

sun2car@GAP

*Untersuchung des Kundenannahmeverhaltens
zur Integration von Erneuerbarer Energie in Elektrofahrzeuge
innerhalb der e-GAP Modellkommune Garmisch-Partenkirchen*

Abschlussbericht

Technische Universität München
Februar 2016

PROJEKTLEITUNG:

Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Boltzmannstr. 15
85748 Garching

FÖRDERKENNZEICHEN:

MOD-1210-0008

BETEILIGTE LEHRSTÜHLE:

Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Fachgebiet für Siedlungsstruktur und Verkehrsplanung

GEFÖRDERT DURCH:

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien,
Energie und Technologie

In Kooperation mit der Audi AG

AUTOREN:

Kugler, Maria
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Frank, Christopher
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Osswald, Sebastian
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Miramontes, Montserrat
Fachgebiet für Siedlungsstruktur und Verkehrsplanung

Kinigadner, Julia
Fachgebiet für Siedlungsstruktur und Verkehrsplanung



Inhalt

Ergebnisdarstellung	5
Smartphone-Applikation: Datenerfassung und Nutzerinformation	5
Systembeschreibung und Datenverarbeitung	9
Bewertung der CO ₂ -neutralen Mobilität im Raum Garmisch-Partenkirchen.	11
Prädiktion von Mobilität, PV-Ertrag und Ladeverhalten	15
Zusammenfassungen der Umfrage-Ergebnisse der Probanden aus eGAP .	17
Erreichbarkeitsanalyse und Multimodalität.....	40
Hauptaussagen der öffentlichen Umfrage zur Akzeptanzuntersuchung	55
Gesamtbewertung von CO ₂ neutraler Mobilität.....	57
Literaturverzeichnis	61



Ergebnisdarstellung

Smartphone-Applikation: Datenerfassung und Nutzerinformation



Abbildung 1: sun2car-App Hauptmenü



Abbildung 2: Graphische Darstellung des CO₂-Fußabdrucks

Ziel des Projekts auf Seiten der TUM war die Entwicklung einer Smartphone Applikation, welche die Aufzeichnung der Mobilitätsdaten ermöglicht sowie als Medium für die Rückkopplung von Informationen an die Nutzer fungiert.

Die App wurde dabei so aufgebaut, dass nach einem nutzerindividuellen Login in einer Kachelstruktur alle verfügbaren Funktionen direkt erreichbar sind, sichtbar in Abbildung 1.

Dies sind: (von links oben nach rechts unten)

Fußabdruck (Abbildung 2):

Hier wird dem Nutzer eine allgemeine, graphische Einschätzung über seinen CO₂-Fußabdruck angezeigt. Dabei werden die Farben grün (gut), orange (mittelmäßig) und rot (schlecht) im Ampelsystem zur Verdeutlichung genutzt. Weiterhin wird ein mittlerer CO₂-Ausstoß pro Tag und Kilometer angezeigt. Der Fußabdruck ist nutzerindividuell oder familienübergreifend wählbar.

Die serverseitige Berechnung basiert dabei auf einer Datenzusammenführung von PV-Daten, Mobilitätsdaten und Energieverbrauchsdaten und wird kalenderbasiert präsentiert.

Das Ziel ist eine vergleichbare und quantifizierbare Visualisierung der CO₂-Emissionen wodurch ein Vergleich z.B. mit Familienmitgliedern möglich wird.

Bilanzen (Abbildung 4):

Über diese Schnellwahl werden dem Nutzer verschiedene statistische Informationen in ausgewerteter Form dargestellt.

Dabei wird in der ersten Ansicht (Abbildung 4 links) in einer Kalenderdarstellung einzelne Tage basierend auf dem CO₂-Fußabdruck in den bereits bekannten Ampelfarben angezeigt. Bei Wahl eines Tages wird gezeigt, zu welchen Uhrzeiten Emissionen verursacht werden sowie der Zusammenhang aus zurückgelegten Distanzen und daraus resultierende Emissionen.

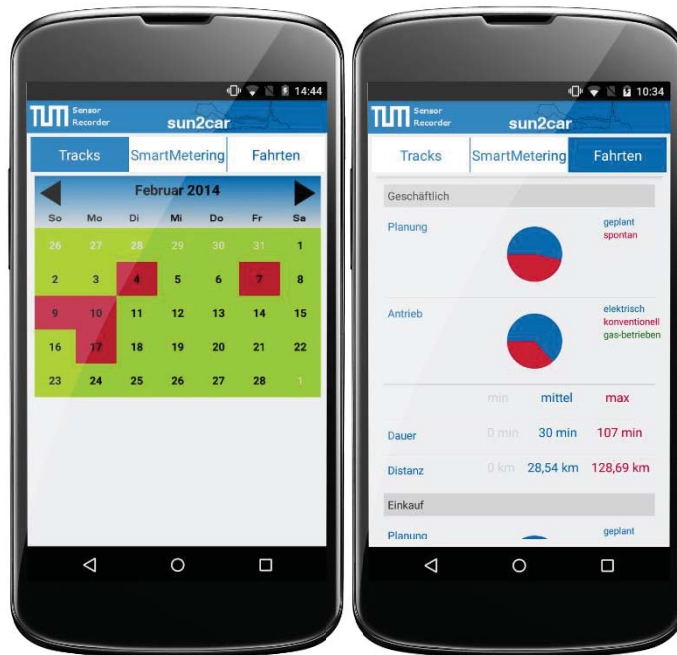


Abbildung 4: Verschiedene statistische Auswertungen

In der SmartMetering-Ansicht können ebenfalls über eine Kalenderfunktion die Verläufe der PV-Anlage, des Haushaltsverbrauchs sowie einer ggf. vorhandenen Ladesäule angezeigt werden. Zusätzlich wird das vorhandene Delta aus PV und Haushalt dargestellt.

In der dritten Ansicht (Abbildung 4 rechts) werden abschließend Informationen zu den Fahrtdetails angezeigt. Hier wird unterschieden zwischen den einzelnen Fahrtzwecken, dem Antrieb sowie Planungsstatus. Des Weiteren werden Details zu den Fahrdauern sowie -distanzen gegeben. Durch die Bündelung dieser Informationen erhält der Nutzer ein quantifizierbares Bild seines Mobilitätsverhaltens. Somit kann eine Sensibilisierung für auftretende Emissionen durchgeführt werden.



Abbildung 3: sun2car-App Fahrt-aufzeichnung mit Rückmeldung zur elektromobilen Machbarkeit

Neue Aufzeichnung (Abbildung 3):

Um den Aspekt der Sensibilisierung zu verstärken, musste der Nutzer seine Mobilität proaktiv aufzeichnen. Dazu musste das Tracking in der App gestartet und beendet werden. Beim Start über die Schaltfläche „Neue Aufzeichnung“ wurden zunächst Informationen abgefragt: Fahrtzweck (geschäftlich, Einkauf, Freizeit, Familie, Urlaub, Spaß am Fahren), Planung der Fahrt (spontan, geplant) sowie Antriebsart (elektrisch, konventionell, gasbetrieben). Anschließend konnte die Aufzeichnung gestartet werden. Die Fahrt wurde über eine Kartenansicht dynamisch veranschaulicht. Nach Beendigung der Fahrt wurde auf Basis der zurückgelegten Distanz eine Einschätzung gegeben, ob die Fahrt mit einem Elektrofahrzeug zu bewältigen gewesen wäre. Dies verdeutlicht vor allem unter Berücksichtigung der alltäglichen Mobilität, ob und wie viele Fahrten für die Nutzung eines Elektrofahrzeugs möglich sind.

Während der Aufzeichnung werden im Hintergrund die aufgezeichneten Fahrdaten an die

FTM-Server geschickt, wo anschließende Post-Processing Schritte durchgeführt und die Daten in der Datenbank hinterlegt werden.

Fahrtenbuch (Abbildung 5 sowie Abbildung 6)

Das Fahrtenbuch dient als direkte Rückmeldung für den Nutzer über sein tatsächliches Mobilitätsverhalten. Die nach der Fahrtaufzeichnung auf den Servern verarbeiteten Fahrdaten werden über einen im Hintergrund der App laufenden Synchronisierungsprozess in einer lokalen Datenbank auf dem Smartphone ab-



Abbildung 5: Ansicht des nutzerindividuellen Fahrtenbuchs mit Kartendarstellung

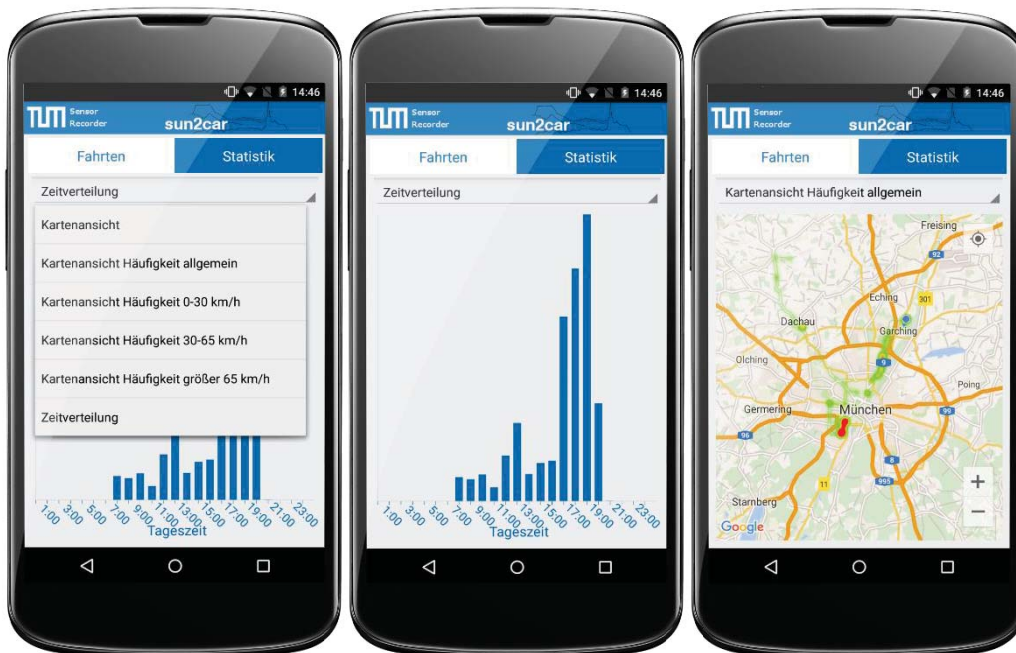


Abbildung 6: Ansicht der statistischen Mobilitätsauswertungen

gelegt und stehen so zur Verfügung. Die einzelnen Fahrten werden dabei in chronologischer Form mit Informationen zu Start (Ort, Zeit), Ende (Ort, Zeit), Distanz, sowie Verkehrsmittel angezeigt. Der Nutzer kann hier direktes Feedback zum automatisch erkannten Verkehrsmittel geben und dies ggf. korrigieren. Ebenso ist es möglich, die Fahrt mit dem zugehörigen Geschwindigkeitsverlauf nochmals auf der Karte anzuzeigen.

Die Ansicht Statistik (siehe Abbildung 6) ermöglicht dem Nutzer zum einen eine detaillierte Analyse seines Mobilitätsverhaltens als auch eine statistische Prädiktion, wann mit eigener Mobilität zu rechnen ist. Dabei wird einerseits eine Fahrtantrittswahrscheinlichkeit über den Tag verteilt angezeigt. Des Weiteren wird über verschiedene Kartenansichten die Wahrscheinlichkeit dargestellt, dass ein bestimmtes Ziel angefahren wird, oder wo in welchen Geschwindigkeitsbereichen gefahren wird.

Prädiktion (siehe Abbildung 7):

Eine detailliertere Prädiktion wird dem Nutzer unter der Kachel Prädiktion angeboten. Hier wird auf Basis der verbauten PV-Anlage und einer Wettervorhersage der zu erwartende PV-Ertrag für ein gewähltes Datum innerhalb der kommenden 7 Tage angezeigt (PV-Potential in grün). Zusätzlich wird die Haushaltslastkurve (in schwarz) mit dargestellt. Als wichtiges Prädiktionsdetail wird hier für den jeweiligen Tag der zu erwartende Mobilitätsbedarf an den jeweiligen Fahrtstartzeitpunkten eingefügt. Dazu wird

der Energiebedarf für die gesamte Fahrt als Bedarf zum Startzeitpunkt als blauer Balken eingetragen.

Im unteren Teil der Prädiktionsanzeige wird der bilanzielle Verlauf, der sich aus allen Energiequellen (PV) sowie –senken (Haushalt und Mobilität) ergibt, über den Tag angezeigt. Verläufe im negativen Bereich stellen dabei Energiedefizite dar, im positiven Bereich liefert die PV-Anlage genug Energie, um den kompletten Bedarf abzudecken.

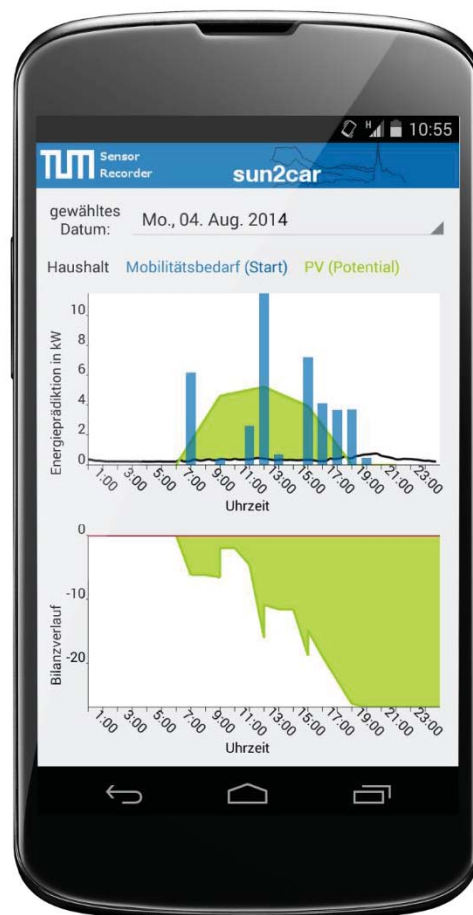


Abbildung 7: Prädiktionsansicht für den Nutzer

Feedback:

Über die Feedback-Funktion war es den Nutzern schnell und einfach möglich, mit den FTM-Mitarbeitern Kontakt aufzunehmen. Dazu konnten entweder Sprach- oder Textnachrichten versendet werden, die als eMails direkt an die Entwickler gesendet wurden. So konnten mehrfach Probleme gelöst werden.

Konto und Information:

Über diese Kachel wurden dem Nutzer Informationen zur App und zum Projekt angezeigt. Ebenso war hier die Funktionalität implementiert, die App auf neue und verbesserte Versionen zu aktualisieren.

Systembeschreibung und Datenverarbeitung

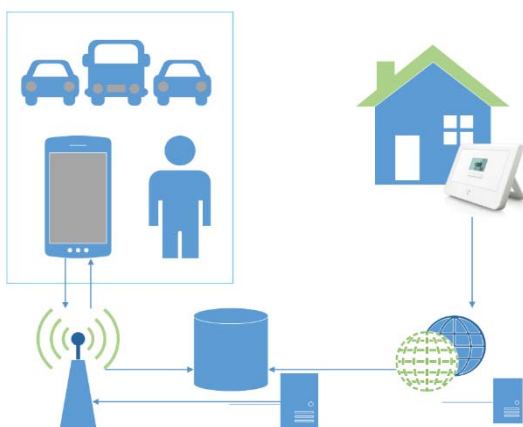


Abbildung 8: Vom Smartphone aufgezeichnete Sensordaten werden über die 3G Verbindung an das FTM-Datenbanksystem gesendet. Die Smart Meter-Verläufe aus den Haushalten werden in der gleichen Datenbank abgelegt. Die Analyseergebnisse werden auf die Smartphones zurückgegeben.

Mit der App sollte dabei das gesamte Mobilitätsverhalten, unabhängig vom verwendeten Verkehrsmittel aufgezeichnet werden. Gemeinsam mit den aufgezeichneten Daten aus den in den Haushalten verbauten Smart Metern kann so ein gesamtheitliches Abbild des Alltags dargestellt werden. Das Gesamtsystem ist in Abbildung 8 dargestellt.

Auf den FTM Servern werden die erhaltenen Daten strukturiert, korrigiert sowie analysiert und klassifiziert. Dabei ist vor allem eine automatisiert Analyse hinsichtlich des wahrscheinlich verwendeten Verkehrsmittels

für eine Fahrt zu nennen. Diese Analyse dient zum besseren Verständnis des alltäglichen Mobilitätsverhaltens. Bei diesem Vorgehen wird zwischen folgenden möglichen Verkehrsmitteln unterschieden:

- Fußgänger
- Fahrrad
- Bus
- Auto
- U-Bahn
- Zug
- Tram

Für die Klassifizierung werden zunächst einzelne logische Mobilitätsabschnitte separiert. Ein Mobilitätsabschnitt repräsentiert dabei eine logische Fahrt mit einem Zweck und einem Verkehrsmittel. Durch ein mehrstufiges logisches Ausschlussverfahren wird auf Basis von charakteristischen Fahrprofilmustern das wahrscheinlichste Verkehrsmittel (Mode of Transport (MOT) bestimmt. Anschließend an einen Plausibilisierungsvorgang wird die Fahrt mit den um das Verkehrsmittel erweiterten Informationen in die Datenbank eingetragen. Der Ablauf zur Verkehrsmittelerkennung ist in Abbildung 9 detailliert dargestellt.

Die Beschreibung des Gesamtsystems war Inhalt der Veröffentlichung „Mobility Tracking System for CO₂ Footprint Determination“ bei der „6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications“ (<http://dx.doi.org/10.1145/2667317.2667334>). [1]

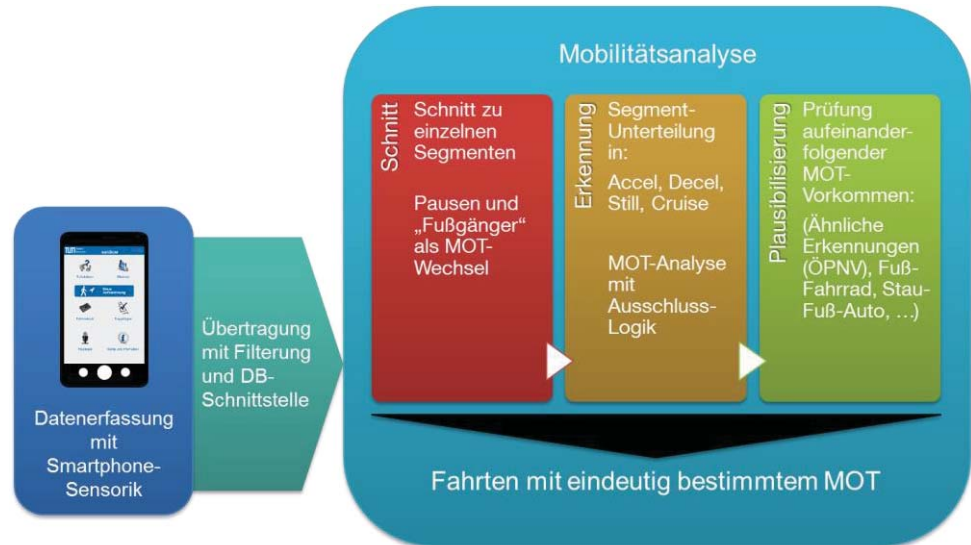


Abbildung 9: Ablauf zur Verkehrsmittelerkennung

Das Ergebnis der Mobilitäts-Basisdatenerhebung ist eine Reichweitenanalyse. Dabei wurden alle Fahrten aller Probanden verwendet, um einen Mobilitätsradius zu veranschaulichen. Dieser ist als 90-/95-/99-perzentiler Mobilitätsbedarf dargestellt und in Abbildung 10 zu sehen. Zusätzlich ist ein 120 km (schwarz) und ein 160 km (pink) Radius eingezeichnet. Hierdurch ist eine erste Einschätzung bzgl. der elektromobilen Machbarkeit des allgemeinen Mobilitätsbedarfs abschätzbar.

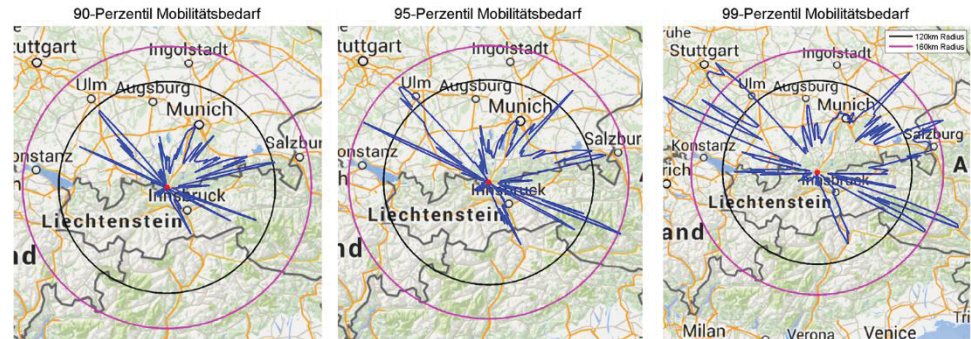


Abbildung 10: Reichweitenanalyse aus der Basisdatenerhebung

Bewertung der CO₂-neutralen Mobilität im Raum Garmisch-Partenkirchen

Für das Ziel der Analyse der CO₂-Emissionen durch das Mobilitätsverhalten wurde eine Emissionslandkarte für Garmisch-Partenkirchen erstellt, basierend auf dem Verkehrsaufkommen, sowie den spezifischen Fahrprofilen. Dabei wurden alle aufgezeichneten Fahrten der Probanden einzelnen Knotenpunkten/Strassen-

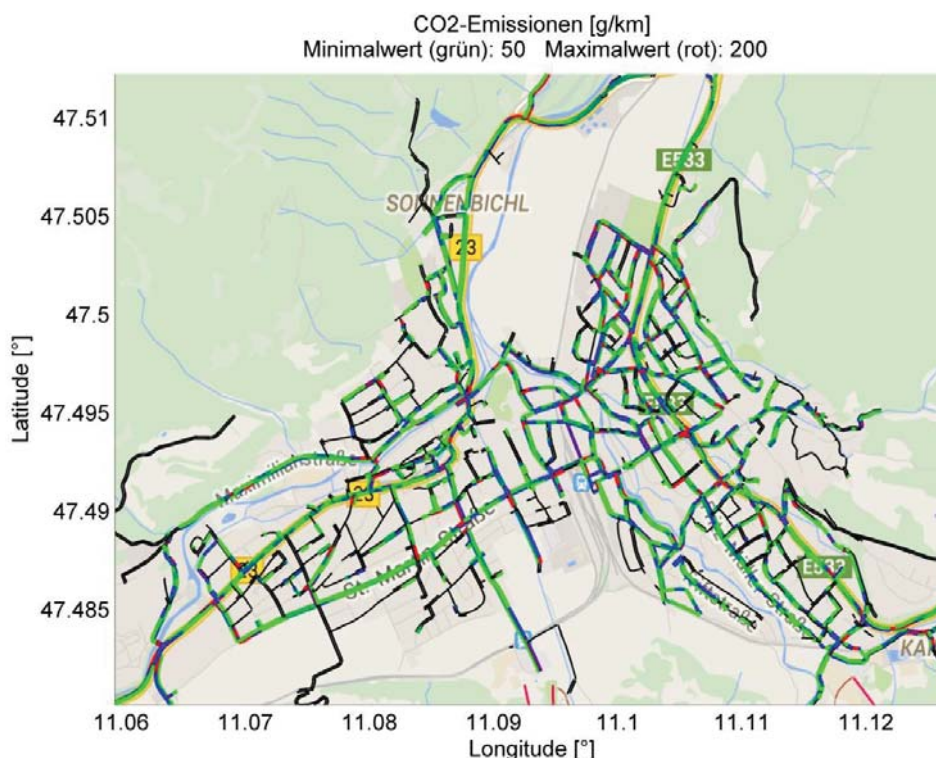


Abbildung 11: Emissionslandkarte für die Zeit von 15 bis 18 Uhr

Benabschnitten in GAP zugewiesen. Die auf diesen Abschnitten gefahrenen Profile wurden dann hinsichtlich ihres Fahrprofils ausgewertet und mit einem resultierenden Emissionswert belegt. Durch Filterung nach bestimmten Zeitintervalle bzw. Tagen kann dann eine Aussage über den Emissionsausstoß an bestimmten Positionen getroffen werden. Wie die beispielhafte Darstellung in Abbildung 11 zeigt können keine dedizierten Straßen angegeben werden, die zu besonders hohen Emissionen führen. Vielmehr sind es Kreuzungen, die erhöhte Werte aufweisen. Aus diesem Grund wird ein einfaches Emissionsmodell, das hauptsächlich auf den zurückgelegten Distanzen basiert, verwendet.

Um eine tatsächliche CO₂-Neutralität in der Mobilität zu erreichen, ist es notwendig, alle Fahrten mit einem Elektrofahrzeug zurückzulegen. Aus diesem Grund wurde eine detaillierte Bewertung bzgl. der elektromobilen Machbarkeit der Alltagsmobilität durchgeführt. Diese Bewertung war Inhalt der Veröffentlichung „Assessment of Electromobility in Non-Urban Environments“ bei der „4th Conference on Future Automotive Technology“ (<http://mediatum.ub.tum.de/node?id=1278628>) [2]

Dabei wurden zwei detaillierte Analysen der Mobilität durchgeführt:

1. Ausdehnungsanalyse: perzentile Bewertung der Mobilitätsausdehnung
2. Gesamtdistanzverhalten: Distanzbedarf unter Berücksichtigung der Zwischenlademöglichkeit

Die Ausdehnungsanalyse wurde dabei in einem 3-stufigen Bewertungsverfahren unterteilt:

1. **EINFACH**: alle aufgezeichneten Fahrten
2. **GEFILTERT**: alle aufgezeichneten Fahrten mit Start oder Ende der Fahrt in 50 km Entfernung zu GAP
3. **GEWICHTET**: alle Fahrten aus (2 - Gefiltert) gewichtet nach ihrer Häufigkeit

Die Häufigkeit einer Fahrt wird dadurch bestimmt, wie oft sie im Versuchszeitraum vorkommt. Dabei ist nur Fahrtstart und –ende ausschlaggebend. Es muss nicht genau die gleiche Strecke gefahren worden sein.

Tabelle 1 zeigt die perzentilen Kilometerausdehnungen für die gefilterte Analyse. Gut zu erkennen ist dabei, dass alle Reichweiten gut durch aktuelle Elektrofahrzeuge abzubilden sind.

	75-Perzentil	95-Perzentil	99-Perzentil
Median [km]	5.60	15.55	28.85
Mittel [km]	9.92	19.10	27.67
Max [km]	41.79	54.71	77.24

Tabelle 1: Perzentiler Mobilitätsbedarf der gefilterten Ausdehnungsanalyse

Des Weiteren ist in Abbildung 12 die kumulierte Wahrscheinlichkeitsfunktion (ECDF) des gewichteten Distanzbedarfs gezeigt. Zu sehen ist, dass mit einer über 90 prozentigen Wahrscheinlichkeit die gefahrene Distanz kleiner als 50 km ist. Vor allem durch häufig wiederkehrende Fahrten – die das Alltagsmobilitätsverhalten repräsentieren – kann eine Verschiebung hin zu kürzeren Wegen erkannt werden.

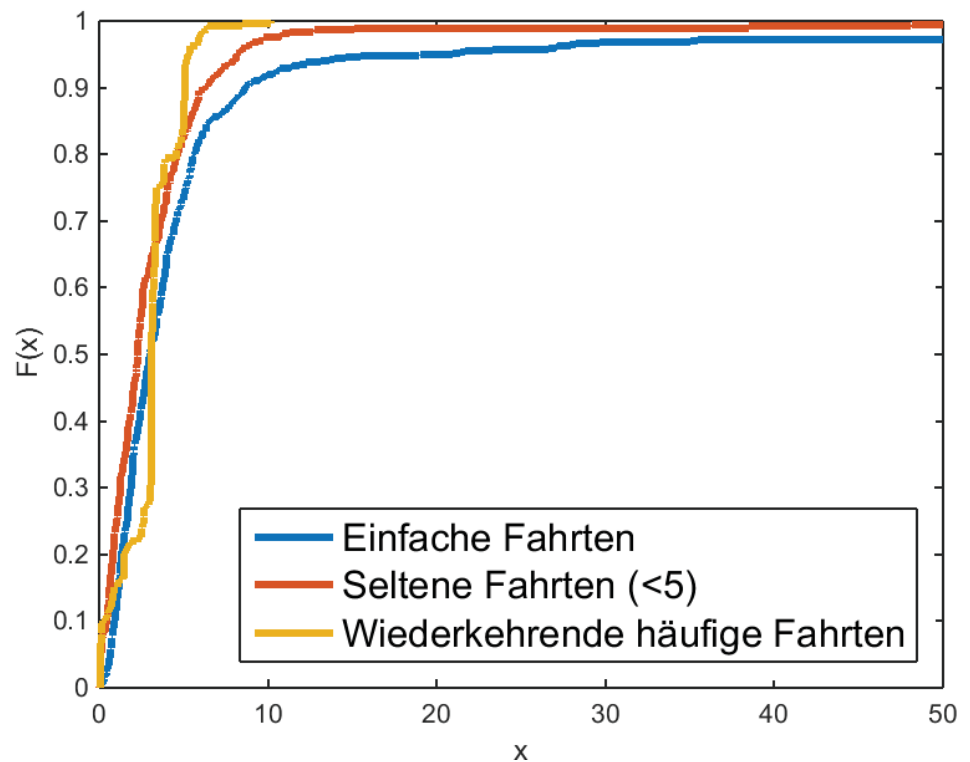


Abbildung 12: Kumulierte Wahrscheinlichkeit des Distanzbedarfs (x)

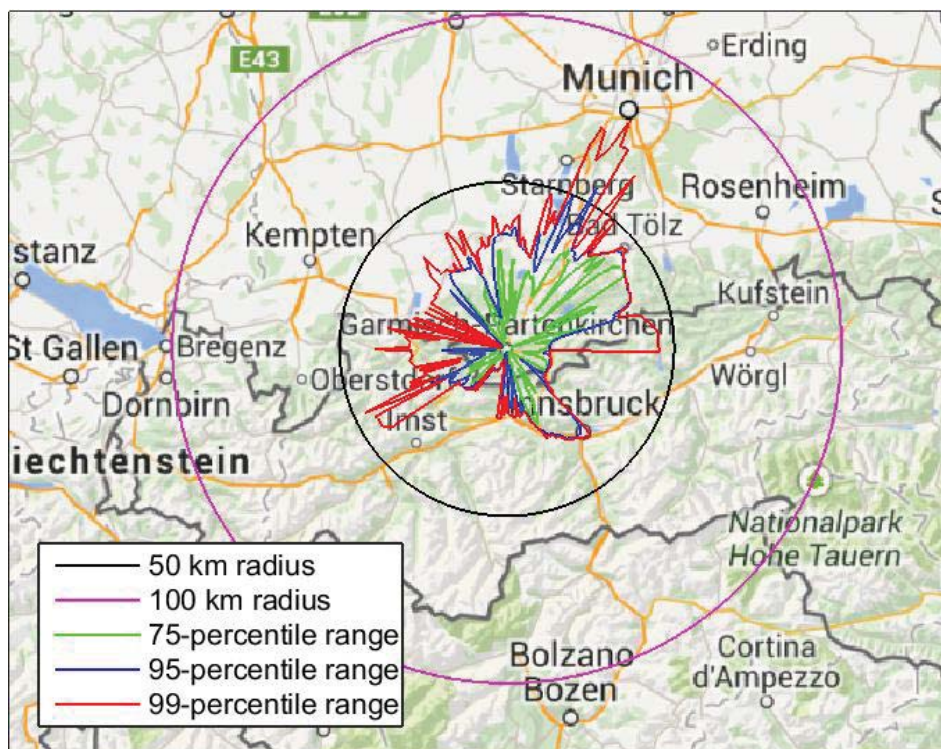


Abbildung 13: Mobilitätsausdehnung

Abbildung 13 zeigt abschließend die tatsächliche graphische Ausdehnung der gefilterten Mobilität um Garmisch-Partenkirchen herum. Zur besseren Einordnung sind zusätzlich noch die Radien für 50 km (schwarz) sowie 100 km (pink) eingetragen.

Allgemeine Aussagen zur Bewertung der Elektromobilität für Garmisch-Partenkirchen sind:

- Tatsächlich interessierende Alltags-Mobilität bewegt sich in Größen unter 50 km
- Sogar max. Distanzen sind elektrisch einfach realisierbar
- Lange Distanzen liegen in Richtung urbaner Gegenden, wo durch gut ausgebaute öffentliche Ladeinfrastruktur die Möglichkeit zur Nachladung gegeben ist.

Zusätzlich wurde noch das Gesamtdistanzverhalten untersucht, bei dem alle Fahrten zusammengefasst wurden, wenn zwischen ihnen keine signifikante Zeitspanne (1 Stunde) zum Zwischenladen vorhanden war.

Denn tägliche Mobilität ist nur dann elektrisch durchführbar, wenn

1. der Distanzbedarf *insgesamt* möglich ist oder
2. ein zeitliches Pufferpotential zum *Zwischenladen* vorhanden ist.

Diese Gesamtdistanzen aus dem gesamten Flottenversuch wurden über einen Tag aufgetragen. Das Ergebnis ist in Abbildung 15 zu sehen. Dabei ist zu erkennen, dass sich die Gesamtdistanzen durchschnittlich unter 50 km bewegen. Tagsüber sind längere Wege erforderlich als in den Abend- bzw. Nachtstunden.

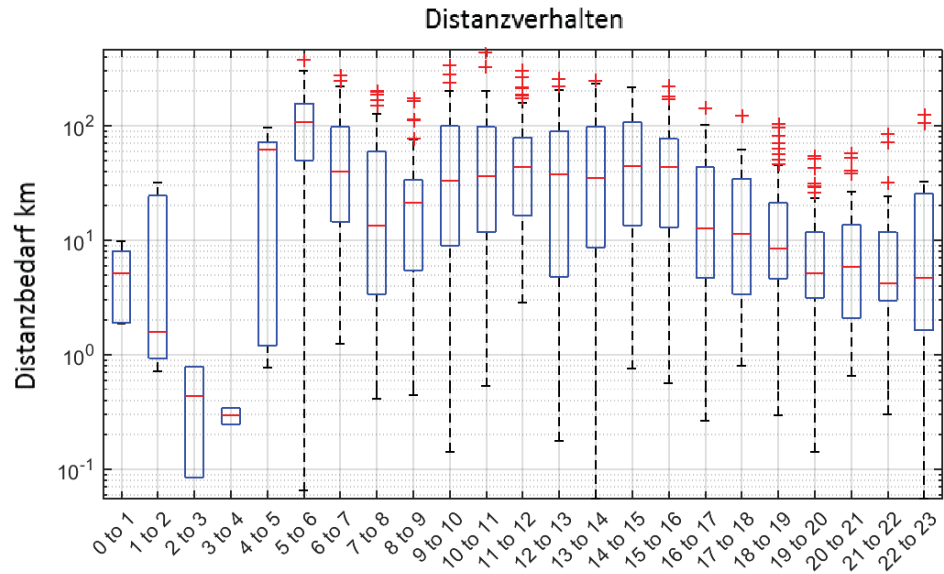


Abbildung 15: Gesamtdistanzverhalten

Anschließend wurde noch der Zusammenhang zwischen (kumulierter) Fahrtlänge sowie Fahrtanzahl pro Tag untersucht. Das Ergebnis ist in Abbildung 14 dargestellt.

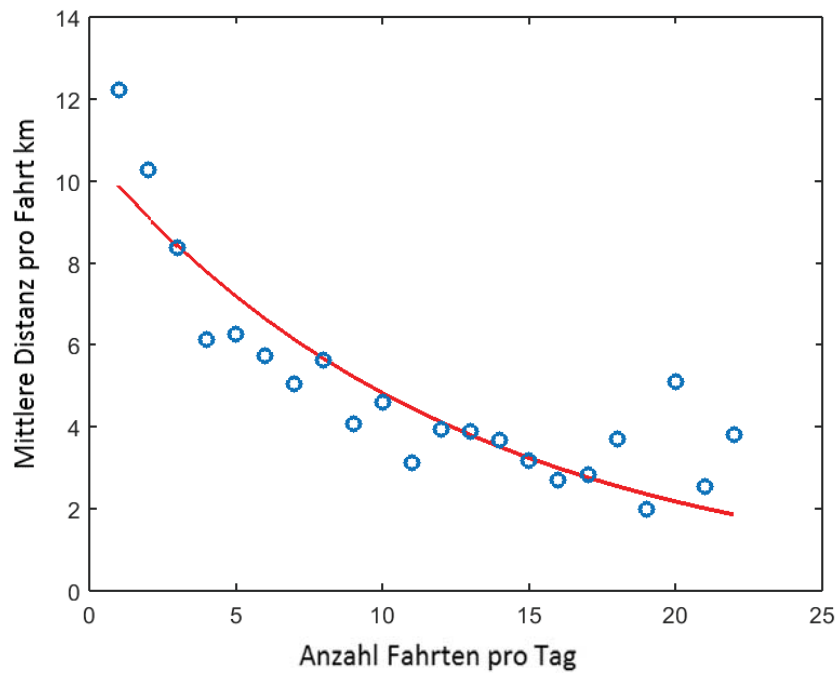


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Fahrtlänge und täglicher Fahrtanzahl der Familien

Allgemein können daher folgende Aussagen getroffen werden:

- Je häufiger gefahren wird, desto kürzer sind die einzelnen Strecken.
- Insgesamt ist der tägliche Mobilitätsbedarf geringer als 80 km.
- Kurze Fahrten beeinflussen die alltägliche Mobilität viel stärker als lange

Prädiktion von Mobilität, PV-Ertrag und Ladeverhalten

Auf Basis der aufgezeichneten Fahrten wurde eine Mobilitätsprädiktion erstellt. Diese bezieht die Häufigkeit der auftretenden Fahrten sowie die Fahrtziele mit ein. Zur Bestimmung der Fahrtziele wird eine Umkreissuche um Start- und Endposition einer Fahrt durchgeführt und auf Basis von Kartendaten ein Fahrtzweck bestimmt. Mit diesen Daten kann ein generisches Mobilitätsmodell für eine Referenzwoche erstellt werden. Dieses Mobilitätsmodell ist für alle Haushalte individuell erstellbar. Ein allgemeines Modell gemittelt über alle Versuchshaushalte ist im Folgenden dargestellt.

Abbildung 16 zeigt die allgemeine Fahrthäufigkeit über die Wochentage verteilt. Gut zu erkennen dabei ist der erhöhte Mobilitätsbedarf unter der Woche. Abbildung 17 wiederum dokumentiert den deutlichen Anteil der Arbeitsstrecken am Gesamtdistanzverhalten.

Mit diesen Erkenntnissen ist es möglich einen Fahrtenplan für eine Woche zu erstellen, der dann für die Evaluation CO₂-neutraler Mobilität herangezogen werden kann.

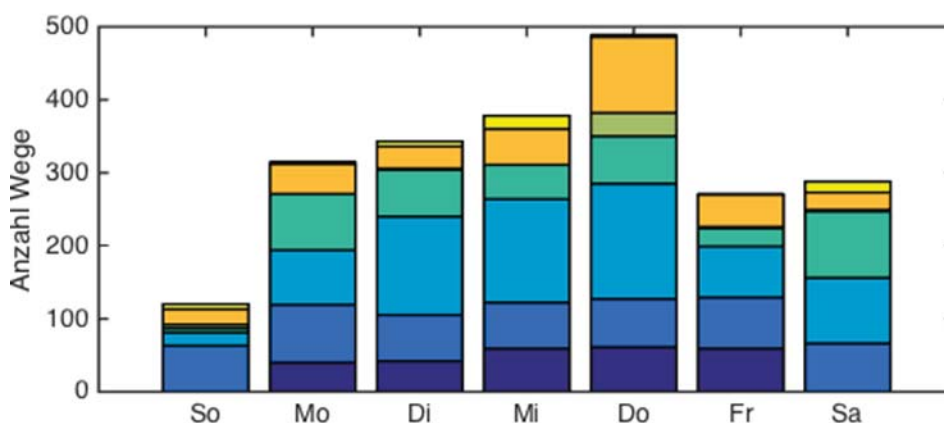


Abbildung 16: Fahrtaufteilungen sowie -häufigkeiten an verschiedenen Tagen

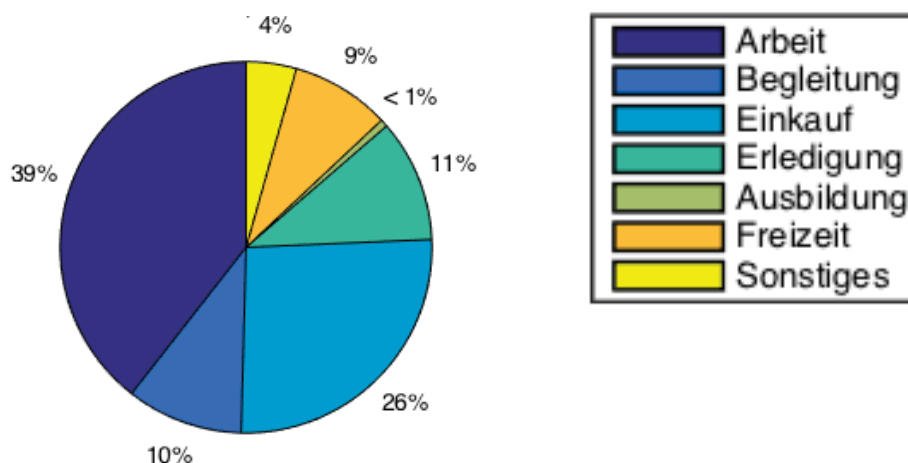


Abbildung 17: Distanzanteil verschiedener Fahrtzwecke am Gesamtmobilitätsverhalten

Zusätzlich zur Prädiktion des Mobilitätsbedarfs wurde ein Modell entwickelt, das den Ertrag der PV-Anlage vorhersagt. Dieses Modell ist in Abbildung 18 dargestellt.

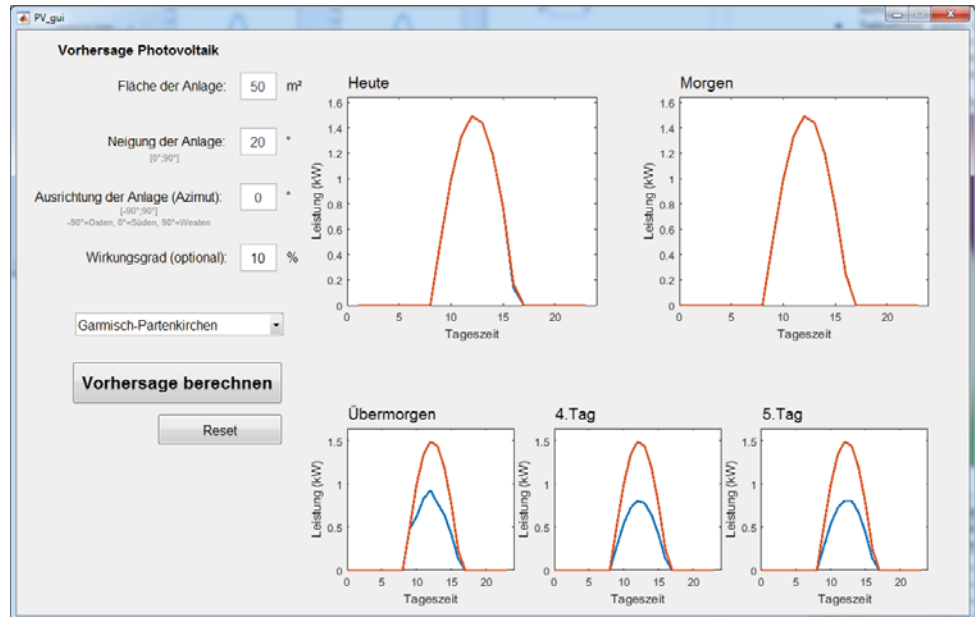


Abbildung 18: Vorhersage-Modell für Ertragsprädiktion der PV-Anlage

stellt. Hierbei können die Parameter der zu untersuchenden PV-Anlage eingestellt werden. Ebenso können verschiedene Standorte untersucht und miteinander verglichen werden.

Vor der Entwicklung eines Modells zur Beschreibung des Ladeverhaltens wurden verschiedene Analysen durchgeführt. Auf Basis der tatsächlichen Ladedaten konnte ermittelt werden, wann hauptsächlich geladen wurde. Das Ergebnis ist in Abbildung 19 dargestellt, wo der Verlauf des State of Charge (SOC) zu sehen ist.

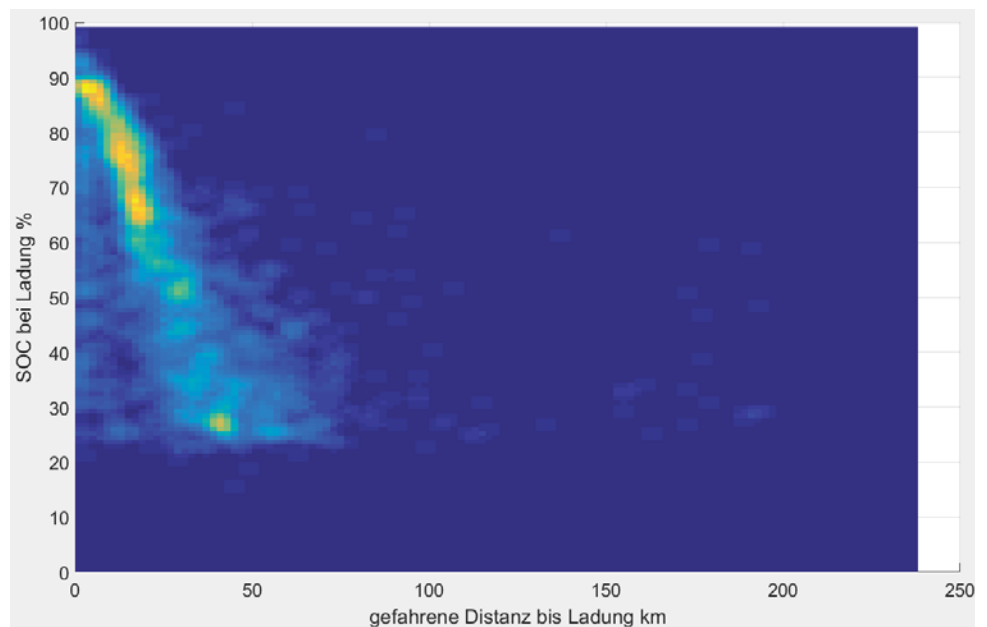


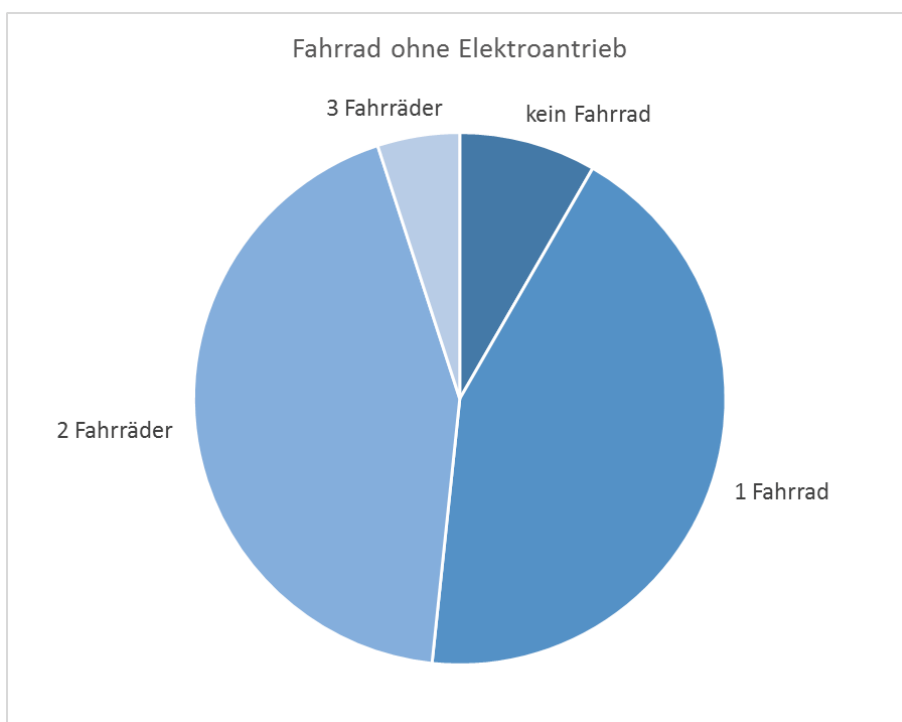
Abbildung 19: Tatsächliches Ladeverhalten im Flottenversuch

Die Nutzer stecken vor allem nach sehr kurzen Distanzen, also praktisch nach jeder Fahrt das Fahrzeug wieder an die Ladesäule an, um ein immer möglichst voll geladenes Fahrzeug zur Verfügung zu haben. Dieses Verhalten ermöglicht es, ohne intelligent gesteuertes Lademodell weiter zu arbeiten, weil das Fahrzeug immer dann als ladbar deklariert wird, wenn es eine ausreichend lange Zeit zu Hause steht.

Zusammenfassungen der Umfrage-Ergebnisse der Probanden aus eGAP

Demografische Auswertung: Wer hat mitgemacht?

- 56 Teilnehmer (28 Männer, 20 Frauen, (Rest: keine Angabe)).
- 24 Teilnehmer arbeiten Vollzeit, 7 TN in Teilzeit, Rest entweder in der Schule, Rentner, in Ausbildung etc.
- Teilnehmer waren Minderjährig und haben keinen PKW-Führerschein (45 TN haben einen PKW-Führerschein)
- 21 Teilnehmer haben Motorrad-Führerschein
- 42 Teilnehmer haben 1-2 Fahrräder.



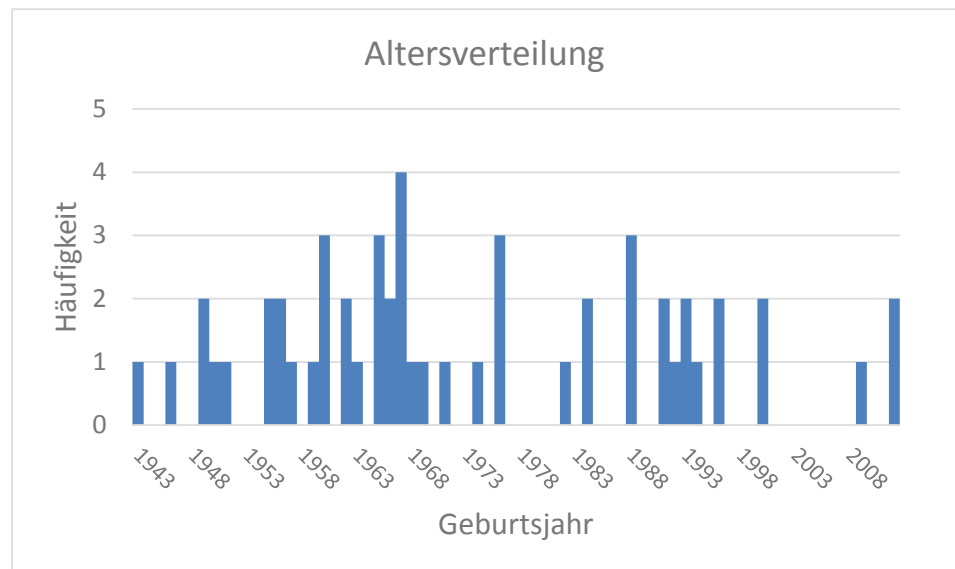
Teilnahme an der Umfrage:

57 E-Mails wurden regelmäßig verschickt

Umfragedatum	Anzahl der (teilweise) ausgefüllten Umfragen	% Teilnehmer
November 2013	25	44
Dezember 2013	54	95
Februar 2014	46	81
April 2014	37	65
Juli 2014	35	61
September 2014	34	60

Die Teilnahme an der Umfrage war verpflichtend in den jeweiligen Verträgen festgeschrieben.

Verteilung der Geburtsjahrgänge



53 Versuchspersonen haben angegeben, Spannweite von 1943 bis 2012. Jahrgang 1967 hat die meisten Teilnehmer.

Technikakzeptanz (allgemein)

Fragen nach Affekten, Einstellungen zu neuen Technologien und Elektroautos, z.B. [Für mich ist es sehr wichtig, neue Technologien auszuprobieren]; [Elektroautos sind günstig im Unterhalt] und [Elektromobilität wird einen großen Beitrag zum Umweltschutz leisten]

Skala 1: „stimme überhaupt nicht zu“ ... 6: „Stimme völlig zu“

Die Antworten bleiben im Prozess und im Nachtest (also nach Erfahrungen mit dem Elektroauto) nahezu konstant (N=25; $\mu = 4.3$ {„stimme eher zu“} bis {„stimme zu“})

Die Veränderungen innerhalb des Projekts bezüglich der Technikakzeptanzwerte korrelieren zwischen den Messzeitpunkten sehr hoch mit $r(24) = .92$; $p < .01$.
Pre-Posttest

Ergebniserwartungen (bezogen auf das Elektrofahrzeug)

Fragen nach Begeisterung (z.B. „ich freue mich auf die Erfahrungen mit dem Elektrofahrzeug“), Nutzungserwartung („Die Nutzung des Elektrofahrzeugs ist einfach“) und zum Nutzen des Elektrofahrzeugs für Beruf, Privatleben und Umwelt („Das Elektrofahrzeug ist für meinen Beruf nützlich“) wurden gestellt. Skala 0: „Trifft überhaupt nicht zu“ bis 5: „Trifft völlig zu“.

Die Skala der Ergebniserwartung aus den 6 Einzelitems hat eine hohe bzw. sehr hohe interne Konsistenz (Cronbach Alpha = .93 für Vortest, Cronbach Alpha = .822 für Nachtest).

Die Ergebniserwartungen an ein Elektrofahrzeug nahmen in der Tendenz aber statistisch nicht relevant zu ($t(17) = -0,133$; $p > .1$ nicht sig).

Auffällig ist das Item „für meinen Beruf nützlich“. $\mu = 2.72$; $SD = 1.93$ im Vortest; $\mu = 3.17$; $SD = 1.54$. Die Steigerung war nicht signifikant ($t(17) = -0.926$; $p > .1$), aber sichtbar. Die Korrelation für dieses Item zwischen den Messzeitpunkten ist n.s. ($p > .1$)

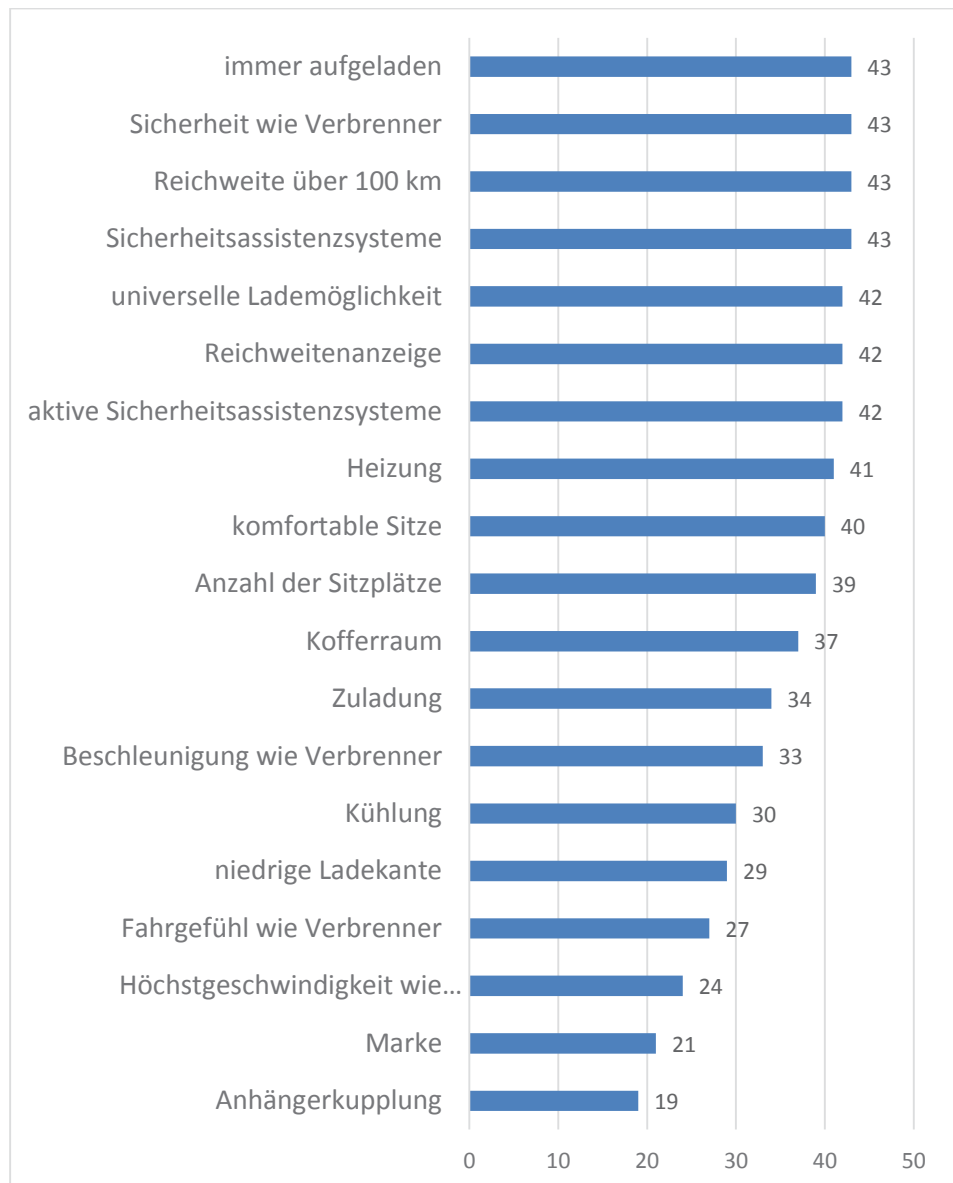
Fazit: Die Ergebniserwartungen an ein Elektrofahrzeug waren relativ stabil und wurden im Versuchszeitraum nahezu nicht geändert. Eine Tendenz zu einer positiveren Ergebniserwartung war zu verzeichnen, aber nicht statistisch auffällig. Die Einschätzungen der Ergebniserwartungen insgesamt legten positiv, aber nicht signifikant zu ($t(18) = -0.68$, $p > .01$), die Korrelation zwischen den Messzeitpunkten war hoch sig. ($N=18$; $p < .001$) Eine Analyse der einzelnen Elemente der Ergebniserwartung erbrachte für die Einschätzung der Nutzer bezüglich der Nützlichkeit des Elektrofahrzeugs für den beruflichen Einsatz einen positiven Trend.

Wie muss ein ideales Elektroauto beschaffen sein?

Die Fragen wurden nach den Ergebnissen der Interviews im Vorfeld gestellt. [Immer aufgeladen und fahrbereit; Fahrgefühl, wie ein Verbrenner; aktive Heizung, Aktive Klimaanlage; Kofferraum, niedrige Ladekante, komfortable Sitze, verlässliche Reichweitenanzeige; Sicherheitsassistenzsysteme; Marke; Anzahl der Sitzplätze über 4; Reichweite über 100km) in einer Skala (sehr wichtig.... sehr unwichtig) abgeprüft.

Wichtige Eigenschaften eines idealen Elektrofahrzeugs

Nennungen für „wichtig“ bzw. „sehr wichtig“ Eigenschaften eines idealen Elektrofahrzeugs:



Nennungen für wichtige bzw. sehr wichtige Eigenschaften an erster Stelle (N=43): Sicherheitsassistenzsysteme, Sicherheit, wie ein Verbrenner, Reichweite über 100km, immer aufgeladen. Diese Items wurden an erster Stelle bei allen Befragten mit „wichtig“ / „sehr wichtig“ genannt.

Insbesondere eine Anhängerkupplung wurde von 19 Versuchsteilnehmern als unverzichtbar angesehen.

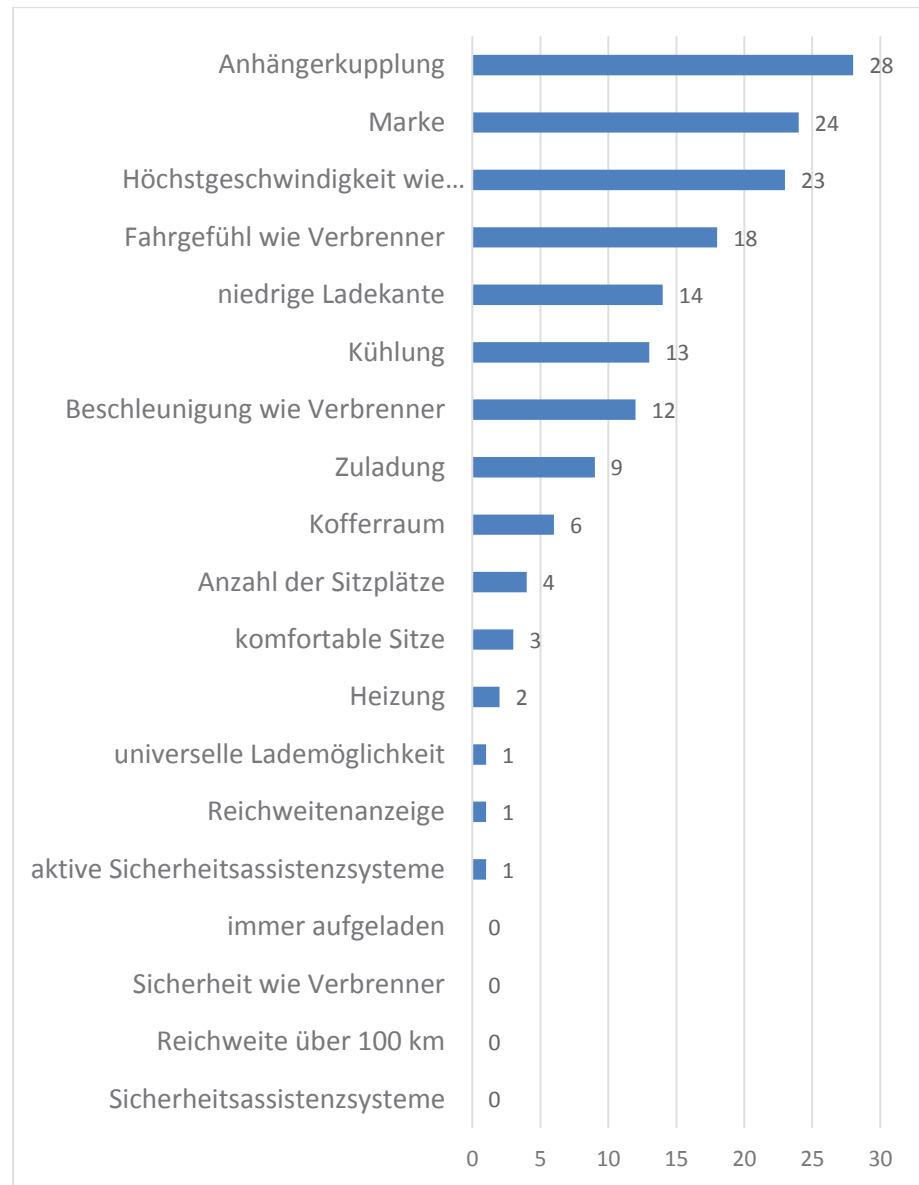
Eigenschaften eines Elektrofahrzeugs, die von den Teilnehmern als „sehr wichtig“ genannt wurden:



Hier sind die Ergebnisse eindeutiger: Bei den Eigenschaften: „Reichweite über 100 km“, „Reichweitenanzeige“ und Sicherheits- und Assistenzsysteme wollten wenige Versuchsteilnehmer verzichten.

Abstriche machen die Versuchspersonen bei dem Item „immer fahrbereit“ und bei Komforteigenschaften (Heizung, Kühlung, Kofferraum, Beschleunigung und Fahrgefühl) und Anzahl der Sitzplätze.

Unwichtige Eigenschaften von Elektrofahrzeugen
 Am anderen Ende der Skala stehen folgende Eigenschaften (Antwortmöglichkeiten / Nennungen: „unwichtig“, „sehr unwichtig“).

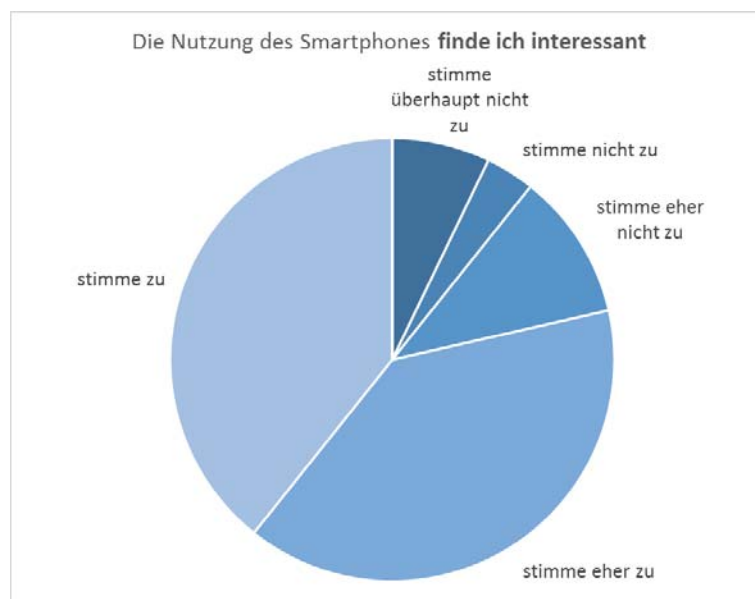
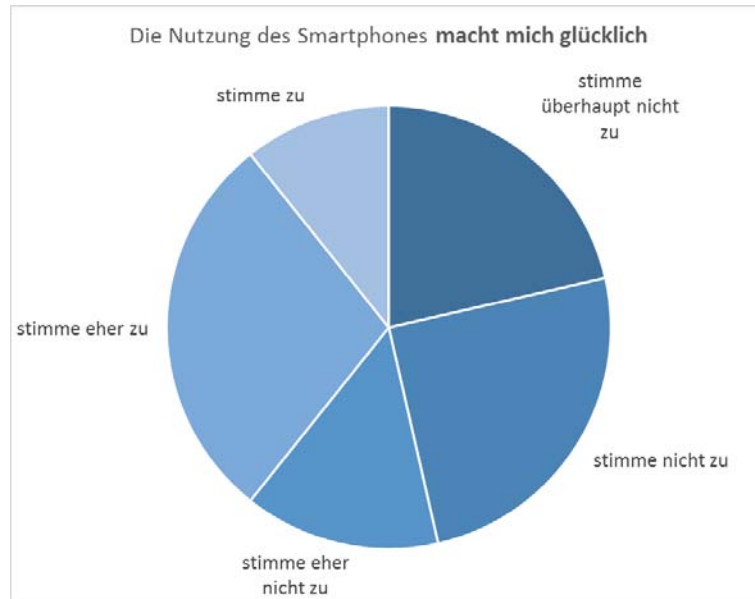


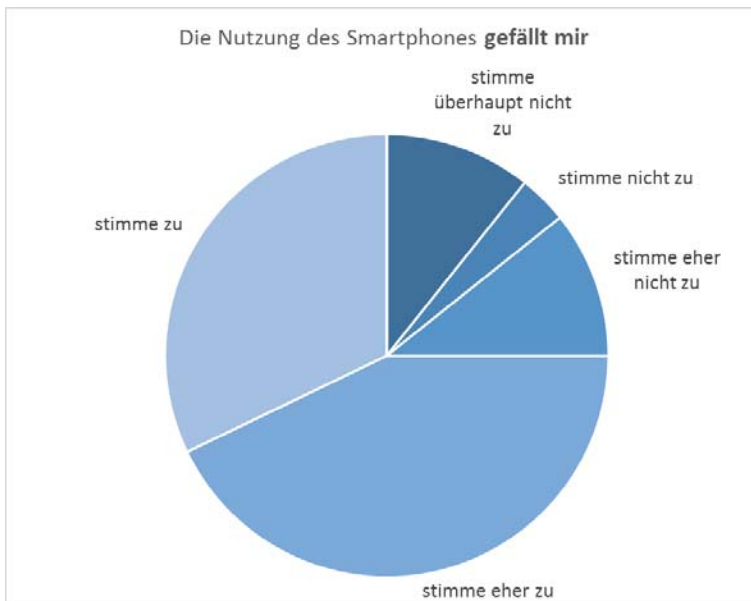
Anhängekupplung, Marke, Höchstgeschwindigkeit und Fahrgefühl wurden oft als unwichtig bzw. als sehr unwichtige Eigenschaften eines idealen Elektrofahrzeugs genannt. Insbesondere die Eigenschaften „ständig fahrbereit“ ist eine Eigenschaft, auf die keiner der Versuchspersonen verzichten will.

Affinität zur Nutzung des Smartphones

Statistiken		[macht mich glücklich]	[macht mir Spaß]	[gibt mir das Gefühl 'dabei' zu sein]	[finde ich interessant]	[finde ich stimulierend]	[gefällt mir]	[ist ein Hobby]	[ist ein notwendiges Übel]	[ist ein Zeitfresser]
N	Gültig	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Mittelwert		3,00	3,82	2,95	3,91	2,18	3,95	2,36	3,59	4,64
Modalwert		4	4	4	5	2	5	1	4	6
Standardabweichung		1,380	1,368	1,430	1,269	,958	1,253	1,432	1,368	1,364
Varianz		1,905	1,870	2,045	1,610	,918	1,569	2,052	1,872	1,861
Minimum		1	1	1	1	1	1	1	1	2
Maximum		5	6	6	5	4	5	5	6	6

Affinität zum Smartphone (8 Items, z.B. „...Ist mein Hobby“, „... ist ein Zeitfresser“, „...gefällt mir“, 6-er Skala: „Stimme völlig zu“ ... „stimme überhaupt nicht zu“) liegt im Mittelfeld (N=22, $\mu=3.11$, $SD=0.89$).





Erwartung, dass sich das Auto im Alltag bewährt und bewährt hat

Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	Wird sich das Auto Ihrer Meinung nach im Alltag bewähren?	1,56	18	,511	,121
	Hat sich das Elektroauto Ihrer Meinung nach im Alltag bewährt?	1,44	18	,511	,121

Mittelwert verbessert sich (Ja:= 1; nein := 2) in einer Tendenz, wird aber nicht sig [t(17) = 1.00; p > .05 n.s.]

Allgemeine Aussagen zu Elektrofahrzeugen

Fragen: Was halten Sie - ganz allgemein - von Elektrofahrzeugen?

[Ich halte Elektroautos ganz allgemein für eine gute Sache]

[Ich halte Elektroautos für ein gutes Mittel, das Klima zu schonen]

[Der Einsatz von Elektroautos in den Städten wird die Luft verbessern]

[Elektroautos werden in Zukunft das Auto ablösen]

Skala 0 ... 5 (trifft überhaupt nicht zu ... trifft voll und ganz zu)

Die Veränderungen waren in der Tendenz sichtbar, nur die Zukunftsaussichten für Elektroautos wurden sig.

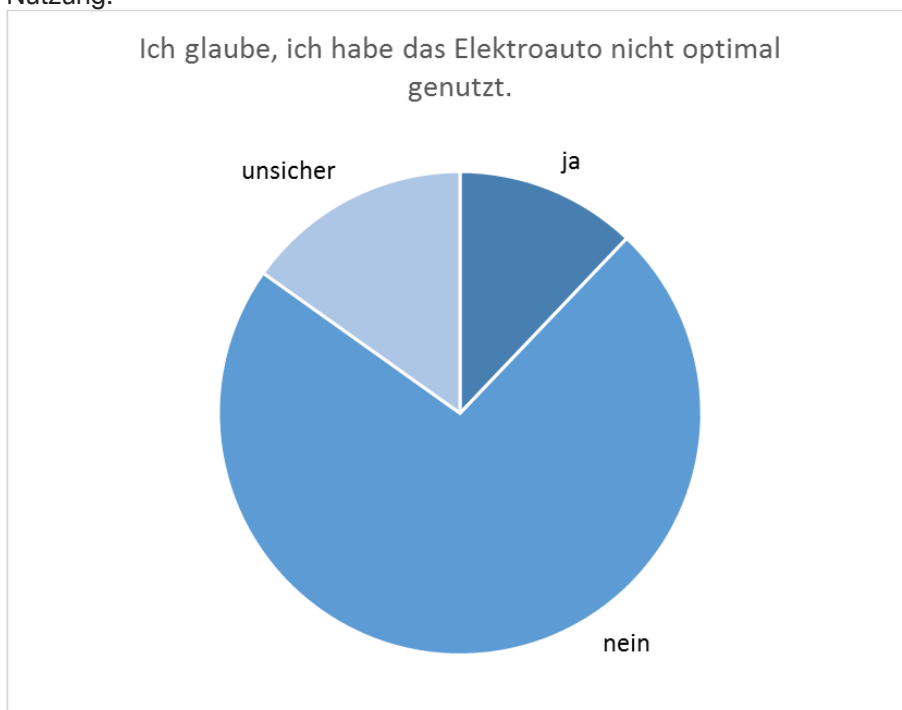
Die Versuchspersonen haben in den einzelnen Befragungen nicht stringent geantwortet. (Korrelationen der gepaarten Stichprobe nicht signifikant). Dabei wurden nur diejenigen Versuchspersonen gewertet, die zwei Messzeitpunkte erfüllt hatten.

Ein Skalenvergleich (nicht gepaarte, unabhängige Stichprobe): t(25) = -1.11, p > .05 n.s. keine signifikanten Veränderungen registrierbar.

Die allgemeinen Aussagen zum Elektroauto wurden jedoch stark von den Erfahrungen außerhalb des Projekts beeinflusst, Versuchspersonen mit Vorerfahrungen waren deutlich zuversichtlicher bezüglich der Elektromobilität als Versuchspersonen ohne Vorerfahrung. Die positiven Aussagen überwogen. ($\mu = 3.7$, [Skala von 0-5]). (einfaktorielle ANOVA: Aussagen vor dem Ende des Versuchs: F(1,79) = 6,77 p > .05; Aussagen am Ende des Versuchszeitraums: F(1,17) = 4,7; p > .05.

Berichtete Änderung der Einstellung am Ende der Versuchszeit: Abschluss, nach Wechsel und Erfahrung mit Elektroauto:

Nutzung:



[Ich glaube, ich habe das Elektroauto nicht optimal genutzt.]

Hier wollen wir etwas genauer wissen, wie sich Ihre Einstellung geändert hat.

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Ja	4	1,7	12,1	12,1
	Nein	24	10,2	72,7	84,8
	Unsicher	5	2,1	15,2	100,0
	Gesamt	33	14,0	100,0	
Fehlend	System	203	86,0		
	Gesamt	236	100,0		

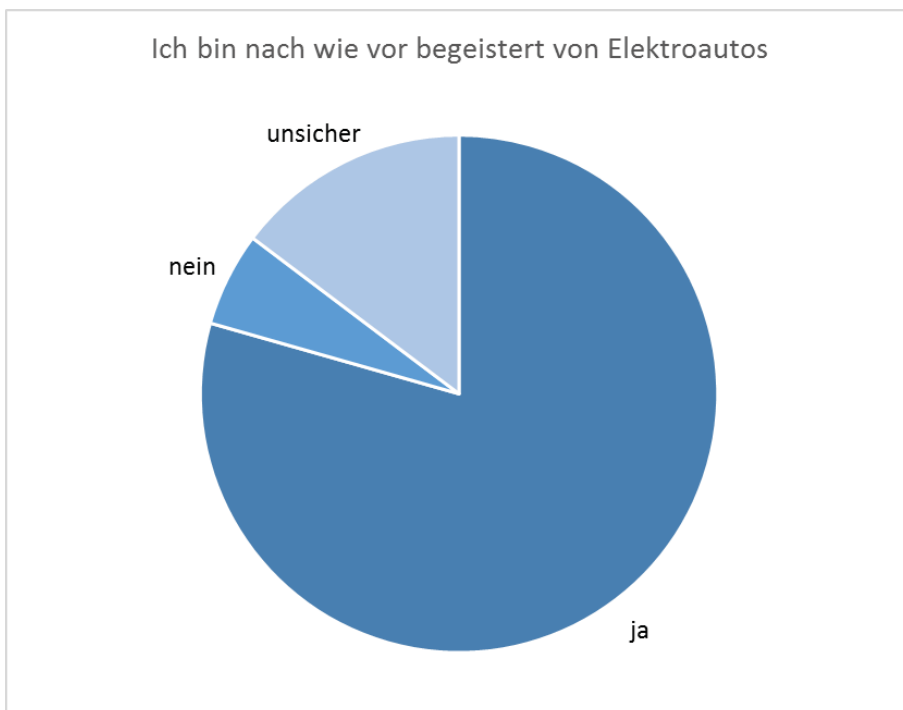
12% der Teilnehmer waren der Meinung, das Elektroauto nicht optimal eingesetzt zu haben <Gründe waren nicht herauszufinden>. Bemerkenswert ist, dass 15% der TN sich nicht sicher waren, ob sie das Elektroauto optimal eingesetzt haben. <Vermutung: fehlendes Feedback / fehlende Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten des Einsatzes eines Elektroautos / Wissen > -> weiterer Aufklärungsbedarf, wie man Elektroautos einsetzen kann/ sollte.



[Ich bin gegenüber der Ladetechnik skeptischer geworden]

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Ja	4	1,7	12,1	12,1
	Nein	22	9,3	66,7	78,8
	Unsicher	7	3,0	21,2	100,0
	Gesamt	33	14,0	100,0	
Fehlend	System	203	86,0		
Gesamt		236	100,0		

66% der Teilnehmer wurden von der Ladetechnik nicht enttäuscht/überrascht. 12% der Teilnehmer wurden im Laufe des Versuchs skeptischer, bezüglich der Ladetechnik.



[Ich bin nach wie vor begeistert von Elektroautos].

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Ja	27	11,4	79,4	79,4
	Nein	2	,8	5,9	85,3
	Unsicher	5	2,1	14,7	100,0
	Gesamt	34	14,4	100,0	
Fehlend	System	202	85,6		
	Gesamt	236	100,0		

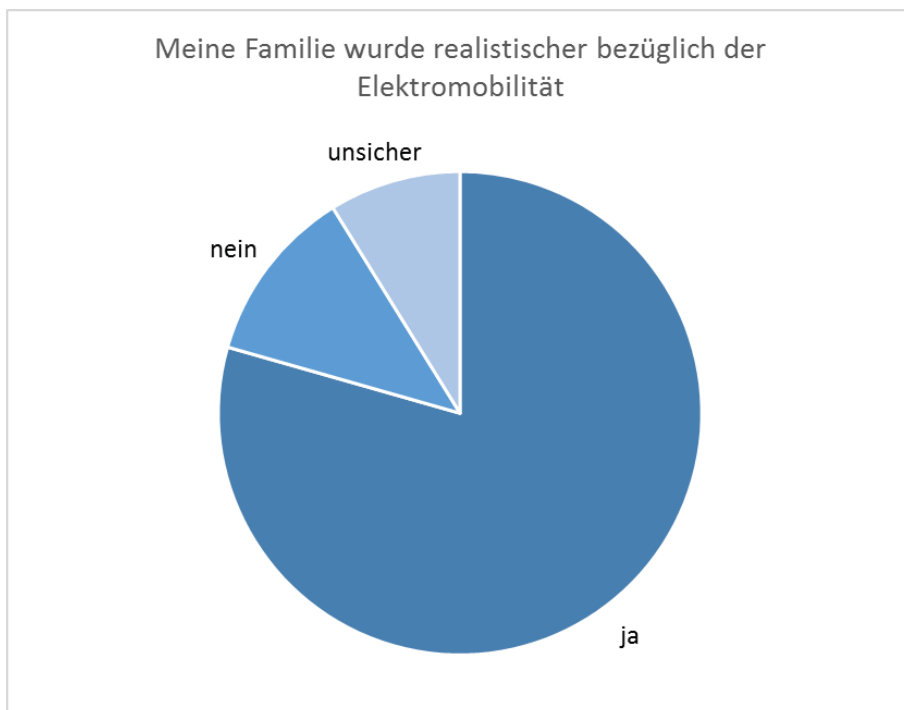
Die Begeisterung bezüglich Elektroautos ist nach wie vor ungebrochen. Nur knappe 6% der Teilnehmer waren nicht mehr begeistert von Elektroautos.



[Ich wurde skeptischer gegenüber der Elektromobilität]

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Ja	4	1,7	12,1	12,1
	Nein	22	9,3	66,7	78,8
	Unsicher	7	3,0	21,2	100,0
	Gesamt	33	14,0	100,0	
Fehlend	System	203	86,0		
Gesamt		236	100,0		

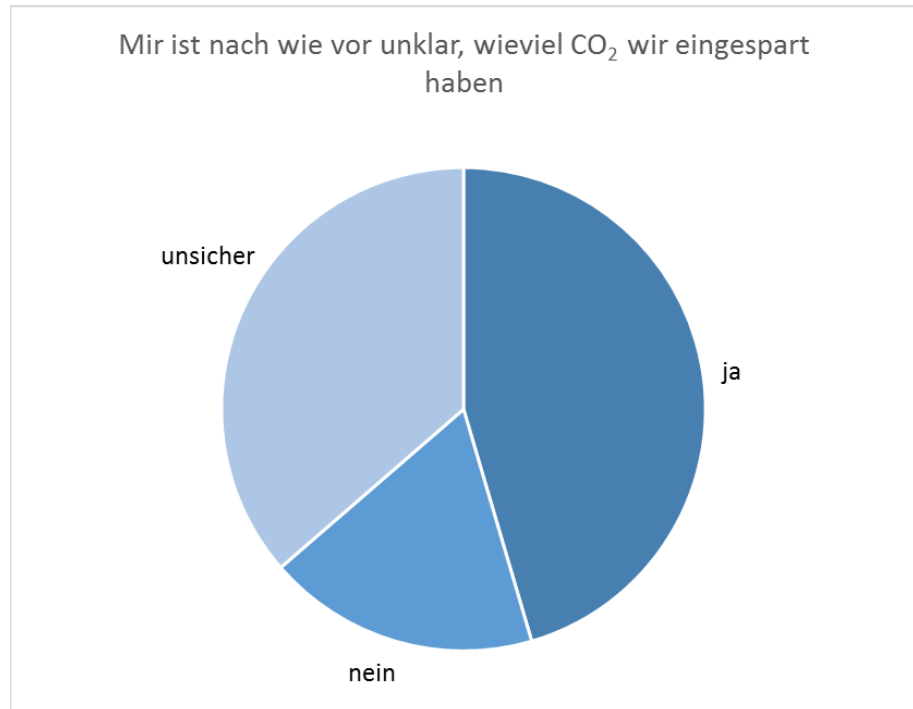
Die Skepsis gegenüber der Elektromobilität wuchs bei 12% der Teilnehmer.



[Meine Familie wurde realistischer bezüglich der Elektromobilität]

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Ja	27	11,4	79,4	79,4
	Nein	4	1,7	11,8	91,2
	Unsicher	3	1,3	8,8	100,0
	Gesamt	34	14,4	100,0	
Fehlend	System	202	85,6		
	Gesamt	236	100,0		

Offenbar wurde mit der Erfahrung mit Elektroautos auch eine realistischere Einstellung in der Familie der Teilnehmer induziert. 79% der Teilnehmer sagten aus, dass ihre Familie realistischer gegenüber der Elektromobilität geworden ist.

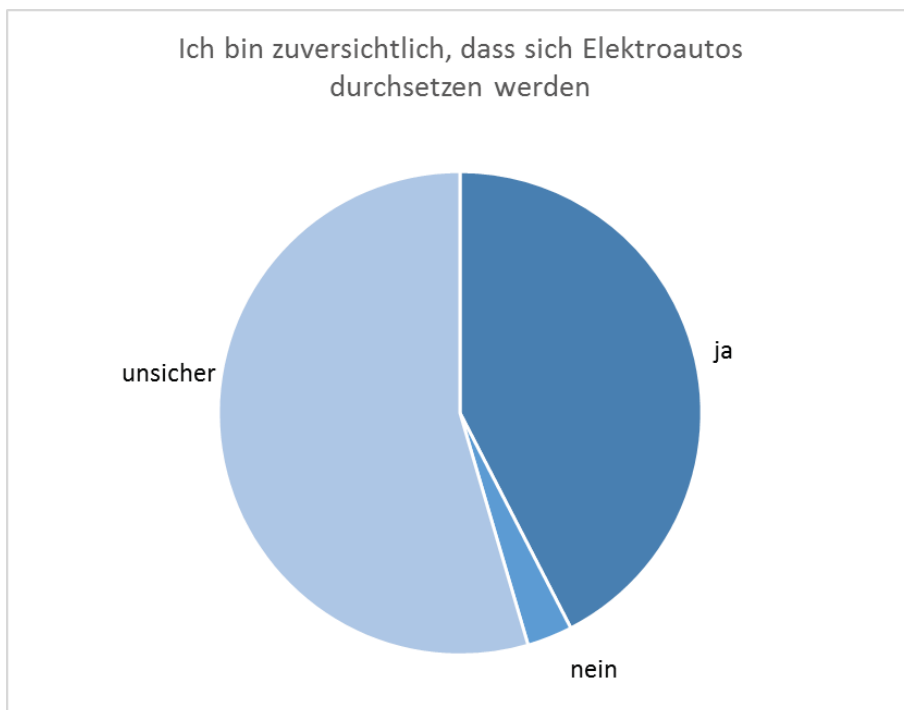


Feedback der App:

[Mir ist nach wie vor unklar, wieviel CO₂ wir eingespart haben]

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Ja	15	6,4	45,5	45,5
	Nein	6	2,5	18,2	63,6
	Unsicher	12	5,1	36,4	100,0
	Gesamt	33	14,0	100,0	
Fehlend	System	203	86,0		
	Gesamt	236	100,0		

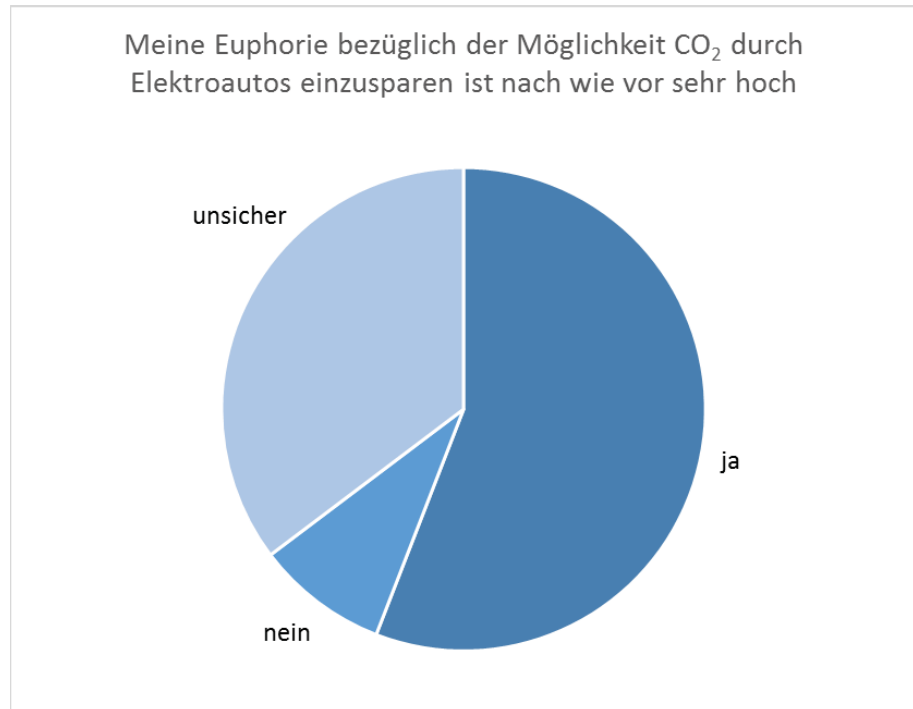
45% der Teilnehmer war am Ende des Versuchszeitraums unklar, wie viel CO₂ sie im Versuchszeitraum eingespart haben.



[Ich bin zuversichtlich, dass sich Elektroautos durchsetzen werden]
 Hier wollen wir etwas genauer wissen, wie sich Ihre Einstellung geändert hat.

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Ja	14	5,9	42,4	42,4
	Nein	1	,4	3,0	45,5
	Unsicher	18	7,6	54,5	100,0
	Gesamt	33	14,0	100,0	
Fehlend	System	203	86,0		
	Gesamt	236	100,0		

Trotzdem die Skepsis gegenüber der Elektromobilität gewachsen ist, sind 42% der Teilnehmer am Ende des Versuchszeitraums der Meinung, dass sich das Elektroauto durchsetzen wird. <Vermutung: TN vermuten, dass es keine andere Alternative gibt; ggf. Hinweis auf andere Qualitäten des Elektroautos, das zur Durchsetzung beiträgt>.



[Meine Euphorie bezüglich der Möglichkeit CO₂ durch Elektroautos einzusparen ist nach wie vor sehr hoch]

Hier wollen wir etwas genauer wissen, wie sich Ihre Einstellung geändert hat.

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Ja	19	8,1	55,9	55,9
	Nein	3	1,3	8,8	64,7
	Unsicher	12	5,1	35,3	100,0
	Gesamt	34	14,4	100,0	
Fehlend	System	202	85,6		
	Gesamt	236	100,0		

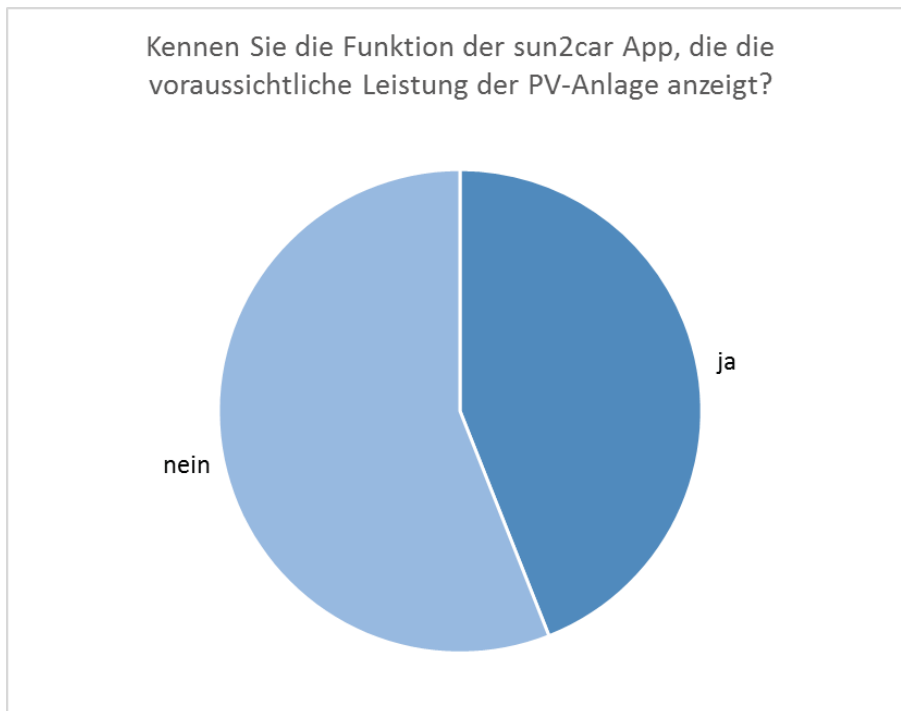
Die Teilnehmer wurden nur zu einem geringen (9%) Teil weniger euphorisch, mit der Elektromobilität CO₂ einsparen zu können. 35% der Teilnehmer zeigten sich etwas unsicher. <mit den Ergebnissen aus der Frage nach den Ergebnissen der CO₂-Einsparung, scheint die Euphorie bezüglich des CO₂ Einsparungspotenzial durch Elektromobilität relativ stark und konstant zu bleiben; es kann aber auch daran liegen, dass das Feedback der App nicht optimal ausgewertet wurde>.

Das Gefühl der Euphorie bezüglich des CO₂ Einsparungspotenzials durch Elektromobilität wurde am Ende des Versuchszeitraums (z.B. durch das Feedback der App, durch Erfahrungen mit Elektroautos, durch Veränderungen bei Normen und Werten in der Gesellschaft) offenbar nur bei 44% der Teilnehmer verändert.

sun2car-Prognose

Es wurde nach Präferenzen gefragt, die ggf. über eine CO₂-Prognose beeinflusst werden könnte.

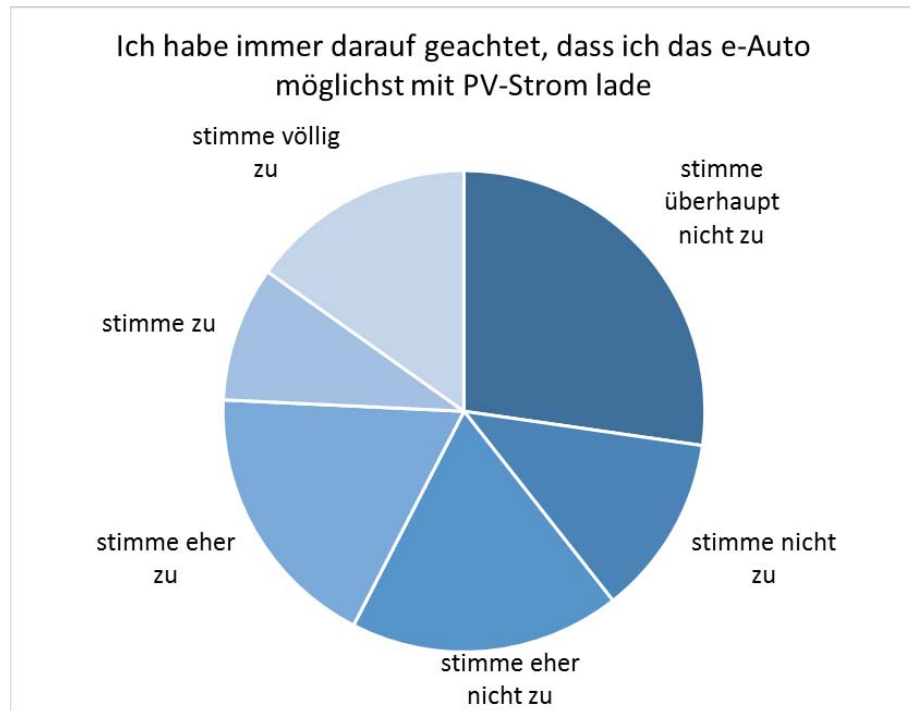
Kennen Sie die Funktion der sun2car App, die die voraussichtliche Leistung der PV-Anlage anzeigt?



44% ja, 56% nein.

Obwohl in der Einführungsveranstaltung und Wechselveranstaltung die Funktionen erläutert wurden.

Wurden die Fahrzeuge bevorzugt mit PV-Strom geladen?

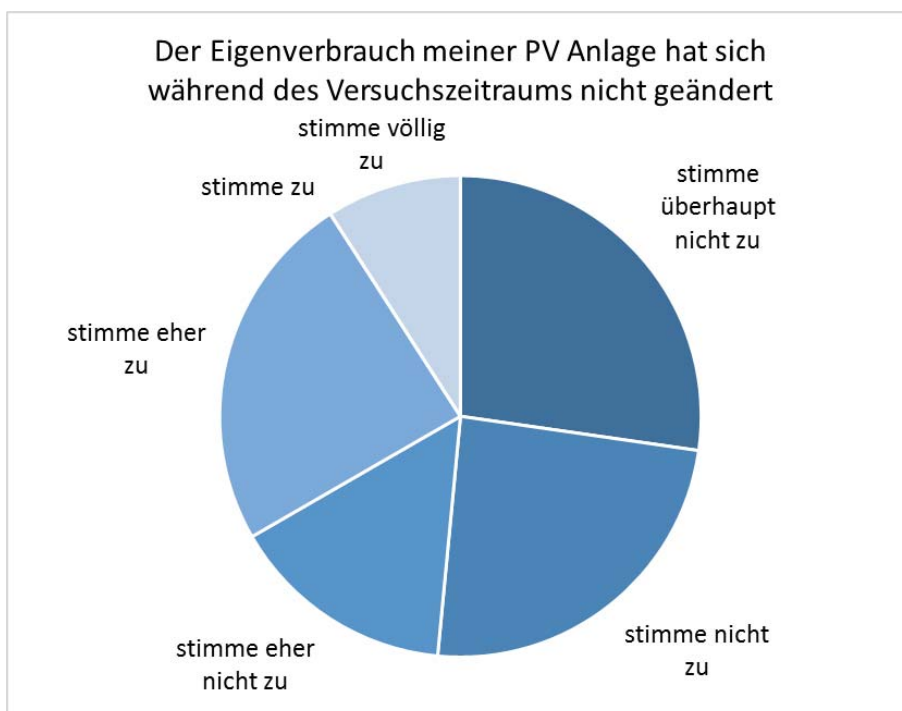


[Ich habe immer darauf geachtet, dass ich das e-Auto möglichst mit PV-Strom lade]

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	stimme über- haupt nicht zu	9	3,8	27,3	27,3
	stimme nicht zu	4	1,7	12,1	39,4
	stimme eher nicht zu	6	2,5	18,2	57,6
	stimme eher zu	6	2,5	18,2	75,8
	stimme zu	3	1,3	9,1	84,8
	stimme völlig zu	5	2,1	15,2	100,0
	Gesamt	33	14,0	100,0	
Fehlend	System	203	86,0		
Gesamt		236	100,0		

Von den Teilnehmern (N=33) achteten nur 42% darauf, das Elektroauto mit PV-Strom zu laden. <Achtung: möglicher Interaktionseffekt mit der Anzahl der Fahrten / der suboptimalen Nutzung des Elektrofahrzeugs.>

Zu vermuten ist nach diesem Ergebnis, dass sich der Eigenverbrauch der PV-Anlage nicht wesentlich geändert hat:



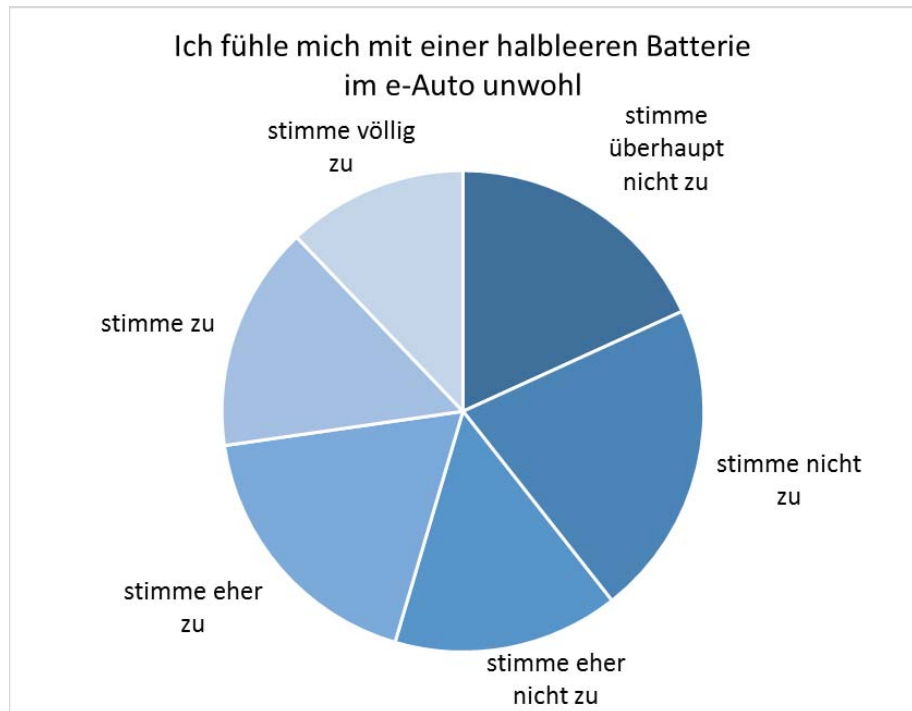
[Der Eigenverbrauch meiner PV Anlage hat sich während des Versuchszeitraums nicht geändert]

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	stimme über- haupt nicht zu	9	3,8	27,3	27,3
	stimme nicht zu	8	3,4	24,2	51,5
	stimme eher nicht zu	5	2,1	15,2	66,7
	stimme eher zu	8	3,4	24,2	90,9
	stimme völlig zu	3	1,3	9,1	100,0
	Gesamt	33	14,0	100,0	
Fehlend	System	203	86,0		
Gesamt		236	100,0		

Eine Veränderung des Eigenverbrauchs wurde von ca. 2/3 der Versuchspersonen (N=33) bemerkt. 33% der Versuchspersonen berichteten, dass sich der Eigenverbrauch nicht geändert habe.

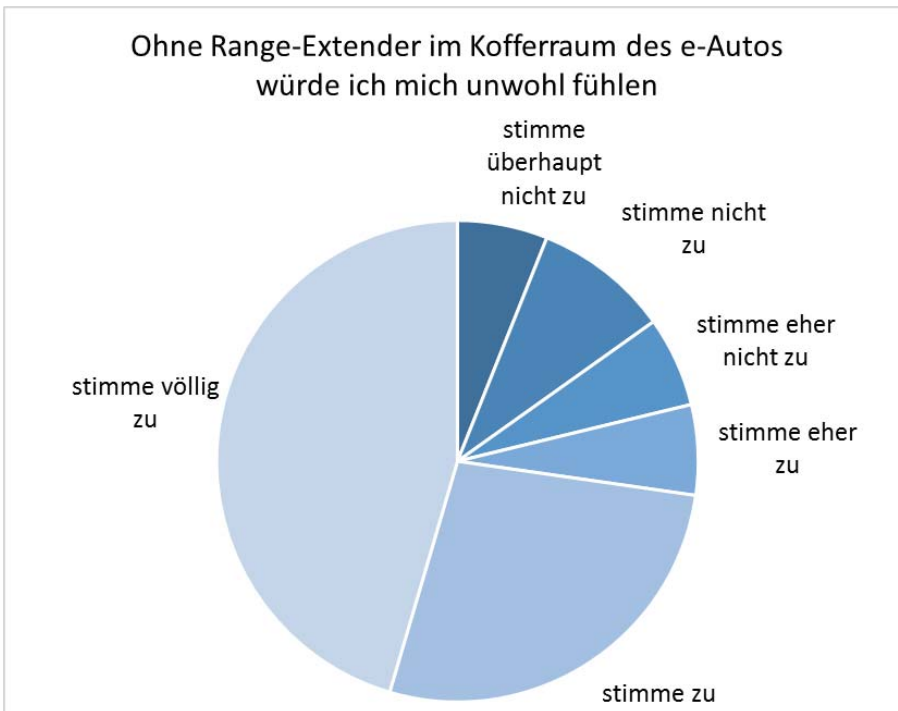
Gründe / Vermutungen des Verhaltens: Sicherheitsbedürfnis und Verfügbarkeit des Elektroautos spielen eine größere Rolle als die Präferenz, seinen CO₂-Abdruck bzw. den PV-Eigenverbrauch zu minimieren und damit den monetären Nutzen der PV-Anlage zu maximieren.

Sicherheitsbedürfnis:



[Ich fühle mich mit einer halbleeren Batterie im e-Auto unwohl]

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	stimme über- haupt nicht zu	6	2,5	18,2	18,2
	stimme nicht zu	7	3,0	21,2	39,4
	stimme eher nicht zu	5	2,1	15,2	54,5
	stimme eher zu	6	2,5	18,2	72,7
	stimme zu	5	2,1	15,2	87,9
	stimme völlig zu	4	1,7	12,1	100,0
	Gesamt	33	14,0	100,0	
Fehlend	System	203	86,0		
Gesamt		236	100,0		



[Ohne Range-Extender im Kofferraum des e-Autos würde ich mich unwohl fühlen]

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	stimme über- haupt nicht zu	2	,8	6,1	6,1
	stimme nicht zu	3	1,3	9,1	15,2
	stimme eher nicht zu	2	,8	6,1	21,2
	stimme eher zu	2	,8	6,1	27,3
	stimme zu	9	3,8	27,3	54,5
	stimme völlig zu	15	6,4	45,5	100,0
	Gesamt	33	14,0	100,0	
Fehlend	System	203	86,0		
Gesamt		236	100,0		

Über 3/4 der Versuchspersonen (N=33) fühlen sich wohler mit einem Range-Extender im Kofferraum.

Erreichbarkeitsanalyse und Multimodalität

Erreichbarkeit

Im Zuge der Erreichbarkeitsanalyse wurde ein routingfähiges GIS (Geoinformationssystem) Netzwerk auf Basis von Open Streetmap Daten erzeugt und mit *Points of Interest* wie Einkaufsmöglichkeiten, Dienstleistungen und Freizeitmöglichkeiten ergänzt. Auf dieser Grundlage konnten objektive Aussagen über die Erreichbarkeit von Wegezielen im Stadtgebiet von Garmisch-Partenkirchen getroffen werden.

Zusätzlich wurde im Rahmen der Onlineumfragen die subjektive Erreichbarkeit der individuellen Wegeziele mit verschiedenen Verkehrsmitteln abgefragt.

Abbildung 20 zeigt die Erreichbarkeitskarte mit privatem PKW für die Gesamtheit aller Teilnehmerhaushalte.

Für die Erreichbarkeitsanalysen gilt folgende Legende:



Es wird ersichtlich, dass sich das gesamte Ortsgebiet für die Teilnehmer (ohne verkehrsbedingte Verzögerungen) innerhalb von wenigen Minuten mit dem eigenen PKW erreichen lässt. Alle wichtigen Läden, Dienstleistungen und Freizeiteinrichtungen von Garmisch-Partenkirchen liegen innerhalb der 5-Minuten-Isochrone.

Abbildung 21 visualisiert dieselbe Analyse für Wege per Fahrrad.

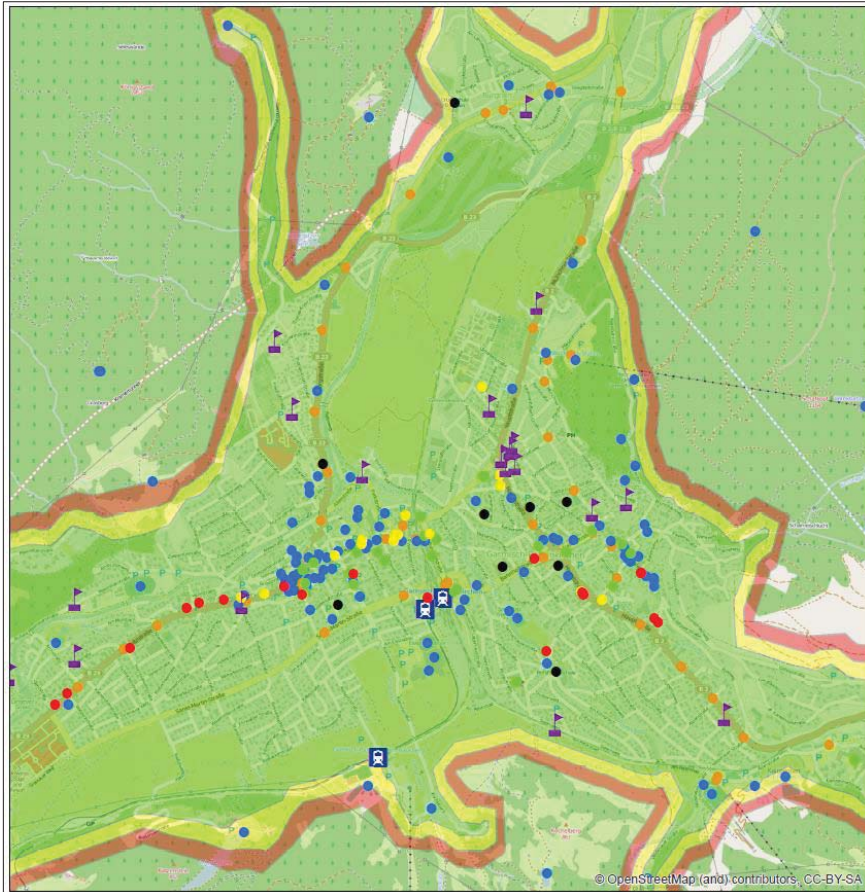


Abbildung 20: Erreichbarkeitskarte Pkw

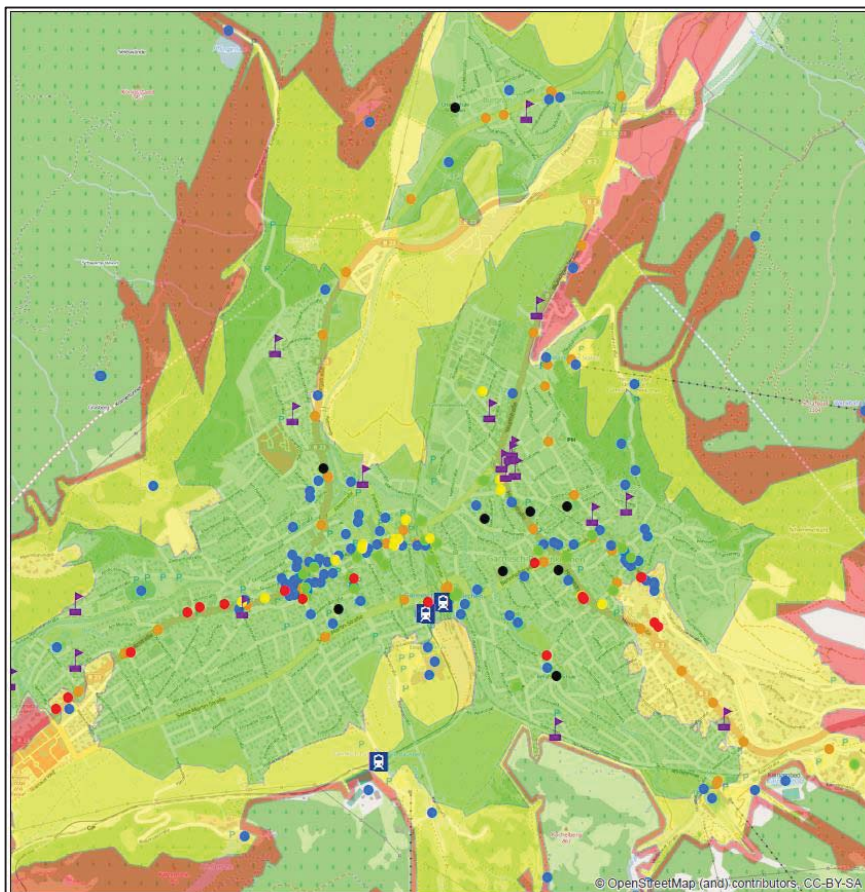


Abbildung 21: Erreichbarkeitskarte Fahrrad

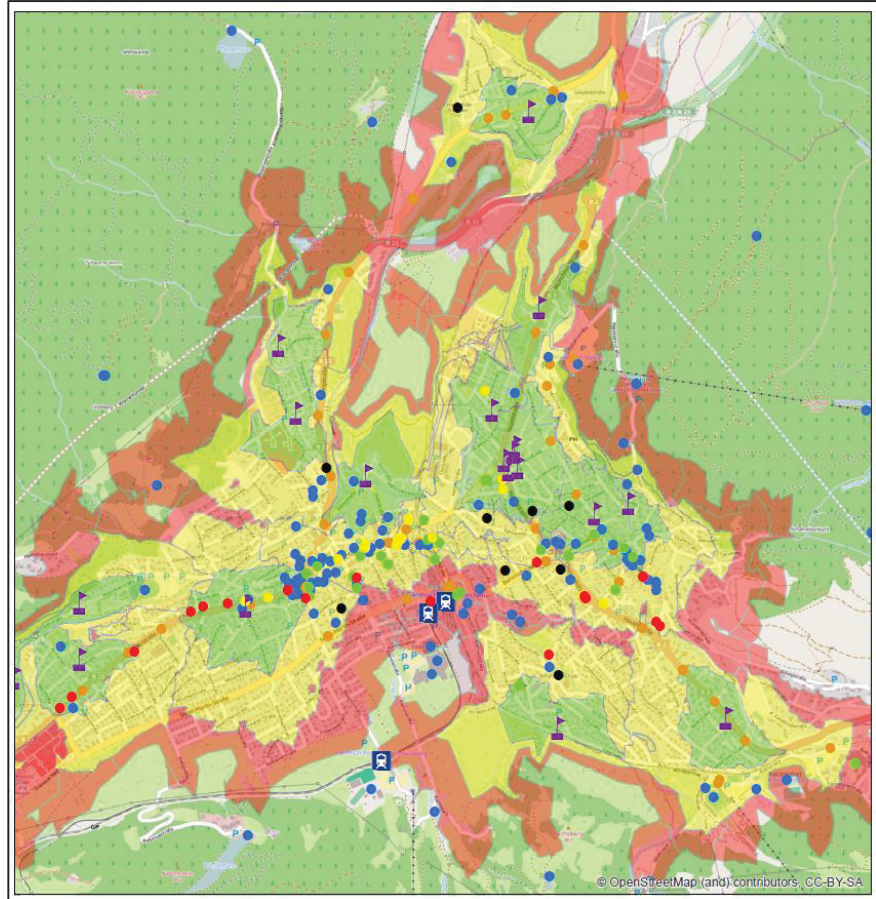


Abbildung 22: Erreichbarkeitskarte Zufußgehen

Auch hier zeigt sich, dass sich weite Teile des Gemeindegebiets innerhalb von 5 oder 10 Minuten mit dem Fahrrad erreichen lassen, während zu Fuß oft nur Ziele im direkten Wohnumfeld in kurzer Zeit erreichbar sind (vgl. Abbildung 22).

Die Ergebnisse der Umfragen bestätigen die allgemein gute Erreichbarkeit von Wegezielen im Ortsgebiet, egal ob man zu Fuß geht, mit dem Fahrrad fährt oder den Pkw nutzt. Abbildung 23 zeigt die Auswertung der Umfrage.

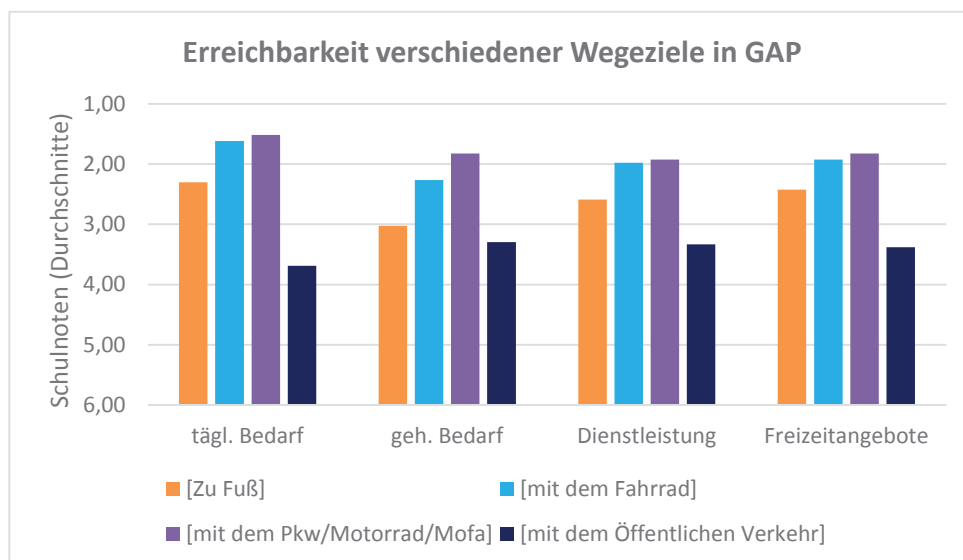


Abbildung 23: Umfrageergebnis zur Erreichbarkeit innerhalb GAP (Dezemberumfrage)

Es lässt sich beobachten, dass die abgefragten Zielkategorien am einfachsten mit dem Pkw zu erreichen sind, das Fahrrad wird jedoch ähnlich gut eingeschätzt. Während Einkaufsmöglichkeiten des täglichen Bedarfs noch relativ gut zu Fuß erreichbar sind, fällt die Bewertung beim gehobenen Bedarf schlechter aus. Der öffentliche Verkehr wird durchgehend schlecht bewertet, was die Eignung zum Erreichen verschiedener Wegeziele innerhalb von Garmisch-Partenkirchen betrifft.

Die Auswertung für den Wegezweck „Arbeit/Ausbildung/Schule“ wurde in zwei Kategorien eingeteilt: Diejenigen, die innerhalb des Ortsgebiets arbeiten oder ihren Ausbildungsort haben sowie Teilnehmer, die außerhalb des Ortsgebiets beschäftigt sind. Abbildung 24 zeigt diese Auswertung.

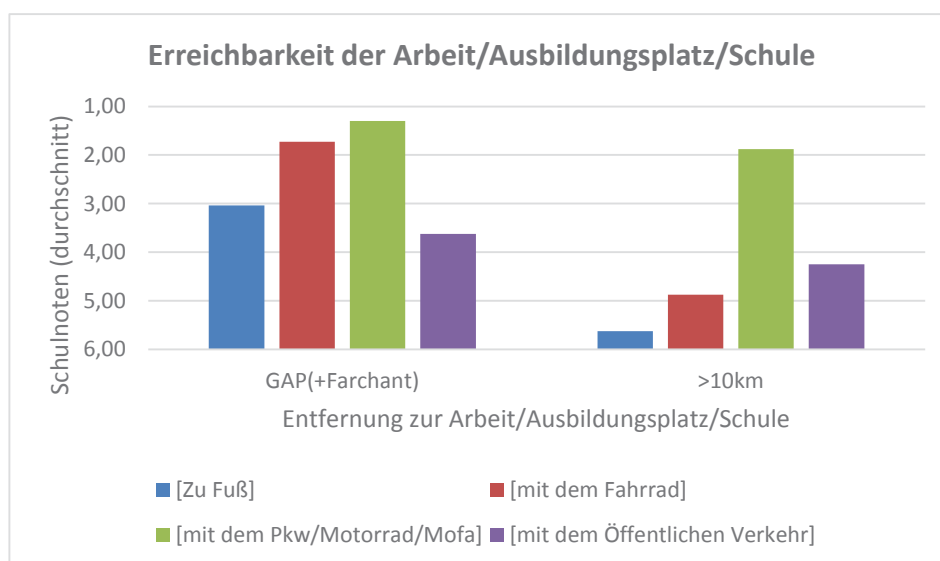


Abbildung 24: Umfrageergebnis zur Erreichbarkeit von Arbeit/Ausbildung/Schule (Dezemberumfrage)

Innerhalb von Garmisch-Partenkirchen fällt die Bewertung der Erreichbarkeit von Arbeits-/Ausbildungsplatz oder der Schule ähnlich aus wie bei den anderen Wegezielen. Pkw und Fahrrad werden sehr gut benotet, während Zufußgehen im Durchschnitt eine befriedigende Bewertung erhält. Der öffentliche Verkehr liegt im „ausreichenden“ Bereich.

Anders stellt sich die Situation für Pendler dar, was anhand der Kategorie >10km in Abbildung 24 ersichtlich wird. Erwartungsgemäß ist Zufußgehen keine Option, und auch für das Fahrradfahren sind die Distanzen zu lang, sodass der Pkw klar das geeignetste Verkehrsmittel für den Weg zur Arbeit zu sein scheint. Auch wenn der ÖV im Durchschnitt schlecht abschneidet vergeben einzelne Teilnehmer, deren Arbeitsstätte über eine Zugverbindung nach Garmisch-Partenkirchen verfügt (München und Augsburg), eine „gute“ bzw. „sehr gute“ Note für die Bahnverbindung zum Arbeitsplatz.

Zwischenergebnis zur Erreichbarkeit

Die Analyse der Erreichbarkeit mit verschiedenen Verkehrsmitteln ist eine zentrale Voraussetzung, um das Mobilitätsverhalten der Probanden verstehen und bewerten zu können.

Die Ergebnisse zeigen, dass besonders für Menschen, die außerhalb von Garmisch-Partenkirchen arbeiten, der private PKW einen hohen Stellenwert hat, wenn es darum geht zum Arbeitsplatz zu kommen. Anders stellt sich die Situation innerhalb des Ortsgebiets dar. Viele Ziele lassen sich nicht nur mit dem Auto bequem und schnell erreichen, sondern auch zu Fuß oder mit dem Fahrrad.

Vor dem Hintergrund dieser Erkenntnisse lassen sich grundsätzliche Strategien für eine klimafreundliche Mobilität ableiten:

- Optionen der Nahmobilität vor Ort verbessern
- ÖV-Angebote auf wichtigen Achsen, z.B. Richtung München, ausbauen
- Elektromobilität für den Kfz-Verkehr stärken

Vergleiche hierzu auch die Nachhaltigkeitsstrategie Garmisch-Partenkirchen, die 2013 im Rahmen des Projekts „Nachhaltiges Garmisch-Partenkirchen“ entstanden ist.

Im nächsten Abschnitt wird untersucht, wie die Probanden ihre täglichen Wege zurückgelegt haben und inwieweit sich die Verhaltensmuster über den Projektzeitraum geändert haben.

Mobilitätsverhalten

Um Veränderungen des Mobilitätsverhaltens der Teilnehmer zu erfassen, wurden diese zu drei Testzeitpunkten gefragt, wie oft sie die verschiedenen Verkehrsmittel für welche Wegezwecke nutzen. Die Fragen im November 2013 bezogen sich auf das Verhalten vor Projektstart, im Februar 2014 bezogen sich die Fragen auf den Zeitraum seit Projektstart und im September 2014 wurde abschließend nach der zweiten Projekthälfte gefragt.

Abbildung 25 bis Abbildung 29 zeigen eine Übersicht der dabei erlangten Erkenntnisse. Die Häufigkeit der Verkehrsmittelnutzung wurde in den Stufen „mindestens 3- bis 5-mal pro Woche“, „1- bis 2-mal pro Woche“, „2- bis 3-mal pro Monat“, „seltener“, „nie“ sowie „KA“ abgefragt. Zur übersichtlichen Auswertung zeigen die folgenden Abbildungen die Nennungen für eine „häufige“ Nutzung, wofür die Angaben der Kategorien „mindestens 3- bis 5-mal pro Woche“ und „1- bis 2-mal pro Woche“ summiert wurden.

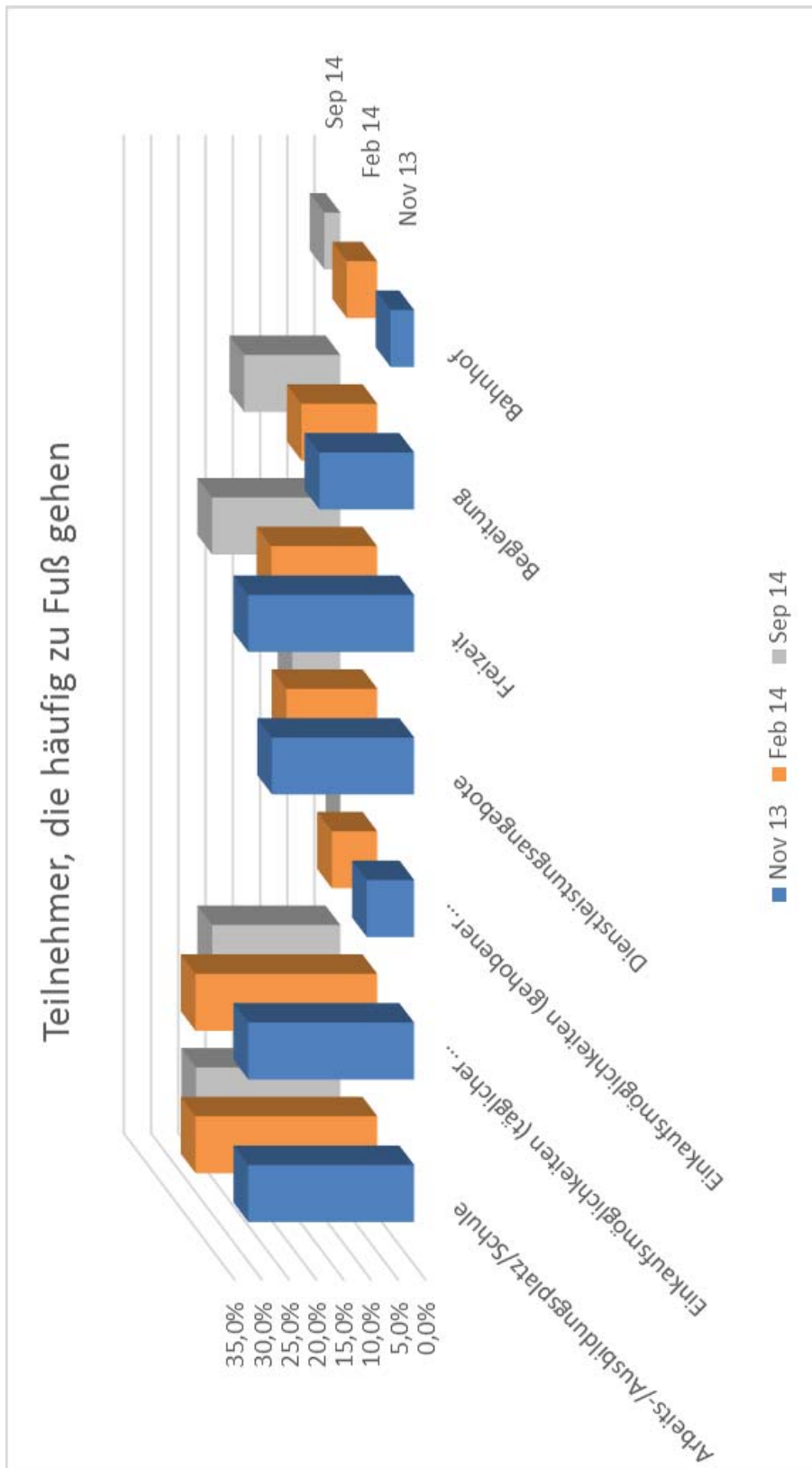


Abbildung 25: Häufigkeit Zufußgehen

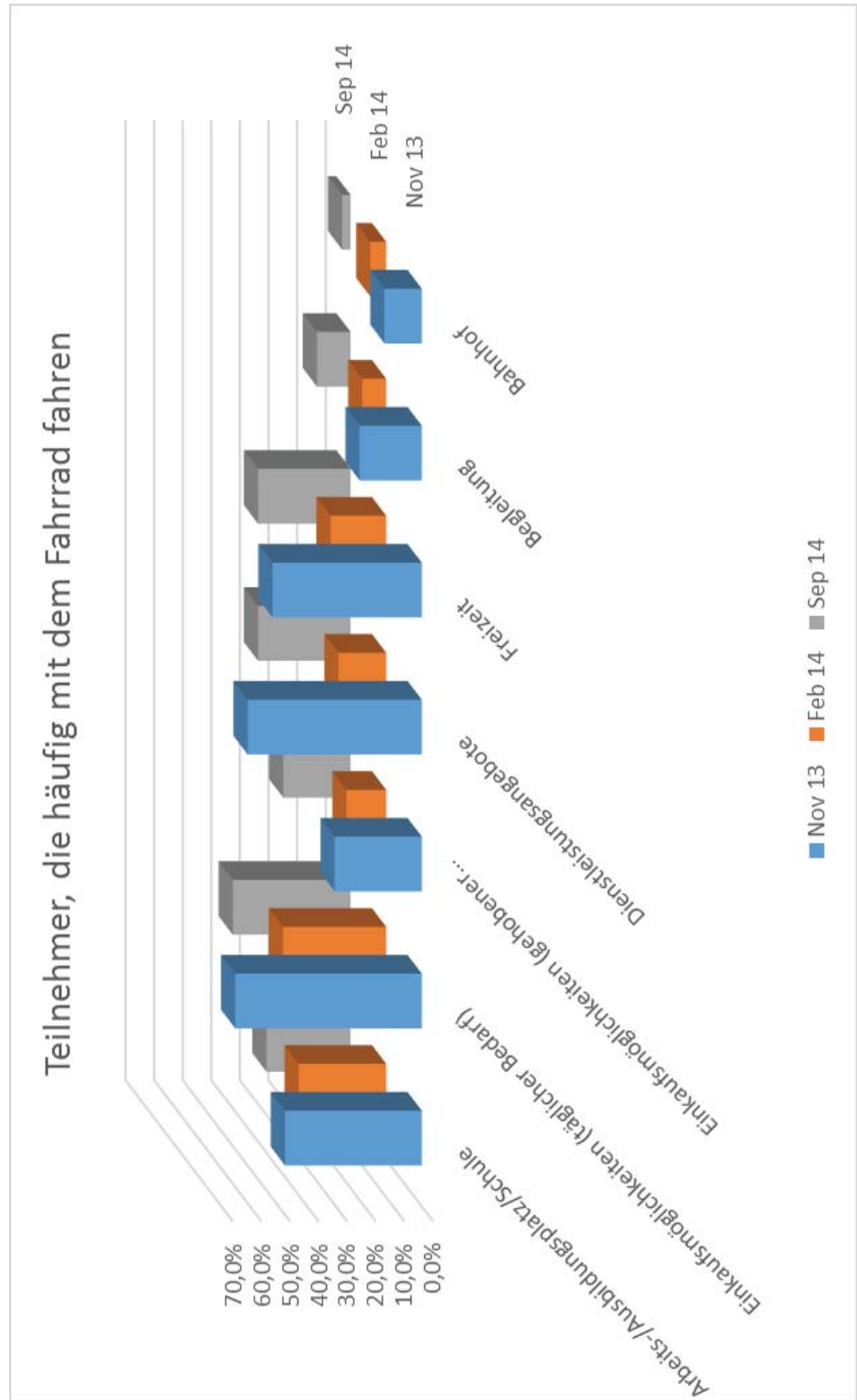


Abbildung 26: Häufigkeit Fahrrad

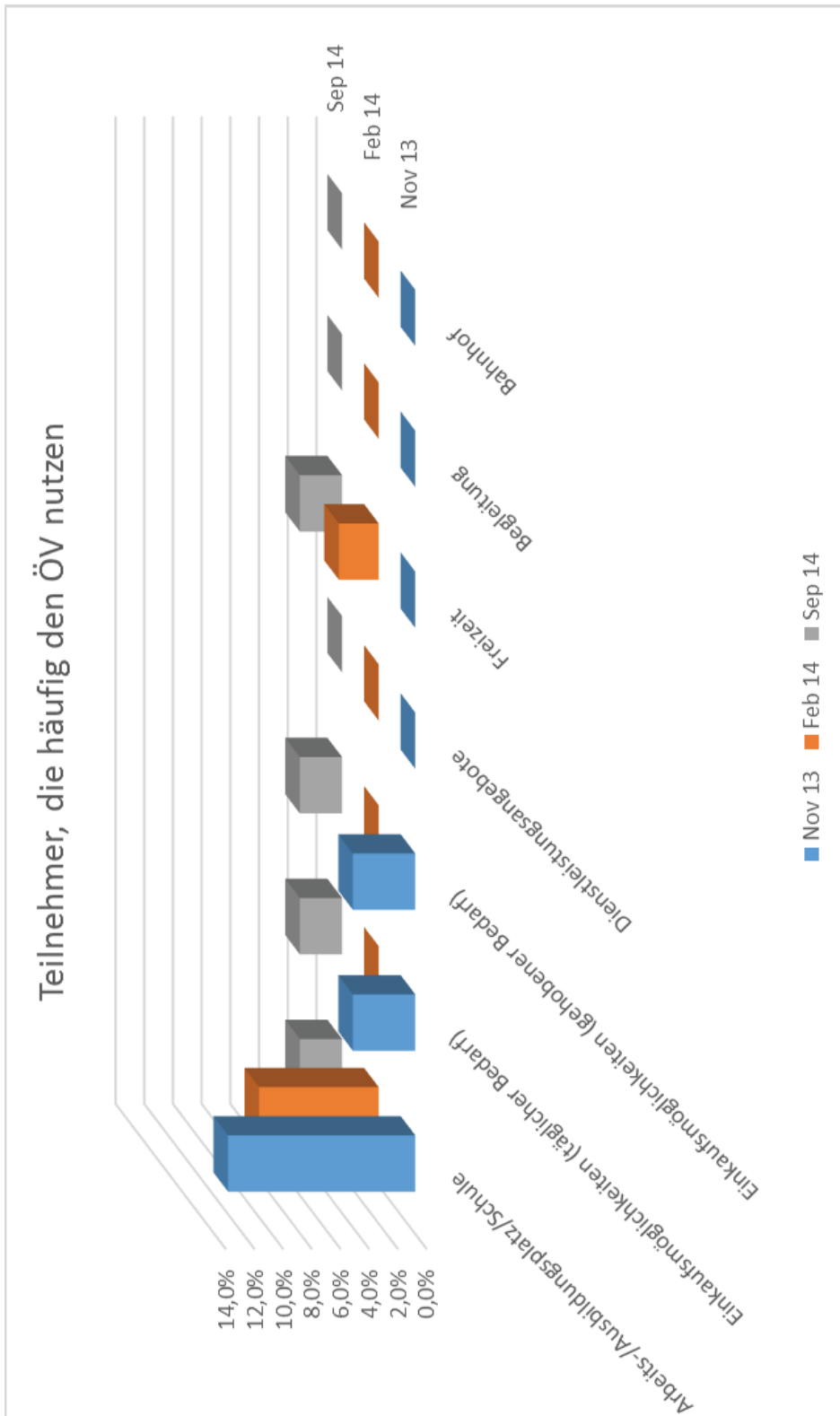


Abbildung 27: Häufigkeit ÖV

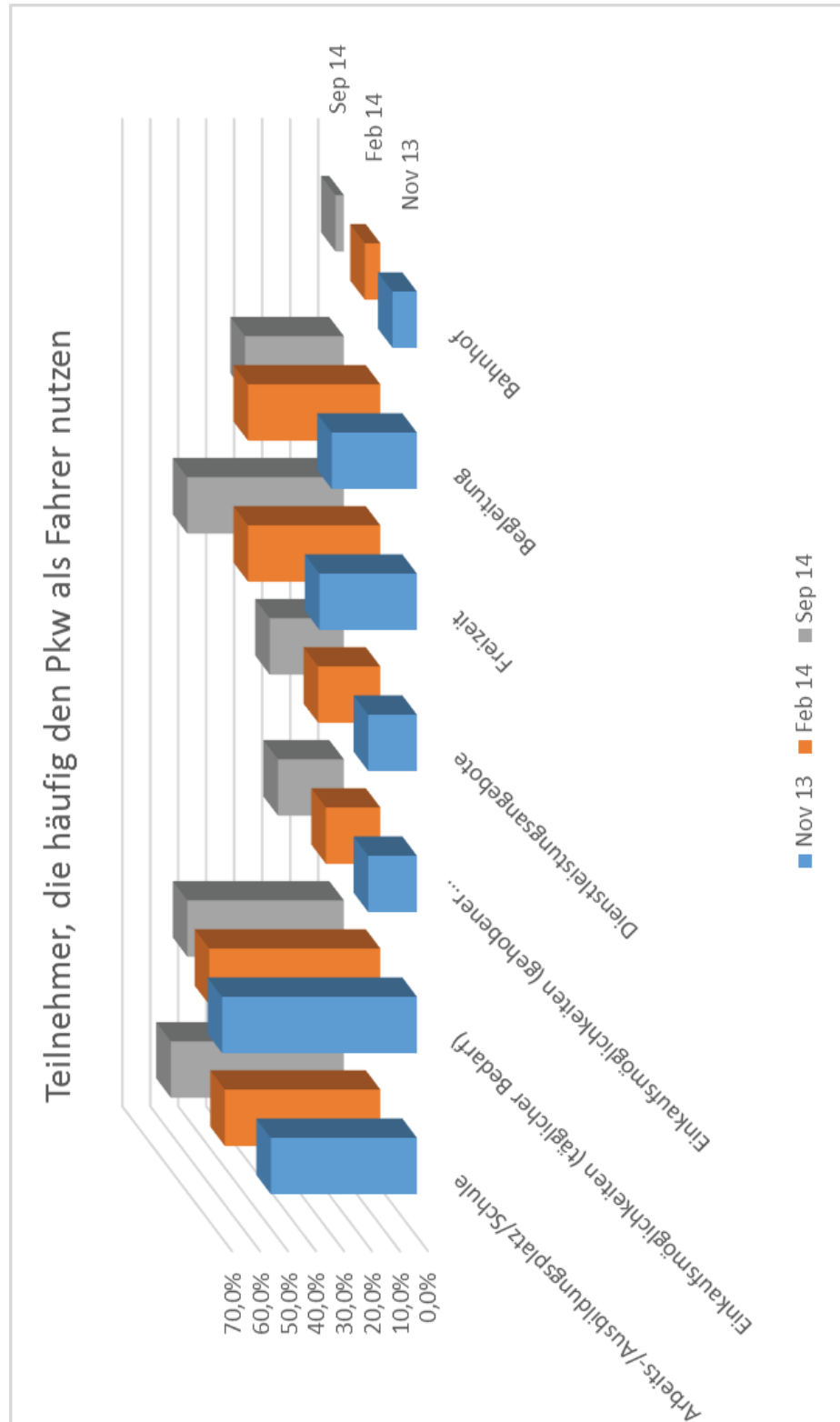


Abbildung 28: Häufigkeit Pkw-Fahrer

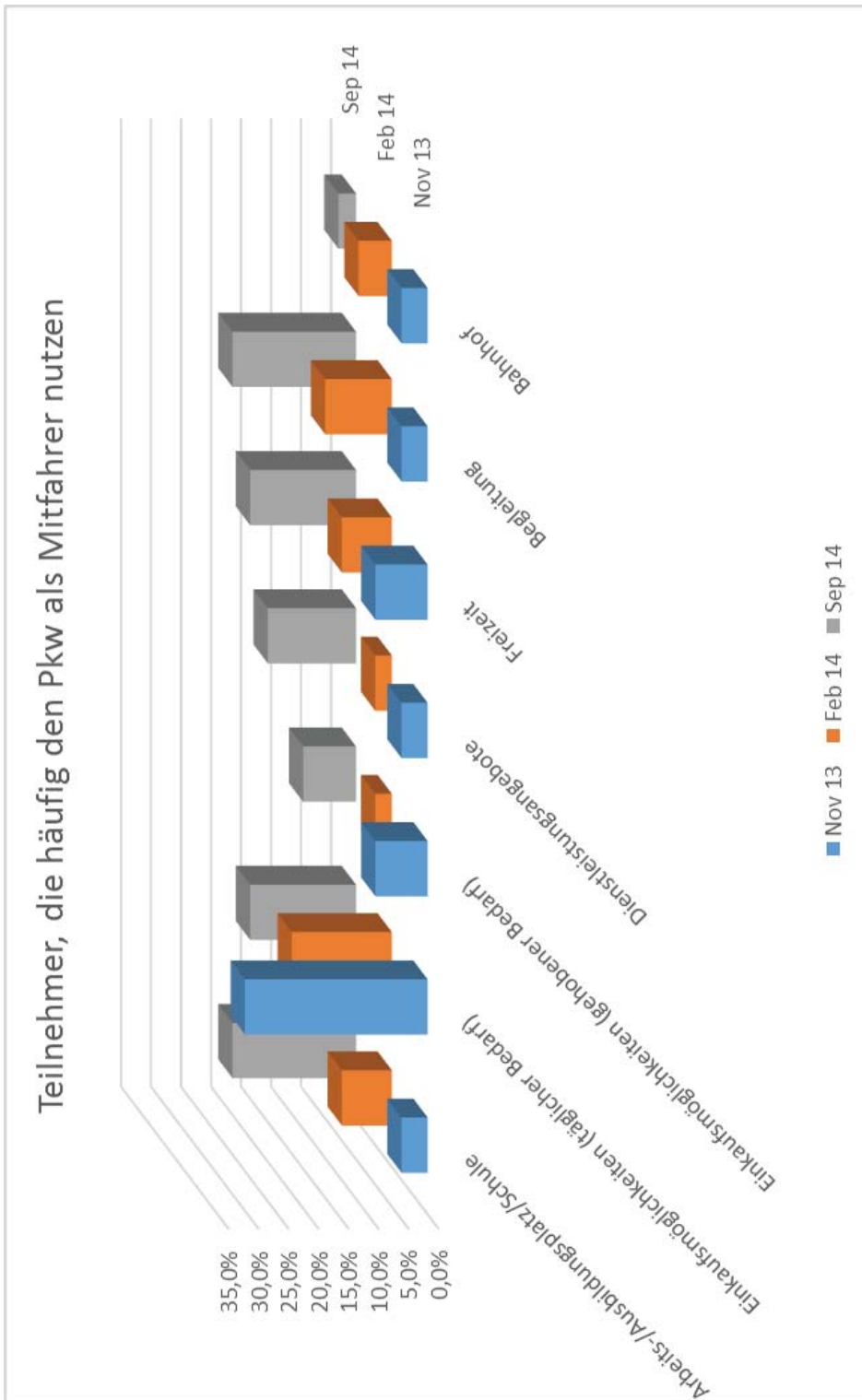


Abbildung 29: Häufigkeit Pkw-Mitfahrer

Tendenziell lässt sich beobachten, dass sich die Pkw-Nutzung über den Projektzeitraum leicht, jedoch nicht drastisch erhöht hat. Eine erhöhte Pkw-Nutzung findet insbesondere bei den Arbeits- und Freizeitwegen statt. Bei den Pkw-Fahrten zur Arbeit gab es eine leichte Steigerung über die Projektlaufzeit um ca. 10%, während der Zuwachs bei den Mitfahrern deutlich größer war (von 4% auf 21%). Der ÖV wird in Garmisch-Partenkirchen insgesamt recht wenig genutzt. Der einzige Wegezweck, der nennenswerte ÖV-Anteile aufweist, ist der Weg zur Arbeit. Aufgrund der Verfügbarkeit des zusätzlichen Fahrzeugs geht die ÖV-Nutzung hier jedoch deutlich zurück.

Zu beachten ist auch der Einfluss des Wetters. Garmisch-Partenkirchen zeichnet sich durch ein alpines Klima mit kalten Wintern aus, was insbesondere Einfluss auf das Zufußgehen und Fahrradfahren in den kalten Monaten hat.

Zur übersichtlichen Analyse der Trends und Veränderungen im Mobilitätsverhalten wurde eine zusätzliche Auswertung der Wegehäufigkeit je Verkehrsmittel durchgeführt. Der Ansatz war es, jeder der Antwortkategorien zur Wegehäufigkeit eine durchschnittliche Anzahl von Wegen pro Monat zuzuweisen (vgl. Tabelle 2). Aus der genannten Kategorie kann somit berechnet werden, wie viele Wege pro Person und Ziel im Monat zurückgelegt werden. Diese Vorgehensweise kann als plausibel gelten.

Tabelle 2: abgeschätzte Wegezahlen

Kategorie im Fragebogen	Abgeschätzt: Wege pro Woche p.P.	Abgeschätzt: Wege pro Monat pro Person
mindestens 3- bis 5-mal pro Woche	4	16
1- bis 2-mal pro Woche	1,5	6
2- bis 3-mal pro Monat	-	2,5
seltener	-	1
nie	-	0

In Verbindung mit dem für den jeweiligen Wegezweck gewählten Verkehrsmittel, lassen sich Schlüsse über die monatliche Nutzungshäufigkeit der jeweiligen Verkehrsträger ableiten.

Das Ergebnis in Abbildung 30 zeigt eine Synthese über die Veränderung im Mobilitätsverhalten. Es wird deutlich, dass die Nutzung des Pkw als Fahrer und Mitfahrer über den Projektzeitraum häufiger wird, während weniger häufig zu Fuß gegangen, Fahrrad gefahren und vor allem der ÖV genutzt wird.

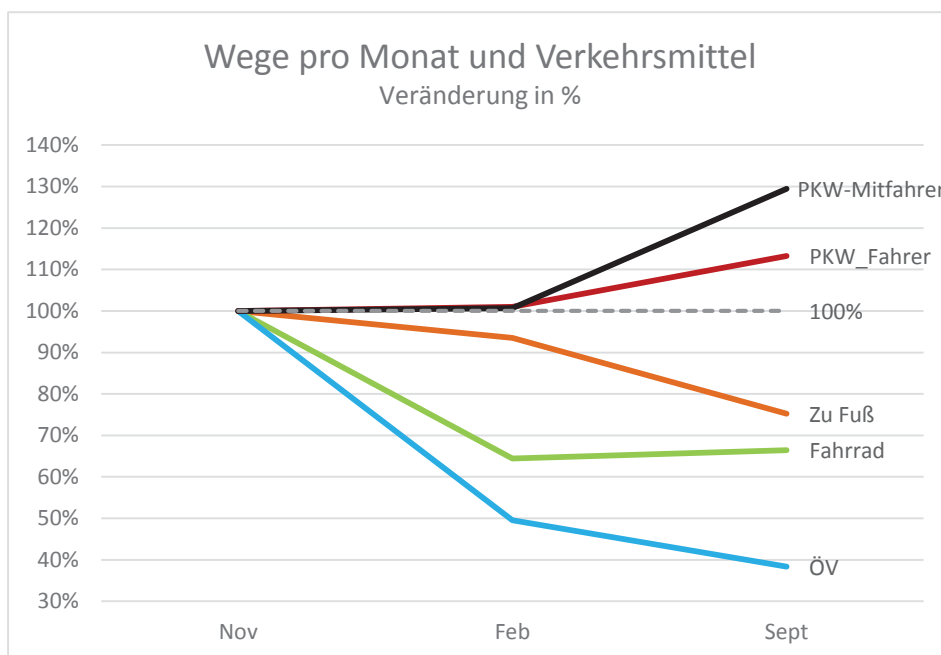


Abbildung 30: Wege pro Monat und Verkehrsmittel

Persönliche Einstellungen zur Multimodalität

Weitere Elemente der Onlineumfragen bestanden darin, persönliche Einstellungen, Präferenzen und Ansichten gegenüber Mobilität im Allgemeinen und insbesondere der Kombination und Verknüpfung verschiedener Verkehrsmittel („Multimodalität“) zu erfassen. Hierfür wurden verschiedene Frageblöcke erstellt, deren wichtigste Erkenntnisse im Folgenden dargestellt werden.

In der Dezemberumfrage wurden allgemeine Aussagen über die Mobilitätsangebote in Garmisch-Partenkirchen abgefragt. Prägnant war dabei die Aussage, dass eine große Mehrheit (63 %) den kürzesten Weg zum Ziel bevorzugt, der schönste oder bequemste Weg spielt seltener eine Rolle. Ein Drittel der Befragten gab zudem an, das Verkehrsmittel je nach Wetterbericht zu wählen.

Angebote wie Quaddräder, Mietwägen oder Carsharing am Standort Garmisch-Partenkirchen waren nur einem sehr kleinen Anteil der Teilnehmer genau bekannt.

Im April 2014 wurde detailliert nach dem Umweltbewusstsein und der Rolle des Verkehrs im Hinblick auf einer Verringerung von Umweltbelastungen gefragt. Im Allgemeinen hat die Testgruppe ein sehr ausgeprägtes Umweltbewusstsein und bewertet den Schutz der Umwelt als sehr wichtig.

Gefragt nach der Verringerung der Pkw-bezogenen Emissionen und Umweltbelastungen fällt das Bild eher zweigeteilt aus. Während allgemeine Maßnahmen wie die Förderung einer Stadtentwicklung, die nicht vom Auto abhängig macht, von fast 90 % befürwortet werden sinkt die Zustimmung bei Maßnahmen, die die individuelle Fahrzeugnutzung einschränken. Beispielhaft hierfür wird ein generelles Tempolimit von 130 km/h von rund 60 % befürwortet, was jedoch deutlich höher ist als im Bundesdurchschnitt. 60 % der Teilnehmer geben auch an, zurzeit die eigene Pkw-Nutzung zugunsten geringerer Umweltauswirkungen einzuschränken.

Die Befragten achten meist heute schon auf eine treibstoffsparende Fahrweise und möchten zukünftig kraftstoffsparende Fahrzeuge beim Kauf zu bevorzugen.

Dabei sind 34 % bereit, für nachhaltige Mobilität im Alltag mehr Geld auszugeben.

Maßnahmen zur Verlagerung des Pkw-Verkehrs auf das Fahrrad werden positiv aufgenommen (rund 75 % Befürworter), die Verlagerung auf den ÖV wird nur von 40 % unterstützt. Hier spiegelt sich die generelle Unzufriedenheit der Testgruppe mit dem ÖV wieder, während die Erreichbarkeit per Fahrrad als gut eingeschätzt wird.

Einfluss des zusätzlichen Autos auf den Haushalt

Eine der Haupthypothesen ist, dass die Teilnehmer durch das Vorhandensein eines zusätzlichen Pkw im Haushalt auch mehr Autofahren.

In den oben gezeigten Diagrammen zur häufigen Nutzung von Verkehrsmitteln (Abb. 29 - 31) lässt sich dieser Trend für viele Wegezwecke bestätigen.

Um die Fahrzeugnutzung besser zu verstehen, wurde in der Juliumfrage in der Form „Wie sehr fühlen Sie sich auf den Wegen zu [Wegeziel] abhängig vom eigenen Auto?“ nach der Abhängigkeit vom eigenen Pkw gefragt (vgl. Abbildung 31).

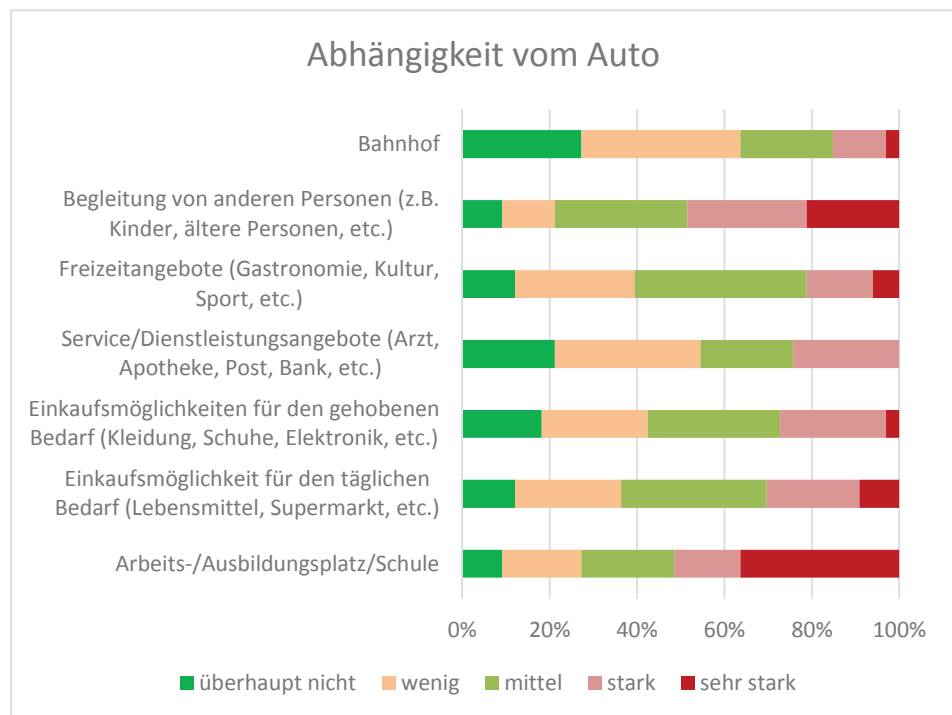


Abbildung 31: Abhängigkeit vom Auto

Dabei gaben 50 % an, sich auf dem Weg zur Arbeit/Ausbildungsplatz/Schule „sehr stark“ oder „stark“ vom Pkw abhängig zu fühlen. Bei Wegen zum Einkaufen oder zu Dienstleistungen fühlen sich 40 % bis 50 % überhaupt nicht oder nur wenig abhängig vom privaten Fahrzeug. Am geringsten fiel die Abhängigkeit bei Wegen zum Bahnhof aus, wo weniger als 20 % angeben, stark bis sehr stark vom Pkw abhängig zu sein.

Dementsprechend wurde das zusätzliche Fahrzeug auch im Alltag bewertet. Abbildung 32 zeigt verschiedene Selbsteinschätzungen der Teilnehmer.

Die Ergebnisse decken sich weitgehend mit der Beobachtung, dass die Pkw Nutzung durch das zusätzliche Fahrzeug zwar zunimmt, jedoch nicht sehr stark. Über 80 % geben an, mit dem Audi oft ihr eigenes Fahrzeug zu ersetzen, sodass der Audi in diesen Fällen keine wirkliche Veränderung des Mobilitätsverhaltens darstellt. Trotzdem geben 80 % an, dass der Audi einen positiven Einfluss auf

die persönlichen Mobilitätsmöglichkeiten hat. Demnach ist zu vermuten, dass das zusätzliche Auto als ‚Backup‘ dient und alle Familienmitglieder zumindest die Option haben, PKW zu fahren, auch wenn sie sich letztendlich bei vielen Wegen für andere Verkehrsmittel entscheiden. Diese Vermutung stützt sich auch auf die Tatsache, dass viele Probanden (60 %) angeben, eigentlich kein zusätzliches Fahrzeug zu benötigen.

Abbildung 33 (Septemberumfrage) zeigt das Ergebnis der Frage, für welchen

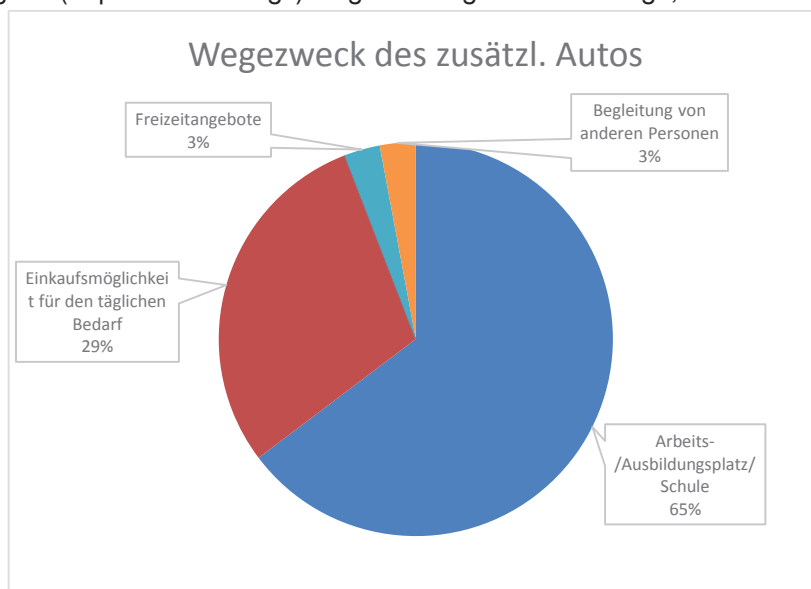


Abbildung 33: Wegezweck des zusätzlichen Fahrzeugs

Zweck das Auto hauptsächlich verwendet wurde. Zwei Drittel der Befragten gaben an, mit dem Fahrzeug hauptsächlich zur Arbeit/Ausbildung/Schule zu fahren. Dies deckt sich mit der Aussage, dass zu diesen Orten die Autoabhängigkeit am größten ist (vgl. Abbildung 31). Es gab hier keinen Unterschied zwischen der e-tron Gruppe und den Teilnehmern mit konventionellem Fahrzeug.

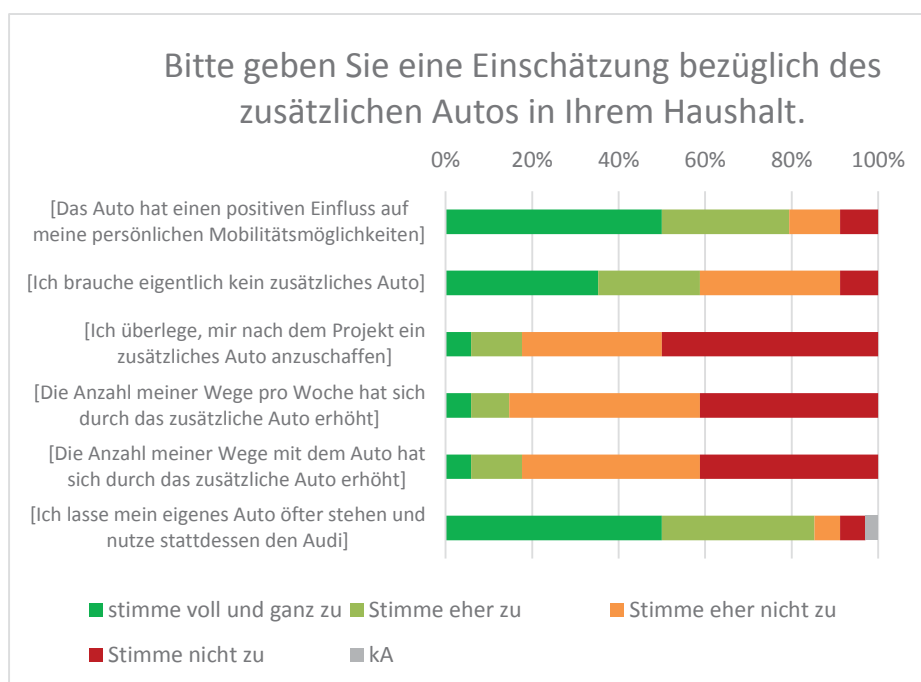


Abbildung 32: Einschätzung des zusätzlichen Autos

Zur Frage, ob das Fahrzeug zusätzliche Pkw-Wege induziert, geben in der Septemberumfrage (vgl. Abbildung 32) weniger als 20 % an, durch das neue Auto mehr Wege zurückzulegen oder für mehr Strecken den Pkw zu wählen. Laut Juli-umfrage ist die Verkehrsmittelwahl aber für rund 70 % der Probanden durch ein Elektroauto variantenreicher geworden. 80 % der Probanden beschäftigen sich durch das Projekt mehr mit nachhaltiger Mobilität und 65 % achten darauf, Wegeziele intelligent zu verknüpfen, um Wege einzusparen.

Fazit und Ausblick

Die Probanden wurden in der letzten Umfrage im September abschließend gefragt, was sie für die Zeit nach Projektabschluss erwarten.

Der Anteil der Teilnehmer, die planen einen zusätzlichen Pkw anzuschaffen ist mit unter 5 % sehr gering. Etwas wahrscheinlicher ist es, dass Haushalte einen bestehenden Pkw durch ein Elektrofahrzeug ersetzen (ca. 15 %). Während ein Drittel angibt, sich nach dem Projekt genau so zu verhalten wie vor dem Projekt streben rund 50 % an, sich vermehrt mit Elektromobilität auseinanderzusetzen. 45 % streben an, sich um mehr Nachhaltigkeit im eigenen Mobilitätsverhalten zu bemühen.

Hauptaussagen der öffentlichen Umfrage zur Akzeptanzuntersuchung

Bei der öffentlichen Umfrage wurde die Nutzerakzeptanz bzgl. Mobilitätseingriffen sowie –alternativen abgefragt. Zwei wesentliche Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

Dabei ist in Abbildung 34 klar zu erkennen, dass Mobilität als Grundbedürfnis nicht von außen steuerbar ist.

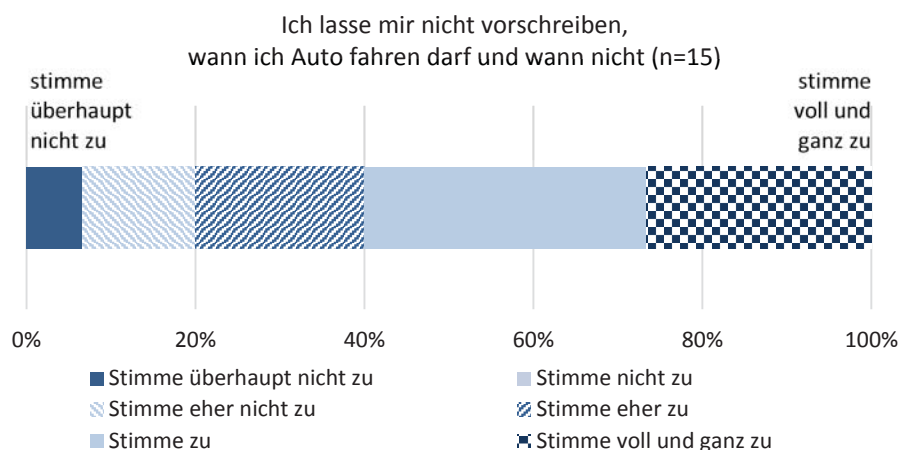


Abbildung 34: Umfrageergebnisse Mobilitätseingriffe

Weitergehend von der reinen Steuerung von außen wurde in einer Fallstudie die Möglichkeit zur eigenen Alternativensuche zur Verbesserung der Emissionsbilanz untersucht.

Fallstudie:

„Es ist ein schöner Sommertag, 12.00 Uhr Mittag. Die Sonne scheint. Sie besitzen ein EV, das über Ihre PV geladen wird. Diese bringt bis 14.30 Uhr die maximale Leistung, danach sinkt sie. Um 17.00 Uhr bringt die Anlage nur noch 10 % der Leistung.

Das Auto wird in 3 Stunden voll geladen sein und so könnten Sie einen Ausflugsstermin morgen mit dem EV wahrnehmen. Laut Reichweitenanzeige haben Sie aktuell 15 % Ladung. Sie könnten mit dem EV also ohne Laden 22 km fahren. In den nächsten 2 Stunden müssten Sie für das Abendessen einkaufen. Das Geschäft ist etwa 4 km entfernt. Sie werden ca. 1/2 Stunde im Geschäft zum Einkaufen benötigen.

Wenn Sie mit dem Auto fahren, sind Sie in einer Stunde wieder zurück. Wenn Sie mit dem Fahrrad fahren, sind Sie in 90 Minuten wieder zurück.

Morgen wollen Sie mit dem EV von GAP nach Weilheim fahren, um dort Ihren Freunden das Auto zu zeigen. (Entfernung GAP-Weilheim ca. 47 km, einfach),

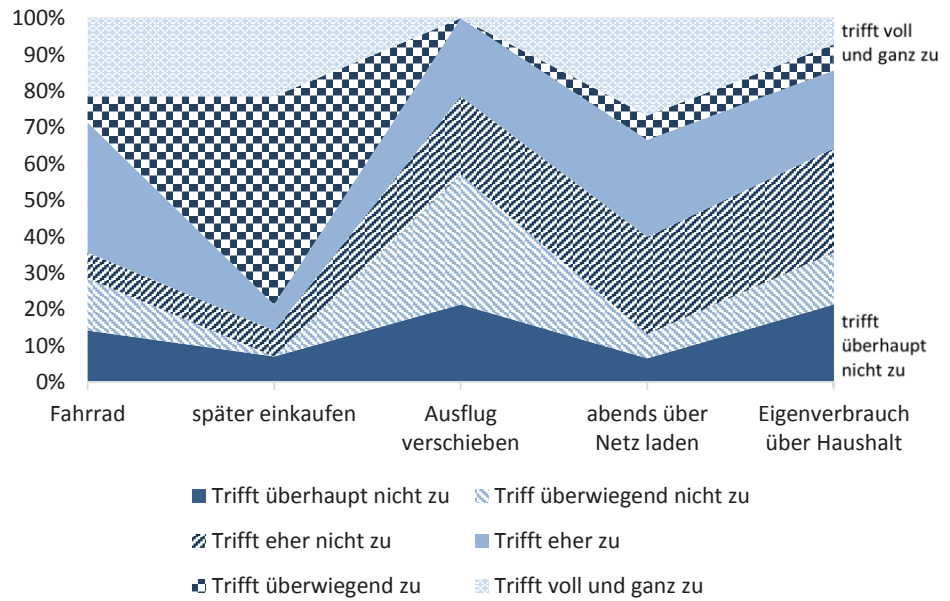


Abbildung 35: Umfrageergebnis Mobilitätsalternativen

Das Ergebnis in Abbildung 35 zeigt deutlich, dass die Umfrageteilnehmer nicht gewillt sind, ihren gewünschten Zeitplan merklich zu verschieben. Unwichtige Fahrten – wie Einkäufe – können jedoch verschoben werden. Allgemein steht das Bedürfnis Mobilität jedoch über dem Aspekt der CO₂-Neutralität.

Als allgemeine Aussage kann hier daher getroffen werden, dass über den Nutzer selbst nur relativ wenig Potential zur Emissionsreduktion gegeben ist.

Gesamtbewertung von CO₂ neutraler Mobilität

Um dennoch die Emissionsneutralität bewerten zu können, muss daher auf technische Möglichkeiten zurückgegriffen werden. Hier bieten sich die Untersuchung der PV-Anlage sowie die Berücksichtigung eines Zwischenspeichers an. Wie aus Abbildung 36 ersichtlich wird, ist vor allem tagsüber eine Überschuss aus PV-Energie vorhanden. Da tagsüber jedoch der Mobilitätsbedarf am höchsten ist, ist eine Ladung zu diesen Zeiten nur begrenzt möglich.

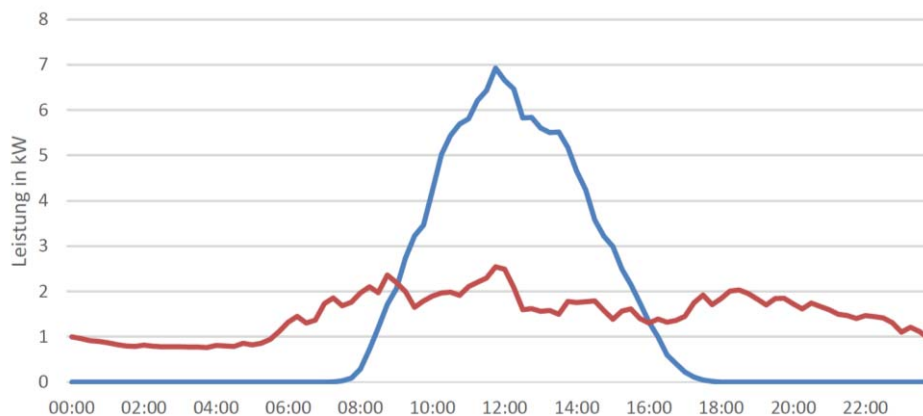


Abbildung 36: Mittlerer Energieverlauf der Probandenhaushalte; Überschuss tagsüber

Die alltägliche Mobilität in einem länglichen Raum wie Garmisch-Partenkirchen zeichnet sich hauptsächlich durch kurze Distanzen aus und ist damit prädestiniert für eine Zweitwagenmobilität (Klein-/Kompaktfahrzeuge).

Dabei ist eine Batteriekapazität von 10 kWh vollkommen ausreichend unter NEFZ-Bedingungen. Dabei ist bereits ein Aufschlag für die subjektive Reichweitsicherheit inklusive.

Damit ist eine hohe Effektivität von CO₂-neutraler Elektromobilität in der privaten, ländlichen Nutzung möglich.

Das Emissionspotential der im Flottenversuch untersuchten Haushalte liegt bei durchschnittlich 40 % bei Nutzung von Elektrofahrzeugen in Kombination mit Netzstromladung. Wird die vorhandene PV-Anlage für die Ladung mitgenutzt, steigt das Einsparpotential auf 59 %. Dies ist in Abbildung 37 dargestellt.

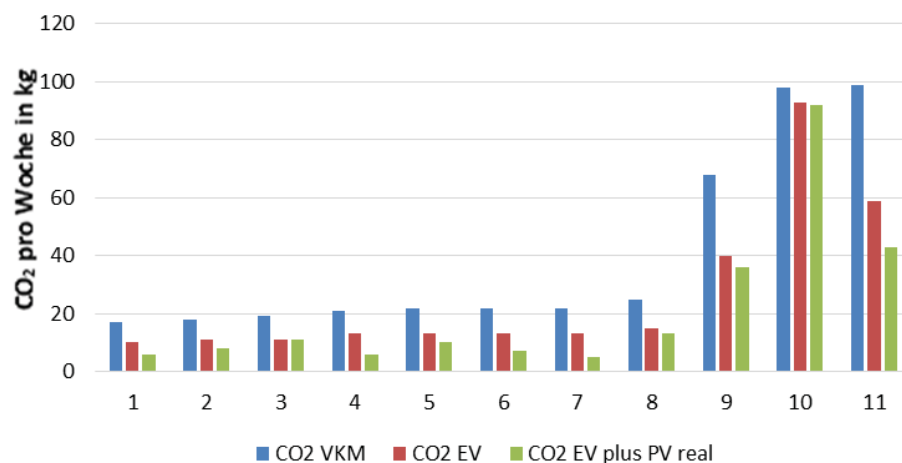


Abbildung 37: CO₂-Einsparpotential pro Woche

Wird nun noch zusätzlich ein Pufferspeicher in eine optimale Bewertung mit einbezogen, können oftmals alle Emissionen aus der Alltagsmobilität eingespart werden. Für Einsparungen von 95 % der Wochenemissionen reichen teilweise bereits Pufferspeicher von 3-4 kWh in Kombination mit den bereits vorhandenen PV-Anlagen. Eine Beispiel-Kombination ist in Abbildung 38 gezeigt.

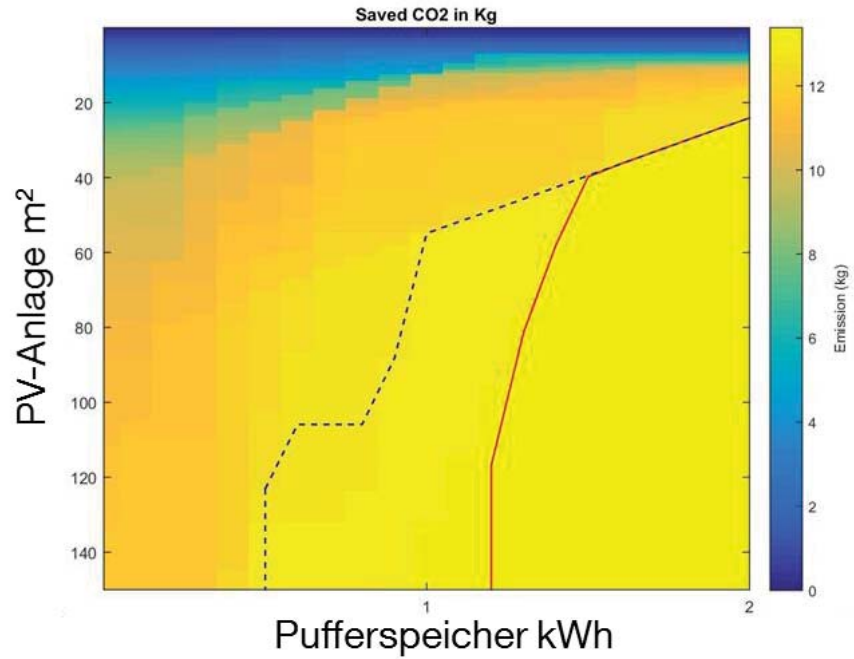


Abbildung 38: Emissionseinsparungen in Abhängigkeit von PV und Puffer

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: sun2car-App Hauptmenü	5
Abbildung 2: Graphische Darstellung des CO ₂ -Fußabdrucks	5
Abbildung 3: sun2car-App Fahrt-aufzeichnung mit Rückmeldung zur elektromobilen Machbarkeit	6
Abbildung 4: Verschiedene statistische Auswertungen	6
Abbildung 5: Ansicht des nutzerindividuellen Fahrtenbuchs mit Kartendarstellung.....	7
Abbildung 6: Ansicht der statistischen Mobilitätsauswertungen	7
Abbildung 7: Prädiktionsansicht für den Nutzer	8
Abbildung 8: Vom Smartphone aufgezeichnete Sensordaten werden über die 3G Verbindung an das FTM-Datenbanksystem gesendet. Die Smart Meter-Verläufe aus den Haushalten werden in der gleichen Datenbank abgelegt. Die Analyseergebnisse werden auf die Smartphones zurückgegeben.....	9
Abbildung 9: Ablauf zur Verkehrsmittelerkennung	10
Abbildung 10: Reichweitenanalyse aus der Basisdatenerhebung	10
Abbildung 11: Emissionslandkarte für die Zeit von 15 bis 18 Uhr	11
Abbildung 12: Kumulierte Wahrscheinlichkeit des Distanzbedarfs (x).....	12
Abbildung 13: Mobilitätsausdehnung.....	13
Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Fahrtlänge und täglicher Fahrtanzahl der Familien.....	14
Abbildung 15: Gesamtdistanzverhalten	14
Abbildung 16: Fahraufteilungen sowie -häufigkeiten an verschiedenen Tagen	15
Abbildung 17: Distanzanteil verschiedener Fahrtzwecke am Gesamtmobilitätsverhalten	15
Abbildung 18: Vorhersage-Modell für Ertragsprädiktion der PV-Anlage	16
Abbildung 19: Tatsächliches Ladeverhalten im Flottenversuch	16
Abbildung 20: Erreichbarkeitskarte Pkw	41
Abbildung 21: Erreichbarkeitskarte Fahrrad	41
Abbildung 22: Erreichbarkeitskarte Zufußgehen.....	42
Abbildung 23: Umfrageergebnis zur Erreichbarkeit innerhalb GAP (Dezemberumfrage).....	43
Abbildung 24: Umfrageergebnis zur Erreichbarkeit von Arbeit/Ausbildung/Schule (Dezemberumfrage)	43
Abbildung 25: Häufigkeit Zufußgehen.....	45
Abbildung 26: Häufigkeit Fahrrad	46
Abbildung 27: Häufigkeit ÖV	47
Abbildung 28: Häufigkeit Pkw-Fahrer	48
Abbildung 29: Häufigkeit Pkw-Mitfahrer	49
Abbildung 30: Wege pro Monat und Verkehrsmittel.....	51
Abbildung 31: Abhängigkeit vom Auto.....	52
Abbildung 32: Einschätzung des zusätzlichen Autos	53
Abbildung 33: Wegezweck des zusätzlichen Fahrzeugs	53
Abbildung 34: Umfrageergebnisse Mobilitätseingriffe	55
Abbildung 35: Umfrageergebnis Mobilitätsalternativen	56
Abbildung 36: Mittlerer Energieverlauf der Probandenhaushalte; Überschuss tagsüber.....	57
Abbildung 37: CO ₂ -Einsparpotential pro Woche	57
Abbildung 38: Emissionseinsparungen in Abhängigkeit von PV und Puffer.....	58



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Perzentiler Mobilitätsbedarf der gefilterten Ausdehnungsanalyse ...	12
Tabelle 2: abgeschätzte Wegezahlen.....	50

Literaturverzeichnis

- [1] M. Kugler, S. Osswald, C. Frank and M. Lienkamp, "Mobility tracking system for CO2 footprint determination," in *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 2014.
- [2] M. Kugler, S. Osswald, C. Frank and M. Lienkamp, "Assessment of Electromobility in Non-Urban Environments," in *Conference on Future Automotive Technology*, 2015.