MW1 = 3.77, s1 = .75; MW2 = 3.66, s2 = .97; MW3 = 3.25, s3 = .79) in der Zufriedenheit mit der Ladedauer, wenn sie das Elektrofahrzeug in ihrem Zuhause aufgeladen haben ($F(2) = 2.138$, n.s.).

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (MW1 = 3.29, s1 = 1; MW2 = 2.74, s2 = .79; MW3 = 2.82, s3 = 1.08) in der Zufriedenheit mit der Ladedauer, wenn sie das Elektrofahrzeug an einer öffentlichen Ladestation aufgeladen haben ($F(2) = 2.542$, n.s.).

3. Ermittlung des Verhaltens der unterschiedlichen Kundengruppen im Zusammenhang mit der Nutzung eines e-Carsharing Systems:

a. Unterscheiden sich die Kundengruppen in der angegebenen Kilometerleistung, die sie mit dem e-Carsharing Fahrzeug durchschnittlich fahren würden?

Eine einfaktorielle Varianzanalyse ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen in der jährlichen Kilometerleistung, die sie mit einem e-Carsharing Fahrzeug pro Jahr durchschnittlich fahren ($F(2) = 1.43$, n.s.) würden. Die Personen geben an, dass sie durchschnittlich 4316 km ($s = 6955$) pro Jahr mit einem e-Carsharing Fahrzeug fahren würden.

b. Unterscheiden sich die Kundengruppen in der Häufigkeit der zurückgelegten Wegstrecken mit dem e-Carsharing Fahrzeug (Stadt, Land, Berg) und sowie in dem Nutzungszwecks (Arbeit, beruflich, Privat) voneinander?

In Abbildung 14 zeigt, wie häufig (1 = nie, 2 = selten, 3 = gelegentlich, 4 = oft, 5 = immer) die Altersgruppen in der ebenen Stadt, am ebenen Land oder bergauf⁸⁾ fahren würden.

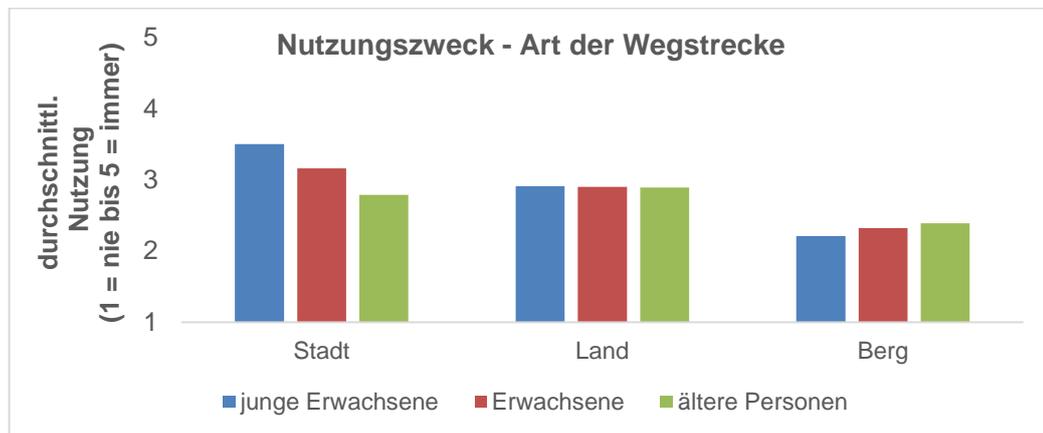


Abbildung 14: Durchschnittliche Nutzung (1 = nie, 2 = selten, 3 = gelegentlich, 4 = oft, 5 = immer) der Wegstrecken in Abhängigkeit von der Altersgruppe

Die Ergebnisse der multivariaten Varianzanalyse zeigen einen signifikanten Unterschied in der Wegstrecke, die sie mit einem e-Carsharing Fahrzeug zurücklegen würden ($F(2,148) = 34.969$, $p < .05$, Pillai-Spur = .321, $\eta^2 = .32$) und keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen in der Wegstrecke, die sie mit einem e-Carsharing Fahrzeug zurücklegen würden ($F(4,298) = 1.672$, Pillai-Spur = .044, n.s.). Posttests zeigen, dass man unabhängig von der Altersgruppe weniger häufig bergauf (MW = 2.30, s = 1.24) als in der ebenen Stadt (MW = 3.22, s = 1.31) und am ebenen Land (MW = 2.90, s = 1.24) fahren würde. Zwischen der ebenen Stadt und dem ebenen Land gibt es keinen Unterschied.

Weiters wurde mit Hilfe einer multivariaten Varianzanalyse überprüft, ob es einen Unterschied zwischen den Altersgruppen in den durchschnittlichen Kilometerangaben pro Jahr für die Nutzungszwecke (zum Arbeitsplatz / zur Ausbildungsstätte, für berufliche / private Erledigungen oder in der Freizeit) des e-Carsharing Fahrzeugs gibt. Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Unterschied im Nutzungszweck des e-Carsharing Fahrzeugs ($F(3,129) = 3.221$, $p < .05$, Pillai-Spur = .070, $\eta^2 = .07$) und keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen im Nutzungszweck des e-Carsharing Fahrzeugs ($F(6,260) = 1.852$, Pillai-Spur = .082, n.s.). Unabhängig von der Altersgruppe, geben die Personen an, dass sie ein e-Carsharing Fahrzeug mehr für Fahrten zum Arbeitsplatz (MW = 1874 km/Jahr, s = 3615) als für berufliche Erledigungen (MW = 654 km/Jahr, s = 3583) und private Erledigungen (MW = 723 km/Jahr, s = 1640) verwenden würden. Es gibt keinen Unterschied zwischen den Fahrten für berufliche Erledigungen, private Erledigungen und Fahrten in der Freizeit (MW = 725 km/Jahr, s = 1837) sowie zwischen Fahrten zum Arbeitsplatz / Ausbildungsstätte und Fahrten in der Freizeit.

⁸⁾ Bergauffahrt bedeutet eine Steigung länger als 1 min oder mehr als 1 km

c. Zu welchen Uhrzeiten würden die unterschiedlichen Kundengruppen ein e-Carsharing Fahrzeug nutzen?

Abbildung 15 zeigt den Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe, die angeben, dass sie zu folgenden Uhrzeiten ein e-Carsharing Fahrzeug benutzen würden. Aufgrund der Mehrfachnennung beziehen sich die prozentuellen Angaben der möglichen Nutzung auf alle angegebenen Nennungen.

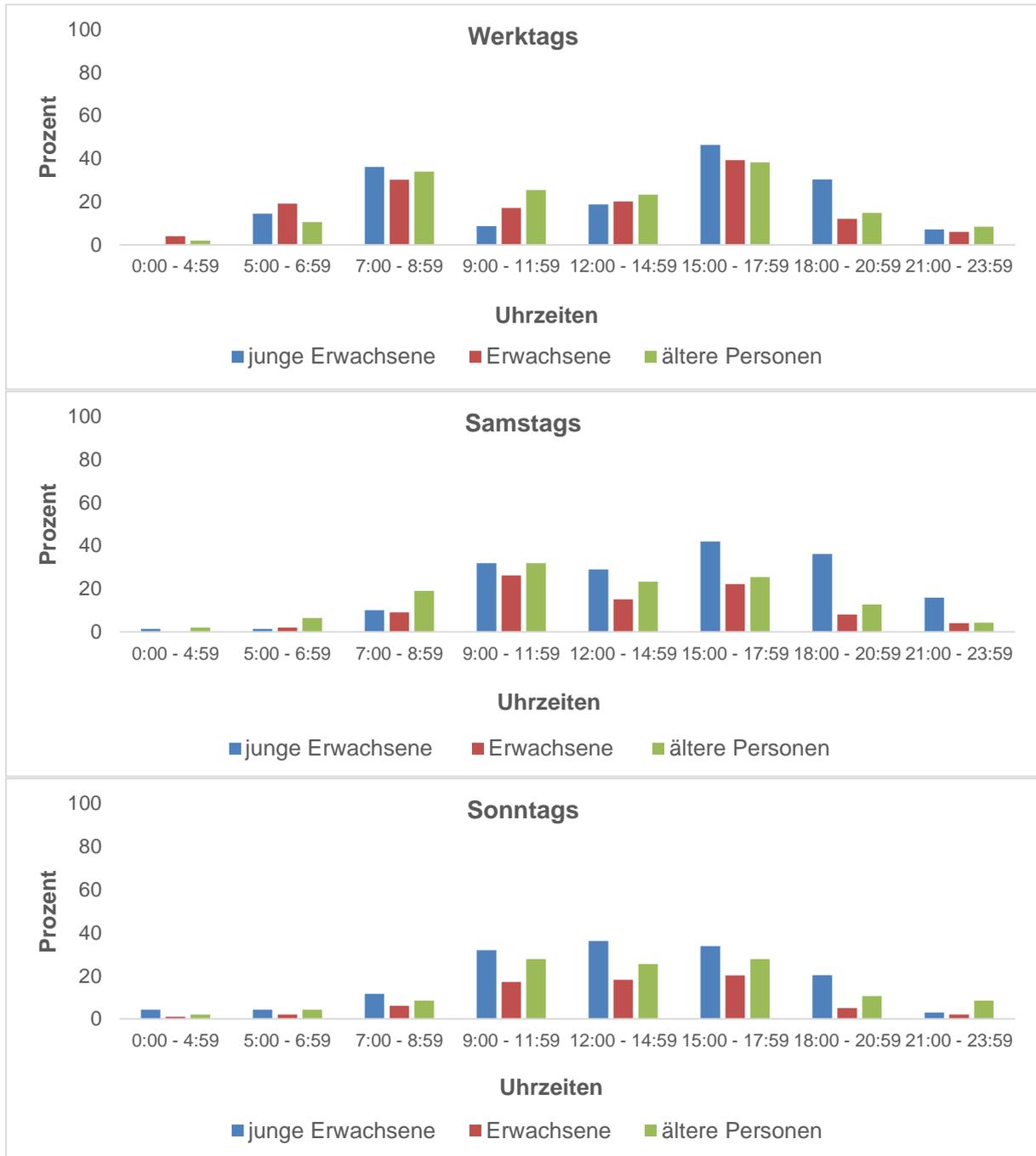


Abbildung 15: Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe, die angeben, dass sie zu folgenden Uhrzeiten ein e-Carsharing Fahrzeug benutzen würden

Wie aus Abbildung 15 ersichtlich ist, würden die TeilnehmerInnen ein e-Carsharing Fahrzeug werktags am häufigsten zwischen 7 Uhr und 9 Uhr, sowie zwischen 15 Uhr und 18 Uhr

nutzen. Am Wochenende würden sie ein e-Carsharing Fahrzeug am häufigsten zwischen 9 Uhr und 18 Uhr nutzen.

4. Ermittlung der Ladebedürfnisse der verschiedenen Kundengruppen:

- a. Unterscheiden sich die Kundengruppen darin, welches elektrische Beladungssystem sie für das e-Carsharing Fahrzeug verwenden und wo sie am liebsten laden würden?**

Abbildung 16 zeigt welches elektrische Beladungssystem⁹⁾ die TeilnehmerInnen für das e-Carsharing Fahrzeug für ihr Zuhause verwenden würden.

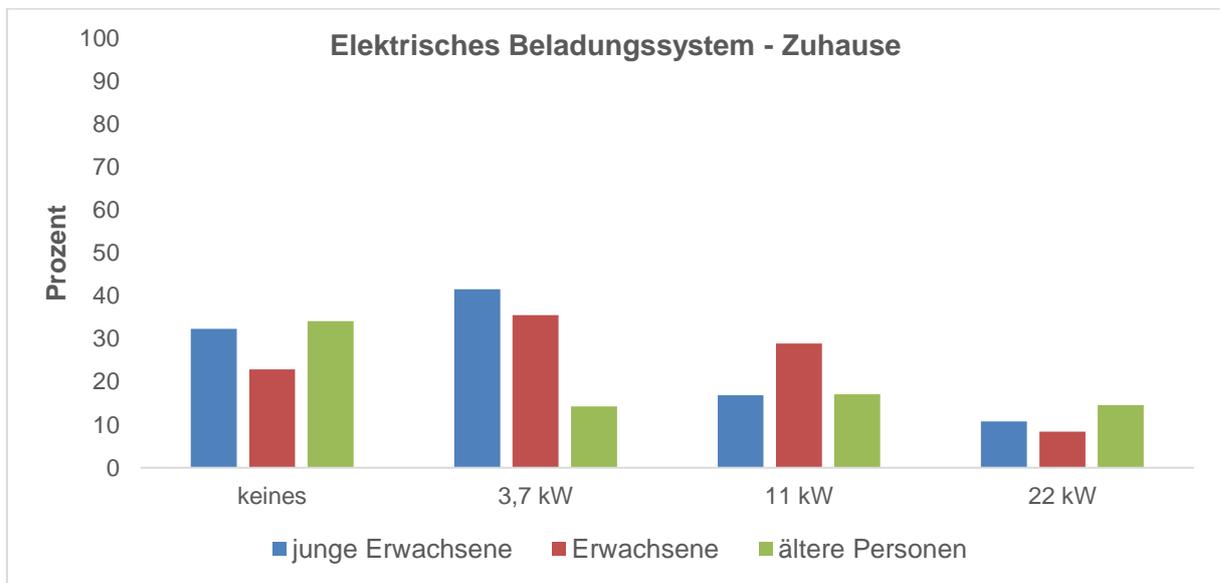


Abbildung 16: Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit vom elektrischen Beladungssystem zur Beladung des e-Carsharing Fahrzeuges – Zuhause

Ein mehrdimensionales χ^2 ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen darin, welches elektrische Beladungssystem sie für ihr Zuhause wählen würden ($\chi^2(6) = 6.76$, n.s.). Ein eindimensionales χ^2 ergibt unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit einen signifikanten Unterschied in der Häufigkeit der Wahl des Beladungssystems für ihr eigenes Zuhause ($\chi^2(3) = 103.846$ p < .05). Personen würden zu Hause häufiger eine Beladeleistung mit 3,7 kW (73 Nennungen) sowie kein (54) Ladesystem verwenden, als ein Beladeleistung mit 11 kW (39) bzw. 22 kW (19).¹⁰⁾

Abbildung 17 zeigt welches elektrische Beladungssystem die Personen für das e-Carsharing Fahrzeug bei öffentlichen Ladestationen bevorzugen würden. Ein mehrdimensionales χ^2 ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen darin, welches

⁹⁾ Beladungssystem: Ladeleistung 3,7 kW (Ladezeit 8 h) | Ladeleistung 11 kW (Ladezeit 4 h) | Ladeleistung 22 kW (Ladezeit 2 h), Ladeleistung 50 kW (Ladezeit 0,5 h)

Kosten: Ladestation 3,7 kW 80 € – 500 € | Ladestation 11 kW 400 € – 2.500 € | Ladestation 22 kW 6.000 € – 12.000 €. Die Kosten für eine 50 kW Ladestation hängen von der Netzstruktur ab und können daher in der Größenordnung von 22 kW Ladestationen liegen oder bei notwendigen Investitionen in das Stromnetz deutlich höher liegen

¹⁰⁾ Im Projekt befindet sich keine 50-kW-Ladestation

elektrische Beladungssystem sie öffentlich wählen würden ($\chi^2(6) = 4.89$, n.s.). Ein eindimensionales χ^2 ergibt unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit einen signifikanten Unterschied in der Häufigkeit der Wahl des Beladungssystems öffentlich ($\chi^2(3)=103.846$ p < .05). Personen würden bei öffentlichen Ladestationen im Gegensatz zu Ladestationen zu Hause häufiger ein Ladesystem mit 50 kW (129 Nennungen) verwenden als ein Beladesystem mit 3.5 kW (3), 11 kW (10) bzw. 22 kW (34).

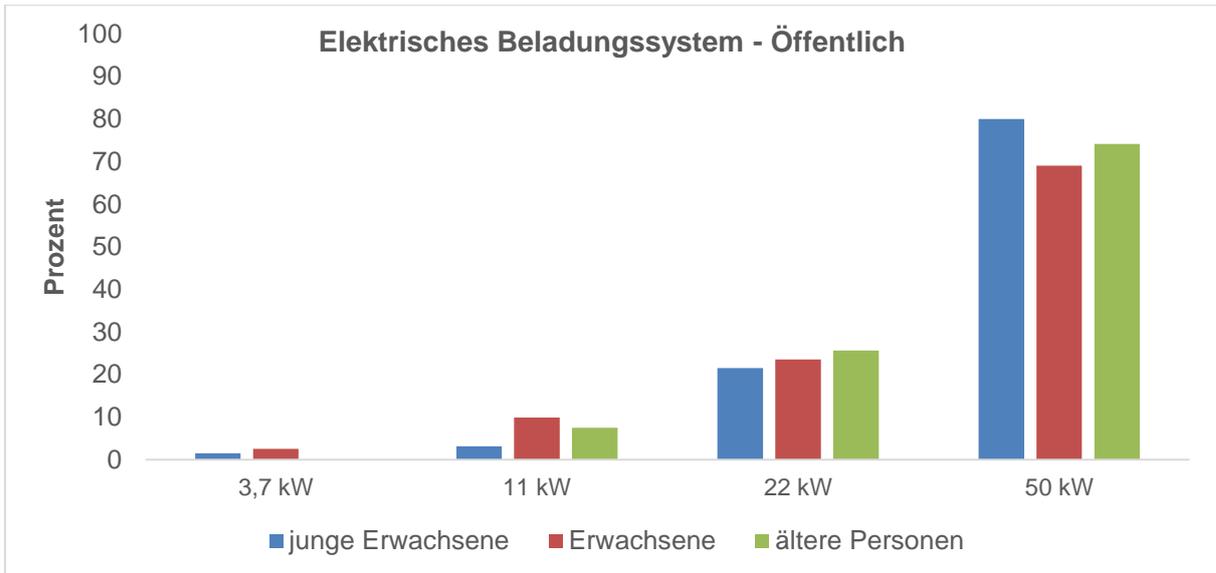


Abbildung 17: Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit vom elektrischen Beladungssystem zur Beladung des e-Carsharing Fahrzeuges – Öffentlich

In Abbildung 18 sieht man den Prozentanteil der Altersgruppen in Abhängigkeit vom Ladeort (Zuhause, Arbeitsplatz, Supermarkt,...), an dem sie das e-Carsharing Fahrzeug aufladen würden.

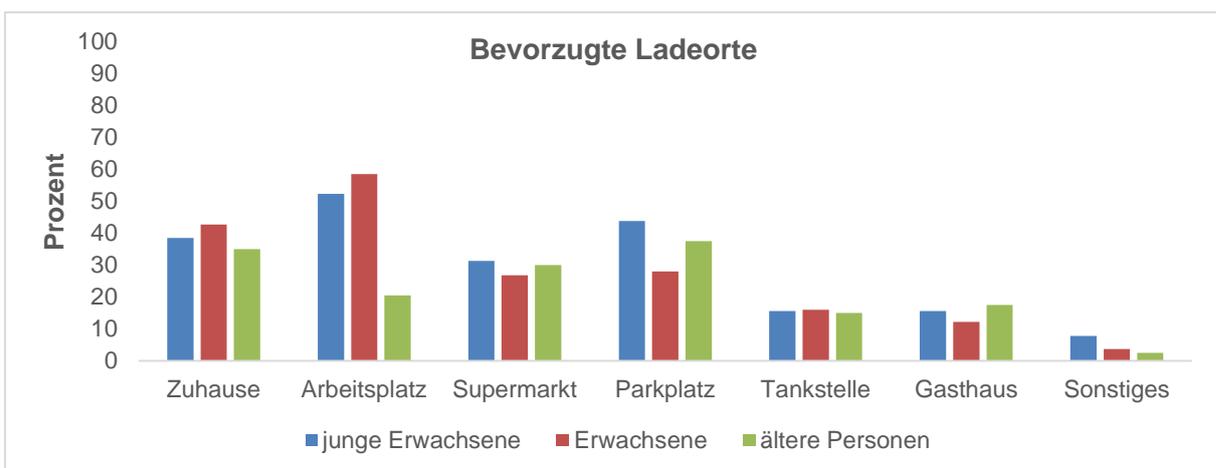


Abbildung 18: Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe, die an folgenden Ladeorten ein e-Carsharing Fahrzeug laden würden

Wie in Abbildung 18 dargestellt, gibt in dieser Stichprobe ein großer Prozentanteil der Personen an, ein e-Carsharing Fahrzeug in ihrem eigenen Zuhause oder an einem Parkplatz

aufladen zu wollen. In den Gruppen der jungen Erwachsenen und der Erwachsenen wird von einem großen Prozentanteil auch der Arbeitsplatz als bevorzugter Ladeort genannt.

5. Ermittlung zukünftiger Mobilitätsinvestitionen (Neanschaffung PKW, Fahrzeugkategorie, Ausgabebereitschaft) der verschiedenen Kundengruppen

a. Unterscheiden sich die Kundengruppen in Ihrer Einstellung zu einer zukünftigen PKW Neanschaffung voneinander?

In Abbildung 19 sieht man den Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe, die in naher Zukunft planen, einen PKW zu kaufen.

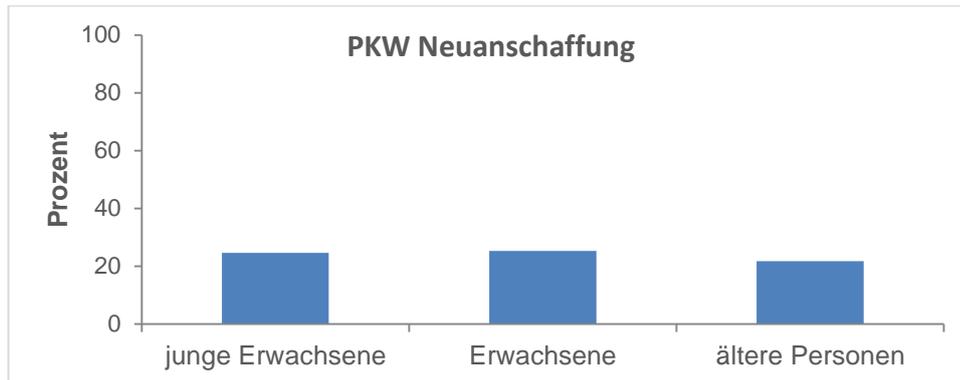


Abbildung 19: Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe, die planen in naher Zukunft einen PKW zu kaufen
 Ein mehrdimensionales χ^2 ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen darin, ob sie in naher Zukunft einen PKW-Kauf planen oder nicht ($\chi^2(2) = .217$, n.s.). Der prozentuelle Anteil der Gruppe der jungen Erwachsenen liegt bei 24,6 %, der Erwachsenen bei 25,3 % bzw. der Gruppe der älteren Personen bei 21,7 %.

b. Unterscheiden sich die Kundengruppen in Ihrer gewünschten Fahrzeugkategorie voneinander?

Zusätzlich ist in Abbildung 20 der Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit von der Fahrzeugkategorie, welche sie kaufen würden, dargestellt.

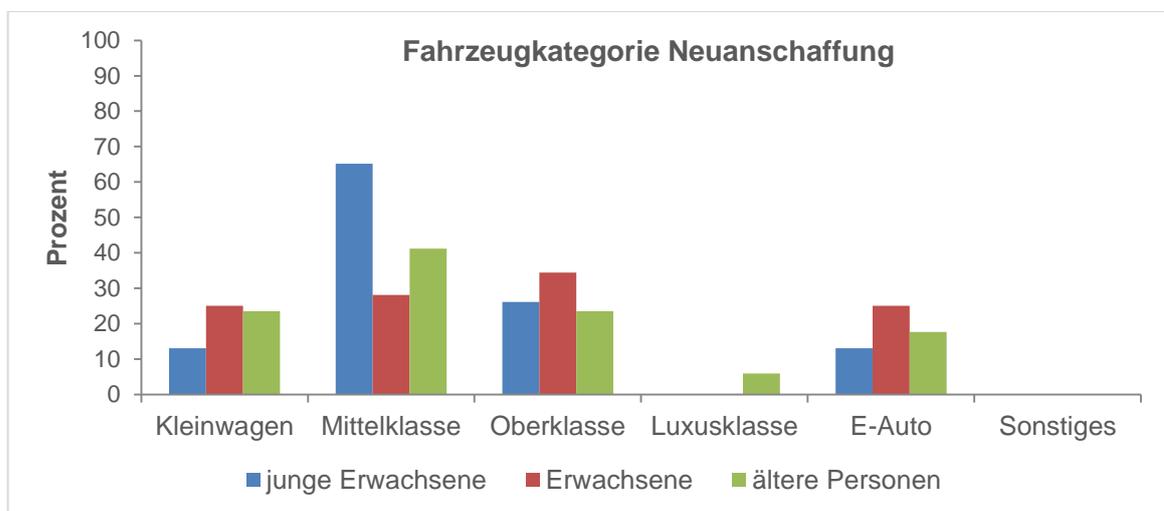


Abbildung 20: Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit von der Fahrzeugkategorie

Zwischen 13 % und 25 % der Personen, die in naher Zukunft einen PKW-Kauf planen, gaben zusätzlich an, dass sie am Kauf eines Elektrofahrzeugs interessiert wären.

c. Unterscheiden sich die Kundengruppen in Ihrer Ausgabebereitschaft voneinander?

In der Abbildung 21 ist der prozentuale Anteil der Personen pro Altersgruppe in Abhängigkeit von der Ausgabebereitschaft angegeben, die in naher Zukunft einen PKW kaufen würden.

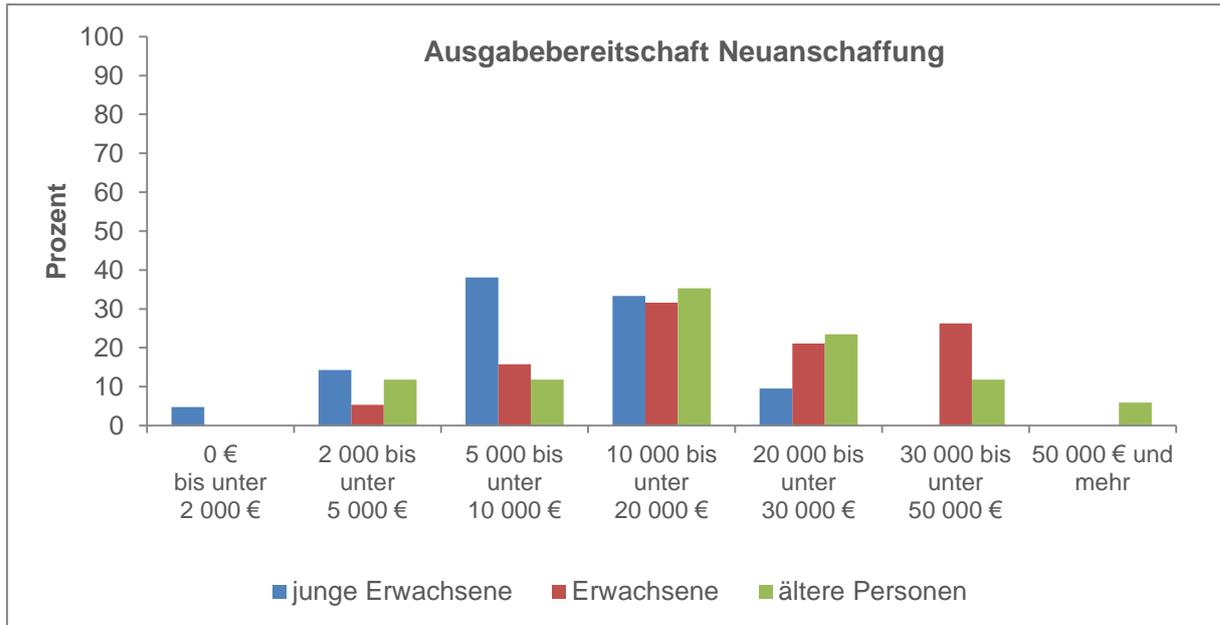


Abbildung 21: Prozentanteil der Personen pro Altersgruppe, die angeben in naher Zukunft einen PKW kaufen zu wollen, in Abhängigkeit von der Ausgabebereitschaft

Wie in Abbildung 21 ersichtlich, gibt es laut Kruskal-Wallis Test einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen (junge Erwachsene, Erwachsene, ältere Personen) in der Ausgabebereitschaft bei einem PKW-Kauf. ($\chi^2(2) = 12.156, p < .05$). Mann-Whitney-U-Tests haben gezeigt, dass die Ausgabebereitschaft junger Erwachsener ($M = 24.76$) geringer ist als die Ausgabebereitschaft Erwachsener ($M = 44.74$) und älterer Personen ($M = 41.53$). Zwischen Erwachsenen und älteren Personen gibt es keinen Unterschied in der Ausgabebereitschaft bei einem PKW-Kauf.

3.3 Auswertung der Fahrtenbücher

Die einzelnen TeilnehmerInnen haben im Fahrtenbuch vor der Beladung des Elektrofahrzeuges den aktuellen Ladezustand des Akkumulators SOC_{Start} (SOC – **State Of Charge**) sowie nach der Beladung erneut den aktuellen Ladezustand SOC_{Ende} lt. der Fahrzeuganzeige im Cockpit festgehalten. Der Energiebedarf E_{SOC} errechnet sich, wie in Gleichung (1) angegeben, aus der Differenz des Ladezustandes SOC am Ende und am Anfang der Ladung multipliziert mit der bekannten Nennkapazität des Akkumulators C_N .

$$E_{SOC} = (SOC_{Ende} - SOC_{Start}) \cdot C_N \tag{1}$$

Die Nennkapazität C_N des Renault ZOE beträgt 22 kWh [10] bzw. jene des SMART fortwo electric drive 17,6 kWh [11]. Im Vergleich dazu haben die einzelnen TeilnehmerInnen bei der langsamen Beladung (max Beladeleistung 3,7 kW) des Elektrofahrzeugs den Schuko-zwischenstecker (Energy Control Fa. TFA Dostmann [12]) verwendet, um den Energiebedarf pro Ladung E_{Schuko} zu erfassen. Aus den berechneten Energien E_{SOC} bzw. den gemessenen Energie E_{Schuko} wird versucht, die Differenz inkl. dem verlustbehafteten Anteil der Beladung des Elektrofahrzeugs zu ermitteln.

In dem von Renault vorhandenen Onlineportal (MY Z.E. Online [13]) wird der Ladezustand des Akkumulators vor und nach der Beladung elektronisch vom Elektrofahrzeug an dieses Portal übermittelt. Diese Daten werden als Kontrolle verwendet, um die einzelnen Fahrtenbücher zu verifizieren bzw. deren Genauigkeit zu prüfen.

Die Abbildung 22 zeigt einen Auszug der geladenen Energien für den Renault ZOE lt. dem Onlineportal (MY Z.E. Online), lt. dem Akkuladestand vor bzw. nach der Beladung (Fahrtenbuch) und lt. dem Energiezähler (Schukozwischenstecker).

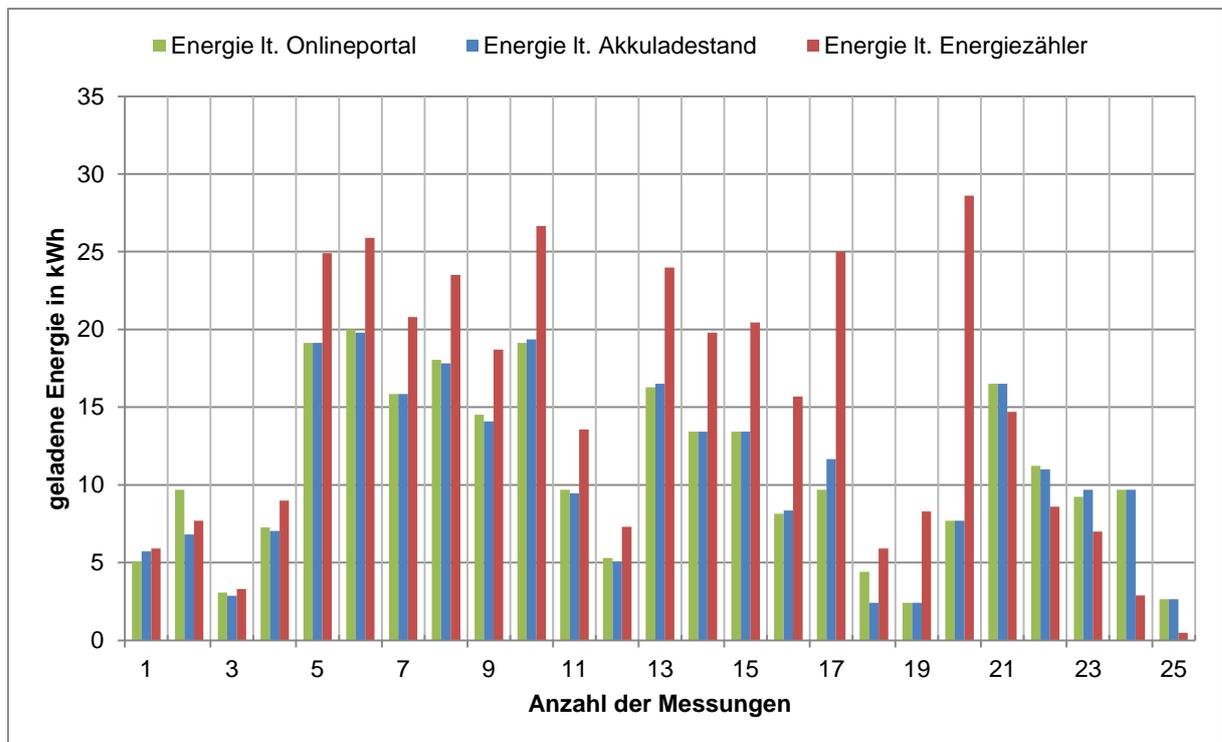


Abbildung 22: Auszug aus den messtechnisch aufgezeichneten bzw. berechneten nachgeladenen Energien unterschiedlicher Quellen (Onlineportal, Fahrtenbuch, Energiezähler)

Onlineportal (MY Z.E. Online) vs. Akkuladestand (Fahrtenbuch)

Wie in der Abbildung 22 gezeigt, ergibt sich für die Daten bestehend aus der Differenz des Akkuladestands (blau) und den Daten lt. dem Onlineportal (grün) bei den 25 aufgezeichneten Beladungen ein Mittelwert der prozentuellen Abweichungen von -2,2 % bezogen auf die Daten des Onlineportals. Der Median der prozentuellen Abweichung liegt bei 0,0 %.

Durch diese Überprüfung wird gezeigt, dass die aufgezeichneten Daten der einzelnen TeilnehmerInnen korrekt dokumentiert wurden. Leider hat sich während des Betriebes ein technischer Defekt im Kommunikationssystem des Elektrofahrzeuges ergeben, dadurch

konnten nicht alle aufgezeichneten Beladungen geprüft werden. Für den SMART fortwo electric drive konnte ein Onlineportal bzw. ein ähnliches System wie für den Renault ZOE aufgrund erheblicher Zusatzkosten leider nicht installiert bzw. genutzt werden.

Akkuladestand (Fahrtenbuch) vs. Energiezähler

Die folgende Tabelle 3 zeigt die berechneten statistischen Parameter (Mittelwert, Median, Minimum, Maximum) bestehend aus der Differenz des Akkuladestands E_{SOC} und der geladenen Energie E_{Schuko} bezogen auf die geladene Energie E_{Schuko} . Diese Auswertung wird durchgeführt, um die Abweichung zwischen der Energie aus dem Akkuladestand (E_{SOC} , Abbildung 22, blau) bzw. der tatsächlich geladenen Energie (E_{Schuko} , Abbildung 22, rot) zu ermitteln.

Tabelle 3: Ausgewertete Parameter (Mittelwert, Median, Minimum, Maximum) der Messabweichung zwischen der Differenz des Akkustandes und der tatsächlich geladenen Energie E_{Schuko} (Schukozwischenstecker)

Elektrofahrzeug	Anzahl Messungen	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum
Renault ZOE	41 ¹¹⁾	-23 %	-24 %	-73 %	38 %
SMART fortwo electric drive	56 ¹²⁾	-14 %	-11 %	-81 %	67 %

Wie aus der Tabelle 3 ersichtlich ist, zeigt sich ein Mittelwert der prozentuellen Abweichung von -23 % bzw. für den Medianwert von -24 % für den Renault ZOE bezogen auf die geladene Energie (Schukozwischenstecker). Im Vergleich dazu zeigen die Ergebnisse für den SMART fortwo electric drive eine prozentuelle Abweichung für den Mittelwert von -14 % bzw. für den Median von -11 %. Da sich die beiden Mittelwerte und Medianwerte in der statistischen Auswertung relativ gering voneinander unterscheiden, kann somit von einer symmetrischen Verteilung der prozentuellen Abweichung ausgegangen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass mehr Energie lt. dem Energiezähler geladen wird als lt. dem Akkustand vor bzw. nach der Ladung angezeigt wird. Das Ergebnis dieser Auswertung überrascht insofern, da eine genaue Messung der geladenen Energie nicht mit der im Fahrzeug angegebenen Energie übereinstimmt, der angegebene Energieverbrauch in den Fahrzeugen fällt deutlich geringer aus als der tatsächliche Verbrauch - ein Umstand der in weiteren Messungen noch überprüft werden müsste, worauf sich die Anzeige in den Fahrzeugen wirklich bezieht.

¹¹⁾ Renault ZOE: 98 Ladungen inkl. langsamer & beschleunigter Beladung

¹²⁾ SMART fortwo electric drive: 91 Ladungen inkl. langsamer & beschleunigter Beladung (beschleunigte Beladung konnte nicht von den TeilnehmernInnen mit dem Schukozwischenstecker aufgezeichnet werden)

6. Ermittlung der charakteristischen Parameter (Energiebedarf, Ankunftszeit, Zahlungsbereitschaft,...) aus dem Fahrtenbuch des e-Carsharing Systems

a. Unterscheiden sich die unterschiedlichen Altersgruppen in dem Energiebedarf der einzelnen Fahrten voneinander?

In der Abbildung 23 sind die Dauerlinien des Energiebedarfs einzelner Fahrten der unterschiedlichen Altersgruppen dargestellt.

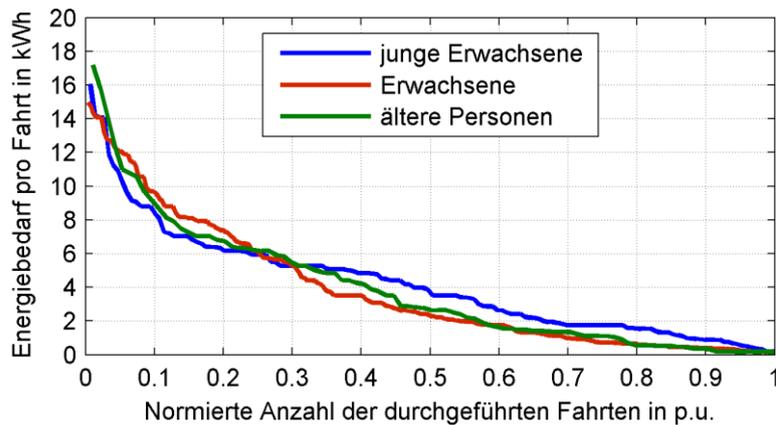


Abbildung 23: Dauerlinien des Energiebedarfs einzelner Fahrten der unterschiedlichen Altersgruppen

Wie aus der Abbildung 23 ersichtlich ist, zeigen die geordneten Verläufe des Energiebedarfs der einzelnen Fahrten der unterschiedlichen Altersgruppen einen sehr ähnlichen Verlauf.

Aus der Literatur [14] ist bekannt, dass die gefahrene Kilometerleistung mit einer rechtsschiefen Verteilung (Log-Normalverteilung) beschrieben werden kann. In diesem Fall wird der Zusammenhang zwischen Kilometerleistung und Energiebedarf pro Fahrt genutzt, um die geladene Energie mit einer rechtsschiefen Verteilung (in diesem Fall mit der Weibullverteilung) zu beschreiben [14], [15], [16], [17]. In MATLAB werden die beiden Parameter a (Skalenparameter) und b (Formparameter) der Weibullverteilung mittels der Maximum-Likelihood-Methode für die Altersgruppen bestimmt [18].

Die Abbildung 24 zeigt das Histogramm der geladenen Energie sowie die mittels der Likelihood Methode angepassten Parameter (a Skalenparameter und b Formparameter) der Weibullverteilung.

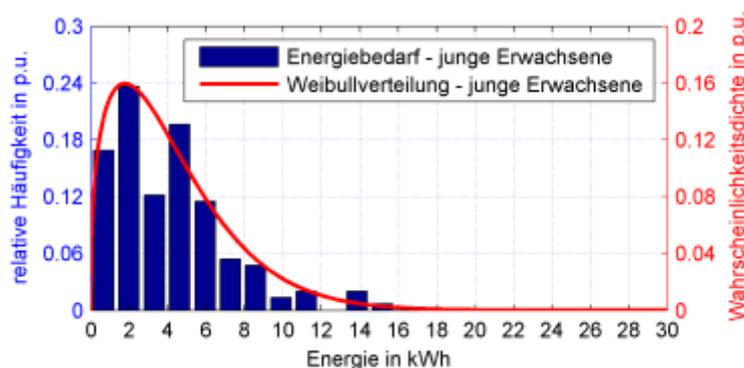


Abbildung 24: Histogramm des Energiebedarfs sowie angepasste Verteilungsfunktion der Weibullverteilung Gruppe 1 – junge Erwachsene

Wie aus der Abbildung 24 ersichtlich ist, passt die Weibullverteilung optisch gut zu den einzelnen Werten im dargestellten Histogramm.

In der folgenden Tabelle 4 sind die Median- sowie die Mittelwerte aus den geordneten Dauerlinien (siehe Abbildung 24) des Energiebedarfs der einzelnen Fahrten sowie der Erwartungswert EW aus der angepassten Weibullverteilung der Altersgruppen dargestellt.

Tabelle 4: Berechnete Median- und Mittelwerte der gemessenen Daten aus dem Fahrtenbuch sowie der Erwartungswert EW der Weibullverteilung unterschiedlicher Altersgruppen

Altersgruppen	Energiebedarf		Weibullverteilung
	Median	Mittelwert	Erwartungswert EW
junge Erwachsene	3,70 kWh	4,21 kWh	4,21 kWh
Erwachsene	2,29 kWh	3,80 kWh	3,79 kWh
Ältere Personen	2,64 kWh	3,88 kWh	3,88 kWh

Der Median (50 % Quantil) zeigt die zentrale Lage des gemessenen Energiebedarfs der einzelnen Fahrten an. Im Vergleich dazu, wird der Mittelwert aus der Summe des Energiebedarfs sowie der Anzahl der durchgeführten Fahrten berechnet. Der berechnete Mittelwert der einzelnen Fahrten zeigt einen höheren Energiebedarf, als im Vergleich der berechnete Medianwert. Dies deutet auf eine rechtsschiefe Verteilung des Energiebedarfs pro Fahrt hin [18]. Der Erwartungswert EW der Weibullverteilung entspricht bei einer unbegrenzten Anzahl an Wiederholungen dem Durchschnitt der erhaltenen Ergebnisse. Dies bedeutet, dass bei einer steigenden Anzahl an Zufallsexperimenten der Wert der Ergebnisse gegen den Erwartungswert EW konvergiert [18].

b. Unterscheiden sich die unterschiedlichen Altersgruppen in den Ankunftszeiten (Lademuster) innerhalb eines Tages voneinander?

Ein großes Ziel eines e-Carsharing Systems ist es, eine hohe zeitliche Auslastung der Elektrofahrzeuge zu erreichen. Um den Anforderungen hinsichtlich der Fragen zum Lastmanagement Genüge zu tragen, werden die festgehaltenen Ankunftszeiten nach Beendigung der Fahrt lt. dem Fahrtenbuch ausgewertet, um in weiterer Folge das Elektrofahrzeug möglichst rasch wieder aufzuladen und dadurch eine relativ hohe Verfügbarkeit zu erreichen. Die ausgewerteten Ankunftszeiten werden für die einzelnen Altersgruppen verwendet, um daraus ein Lademuster zu generieren ohne Unterscheidung zwischen Werktag, Samstag bzw. Sonntag. In der Abbildung 25 befinden sich die ausgewerteten relativen Häufigkeiten der Ankunftszeiten (Lademuster) der untersuchten Altersgruppen.

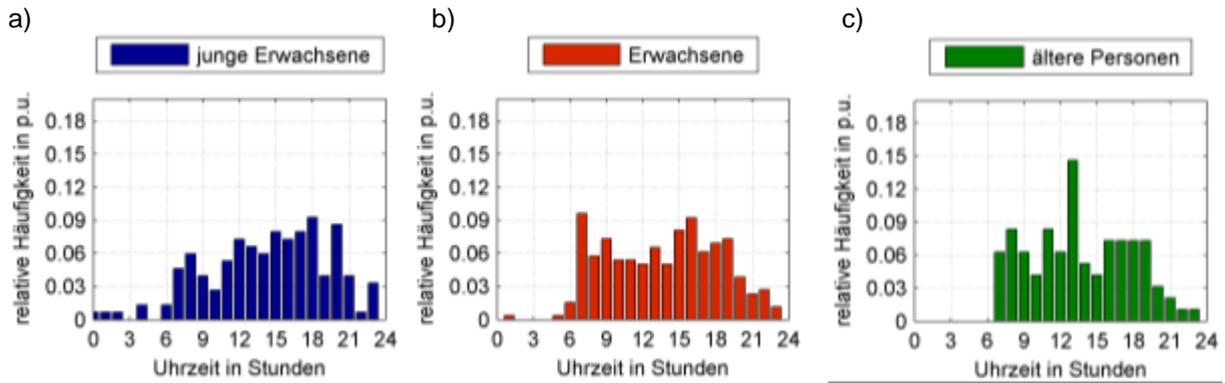


Abbildung 25: Ankunftszeiten (Lademuster) der Altersgruppen generiert aus den Fahrtenbüchern
 a) junge Erwachsene b) Erwachsene c) ältere Personen

Die relativen Häufigkeiten ergeben sich aus der Anzahl der stündlichen Ankunftszeiten bezogen auf die gesamt aufgetretenen Ankunftszeiten innerhalb eines Tages pro Altersgruppe. Wie aus der Abbildung 25 a) ersichtlich ist, finden in der Gruppe der jungen Erwachsenen Ankunftszeiten vor 06:00 Uhr statt. Generell ist eine höhere Tendenz der Ankunftszeiten in den Abendstunden gegeben. Im Vergleich dazu, zeigt die Abbildung 25 b) der Gruppe der Erwachsenen eine hohe Anzahl an Ankunftszeiten in den frühen Morgenstunden (07:00 Uhr) sowie in den späten Nachmittagsstunden (16:00 Uhr). Um die Mittagsstunden (11:00 bis 13:00 Uhr) sind relativ geringere Ankunftszeiten ersichtlich. In der Abbildung 25 c) der Gruppe der älteren Personen sind keine Ankunftszeiten vor 06:00 Uhr ersichtlich. Auffällig ist die große Anzahl an Ankunftszeiten um die Mittagszeit (13:00 Uhr). Generell zeigt sich für diese Gruppe relativ gleichmäßige Ankunftszeiten beginnend von 07:00 Uhr bis 19:00 Uhr, in den Abendstunden nehmen diese tendenziell ab.

c. Kann durch die Miteinbeziehung der unterschiedlichen Altersgruppen eine Vergleichmäßigung der Ankunftszeiten innerhalb eines Tages erreicht werden?

Die folgende Abbildung 26 zeigt, unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung zwischen den Altersgruppen, die relative Häufigkeit der Ankunftszeiten innerhalb eines Tages. Dies entspricht einer Überlagerung der Ankunftszeiten.

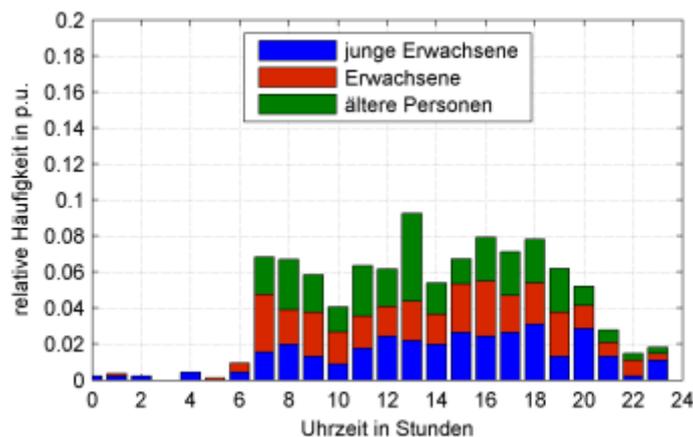


Abbildung 26: Ankunftszeiten (Lademuster) aller Altersgruppen bei Annahme einer gleichen Verteilung zwischen den Altersgruppen

Wie aus Abbildung 26 ersichtlich ist, entsteht bis auf die Mittagszeit (13:00 Uhr) eine Vergleichmäßigung der Ankunftszeiten beginnend von 07:00 Uhr bis 18:00 Uhr. In den Abendstunden ist eine tendenzielle Abnahme der Ankunftszeiten ersichtlich.

Um den Effekt der Vergleichmäßigung darzustellen, wird ein zeitlicher Auslastungsfaktor bei einer im Anschluss stattfindenden elektrischen Beladung des Elektrofahrzeuges, am Beispiel der Ankunftszeiten, bestimmt. Dieser zeitliche Auslastungsfaktor t , wie in Gleichung (2) dargestellt, wird aus der mittleren Auslastung T_m sowie aus dem Spitzenwert der zeitlichen Auslastung \hat{T} bestimmt [19], [20].

$$t = \frac{T_m}{\hat{T}} \quad (2)$$

In der Tabelle 5 sind die einzelnen mittleren Auslastungen T_m , die aufgetretenen Spitzenwerte \hat{T} innerhalb des Tages (0 – 24 Uhr) sowie die berechneten zeitlichen Auslastungsfaktoren t , bei Betrachtung der Ankunftszeiten, dargestellt. Da es sich in der Abbildung 25 und der Abbildung 26 um relative Häufigkeiten handelt, ergibt sich die mittlere Auslastung T_m in allen Gruppen zu 0,0417 p.u. Bei einer gleichmäßigen Auslastung über den Tag (0 – 24 Uhr) wäre der zeitliche Auslastungsfaktor $t = 1$.

Tabelle 5: Berechnung der zeitlichen Auslastungsfaktoren t aus den mittleren Auslastungen T_m und den Spitzenwerten \hat{T} verschiedener Kundengruppen – Ankunftszeit (Lademuster)

Altersgruppen	Mittlere Auslastung	Spitzenwert	Auslastungsfaktor
	T_m	\hat{T}	t
	p.u.	p.u.	p.u.
junge Erwachsene	0,0417	0,0927	0,4498
Erwachsene	0,0417	0,0962	0,4335
Ältere Personen	0,0417	0,1458	0,2860
Zusammengefasst (Gruppe 1 bis 3)	0,0417	0,0925	0,4508

Wie in Tabelle 5 ersichtlich ist, ergibt sich bei der Zusammenfassung der Altersgruppen ein höherer Auslastungsfaktor und somit eine gleichmäßigere Verteilung der Ankunftszeiten (Lademuster).

Auswirkung der Ankunftszeiten auf den Auslastungsfaktor

Aufgrund des tageszeitlichen Arbeits- und Freizeitverhaltens ergibt sich ein möglicher beispielhafter Auslastungsfaktor von 0,54. Dies kann dadurch erreicht werden, wenn in den Abendstunden nach 20:00 Uhr bis in den Morgenstunden 07:00 Uhr keine Ankunftszeiten angenommen werden.

d. Unterscheiden sich die unterschiedlichen Altersgruppen in den Abfahrtszeiten innerhalb eines Tages voneinander?

Die ausgewerteten Abfahrtszeiten geben Aufschluss zu welchen Zeiten das e-Carsharing vermehrt genutzt wurde. Bei der Auswertung wird keine Unterscheidung zwischen Werktag, Samstag bzw. Sonntag durchgeführt. In Abbildung 27 befinden sich die ausgewerteten relativen Häufigkeiten der Abfahrtszeiten der untersuchten Altersgruppen.

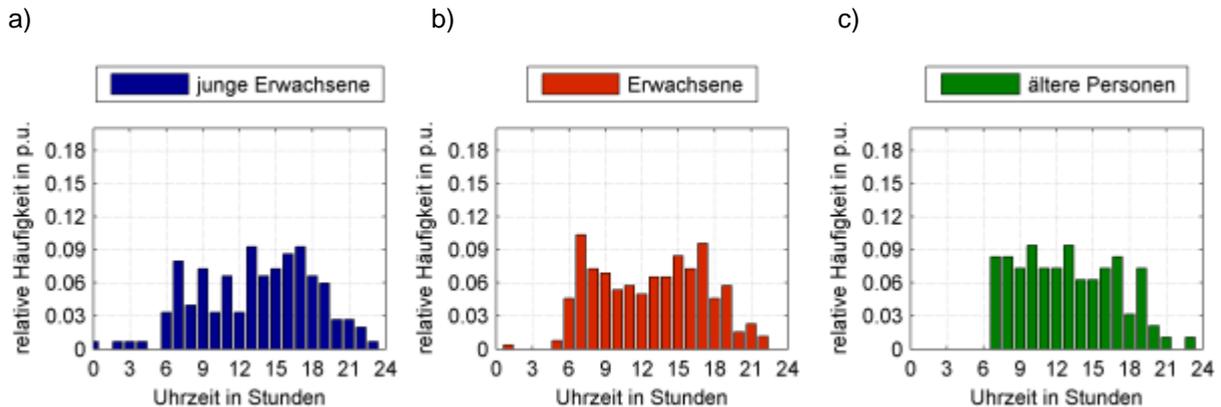


Abbildung 27: Abfahrtszeiten der Altersgruppen generiert aus den Fahrtenbüchern
a) junge Erwachsene b) Erwachsene c) ältere Personen

Die relativen Häufigkeiten ergeben sich aus der Anzahl der stündlichen Ankunftszeiten bezogen auf die gesamt aufgetretenen Ankunftszeiten innerhalb eines Tages pro Altersgruppe.

Wie aus der Abbildung 27 a) ersichtlich ist, finden in der Gruppe der jungen Erwachsenen Abfahrtszeiten vor 06:00 Uhr statt. Zusätzlich treten höhere relative Häufigkeiten in den Morgenstunden um 07:00 bzw. 09:00 Uhr sowie um die Mittagszeit um 11:00 bzw. 13:00 Uhr auf. In den Nachmittagsstunden beginnend von 17:00 Uhr nehmen die Abfahrtshäufigkeiten tendenziell ab.

Die Gruppe der Erwachsenen besitzt eine große Anzahl an Abfahrtszeiten um 07:00 bzw. um 17:00 Uhr. In den Mittagsstunden sind vermehrt geringere Häufigkeiten der Abfahrtszeiten ersichtlichen.

Die Gruppe der älteren Personen besitzt keine Abfahrtszeiten von 00:00 bis 07:00 Uhr. Generell besitzt diese Gruppe eine relative ausgeglichene Nutzung des Elektrofahrzeuges. Auch hierbei nehmen die Abfahrtszeiten mit zunehmendem Tagesverlauf tendenziell ab.

e. Kann durch die Miteinbeziehung der unterschiedlichen Altersgruppen eine Vergleichmäßigung der Abfahrtszeiten innerhalb eines Tages erreicht werden?

Für ein erfolgreiches Geschäftsmodell ist es essentiell, dass eine relativ konstante Auslastung der einzelnen e-Carsharing Fahrzeuge erreicht wird. Die folgende Abbildung 28 zeigt unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung zwischen den Altersgruppen die

relative Häufigkeit der Abfahrtszeiten innerhalb eines Tages. Dies entspricht einer Überlagerung der Häufigkeiten der Abfahrtszeiten.

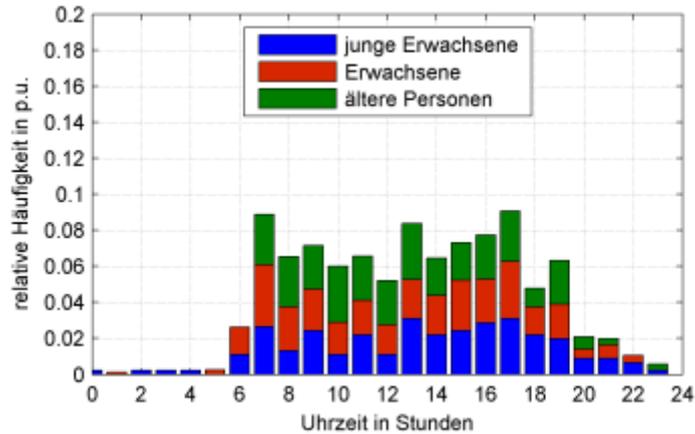


Abbildung 28: Abfahrtszeiten aller Altersgruppen bei Annahme einer gleichen Verteilung zwischen den Altersgruppen

Wie aus Abbildung 28 ersichtlich ist, entsteht in den Morgenstunden um 07:00 Uhr eine größere Anhäufung an Abfahrtszeiten, diese sinken im weiteren Tagesverlauf bis um die Mittagszeit um 13:00 Uhr ab. Ab 14:00 Uhr in den frühen Nachmittagsstunden steigen die relativen Abfahrtszeiten bis zum Höhepunkt um 17:00 Uhr an. Ab diesem Zeitpunkt nehmen die relativen Häufigkeiten im weiteren Verlauf tendenziell ab.

In der Tabelle 6 sind die einzelnen mittleren Auslastungen T_m die aufgetretenen Spitzenwerte \hat{T} innerhalb des Tages (0 – 24 Uhr) sowie die berechneten zeitlichen Auslastungsfaktor t bei Betrachtung der Abfahrtszeiten dargestellt. Da es sich in der Abbildung 27 und der Abbildung 28 um relative Häufigkeiten handelt, ergibt sich die mittlere Auslastung T_m in allen Gruppen zu 0,0417 p.u. Bei einer gleichmäßigen Auslastung über den Tag (0 – 24 Uhr) der e-Carsharing Fahrzeuge wäre der zeitliche Auslastungsfaktor $t = 1$.

Tabelle 6: Berechnung der zeitlichen Auslastungsfaktoren t aus den mittleren Auslastungen T_m und den Spitzenwerten \hat{T} – Abfahrtszeit

Altersgruppen	Mittlere Auslastung	Spitzenwert	Auslastungsfaktor
	T_m	\hat{T}	t
	p.u.	p.u.	p.u.
junge Erwachsene	0,0417	0,0927	0,4494
Erwachsene	0,0417	0,1034	0,4028
Ältere Personen	0,0417	0,0938	0,4444
Zusammengefasst (Gruppe 1 bis 3)	0,0417	0,0906	0,4598

Wie in Tabelle 6 ersichtlich ist, ergibt sich bei der Zusammenfassung der Altersgruppen ein höherer Auslastungsfaktor der e-Carsharing Fahrzeuge und somit eine gleichmäßigere Verteilung der Abfahrtszeiten.

f. Unterscheiden sich die Altersgruppen in der Art der Beladung sowie in dem Ort der Beladung voneinander?

In der folgenden Abbildung 29 sind die verwendeten Beladungsarten (langsame Beladung 3,7 kW bzw. beschleunigte Beladung 11 kW bzw. 22 kW) zur Beladung des Elektrofahrzeuges der unterschiedlichen Altersgruppen dargestellt. Zusätzlich sind in der Abbildung 30 die Orte der durchgeführten Beladung mit der Unterscheidung zwischen Privat / Arbeitsplatz / Öffentlich dargestellt.

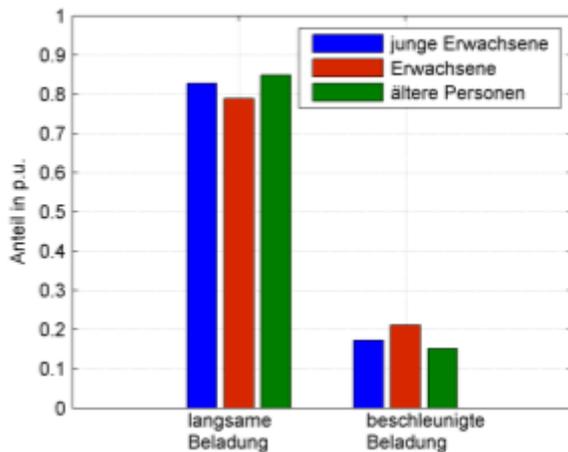


Abbildung 29: Art der verwendeten Beladungsart (langsame bzw. beschleunigte Beladung)

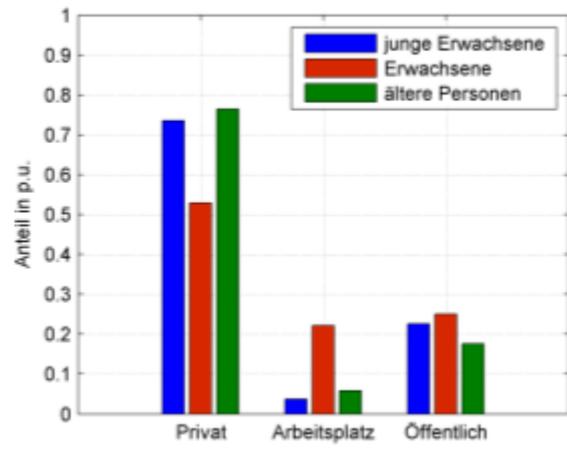


Abbildung 30: Ort der durchgeführten Beladung (Privat / Arbeitsplatz / Öffentlich)

Wie aus der Abbildung 29 ersichtlich ist, haben die unterschiedlichen TeilnehmerInnen in den Gruppen vermehrt die langsame Beladung durchgeführt. Dies liegt daran, dass die beschleunigte Beladung in der umliegenden Umgebung aktuell nicht flächendeckend ausgebaut ist.

Die Abbildung 30 zeigt, dass die Beladung im privaten Bereich in den unterschiedlichen Gruppen bevorzugt wurde. In der Gruppe der Erwachsenen wurde die Beladung vermehrt am Arbeitsplatz sowie an öffentlichen Ladestationen durchgeführt. Die Gruppe der älteren Personen bevorzugt nach der Beladung im privaten Bereich auch die öffentliche Beladung des Elektrofahrzeuges.

g. Unterscheiden sich die Altersgruppen in dem Wegzweck der durchgeführten Fahrten voneinander?

Die Abbildung 31 zeigt den unterschiedlichen Wegzweck mit der Unterscheidung zwischen der Fahrt zum bzw. vom Arbeitsplatz / berufliche Fahrt / private Fahrt für die unterschiedlichen Altersgruppen.

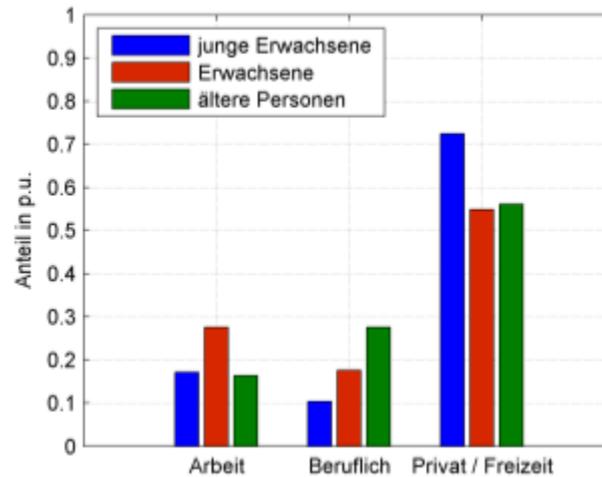


Abbildung 31: Art des Wegzwecks (Fahrt zum bzw. vom Arbeitsplatz (Ausbildungsstätte) / berufliche Fahrt / private Fahrt bzw. Freizeit) unterschiedlichen Altersgruppen

Der Wegzweck der unterschiedlichen Altersgruppen, in der Abbildung 31 dargestellt, ist vermehrt der private Wegzweck bzw. Fahrten in der Freizeit. Die durchgeführten Fahrten der Gruppe der jungen Erwachsenen und der Gruppe der Erwachsenen sind am zweithäufigsten der Weg zum und vom Arbeitsplatz. Interessant ist, dass die Gruppe der älteren Personen sehr häufig den beruflichen Wegzweck angegeben hat.

h. Unterscheiden sich die unterschiedlichen Altersgruppen in der Zahlungsbereitschaft der durchgeführten Fahrten voneinander?

Die Abbildung 32 zeigt die Dauerlinie der Zahlungsbereitschaft der durchgeführten Fahrten für die unterschiedlichen Altersgruppen.

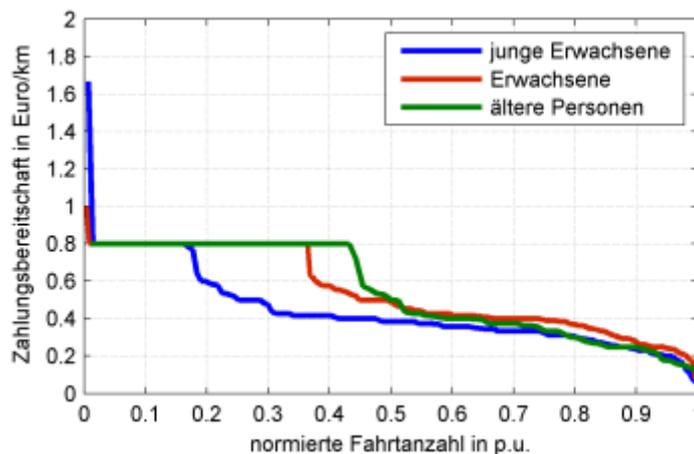


Abbildung 32: Zahlungsbereitschaft in €/km für die durchgeführten Fahrten der unterschiedlichen Altersgruppen
In der Abbildung 32 zeigt sich, dass bei zwei Fahrten die Zahlungsbereitschaft höher als die in der Befragung vorgegebenen 0,8 €/km ist. Generell zeigt sich bei der Zahlungsbereitschaft, dass für 16 % der durchgeführten Fahrten die TeilnehmerInnen der Gruppe der jungen Erwachsenen die angesetzten 0,8 €/km bezahlen würden. In der Gruppe der Erwachsenen sind es 36 % und in der Gruppe älteren Personen liegt diese Zahlungsbereitschaft bei 43 %. Der Mittelwert der Zahlungsbereitschaft liegt bei der Gruppe

der jungen Erwachsenen bei 0,44 €/km, bei der Gruppe der Erwachsenen und der älteren Personen bei 0,54 €/km.

i. Unterscheiden sich die unterschiedlichen Altersgruppen in der zeitlichen Verschiebbarkeit der Fahrt nach vor bzw. nach hinten voneinander?

In der Abbildung 33 ist a) die zeitliche Verschiebbarkeit der Abfahrtszeit nach vor bzw. in b) die zeitliche Verschiebbarkeit der Abfahrtszeit nach hinten der unterschiedlichen Kundengruppen in Form von Dauerlinien dargestellt.

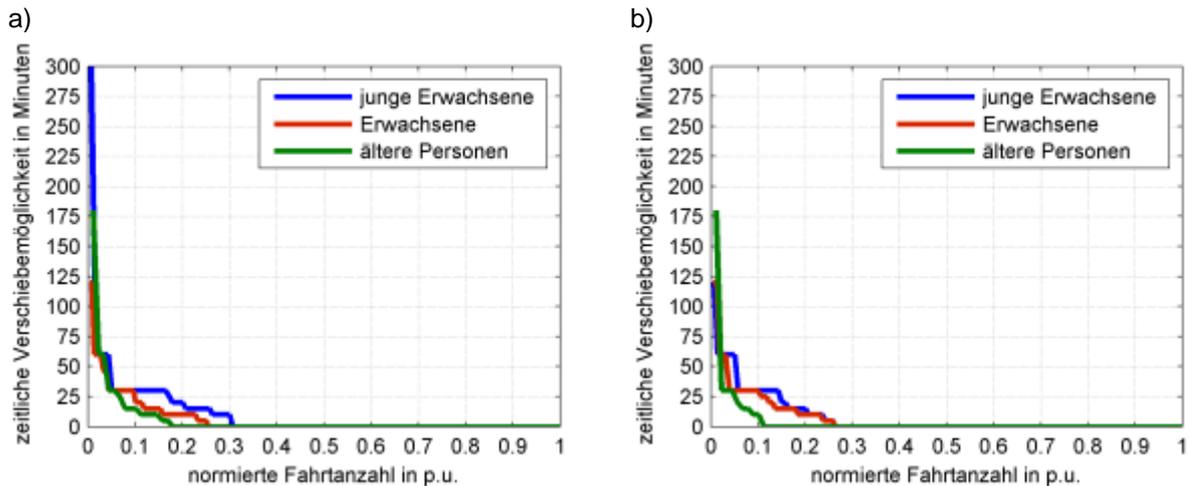


Abbildung 33: Dauerlinien der zeitlichen Verschiebbarkeit der Fahrt

a) Zeitliche Verschiebbarkeit der Fahrt nach vor

b) Zeitliche Verschiebbarkeit der Fahrt nach hinten

Wie aus der Abbildung 33 ersichtlich ist, ergibt sich der Medianwert der zeitlichen Verschiebbarkeit der Abfahrtszeit nach vor bzw. nach hinten für alle Altersgruppen von 0 Minuten.

Der Mittelwert der zeitlichen Verschiebbarkeit der Abfahrtszeit nach vor beträgt für die Gruppe der jungen Erwachsenen 10,4 Minuten, für die Gruppe der Erwachsenen liegt dieser bei 6,2 Minuten bzw. für die Gruppe der älteren Personen bei 5,4 Minuten. Bei der zeitlichen Verschiebbarkeit der Abfahrtszeit nach hinten ergibt sich für die Gruppe der jungen Erwachsenen ein Mittelwert von 7,6 Minuten, für die Gruppe der Erwachsenen von 6,9 Minuten bzw. für die Gruppe der älteren Personen von 3,8 Minuten.

Dies bedeutet, dass die Gruppe der jungen Erwachsenen hinsichtlich der Verschiebbarkeit der zeitlichen Abfahrtszeit nach vor bzw. nach hinten flexibler, als die Gruppe der älteren Personen, ist.

j. Unterscheiden sich die unterschiedlichen Altersgruppen in dem vom Elektrofahrzeug angezeigten durchschnittlichen Energiebedarf (kWh/100 km) pro Fahrt voneinander?

In der Abbildung 34 sind die sortierten durchschnittlichen Energieverbräuche pro Fahrt mit der Unterscheidung zwischen den unterschiedlichen Kundengruppen der beiden

verwendeten e-Carsharing Fahrzeuge (Renault ZOE, SMART fortwo electric drive) dargestellt.

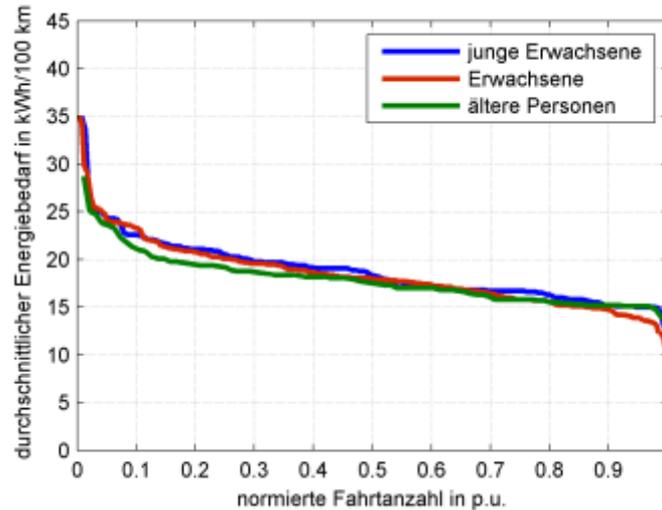


Abbildung 34: Dauerlinie des durchschnittlichen Energieverbrauchs (kWh/100 km) pro Fahrt der unterschiedlichen Altersgruppen

Wie aus Abbildung 34 ersichtlich ist, besitzen die Dauerlinien des durchschnittlichen Energiebedarfs pro Fahrt der unterschiedlichen Kundengruppen einen sehr ähnlichen Verlauf. Die folgende Tabelle 8 stellt den statistisch ausgewerteten Energiebedarf pro Fahrt (Mittel-, Medianwert) mit der Unterscheidung zwischen den einzelnen Altersgruppen dar.

Tabelle 7: Berechnete durchschnittliche Energiebedarfe pro Fahrt (Median- und Mittelwerte) unterschiedlicher Altersgruppen lt. den Anzeigen der e-Carsharing Fahrzeuge

Altersgruppen	Energiebedarf			
	Mittelwert	Median	Minimalwert	Maximalwert
junge Erwachsene	18,8 kWh/100 km	18,3 kWh/100 km	12,2 kWh/100 km	35,0 kWh/100 km
Erwachsene	18,4 kWh/100 km	18,0 kWh/100 km	10,2 kWh/100 km	35,0 kWh/100 km
Ältere Personen	17,9 kWh/100 km	17,5 kWh/100 km	13,5 kWh/100 km	28,7 kWh/100 km

Die berechneten Mittel- und Medianwerte der unterschiedlichen Kundengruppen unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander. Dies lässt auf eine symmetrische Verteilung des durchschnittlichen Energiebedarfs pro Fahrt schließen. Der Mittelwert des durchschnittlichen Energiebedarfs pro 100 km je durchgeführter Fahrt ist bei der Gruppe der jungen Erwachsenen (18,8 kWh/100 km) leicht höher als bei den Erwachsenen (18,4 kWh/100 km) bzw. bei den älteren Personen (17,9 kWh/100 km). Der maximale durchschnittliche Energieverbrauch der Gruppe der jungen Erwachsenen und der Erwachsenen sind höher als jene der Gruppe der älteren Personen. Der minimale durchschnittliche Energiebedarf ist bei der Gruppe der Erwachsenen (10,2 kWh/100 km) geringer als bei der Gruppe der jungen Erwachsenen (12,2 kWh/100 km) sowie bei der Gruppe der älteren Personen (13,5 kWh/100 km).

Bei dem in der Tabelle 7 dargestellten durchschnittlichen Energiebedarf handelt es sich um jenen Energieverbrauch der laut den Elektrofahrzeugen angezeigt wird.

Anmerkung: Bei den Analysen hinsichtlich der Unterschiede zwischen dem Energiebedarf ermittelt durch die Differenz des Akkustandes und der tatsächlich geladenen Energie mittels des Schukozwischensteckers ergeben sich Abweichungen der tatsächlich nachgeladenen Energie. Somit müssten die angezeigten Werte des durchschnittlichen Energiebedarfs in weiteren Messungen bzw. detaillierteren Untersuchungen geprüft werden.

k. Unterscheiden sich die unterschiedlichen Altersgruppen in der mit dem e-Carsharing Fahrzeug zurückgelegten Kilometerleistung voneinander?

Die Abbildung 35 zeigt die Dauerlinien der mit dem e-Carsharing Fahrzeug zurückgelegten Kilometerleistungen der unterschiedlichen Kundengruppen.

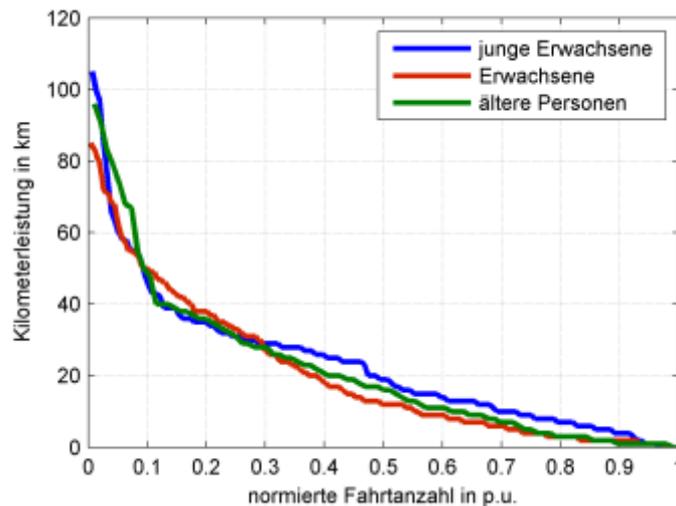


Abbildung 35: Dauerlinien der zurückgelegten Kilometerleistung unterschiedlicher Altersgruppen

Die Kurvenverläufe der unterschiedlichen Kundengruppen, in Abbildung 35 dargestellt, zeigen ähnliche Verläufe. Tendenziell zeigt sich für die Gruppe der jungen Erwachsenen eine höhere Kilometerleistung (Spitzen-, Medianwert) als für die Gruppe der älteren Personen bzw. die Gruppe der Erwachsenen. Die folgende Tabelle 8 stellt die deskriptiv ausgewerteten Kilometerleistungen pro Kundengruppe dar.

Tabelle 8: Berechnete Median- und Mittelwerte der Kilometerleistungen pro Fahrt aus dem Fahrtenbuch für die unterschiedlichen Altersgruppen

Altersgruppen	Kilometerleistung		
	Mittelwert	Median	Maximalwert
junge Erwachsene	23,1 km	19,0 km	105,0 km
Erwachsene	20,2 km	12,0 km	85,0 km
Ältere Personen	21,3 km	16,0 km	96,0 km

Die berechneten Medianwerte der Kilometerleistungen der unterschiedlichen Kundengruppen sind kleiner als die Mittelwerte. Dies lässt auf eine rechtsschiefe Verteilung der Kilometerleistung schließen. Im Mittel besitzt die Gruppe der jungen Erwachsenen (23,1 km) eine leicht höhere Kilometerleistung als die Gruppe der älteren Personen (21,3 km) bzw. die Gruppe der Erwachsenen (20,2 km). Der Maximalwert der gefahrenen

Kilometerleistung liegt bei der Gruppe der jungen Erwachsenen (105 km) höher als bei der Gruppe der älteren Personen (96 km) bzw. der Gruppe der Erwachsenen (85 km).

I. Unterscheiden sich die unterschiedlichen Altersgruppen in der Anzahl der Fahrzeuginsassen voneinander?

In der folgenden Abbildung 36 sind die Anzahl der Fahrzeuginsassen der unterschiedlichen Kundengruppen pro Fahrt dargestellt.

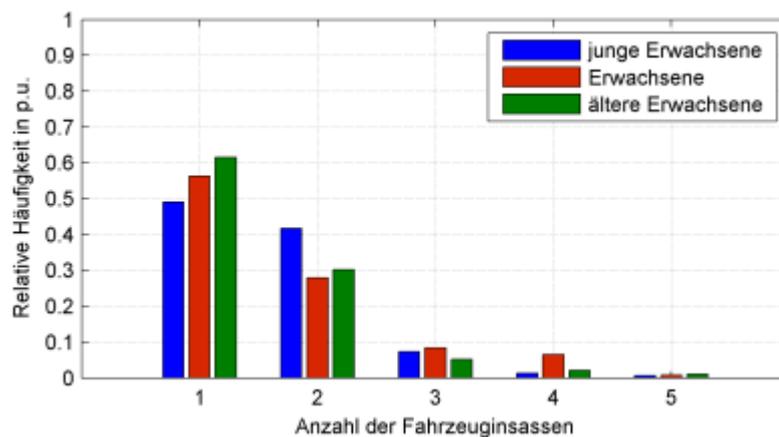


Abbildung 36: Anzahl der Fahrzeuginsassen der unterschiedlichen Altersgruppen bei den durchgeführten Fahrten

Aus Abbildung 36 ist ersichtlich, dass über 49 % der durchgeführten Fahrten der einzelnen Altersgruppen alleine durchgeführt wurden. Der prozentuelle Anteil der Gruppe der älteren Erwachsenen ist dabei höher als jene der Gruppe der Erwachsenen bzw. der jungen Erwachsenen. Die Gruppe der jungen Erwachsenen führte zu über 40 % der durchgeführten Fahrten, Fahrten mit insgesamt zwei Fahrzeuginsassen durch. Der prozentuelle Anteil der Fahrten mit drei Fahrzeuginsassen ist kleiner als 10 %.

3.4 Auswirkungen auf das elektrische Netz

In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen sowie etwaige Maßnahmen (Spitzenlastvermeidung, Lastmanagement,...) bei einer verstärkten Integration der Elektromobilität in das elektrische Verteilernetz untersucht und diskutiert.

a. Welche Spitzenvermeidungs-, Lastglättungs bzw. Lastbeeinflussungsmaßnahmen sind effektiv und effizient?

Unter Zuhilfenahme der ausgewerteten Ankunftszeiten (siehe Abbildung 26) bei Zusammenfassung der unterschiedlichen Kundengruppen (junge Erwachsene, Erwachsene, ältere Personen) ergibt sich unter der Prämisse, dass nach Beendigung der Fahrt die erneute Aufladung des Akkumulators in dem Elektrofahrzeug durchgeführt wird, in den Mittagsstunden um 13:00 Uhr eine relative Häufigkeit von 9,25 %. Da der ermittelte durchschnittliche Energiebedarf pro Fahrt bei ca. 4 kWh liegt, wird in weiterer Folge davon ausgegangen, dass bei einer langsamen Beladung des Elektrofahrzeuges die Beladung nach ca. einer Stunde beendet ist. Für das elektrische Netz bedeutet dies, dass sich in

Abhängigkeit der elektrischen Beladeleistung (3,7 / 11 / 22 / 50 kW) unterschiedliche Belastungen für das elektrische Netz ergeben.

Beispielhaft wird für eine Anzahl von 100 Haushaltskunden (HH) mit einer Durchdringung der Elektromobilität von 100 % bezogen auf die Anzahl der Haushalte eine Gegenüberstellung zwischen der Beladeleistung für die Elektromobilität (bspw. Zeitpunkt 13:00 Uhr) und der notwendigen Anschlussleistung für die 100 Haushaltskunden durchgeführt. Bei der Annahme, dass jeder Haushalt ein Elektrofahrzeug n_{EV} besitzt und die Beladung lt. den in diesem Projekt ermittelten Ankunftszeiten (siehe Abbildung 26, 13:00 Uhr mit $t_{start} = 9,25\%$) durchgeführt wird, kann die gleichzeitige Beladeleistung (langsame Beladung $P_{Ladestation}$ 3,7 kW¹³⁾ für die Elektrofahrzeuge mit folgender Gleichung (3) abgeschätzt werden.

$$P_{EV} = P_{Ladestation} \cdot t_{Start} \cdot n_{EV} = 3,7 \text{ kW} \cdot 0,0925 \cdot 100 \text{ EV} = 34 \text{ kW} \quad (3)$$

Die konventionelle Ermittlung der Anschlussleistung für den Haushaltsbereich erfolgt wie in [21], [15], [22] dargestellt. Die Berechnung der konventionellen Anschlussleistung für die 100 Haushalte (HH) wird mittels dem minimalen bzw. maximalen Richtwert gemäß Normen und Richtlinien (TAEV [23] bzw. VDE [24]) für den allgemeinen Bedarf ohne Direktheizung durchgeführt. Die Ergebnisse der Beladeleistungen für die Elektromobilität P_{EV} sowie die ermittelte Anschlussleistung der Haushalte P_{HH} werden in folgender Tabelle 9 gegenübergestellt.

Tabelle 9: Gegenüberstellung der gleichzeitigen Beladeleistung zur Spitzzeit von 13:00 Uhr der Elektromobilität (100 % Durchdringung der Elektromobilität bezogen auf die Anzahl der Haushalte) mit der Anschlussleistung für 100 Haushalte

Ladeleistung	Beladeleistung Elektromobilität P_{EV}	Anschlussleistung Haushalte P_{HH}
langsame Beladung (3,7 kW)	34 kW	248 - 360 kW
beschleunigte Beladung (11 kW)	102 kW	248 – 360 kW
beschleunigte Beladung (22 kW)	204 kW	248 – 360 kW
Schnelle Beladung (50 kW)	Möglicherweise eigener Transformator	248 – 360 kW

Wie aus Tabelle 9 ersichtlich ist, liegt erst die Beladeleistung der beschleunigten Beladung (22 kW) im Bereich der Anschlussleistung der Haushalte. Durch ein intelligentes Lastmanagementsystem im elektrischen Niederspannungsnetz könnten elektrische Lastspitzen, die beispielsweise durch die vermehrte gleichzeitige Beladung der Elektrofahrzeuge entstehen, vermieden werden. Dieses Lastmanagement-System würde sich einerseits eignen, um die elektrischen Lastspitzen zu vermeiden bzw. andererseits könnte in Zeiten niedriger Last die elektrische Beladung vermehrt durchgeführt werden, um so einen gleichmäßigeren Lastverlauf innerhalb eines Tages zu erhalten (Lastglättung).

¹³⁾ Die Beladeleistung von 3,7 kW ergibt sich bei einer CEE Steckdose mit einem Nennstrom von 16 A bei einer Nennspannung von 230 V

Diese Lastbeeinflussungsmaßnahmen erfordern jedoch vermehrt Informationen über den Benutzer beispielsweise hinsichtlich des gewünschten erneuten Fahrantrittes bzw. die zukünftig zurückgelegte Wegstrecke, über den Lastzustand im Netz usw. Um auch die elektrotechnisch relevanten Netzdaten wie z.B. aktuelle Betriebsströme und Betriebsspannungen einzelner Abgänge des elektrischen Verteilernetzes miteinzubinden, sind auch hier messtechnische Systeme zur Erfassung dieser Betriebsparameter notwendig. Erst durch die Gesamtheit dieser Informationen ist es möglich, geeignete effektive und effiziente Lastmanagementsysteme ohne merkliche Komforteinbußen für den Nutzer der Elektromobilität, der Haushaltskunden sowie der Vielzahl von weiteren Akteuren im Verteilernetz zu entwickeln und zu betreiben.

Simulationstechnische Untersuchungen in realen Verteilernetzen mittels der in [15], [16], [17], [25], [26] entwickelten Methodik zeigen, dass eine Vielzahl von Ladestationen mit langsamer Beladung (maximale Beladeleistung 3,7 kW) in urbanen Netzen integriert werden können. Weitere Untersuchungen hinsichtlich dem Ladeverhalten sowie weitere probabilistische Untersuchungen sind notwendig, um teure Fehlinvestitionen in Ladestationen und Netze zu vermeiden. Berechnungen unter der Berücksichtigung charakteristischer Lademuster (häuslich, betrieblich, öffentlich, halböffentlich, e-Carsharing,...) mit unterschiedlichen Verteilernetzstrukturen (städtisch, vorstädtisch, ländlich mit unterschiedlichen Kabel/Freileitungsanteil) sind zusätzlich notwendig, um qualifizierte Aussagen hinsichtlich der zukünftigen Auswirkung einer verstärkten Durchdringung der Elektromobilität treffen zu können. Leistungsstarke Beladungssysteme (50 kW) können aufgrund der relativ hohen Beladeleistung nur in Lastschwerpunkten mit vorhandenen leistungsstarken Komponenten (Transformatoren, Leitungen) mit einer ausreichenden Übertragungskapazität problemlos integriert werden.

3.5 Notwendige Anforderungen für das technische Monitoring bzw. eines möglichen Verbesserungspotentials

Für weitere wissenschaftliche Untersuchungen wäre es sinnvoll, die charakteristischen Daten lt. dem entworfenen Fahrtenbuch zur Ermittlung des Mobilitätsverhaltens sowie des Ladeverhaltens der unterschiedlichen TeilnehmerInnen direkt in dem Elektrofahrzeug zu speichern. Diese Daten könnten im Anschluss mittels einer vorhandenen Datenverbindung über das Internet an einen zentralen Server gesendet und gespeichert werden.

Folgende Daten sollten in einem Elektrofahrzeug gespeichert werden, um in weiterer Folge wissenschaftliche Auswertungen durchzuführen:

- Uhrzeit Fahrtbeginn / Fahrtende sowie Uhrzeit Ladebeginn / Ladeende
- Gefahrene Kilometer
- Anzahl der Personen im Fahrzeug
- Wegzweck (zur Arbeit/von der Arbeit bzw. Arbeitsstätte, beruflich, Privat/Freizeit)
- Art der Strecke (Stadt, Land, Berg)
- Durchschnittlicher Energiebedarf in kWh/100 km

- Akkustand vor/nach der Fahrt sowie Akkustand vor/nach der Beladung
- Nachgeladene Energie
- Zeitliche Verschiebmöglichkeit der aktuellen Fahrt nach vor/nach hinten
- Ladeort (öffentlich/Arbeitsplatz/privat), Ladeleistung (3,7 / 11 / 22 kW)
- Gewünschter zukünftiger Fahrtantritt, voraussichtliche Wegstrecke
- Zahlungsbereitschaft für eine Fahrt.

Einige der zuvor genannten Daten könnten automatisch von dem Elektrofahrzeug erfasst und gespeichert werden, andere hingegen müssen über ein Multifunktionsdisplay durch den Benutzer im Elektrofahrzeug eingegeben werden. Zusätzlich beinhaltet die Speicherung der Daten im Fahrzeug den Vorteil der Vermeidung von Ablesefehlern durch die TeilnehmerInnen sowie die zukünftige einfache Weiterverarbeitung der Daten¹⁴⁾.

4 Zusammenfassung

Fragebögen

Anhand der Daten aus den Fragebögen konnten die Fragestellungen zum Mobilitätsverhalten, zu den Einstellungen zu einem e-Carsharing System, zum Verhalten im Zusammenhang mit der Nutzung eines e-Carsharing Systems und zur Ermittlung der Ladebedürfnisse der unterschiedlichen Altersgruppen beantwortet werden.

Bezüglich des generellen Mobilitätsverhaltens konnte gezeigt werden, dass pro Haushalt durchschnittlich 2 PKWs vorhanden sind und die PKW Kategorie „Mittelklasse“ vorwiegend genutzt wird. Für die Wegstrecke zum Arbeitsplatz wird von den meisten Personen der eigene PKW verwendet. Durchschnittlich fahren die Personen 27 km (hin und zurück) zur Arbeit. Bezüglich der Zufriedenheit mit der Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz konnte gezeigt werden, dass junge Erwachsene zufriedener sind als Erwachsene und ältere Personen.

Bei der Ermittlung der Einstellungen zu einem e-Carsharing System wird ersichtlich, dass unabhängig von ihrem Wohnort junge Erwachsene eine größere Bereitschaft aufweisen ein e-Carsharing Fahrzeug zu nutzen als Erwachsene und ältere Personen. Bei der Zustimmung zu den Gründen ein e-Carsharing System zu verwenden, wird dem Grund „umweltfreundlich“

¹⁴⁾ In dem Feldversuch wurden die Daten (Uhrzeit sowie Ladezustand vor/nach der Beladung) des Renault ZOE bei einer vorhandenen Internetverbindung an einen zentralen Server (Renault) gesendet. Da bei dem Datenübertragungsmodul ein technischer Defekt festgestellt wurde, und diese Daten in dem Fahrzeug nicht gespeichert wurden, konnten diese Daten auch nach der Reparatur nicht an den zentralen Server gesendet werden. Somit wäre es in Zukunft sinnvoll, einen kleinen Speicher für die Aufzeichnung dieser Daten in dem Elektrofahrzeug vorzusehen, um diese auch im Nachhinein an den Server übermitteln zu können.

am meisten und dem Grund „modern“ am wenigsten zugestimmt. Die Reichweite betreffend, wünschen sich junge Erwachsene und Erwachsene eine größere Reichweite des Elektrofahrzeugs als ältere Personen. Junge Erwachsene geben eine durchschnittliche Wunschreichweite von 358 km, Erwachsene von 320 km und ältere Personen von 235 km, an. Kein Unterschied zwischen den Altersgruppen wurde im maximalen Weg, den sie zu einem e-Carsharing Parkplatz zurücklegen würden und in der Ausgabebereitschaft für ein e-Carsharing Fahrzeug pro Monat gefunden.

Alle Altersgruppen würden durchschnittlich ca. 3 km zu einem e-Carsharing Parkplatz zurücklegen und durchschnittlich ca. 57 € pro Monat für ein e-Carsharing Fahrzeug ausgeben.

Es zeigten sich keine Veränderungen in den Einstellungen zu einem e-Carsharing System nach der kostenlosen Nutzung des Elektrofahrzeugs im Rahmen des Projekts.

Bei den Fragestellungen bezüglich des Verhaltens im Zusammenhang mit der Nutzung eines e-Carsharing Systems zeigt sich, dass die Personen durchschnittlich 4316 km pro Jahr mit einem e-Carsharing Fahrzeug fahren würden. Bezüglich der Wegstrecken geben die Personen an, häufiger in der ebenen Stadt und am ebenen Land zu fahren als bergauf. Personen geben zusätzlich an, ein e-Carsharing Fahrzeug mehr für Fahrten zum Arbeitsplatz als für berufliche und private Erledigungen zu verwenden.

Im Zusammenhang mit der Erfassung der Ladebedürfnisse konnte bezüglich der Wahl des elektrischen Beladungssystems für das eigene Zuhause kein Unterschied zwischen den Altersgruppen festgestellt werden. Die Teilnehmer gaben häufiger an, dass sie das e-Carsharing Fahrzeug zu Hause mit einem 3,7 kW Ladesystem oder gar nicht laden würden, als mit einem 11 kW oder 22 kW Ladesystem. Bezüglich der Wahl des elektrischen Beladungssystems bei einer öffentlichen Ladestation, gaben die meisten TeilnehmerInnen unabhängig von der Altersgruppe an, das e-Carsharing Fahrzeug mit einem 50 kW Ladesystem laden zu wollen. Diesem Ergebnis könnte die einfache Annahme der TeilnehmerInnen zugrunde liegen, dass schneller gleich besser ist. Etwas höhere Kosten und Nachteile z.B. für die Ladeelektronik waren den TeilnehmerInnen möglicherweise nicht bewusst.

Vergleichsmessung

Die durchgeführten Vergleichsmessungen bei einer Beladung der beiden Elektrofahrzeuge im Projekt mittels eines hochpräzisen mehrkanaligen Messgeräts (Dewetron) zeigen sehr geringe Abweichungen hinsichtlich der geladenen Energien im Vergleich zu den verwendeten Energiezählern (Schukozwischenstecker). Somit konnten die von den TeilnehmerInnen gemessenen nachgeladenen Energien verifiziert werden.

Bei dieser Vergleichsmessung zeigt sich, dass der Renault ZOE mit einem relativ geringen Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 0,82$ (kapazitiv) die Beladung des Elektrofahrzeugs durchführt. Dies wurde ebenfalls bereits bei einer durchgeführten Recherche beobachtet [27].

Im Vergleich zu dieser Messung zeigt sich bei der Beladung des SMART fortwo electric drive ein höherer Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 0,99$ (kapazitiv). Das Ziel wäre es, einen hohen Leistungsfaktor bei der Beladung zu erreichen, um einerseits die Verluste gering zu halten,

die Leitungen wenig zu belasten und andererseits eine schnelle Beladung des Akkumulators zu ermöglichen.

Der Vergleich zwischen der gemessenen geladenen Energie (Schukozwischenstecker) und der aus der Differenz des angezeigten Ladezustands vor bzw. nach der Beladung zeigen im Mittel eine prozentuelle Abweichung von -23 % für den Renault ZOE bzw. für den SMART fortwo electric drive von -14 % bezogen auf die gemessene Energie (Schukozwischenstecker). Dies lässt sich auf die nicht im Detail bekannte Brutto-Akkumulatorkapazität des Elektrofahrzeugs zurückführen.

Eine größere Akkulatorkapazität (Brutto-Akkumulatorkapazität) kann beispielsweise verwendet werden, um z.B. bei einer schnellen Degeneration die angegebene Laufzeit der Akkulatormennkapazität lt. Hersteller zu erreichen. Da die Nutzkapazität geringer ist als die Brutto-Akkumulatorkapazität, um einer Tiefentladung sowie Überladungen vorzubeugen [28], kann es zu einer Überbewertung der Anzeige sowie des elektrischen Energiebedarfs der Fahrt kommen.

Um die bei der Beladung auftretenden Verluste im Detail bestimmen zu können, ist es notwendig, den tatsächlichen Beladestrom der von der Stromtankstelle aufgenommen wird sowie den Ladestrom in dem Akkumulator zu messen.

Fahrtenbuch

Der Energiebedarf pro Fahrt der Altersgruppen unterscheidet sich nicht wesentlich voneinander (3,8 – 4,20 kWh/Fahrt). Der Mittelwert des Energiebedarfs pro Fahrt der Gruppe der Erwachsenen bzw. der Gruppe der älteren Personen unterscheidet sich weniger als 10 % bezogen auf die Gruppe der jungen Erwachsenen. Die Medianwerte besitzen eine höhere Abweichung, diese liegen im Bereich von 28 % bis 38 % bezogen auf den Medianwert der Gruppe der jungen Erwachsenen.

Aufgrund des Arbeits- und Freizeitverhaltens der unterschiedlichen Altersgruppen ergeben sich unterschiedliche Ankunftszeiten und in weiterer Folge ebenfalls unterschiedliche Lademuster. Die Ankunftszeiten der Gruppe der älteren Personen weisen den geringsten Auslastungsfaktor auf. Der Auslastungsfaktor steigt bei Zusammenfassung aller Gruppen, dies lässt sich durch die ausgleichenden Effekte aufgrund des unterschiedlichen Arbeits- und Freizeitverhaltens erklären.

Aufgrund der relativ gering ausgebauten öffentlichen bzw. halböffentlichen Ladeinfrastruktur in der Region Weiz-Gleisdorf wurden über 80 % der Beladungen des Elektrofahrzeugs mit der langsamen Beladung (max. Beladeleistung 3,7 kW) von den einzelnen Gruppen durchgeführt. Die Gruppe der Erwachsenen hat vermehrt privat sowie beim Arbeitsplatz geladen. Der Prozentsatz der durchgeführten öffentlichen Ladungen liegt unter 20 %. Es kann vermutet werden, dass die Mehrheit der Ladungen mit einer Ladeleistung von 3,7 kW das Auslangen findet und nur wenige Schnellladestationen in Zukunft notwendig sind.

Als vermehrter Wegzweck der einzelnen Gruppen wurde der private Wegzweck angegeben. Die Gruppe der Erwachsenen hatte ebenfalls vermehrt den Weg zum Arbeitsplatz

angegeben. Die Gruppe der älteren Personen hat zusätzlich zu dem privaten Wegzweck statt dem Weg zum Arbeitsplatz vermehrt den beruflichen Wegzweck angegeben.

Der angegebene Energiebedarf der Elektrofahrzeuge der unterschiedlichen Kundengruppen (Mittelwerte zwischen 17,9 – 18,8 kWh/100 km) unterscheidet sich nicht wesentlich von einander. Auch bei den gefahrenen Kilometerleistungen zwischen den einzelnen Kundengruppen zeigt sich kein wesentlicher Unterschied. Die Kilometerleistung liegt zwischen 20,2 – 23,1 km pro Fahrt. Über 50 % der Fahrten wurden von den einzelnen TeilnehmerInnen der unterschiedlichen Kundengruppen alleine durchgeführt.

Der Prozentsatz der Bereitschaft zur Bezahlung des Kilometerbetrages von 0,8 €/km ist bei der Gruppe der älteren Personen höher als bei der Gruppe der Erwachsenen bzw. den jungen Erwachsenen. Im Mittel würden die Gruppe der älteren Erwachsenen sowie der Erwachsenen 0,54 €/km bezahlen, die Gruppe der jungen Erwachsenen will hingegen nur 0,44 €/km bezahlen. Dieses Ergebnis stellt sich bei der Realisierung von Geschäftsmodellen als besonderes Problem dar und es muss erwartet werden, dass e-Carsharing Modelle nur dann wirtschaftlich realisiert werden können, wenn es gelingt die tatsächlichen km-Kosten von Fahrzeugen, egal mit welchem Energieträger angetrieben, im Bewusstsein der Bevölkerung zu verankern oder deutlich zu senken (-50%).

Vergleicht man die Zahlungsbereitschaft (€ 57 pro Monat, € 0,8 / € 0,54 / € 0,44 pro Kilometer bei einer gewünschten Jahreskilometerleistung von 4316 km pro Jahr) so stellt man fest, dass aufgrund dieser genannten Zahlungsbereitschaft und den bekannten Kosten für ein e-Carsharing System ein ökonomisch erfolgreiches Geschäftsmodell nur dann realisiert werden kann, wenn es gelingt, die Zahlungsbereitschaft der TeilnehmerInnen z.B. durch interessante Mehrnutzen (Komfort, Parkplatzangebot, Kombination mit öffentlichen Verkehrsmitteln, ...) anzuheben.

Im Mittel besitzt die Gruppe der jungen Erwachsenen das größte Potential zur zeitlichen Verschiebemöglichkeit der Fahrt; diese beträgt ca. 10 Minuten (nach vor) bzw. 8 Minuten (nach hinten). Die Erwachsenen besitzen eine Möglichkeit der Verschiebung der Abfahrtszeit von ca. 7 Minuten. Das geringste Potential besitzt die Gruppe der älteren Erwachsenen, dieses liegt lediglich bei ca. 5 Minuten (nach vor) bzw. 4 Minuten (nach hinten). Daraus kann geschlossen werden, dass e-Carsharing für Last-Management-Zwecke eher ungeeignet ist.

Auswirkungen auf das elektrische Netz

Simulationstechnische Untersuchungen in realen Verteilernetzen mittels der in [15], [16], [17], [25], [26] entwickelten Methodik zeigen, dass eine Vielzahl von Ladestationen mit langsamer Beladung (3,7 kW) in urbanen Netzen integriert werden können. Weitere Untersuchungen hinsichtlich dem Ladeverhalten sowie weitere probabilistische Untersuchungen sind notwendig, um teure Fehlinvestitionen in Ladestationen und Netze zu vermeiden. Berechnungen unter der Berücksichtigung charakteristischer Lademuster (häuslich, betrieblich, öffentlich, halböffentlicher, e-Carsharing,...) mit unterschiedlichen Verteilernetzstrukturen (städtisch, vorstädtisch, ländlich mit unterschiedlichen Kabel/Freileitungsanteil) sind zusätzlich notwendig, um qualifizierte Aussagen hinsichtlich der zukünftigen Auswirkung einer verstärkten Durchdringung der Elektromobilität treffen zu

können. Leistungsstarke Beladungssysteme (50 kW) können aufgrund der relativ hohen Beladeleistung nur in Lastschwerpunkten mit vorhandenen leistungsstarken Komponenten (Transformator, Leitungen) mit einer ausreichenden Übertragungskapazität problemlos integriert werden.

Danksagung

Das Teilprojekt „will e-fahren“ ist ein Bestandteil aus dem vom Klima- und Energiefonds geförderten Projekt iENERGY 2.0 [2] in der Smart Region Weiz-Gleisdorf. Die Autoren bedanken sich bei den Fördergebern und bei den Personen der Energieregion Weiz-Gleisdorf GmbH im Speziellen bei Frau Dr. Iris Absenger-Helmli, MMag. Christian Hütter und MMag. Nicole Schuster für die hervorragende Organisation und Betreuung des Projektes vor Ort. Erst durch die große Einsatzbereitschaft und durch das aufgebrachte Engagement konnte dem Institut für Elektrische Anlagen der Technischen Universität Graz eine solide Datenbasis (vollständig ausgefüllte Fragebögen sowie Fahrtenbücher) zur Verfügung gestellt werden.

Graz, am 23.03.2016



Univ.-Prof. DI Dr. Lothar Fickert
Institutsvorstand



DI Dr. Ernst Schmutzer



DI Thomas Wieland

5 Literaturverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt, „Elektromobilität in Österreich – Szenario 2020 und 2050,“ Report, Wien, Österreich, 2010.
- [2] iENERGY Weiz-Gleisdorf 2.0 - the power of a vision!, „Smart Energy Demo - fit4set - 2nd Call,“ FFG Projektnummer 836099.
- [3] T. Wieland, E. Schmutzer, C. Schlintl, E. Imrek, I. Absenger-Helmli, N. Schuster, C.

- Hütter, L. Fickert, „Statistische Auswertung zum e-Carsharing-Projekt „will e-fahren“,“ 14. Symposium Energieinnovation, Graz, Österreich, 2016.
- [4] M. Bühner, M. Ziegler, „Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler,“ Hellbermoos, Paerson, München, Deutschland, 2009.
- [5] J. Bortz, C. Schuster, „Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler,“ Springer, Heidelberg Berlin,, Deutschland, 2010.
- [6] A. Field, „Discovering Statistics Using IBM SPSS Statitics,“ SAGE, Los Angeles, Vereinigte Staaten von Amerika, 2013.
- [7] ÖAMTC, „Auto-Info macht echte Autokosten transparent (Teil 2),“ Presseaussendung OTS0068, Wien, Österreich, 2015.
- [8] G. Kerber, „Aufnahmefähigkeit von Niederspannungsverteilstnetzen für die Einspeisung aus Photovoltaikkleinanlagen,“ Dissertation, Technische Universität München, München, Deutschland, 2010.
- [9] W. Brandauer, „Verlustberechnung in Elektrizitätsnetzen mit gering superpositionierten Last- und Erzeugungseinheiten,“ Dissertation, Insitut für Elektrische Anlagen, Technische Universität Graz, Graz, Österreich, 2014.
- [10] Renault Österreich GmbH, „Technisches Datenblatt – Renault ZOE,“ Wien, Österreich, 2014.
- [11] SMART, „Technisches Datenblatt Smart fortwo & smart BRABUS – electric drive,“ Daimler AG, Stuttgart, Deutschland, 2014.
- [12] TFA Dostmann GmbH & Co KG, „Energiesmessgerät Energy Control,“ Wertheim-Reicholzheim, Deutschland, 2013.
- [13] Renault, „Z.E. Services – My ZE Online,“ www.services.renault-ze.com, zuletzt besucht am: 25.01.2016.
- [14] D. Zumkeller, B. Chlond, O. Lipps, „Panelauswertung 1995/1996,“ Schlussbericht, Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Deutschland, 1996.
- [15] T. Wieland, M. Reiter, E. Schmutzner, L. Fickert, J. Fabian, R. Schmied, „Probabilistische Methode zur Modellierung des Ladeverhaltens von Elektroautos anhand gemessener Datenelektrischer Ladestationen – Auslastungsanalysen von Ladestationen unter Berücksichtigung des Standorts zur Planung von elektrischen Stromnetzen,“ e&i Elektrotechnik und Informationstechnik, Springer-Verlag, Wien, Österreich, 2015.
- [16] 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,“ 9. Internationale

Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, Wien, Österreich, 2015.

- [17] J. Fabian, T. Wieland, M. Ernst, E. Schmautzer, L. Fickert, W. Slupetzky, R. Schmied, „Ergebnisse und Schlussfolgerungen zur Begleitforschung der Modellregion Elektromobilität Großraum Graz,“ 14. Symposium Energieinnovation, Graz, Österreich, 2016.
- [18] C. Dormann, „Parametrische Statistik - Verteilungen, maximum likelihood und GLM in R,“ Springer Spektrum, Heidelberg, Deutschland, 2013.
- [19] G. Oberdorfer, „Lexikon der Elektrotechnik,“ Springer Verlag, Wien, Österreich, 1951.
- [20] J. D. Pinske, „Elektrische Energieerzeugung,“ Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, Deutschland, 1993.
- [21] T. Wieland, M. Reiter, E. Schmautzer, L. Fickert, M. Lagler, S. Eberhart, „Gleichzeitigkeitsfaktoren in der elektrischen Energieversorgung – Konventioneller & probabilistischer Ansatz,“ e&i Elektrotechnik und Informationstechnik, Springer-Verlag, Wien, Österreich, 2014.
- [22] T. Wieland, M. Reiter, E. Schmautzer, 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.
- [23] TAEV, „Technische Anschlussbestimmungen für den Anschluss an öffentliche Versorgungsnetze mit Betriebsspannungen bis 1000 Volt,“ Österreichs E-Wirtschaft Akademie GmbH, Wien, Österreich, 2012.
- [24] DIN VDE 0100-100, *Errichten von Niederspannungsanlagen - Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe*, DIN und VDE Verlag: Berlin, Deutschland, 2009.
- [25] E. Hufnagl, „Einfluss von Umstrukturierungsmaßnahmen auf die Zuverlässigkeitskennzahlen in einem städtischen Mittelspannungsnetz,“ Institut für Elektrische Anlagen, Diplomarbeit, Technische Universität Graz, Graz, 2014.
- [26] M. Lagler, „Rechnergestützte Analyse eines urbanen 20-kV-Mittelspannungsnetzes,“ Insitut für Elektrische Anlagen, Diplomarbeit, Technische Universität Graz, Graz, 2015.
- [27] goingelectric, „Blindleistung beim Laden des ZOE,“ zuletzt besucht am: 22.01.2016.
- [28] e-auto.tv, „Verbrauch, Ladeverlust und Wirkungsgrad im E-Auto,“ Elfamo UG, Bochum, Deutschland, 2014.
- [29] ÖAMTC, „Auto-Info,“ www.oeamtc.at/ai-webapp/, zuletzt besucht am: 22.09.2015.

6 Anhang

In der folgenden Tabelle 10 befindet sich die Liste der verwendeten Abkürzungen.

Tabelle 10: List der verwendeten Abkürzungen

Abkürzung	Beschreibung
MW	Mittelwert
s	Standardabweichung (durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert)
M	Mittlerer Rang
p	Wahrscheinlichkeit $p < .05$ = signifikantes Ergebnis
n.s.	nicht signifikantes Ergebnis
partielles η^2	Effektstärke nach Cohen: $< .1$ = kleiner Effekt $< .3$ = mittlerer Effekt $< .5$ = größer Effekt
F()	Ergebniswert einer Varianzanalyse (Freiheitsgrade)
Pillai-Spur	Multivariater Test (wird im Rahmen einer Varianzanalyse mit mehreren abhängigen Variablen angewendet); Der Wert gibt die Summe der erklärten Varianzanteile in allen Variablen wieder
t()	Ergebniswert eines t-Tests (Freiheitsgrade)
χ^2	Ergebniswert eines χ^2 Tests
U	Ergebniswert eines Mann-Whitney-U-Tests