



Diplomarbeit

Entwicklung eines stochastischen Mobilitätsdaten- Generators für Elektrofahrzeuge mit Unterscheidung soziodemographischer Merkmale

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades des
Diplom- Ingenieurs unter der Leitung von

Univ.Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gawlik

und

Projektass. Dipl.-Ing. Dominik Fasthuber

Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe

Eingereicht an der

Technischen Universität Wien

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

von

Peter Springer, BSc.

0726091

Birkengasse 8, 3203 Rabenstein an der Pielach

Wien, am 29. Mai 2017

Kurzfassung

Wie die jüngste Klimakonferenz in Paris wieder vor Augen geführt hat, ist eine weltweite Kraftanstrengung notwendig, um die Begrenzung der globalen Erwärmung auf deutlich unter 2 °C zu halten. Das Ziel muss daher sein, den Verbrauch von fossilen Energieträgern (Öl, Kohle, Gas) zu reduzieren. Die verstärkte Nutzung der Elektromobilität kann einen Beitrag dazu leisten. Um zu vermeiden, dass die Emissionen dadurch anstelle der Verbrennungskraftmotoren von Kraftwerken verursacht werden, ist diese Form der Mobilität aber nur dann klimafreundlich, wenn der Strom aus erneuerbaren Energiequellen stammt. Diesen Trend haben mittlerweile so gut wie alle namhaften Autohersteller erkannt und diese setzen auf die Entwicklung von Elektrofahrzeugen. Da eine deutliche Steigerung der Nutzung der Elektromobilität zu erwarten ist, soll anhand dieser Arbeit untersucht werden, ob sich im Vergleich zu Autos mit Verbrennungskraftmotoren ein anderes Nutzerverhalten erkennen lässt. Ebenso wird der Frage nachgegangen, ob und wie das Ladeprofil von soziodemographischen Parametern abhängt. Die Grundlage für die Auswertung von Daten liefern folgende zwei Studien:

- „Mobilität in Deutschland 2008“
- „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“

In beiden Studien wurden zurückgelegte Wege aufgezeichnet, welche durch mehrere Parameter genau gekennzeichnet sind. Beispiele dafür lauten:

- Wie alt war die Person, die den Weg zurückgelegt hat?
- Wann erfolgte die Fahrt und was war der Zweck der Fahrt?
- Wurde die Fahrt im urbanen- oder im ländlichen Raum zurückgelegt?

In der ersten Studie „Mobilität in Deutschland 2008“ wurden die Wege ausschließlich mit Autos mit Verbrennungskraftmotoren zurückgelegt. Es ist dies eine groß angelegte Erhebung im gesamten deutschen Bundesgebiet. Die Befragung erfolgte freiwillig und auf diese Weise wurden insgesamt 193.290 Wege dokumentiert. Die zweite Studie „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ beschreibt hingegen ausschließlich Strecken, die mit

verschiedenen rein elektrisch angetriebenen Autos im südlichen Niederösterreich gefahren wurden. Die Auswertung erfolgte mit einem selbst geschriebenen MATLAB- Programm.

Abstract

As the youngest climate conference in Paris visualised, there is a worldwide exertion necessary to keep the limit of global warming clearly under 2 °C. So the goal is to reduce the usage of fossil fuels like oil, coal or gas. The increased using of electromobility can make a contribution to. In order to avoid that the emissions thereby instead of internal combustion engine caused from power plants, this form of mobility is only climate-friendly if the electricity comes from renewable energy sources. Meanwhile this trend has recognized virtually all designated car companies and these focus on the development of electric vehicles. Because of the expected significant increase in usage of electromobility, this paper should investigate, if there is different user behaviour compared to cars with internal combustion engines. There is also the question whether and how the load profile depends on sociodemographic parameters. The basis for the analysis of data is provided by following two studies:

- „Mobilität in Deutschland 2008“
- „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“

In both studies paths covered were recorded, which are characterised exactly by several parameters. Examples for this are:

- “How old was the person, who covered the distance?”
- “When was the ride and what was the purpose of the journey?”
- “The distance was covered in urban- or in rural area?”

In the first study „Mobilität in Deutschland 2008“ the distances were only covered by cars with internal combustion engines. This is a large-scale enquiry throughout German territory. The survey was voluntary and in this way there were altogether 193.290 ways documented. The second study „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ describes in contrast only distances, which were only covered by different purely electrically cars in the south of Lower Austria. The evaluation was effected with a self-written MATLAB- program.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	3
1.2	Zielsetzung	5
1.3	Gliederung der Arbeit.....	6
2	Datenquellen und Parameterfindung	7
2.1	Datensatz 1: „Mobilität in Deutschland 2008“	7
2.1.1	Parameter	7
2.1.2	Einschränkungen und Annahmen	8
2.1.3	Auffällige Parameterschwankungen	8
2.2	Datensatz 2: „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“	16
2.2.1	Parameter und Methodik	16
2.2.2	Ergebnisse dieser Studie	17
3	Modellaufbau der „Mobilitätsdaten“	19
3.1	Auswahl der Eingangsgrößen.....	19
3.2	Annahmen und Abhängigkeiten.....	20
3.3	Die MATLAB- Software.....	21
3.4	Programmstruktur	22
3.5	Argumentationskette zur Nutzung der Mobilitätsdaten von konventionellen- zu E- Autos	26
3.6	Das E- Fahrzeug- und Lademodell	27
3.6.1	Auswahl der fahrzeugspezifischen Parameter	28
3.6.2	Ladecharakteristik	29
3.6.3	Realisierung in MATLAB	32
4	Vergleiche und Profilerstellung	35
4.1	Auswahl der soziodemographischen Parameter	35
4.2	Verteilungen der soziodemographischen Parameter und Differenzen	36
4.3	Standprofile.....	40
4.4	Ladeinfrastruktur und Szenarien	44

4.5	Soziodemographische Parameter und deren Auswirkung auf das Ladeprofil.....	52
5	Datensatzübergreifende Ergebnisse und Vergleiche.....	61
5.1	Weglänge	61
5.2	Wegdauer.....	62
5.3	Standprofil	63
6	Schlussfolgerungen	67
7	Zusammenfassung und Ausblick	69
	Literaturverzeichnis	71
	Abbildungsverzeichnis.....	73
	Tabellenverzeichnis.....	75
	Anhang 1 - Allgemeine Variablenübersicht.....	77
	Anhang 2 - Variablen der Wegeketten.....	81

1 Einleitung

Mobilität ist heute mehr denn je ein wichtiger Bestandteil unseres täglichen Lebens. Um der steigenden Umweltbelastung aufgrund des zunehmenden Verkehrsaufkommens entgegenzuwirken, erfolgte die Suche nach alternativen Antriebstechnologien. Es gibt unterschiedliche Ansätze von Erdgas-, Wasserstoff- bis hin zum Elektroauto. Letzteres stellt zweifellos das größte Potential dar. Dies gilt vor allem, da die Infrastruktur mit dem Stromnetz weitgehend vorhanden ist und nur geringe Adaptierungen notwendig sind.

Ein weiterer Vorteil der Elektromobilität ist, dass bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen, die Wertschöpfung in der Region bleibt. Ebenso kann dadurch die Auswirkung auf die Umwelt verringert werden. Schließlich geht es dabei um die Lebensgrundlage der nachkommenden Generationen.

Laut dem Weltklimarat IPCC muss die Weltwirtschaft bis Ende dieses Jahrhunderts fast zur Gänze CO₂-neutral funktionieren. Nur so kann die globale Erwärmung langfristig deutlich unter 2°C beschränkt werden¹. Um dieses Ziel zu erreichen, ist insbesondere im Verkehrsbereich eine große Kraftanstrengung notwendig.

Mit dem nationalen Strategierahmen „Saubere Energie im Verkehr“ [1] wurde im November 2016 in Österreich eine EU-Richtlinie umgesetzt, welche den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe zum Ziel hat. Auch darin wird festgehalten, dass Österreich eine Mobilitätswende benötigt. Folgende Zahlen untermauern die Notwendigkeit:

Hierzulande wird dem Verkehrsbereich 35% des Energieverbrauchs zugeschrieben, wobei 87% davon auf den Straßenverkehr entfallen. Aktuell entfällt ein Großteil des Energiebedarfs in diesem Segment auf Kraftstoffe auf Erdöl-Basis. Dabei wird der Energiebedarf für Mobilität lediglich zu 3% durch Elektrizität gedeckt².

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Zwei-Grad-Ziel

² Statistik Austria, Gesamtenergiebilanz Österreich

Wie groß die positiven Auswirkungen einer Mobilitätswende in Österreich sein können, zeigt auch der jüngste Klimaschutzbericht (2016) des Umweltbundesamtes. Darin wird festgehalten, dass knapp 99% aller CO₂-Emissionen im Sektor Mobilität vom Straßenverkehr verursacht werden. Der übrige Anteil von etwas mehr als 1% der CO₂-Emissionen wird von den Verkehrsträgern Eisenbahn, Schiff und Flug (national) verursacht. Deshalb muss der Diesel- und Benzinverbrauch bis 2030, bei gleichzeitig prognostizierter steigender Verkehrsleistung, deutlich gesenkt werden.

Um einen Ausblick über die zukünftige Entwicklung sauberer Energie im Verkehr zu ermöglichen, wurden in [1] mehrere Szenarien erstellt. Die Basis dafür bilden die Klimaberichtspflichten Österreichs im Rahmen des EU Klima- und Energiepakets. Diese berichten alle zwei Jahre WEM³- und WAM⁴-Szenarien und beruhen auf aktuellen Wirtschaftsprognosen, der Bevölkerungsentwicklung und den politischen Planungen. In diesem Zusammenhang ist in Abbildung 1 die Entwicklung alternativer Kraftstoffe im Verkehrssektor bis 2030 auf Basis des WAM-Szenarios dargestellt [1]. Im Vergleich zum WEM-Szenario werden hier Wasserstoff und Biokraftstoffe der zweiten Generation berücksichtigt. Zusätzlich wird beim WAM-Szenario von einem wesentlich größeren Anteil der Elektromobilität (gelber Anteil) ausgegangen.

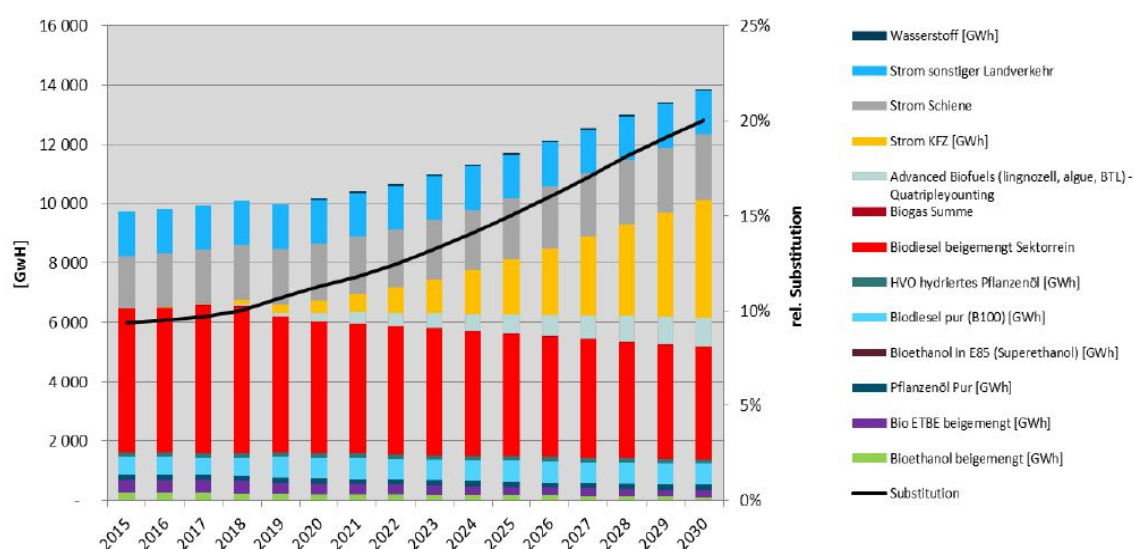


Abbildung 1: Entwicklung alternativer Kraftstoffe im Verkehrssektor bis 2030

³ WEM ... with existing measures, mit existierenden Maßnahmen

⁴ WAM ... with additional measures, mit zusätzlichen Maßnahmen

Laut Umweltbundesamt ist in den nächsten Jahren mit einer breiteren Einführung der Elektromobilität zu rechnen. Diese Annahme stützt sich auf drei wesentliche Kriterien:

- 1.) Zahlreiche Automobilhersteller kündigen neue Modelle in vielen Fahrzeugklassen an. Dadurch steigt das Angebot an verschiedenen Elektroautos.
- 2.) Für gewerbliche-, aber auch private Kunden werden Elektroautos durch voraussichtlich höhere Reichweiten und sinkende Kosten für die Batteriesysteme zunehmend attraktiv.
- 3.) Damit einhergehend wird die Ladeinfrastruktur laufend erweitert und das Angebot regional verdichtet. Mehr Infrastruktur soll dabei besonders an Mobilitätsknotenpunkten wie Bahnhöfen und Park & Ride- Anlagen entstehen. Beispielsweise ist in Wien der Aufbau von 1.000 Ladepunkten bis Ende 2017 geplant.

Im WEM- Szenario steigt die Anzahl an Elektrofahrzeugen bis 2030 auf 930.000. Das WAM- Szenario geht sogar von einem Bestand von fast 1,7 Mio. bis 2030 aus. In beiden Fällen wird prognostiziert, dass knapp 75% davon rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge sind.

Zum Vergleich:

Mit Stand 31. März 2017 gab es in Österreich 10.231 rein elektrisch angetriebene Autos. Das sind 0,2% der Gesamtanzahl von ca. 4,84 Mio.⁵ Pkw⁶.

1.1 Motivation

Für Konsumenten ist der Begriff der Nachhaltigkeit immer wichtiger, was der Elektromobilität entgegen kommt. Denn im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen, ist diese Technologie mit rund 90% Wirkungsgrad wesentlich effizienter [2]. Zusätzlich verursacht diese Form der Mobilität keine

⁵ Statistik Austria, Fahrzeug-Bestand am 31. März 2017

⁶ Pkw ... Personenkraftwagen

Abgase⁷ und deutlich weniger Lärm. Dem Nachteil des hohen Anschaffungspreises kann man folgende Vorteile gegenüberstellen:

- Geringere Wartungskosten als bei einem konventionell angetriebenem Auto, da z.B. kein Ölwechsel notwendig ist.
- Durch gleichmäßiges- und stufenloses Drehmoment benötigt das Elektroauto keine Kupplung. Das sorgt für ein entspanntes- und angenehmes Fahrgefühl.
- Steuerliche Vorteile, da z.B. keine Normverbrauchsabgabe (NoVA) und keine motorbezogene Versicherungssteuer zu bezahlen sind [3].
- Regeneratives Bremsen verringert den Bremsenverschleiß und ermöglicht die Gewinnung von elektrischer Energie aus Bewegungsenergie, welche in den Akku rückgespeist wird (Rekuperation). Längeres Bergabfahren erhöht in Verbindung mit häufigen sanften Bremsvorgängen die Reichweite des Elektroautos.
- Elektroautos sind bei täglicher Verwendung unschlagbar kostengünstig. Verglichen mit einem Benzin- Fahrzeug kostet eine Wegstrecke von 100 km im E- Auto weniger als halb so viel [4]. Grund dafür ist der deutlich geringere Energieverbrauch:

Angenommen ein konventionell angetriebenes Auto benötigt ca. 7 Liter Benzin pro 100 km, dann entspricht das etwa 70 kWh. Selbst wenn man Klimaanlage, Radio, Ladeverluste und andere elektrische Verbraucher miteinbezieht, kommt man bei einem Elektroauto nur auf 15 – 25 kWh Energieverbrauch pro 100 km, also etwa einem Drittel [4].

Außerdem gibt es aktuell auch eine Förderaktion der österreichischen Bundesregierung. Dabei wird die Anschaffung eines Elektroautos bis zu einem Brutto- Listenpreis von € 50.000 mit einem Betrag von € 4.000 unterstützt [5].

⁷ Das erfordert natürlich, dass die nötige elektrische Energie für das Elektroauto aus erneuerbaren Energieträgern umgewandelt wurde.

Dabei gibt es auch Förderungen für die E- Ladeinfrastruktur und andere Formen der Elektromobilität, etwa E- Zweiräder.

1.2 Zielsetzung

Bis heute gibt es kaum Erfahrungen über die Nutzung der Elektromobilität und ob diesbezüglich Unterschiede im Vergleich zu konventionell angetriebenen Autos feststellbar sind. Diese Arbeit basiert auf der Auswertung von zwei verschiedenen Studien. Einerseits wird ein Datensatz untersucht, der aus Wegen besteht, die ausschließlich mit Autos mit Verbrennungskraftmotoren zurückgelegt wurden.

Die zweite Studie befasst sich zur Gänze mit verschiedenen Elektroautos und den damit gefahrenen Strecken. Damit dieser Vergleich nicht nur statisch als in dieser Arbeit präsentierte Ansammlung von Ergebnissen gegeben ist, wurde das MATLAB- Programm so gestaltet, dass der Wertebereich der soziodemographischen Parameter verändert werden kann. Dabei können mehrere Parameter ausgewählt und dynamisch berechnet werden. Anschließend ist es möglich, die Resultate in Diagrammen darstellen zu lassen.

Diese Arbeit soll außerdem der Frage nachgehen, wie alltagstauglich die Elektromobilität bereits ist. In dem Zusammenhang interessiert also ob jene Wege bzw. Wegeketten, die in der ersten Studie mit konventionell angetriebenen Autos gefahren wurden, auch mit Elektroautos realisierbar sind. Dabei ist je nach Szenario die Annahme entscheidend, wo geladen werden kann.

1.3 Gliederung der Arbeit

Von der Einleitung abgesehen, ist diese Arbeit in vier weitere Kapitel aufgeteilt. Im ersten werden die beiden Datensätze thematisiert, die die Grundlage dieser Arbeit bilden. Dabei wird eine Übersicht auf alle verwendeten Parameter gegeben und wesentliche Variablen werden genauer behandelt. Es wird dabei auch auf Einschränkungen und Annahmen eingegangen, die für die Weiterverarbeitung der Daten notwendig sind. Danach folgt das Kapitel, in dem der Modellaufbau erklärt wird. Dieser beginnt mit der Auswahl der Eingangsgrößen und führt nach der Behandlung diverser Annahmen und Abhängigkeiten zur Programmstruktur.

Da im Gegensatz zum zweiten Datensatz im ersten ausschließlich konventionell angetriebene Autos verwendet wurden, erfolgt anhand einer Argumentationskette, wie diese Daten mit jenen der E- Autos verglichen werden können. Darauf folgen die Behandlung des E- Fahrzeug- und Lademodells und eine Auswahl der fahrzeugspezifischen Parameter. Von besonderem Interesse ist die Ladecharakteristik, weshalb ihr ein eigener Unterpunkt gewidmet wird.

Das darauffolgende Kapitel beinhaltet die Verteilungen der Eingangsgrößen und deren Differenzen. Es werden Abhängigkeiten unterschiedlicher Parameter untersucht und Stand-, Fahr- und Ladeprofile erstellt. Besonders charakteristische Profile werden grafisch dargestellt und diskutiert. Im fünften Kapitel werden anhand eines allgemeinen Vergleichs datensatzübergreifende Ergebnisse präsentiert.

Die Arbeit wird durch die Formulierung der Schlussfolgerungen und einer Zusammenfassung samt Ausblick abgerundet.

2 Datenquellen und Parameterfindung

Zu Beginn dieser Arbeit wurde die Datengrundlage ausgewählt und definiert. Diese setzt sich aus zwei Datenpools der Studien „Mobilität in Deutschland 2008“ [6] beziehungsweise „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ [7] zusammen, welche in den folgenden Unterkapiteln genauer behandelt werden.

2.1 Datensatz 1: „Mobilität in Deutschland 2008“

In dieser Studie wurden private Haushalte im gesamten deutschen Bundesgebiet auf freiwilliger Basis zu ihrer Alltagsmobilität befragt. Insgesamt wurden auf diese Weise 193.290 Wege aufgezeichnet. Dabei wurde jede einzelne zurückgelegte Strecke mit 122 verschiedenen Variablen definiert. So wurde z.B. festgelegt, wann zu welchem Zweck wohin gefahren wurde, usw. Mit Hilfe derartiger Studien erhalten nicht nur Wissenschaftler, sondern insbesondere auch die Politiker und Verkehrsplaner eine umfangreiche Datengrundlage. Damit kann das gegenwärtige Mobilitätsverhalten der Bevölkerung analysiert und auf erkennbare zukünftige Entwicklungen entsprechend reagiert werden.

2.1.1 Parameter

Aus den genannten 122 Variablen wurden jene ausgewählt, die für diese Arbeit offensichtlich am interessantesten sind. Tabelle 1 liefert einen groben, unvollständigen Überblick:

Tabelle 1: Gewählte Parameter

Kalenderjahr	Kalendermonat
Wochentag	Kalenderwoche
Jahreszeit	Wegezzweck
Beginn des Weges in Stunden + Minuten	Ende des Weges in Stunden + Minuten
Hauptverkehrsmittel	monatliches

	Haushaltsnettoeinkommen
Weglänge	Wegdauer
Geschlecht	Alter
Tätigkeit	politische Gemeindegrößenklasse

2.1.2 Einschränkungen und Annahmen

Da die Bekanntgabe der aufgezeichneten Wege auf Freiwilligkeit beruhte, wurden bei zahlreichen Strecken Fehler bei zumindest einer Variable festgestellt. Beispielsweise wurde ein achter Wochentag eingetragen oder ein Wegeziel vor dem Abfahrtszeitpunkt bereits erreicht. Um mit den vorhandenen Daten arbeiten zu können, mussten damit für jeden Parameter sinnvolle Wertebereiche definiert und diese für jeden Weg überprüft werden. Außerdem wurden nur aufgezeichnete Strecken berücksichtigt, die als Hauptverkehrsmittel den Personenkraftwagen (Pkw) bzw. MIV⁸ mit der Eigenschaft Fahrer oder Mitfahrer deklariert hatten. Weitere Einschränkungen wurden im Bereich der Weglänge festgelegt. Hier wurden nur Wege ab einer Länge von 0,1 km als solche gewertet. Als maximale Durchschnittsgeschwindigkeit wurden 100 km/h festgelegt und alle Wege, die diesen Level überschreiten, sind mangels Realitätsbezug nicht in die Auswertung aufgenommen worden. Ausgehend von 193.290 blieben somit letztlich 101.436 Wege übrig, die für jede Variable gültige Werte ausweisen und die gewählten Wertebereiche einhalten.

2.1.3 Auffällige Parameterschwankungen

Insgesamt wurden pro aufgezeichneten Weg 32 Variablen betrachtet. Im Anhang 1 ist eine Tabelle mit der allgemeinen Variablenübersicht zu finden. Um Aussagen über Abhängigkeiten und auffällige Schwankungen treffen zu können, wurden Parameter einander gegenübergestellt. Die Kombinationen wurden dabei mit Hilfe einer Matrix (siehe Abbildung 3) vollständig durchgespielt. Um

⁸ MIV ... motorisierter Individualverkehr

Zusammenhänge bzw. Unterschiede der einzelnen Kombinationen erkennbar zu machen, wurden jeweils Boxplots (Kastendiagramme), Histogramme und falls sinnvoll auch Streudiagramme erstellt. Mittels optischer Betrachtung konnte so eine manuelle Auswahl getroffen werden. In nachstehender Tabelle 2 sind die zehn wichtigsten Parameterschwankungen zusammengefasst. Es wurde dabei immer die Differenz einer Variable betrachtet, also wie stark sich ein Parameter innerhalb einer Kombination ändert. Die auffälligsten Parameterschwankungen werden nachfolgend beschrieben.

Tabelle 2: Parameterschwankungen

	Minimum	Maximum	Median	Mittelwert	Varianz
Kombination 1	0	171	0,95	4,488009	1013,566
Kombination 2	0	290,7	0,95	3,980651	889,4574
Kombination 3	0	149,15	2,19	8,513813	1637,338
Kombination 4	3,167	4,333	7,667	4,5858	3,342081
Kombination 5	0	389,5	7,6	21,3208	3055,2
Kombination 6	16	13	41	37,42145	355,7275
Kombination 7	0	50,35	0,95	3,195489	385,8355
Kombination 8	11,3	729,6	8,17	9,101325	1457,572
Kombination 9	0,38	627	4,27	9,33572	1438,505
Kombination 10	0	209	2,85	3,820111	385,7233

Kombination 1:

Gegenüberstellung der Monate und der Weglängen in km, die von Männern zurückgelegt worden sind. Bei dieser Kombination fällt auf, dass sich die Weglängen einerseits in den Sommermonaten (Mai bis August) bzw. andererseits während der Wintermonate (September bis Februar) kaum ändern. Es gibt allerdings zwischen diesen beiden Zeitbereichen erkennbare Unterschiede. So liegt der Median für die Monate Mai bis August bei 6,65 km und von September bis Februar nur bei 5,7 km. Auffallend hoch ist auch der Differenzwert von 1013,566 km² für die Varianz.

Kombination 2:

Gegenüberstellung der Monate und der Weglänge in km, die von Frauen zurückgelegt worden sind. Grundsätzlich zeigt sich hier in Bezug auf die Aufteilung der Wege ein ähnliches Bild im Vergleich zur Kombination 1. Mit den in diesem Datenpool aufgezeichneten Wegen konnte also kein gravierender geschlechterspezifischer Unterschied festgestellt werden. Es ist anzunehmen, dass die Weglängen in den Sommermonaten aufgrund der besseren Witterung im Allgemeinen und aufgezeichneter Urlaubsfahrten im Speziellen gegenüber den Wintermonaten länger sind.

Kombination 3:

Gegenüberstellung von Wochentag und Weglänge in km. Diese Kombination liefert das erwartete Bild und zeigt, dass sich die Distanzen zwischen Montag und Samstag kaum unterscheiden (Median = 4,75 km). Hingegen sind die Weglängen am Sonntag deutlich länger und ergeben einen Medianwert von 6,94 km. Die sich daraus ergebende Differenz von 2,19 km ist in Tabelle 2 eingetragen.

Nachdem das Minimum der Weglänge auf 0,1 km festgelegt ist, ergibt sich dafür in den ersten drei Kombinationen keine Differenz (Wert = 0).

Kombination 4:

Gegenüberstellung von Wochentag und Beginn der Wege in Stunden + Minuten (in Stunden umgerechnet) für den Hauptzweck des Weges „Ausbildung“. Diese Kombination zeigt naturgemäß einen noch deutlicheren Unterschied zwischen den Werktagen und dem Wochenende. Von Montag bis Freitag liegt der Medianwert zwischen 9 und 10h, am Samstag bei 11h und am Sonntag erst bei 16h. Daraus ergibt sich die in diesem Fall besonders große Differenz der Medianwerte von 7,67h.

Kombination 5:

Gegenüberstellung von Hauptzweck des Weges und Weglänge in km. Unter den dokumentierten Strecken dieses Datenpools sind die Distanzen für den Zweck „dienstliche Fahrten“ am längsten. 75% dieser Wege sind kürzer als 25,65 km. Auf Platz 2 sind diesbezüglich die Wege in die Arbeit und retour mit einem Wert von 22,8 km für das 75%- Quantil der Wege. In dieser Kategorie folgen die Wegezwecke „Freizeit“ mit 15,2 km sowie „Ausbildung“ bzw. „Erledigung“ mit jeweils 11,4 km. Mit 7,6 km sind die Wege mit dem Zweck „Einkauf“ am kürzesten.

Kombination 6:

Gegenüberstellung von Hauptzweck des Weges und Alter. Hier kann man zwei bedeutende Lebensphasen eines jeden Einzelnen gut wiedererkennen. Der Medianwert für den Zweck „Ausbildung“ liegt bei 12 Jahren und jener für „Arbeit“ bei 46 Jahren. Wenn alle aufgezeichneten Wege mit allen Wegezwecken gemittelt werden, kommt man auf durchschnittlich 37,42 Jahre (siehe Tabelle 2).

Kombination 7:

Teilt man alle dokumentierten Wege auf die Geschlechter auf, so kann man doch Unterschiede feststellen. Für die Strecken, die von Männern zurückgelegt worden sind, erhält man den Medianwert von 5,7 km und für Frauen beträgt dieser 4,75 km. Die Differenz von 0,95 kann man auch der Tabelle 2 entnehmen. Ähnlich verhält es sich für die Werte des 75%- Quantil der Wege. Männer legen also tendenziell längere Strecken zurück als Frauen.

Kombination 8:

Gegenüberstellung von Alter und Weglänge in km. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurden die Altersbereiche in Zehnerblöcke zusammengefasst und daraus die Statistikparameter Minimum, Maximum, Median, Mittelwert und Varianz bestimmt. Die Differenz der Werte der einzelnen Größen für die Blöcke ist in Tabelle 2 zu finden.

Für den Altersbereich der unter 10- Jährigen ergibt sich ein Medianwert von 3,8 km. Dieser erhöht sich auf 8,08 km für die Gruppe zwischen 20- und 30- Jährigen, um bis zu den 80- bis 90- Jährigen wieder auf 3,23 km zu sinken.

Kombination 9:

Gegenüberstellung von Tätigkeit und Weglänge in km. Das größte 75%- Quantil der in dieser Studie aufgezeichneten Wege haben Studenten mit 19 km. Dahinter folgen in dieser Kategorie Vollzeit- Berufstätige mit 18,05 km und allgemein Auszubildende mit 17,1 km. Die geringsten Weglängen haben in diesem Datenpool Tagesmütter und vorübergehend freigestellte Eltern (Mutterschaftsurlaub) mit je 8,55 km als 75%- Quantil.

Kombination 10:

Gegenüberstellung von politischer Gemeindegrößenklasse und Weglänge in km. Hier zeigt sich, dass die Weglänge bei Städten unter 5.000 Einwohner am größten ist. 75% der zurückgelegten Strecken sind hier kürzer als 17,1 km. Dieser Wert nimmt bis zu Großstädten, die zwischen 100.000 und 500.000 Einwohner haben, auf 10,45 km ab. Für Regionen mit mehr als 500.000 Einwohner steigt der 75%- Quantil auf 11,4 km.

Gegenbeispiel:

Als eines von einigen Kombinationen soll folgendes Beispiel anschaulich zeigen, dass es bei der Gegenüberstellung von „Beginn der Wege in Stunden“ und „Jahreszeit“ keinen augenscheinlichen Unterschied zu erkennen gibt (siehe Abbildung 2). Zu sehen ist hier ein Kastendiagramm (Boxplot). Darin kennzeichnet die rote Linie den Median. Das ist jener Wert, der das gesamte Diagramm in zwei Bereiche teilt, in denen je 50% der Daten liegen. Das untere- und obere Ende des Rechtecks (Box) wird durch das 25%- bzw. 75%- Quantil festgelegt. Dabei sind 25% bzw. 75% aller Werte des Datenpools kleiner oder gleich dem gekennzeichneten Betrag. Die strichlierten Linien verbinden den kleinsten- und den größten Wert der untersuchten Datenmenge mit der Box.

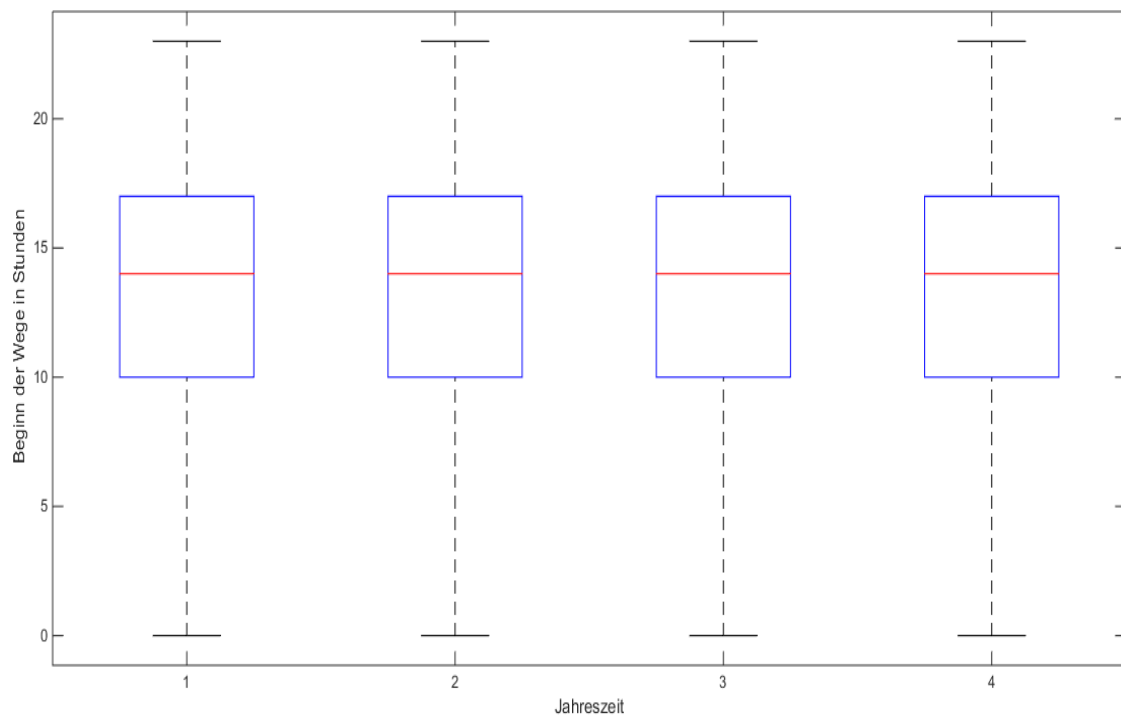


Abbildung 2: Gegenbeispiel

Der Wertebereich der vertikalen Achse reicht von 0-23 Stunden. Die Ziffern entlang der horizontalen Achse stehen für die Jahreszeiten Winter (1), Frühling (2), Sommer (3) und Herbst (4).

Abbildung 3 zeigt einen Teil der Auswertematrix. Diese wurde selbst erstellt, um den Überblick über die zahllosen Möglichkeiten der Kombination von Parametern zu behalten. Das Zeichen „x“ bedeutet, dass in dieser Gegenüberstellung keine erkennbaren Parameterschwankungen festgestellt werden konnten. Die übrigen Kombinationen wurden als Histogramme, Boxplots oder Streudiagramme dargestellt, entsprechend gekennzeichnet und durchnummeriert.

	Haushalts-ID	Personen-ID	chron. Personenr	Wege-ID	Sortierte Wege-ID	Gewichtungsfaktor Wege	Jahr	Monat	Wochentag	Kalenderwoche	Jahreszeit
Haushalts-ID	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Personen-ID	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
chron. Personenr	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Wege-ID	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sortierte Wege-ID	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Gewichtungsfaktor Wege	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Jahr	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Monat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Wochentag	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	H53-H56
Kalenderwoche	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Jahreszeit	x	x	x	x	x	x	x	x	H53-H56	x	x
Beginn Weg (Stunde)	x	x	x	x	x	x	x	x	B10-B13	x	x
Beginn Weg (Minute)	x	x	x	x	x	x	x	x	B10-B13	x	x
Ende Weg (Stunde)	x	x	x	x	x	x	x	x	B14-B17	x	x
Ende Weg (Minute)	x	x	x	x	x	x	x	x	B14-B17	x	x
Beginn Weg (Stichtag/Folgetag)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ende Weg (Stichtag/Folgetag)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Wegezweck	x	x	x	x	x	x	x	x	H60-H63	x	x
Hauptzweck des Weges	x	x	x	x	x	x	x	x	H65-H68	H71-H74	x
Hauptverkehrsmittel (differenziert)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Hauptverkehrsmittel	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Weglänge	x	x	x	x	x	x	Box 1	H21-H32	Box 5	x	Box 7
Wegdauer	x	x	x	x	x	x	x	x	Box 6	x	Box 8
durchschn. Geschwindigkeit	x	x	x	x	x	x	Box 2	x	x	x	Box 9
monatliches HH- Nettoeinkommen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ökonomischer Status des Haushalts	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Anzahl Autos im Haushalt	x	x	x	x	x	x	x	Box 3 u. 4	H69-H70	x	x
Geschlecht	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Alter	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Tätigkeit	x	x	x	x	x	x	x	H41-H52	x	x	x
politische Gemeindegrößenklasse	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
alle Wege	x	x	x	x	x	x	Hist 1	Hist 2	Hist 3	Hist 4	Hist 5

Abbildung 3: Teil der Auswertematrix

2.2 Datensatz 2: „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“

Das Projekt „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ [7] wurde initiiert, um die Elektromobilität speziell für die Nutzergruppe der Pendler interessant zu machen. Es sollte damit gezeigt werden, dass diese umweltschonende Form der Mobilität bereits so weit ist, dass sie im täglichen Alltag eingesetzt werden kann. Als Modellregion wurde der Raum südlich von Wien bis Wiener Neustadt ausgewählt, da es hier mit 60.000 Auspendlern und 40.000 nach Wien eine besonders hohe Zahl an Pendlern gibt. Diese Region setzt sich aus 49 Gemeinden und rund 296.000 EinwohnerInnen zusammen. Das ist knapp ein Fünftel der niederösterreichischen Bevölkerung.

Die Initiative „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ hat zum Ziel, dass sogenannte multimodale Wegeketten entstehen, die die Elektromobilität nutzen. Der Pendlerverkehr soll also durch die Nutzung der Infrastruktur des öffentlichen Verkehrs und dem Gebrauch von Elektroautos klimaschonender und energieeffizienter werden.

2.2.1 Parameter und Methodik

Die zurückgelegten Wege wurden mithilfe von Fahrtenbüchern aufgezeichnet. Folgende Parameter definierten einen Weg:

Datum, Start- und Zielort, Abfahrts- und Ankunftszeit, Ladezustand vor- und nach der Fahrt und Kilometerstand.

Zusätzlich wurden in insgesamt vier Fahrzeugen Onboard- Units eingebaut, um auch auf diese Weise Wege aufzeichnen zu können. Für die spätere Auswertung mussten diese Wegedaten adaptiert werden, um dieselbe Reihung der Parameter wie in den Fahrtenbüchern zu erhalten.

Die Auswertung der händisch aufgezeichneten Daten erfolgte letztlich mit einem MATLAB- Programm.

2.2.2 Ergebnisse dieser Studie

Die bedeutendsten Ergebnisse der Studie „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ sind folgende:

- 90% aller einzeln zurückgelegten Strecken haben eine maximale Weglänge von 35 km.
- Die Dauer dieser aufgezeichneten Wege beträgt dabei weniger als 46 Minuten.
- Wenn man die an einem Tag zurückgelegten Distanzen zusammenzählt, erhält man für 90% der Tage einen Wert von weniger als 93 km.
- Dabei wird in 75% aller Tagesfahrten der Ladezustand (SOC⁹) um weniger als 50% verringert.

Diese Ergebnisse zeigen, dass das Elektroauto bereits heute für fast alle Fahrten genauso eingesetzt werden kann wie ein konventionell angetriebenes Auto.

⁹ SOC ... State of Charge, Ladezustand

3 Modellaufbau der „Mobilitätsdaten“

Grundsätzlich ist die Realität ein derart komplexes System, so dass es praktisch unmöglich ist, alle Parameter zu berücksichtigen. Ein Modell dient daher als bestmögliches Abbild, mit dem versucht wird unter möglichst realitätsnahen Annahmen zu Aussagen zu kommen. In diesem Kapitel werden der Aufbau und die Herangehensweise der Auswertung des Datenpools der Studie „Mobilität in Deutschland 2008“ [6] beschrieben.

3.1 Auswahl der Eingangsgrößen

Als Datengrundlage dient ein Wegedatensatz mit 193.290 Wegen. Dabei wird jeder einzelne Weg durch 122 Variablen bestimmt. In dieser Matrix repräsentiert jede Zeile einen Weg, der durch die verschiedenen Parameter in den einzelnen Spalten genau beschrieben ist. Nach reichlichen Überlegungen wurden die für die Beantwortung der Fragestellung dieser Arbeit notwendigen Wegeigenschaften ausgewählt und festgelegt. Einen vollständigen Überblick der verwendeten Variablen zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Gewählte Parameter

Personennummer	Kalenderjahr
Kalendermonat	Wochentag
Kalenderwoche	Wegezzweck
Beginn des Weges in Stunden	Beginn des Weges in Minuten
Ende des Weges in Stunden	Ende des Weges in Minuten
Hauptverkehrsmittel	Weglänge
Anzahl der Autos	Tätigkeit
Datum als Matlabzahl	

Besonders relevant sind die sogenannten soziodemographischen Parameter. Als solche wurden das „ungefähre monatliche Haushaltsnettoeinkommen“, „Alter“, „Geschlecht“ und die „politische Gemeindegrößenklasse“ festgelegt.

3.2 Annahmen und Abhängigkeiten

In der Studie „Mobilität in Deutschland 2008“ wurden ausschließlich Autos mit Verbrennungsmotoren eingesetzt. Um die Datengrundlage mit der Studie „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“, bei der nur rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge verwendet wurden, vergleichbarer zu machen, wurden drei Annahmen getroffen:

- In der Studie „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ wurden alle Wege mit einem PkW zurückgelegt. Deshalb wurden aus dem Datensatz der Studie „Mobilität in Deutschland 2008“ nur Wege ausgewertet, die im Parameter Hauptverkehrsmittel als „Pkw (Fahrer)“ oder „Pkw (Mitfahrer)“ ausgewiesen wurden. Alle anderen Wege, die zum Beispiel zu Fuß, mit dem Fahrrad oder mit der Bahn zurückgelegt wurden, fanden in der Auswertung keine Berücksichtigung.
- In der Studie „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ wurden folgende rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge verwendet: BMW i3, KIA Soul, NISSAN Leaf, RENAULT Fluence, RENAULT Zoe und der VW e-UP. Um einen möglichst guten Vergleich zwischen den beiden Studien zu erreichen, wurden die Akkukapazitäten aller Autos erhoben und daraus der Mittelwert 22 kWh berechnet. Der durchschnittliche Verbrauch der zurückgelegten Wege liegt bei 14,15 kWh auf 100 km. Daraus ergibt sich eine Reichweite von ca. 155 km. Aus diesem Grund wurden nur Wege mit einer maximalen Länge von 155 km aus der Studie „Mobilität in Deutschland 2008“ berücksichtigt und in die Auswertung übernommen.
- Alle Wege wurden auf eine maximale Durchschnittsgeschwindigkeit von 100 km/h beschränkt. Nachdem der Energieverbrauch ab 100 km/h stark steigt, werden viele Elektroautos ab ca. 130 km/h abgeregelt, damit die Reichweite nicht zu drastisch absinkt.

Die Beschränkung auf 100 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit hat auch Plausibilitätsgründe. So wurden im Originaldatensatz via MATLAB einige Wege mit unrealistischen Eingaben gefunden und für die weitere Auswertung nicht

weiter berücksichtigt. Beispielsweise sollte ein Weg mit einer Länge von 100 km in 12 Minuten zurückgelegt worden sein.

Um sicherzugehen, dass die Abhängigkeiten zwischen Weg, Zeit und Geschwindigkeit auch wirklich richtig sind, wurde die Geschwindigkeit aus Weg und Zeit berechnet.

Eine weitere Abhängigkeit, die überprüft wurde, ist ob ein Rückweg, der von derselben Person eingetragen wurde schon vor der Ankunft des Hinweges begann. In diesem Fall wurde nur der erste Weg als gültig betrachtet und der „zu früh“ begonnene Rückweg gelöscht.

Falls ein und derselbe Weg innerhalb desselben Haushalts von einem Fahrer und einem Mitfahrer eingetragen wurde, wurde nur der Weg des Fahrers in der Auswertung berücksichtigt und der zweite Eintrag gelöscht. Somit soll einer künstlichen Häufung eines Weges, der nur einmal zurückgelegt wurde vorgebeugt werden.

3.3 Die MATLAB- Software

Zur Auswertung des sehr großen Datenpools wurde die Software MATLAB ausgewählt. Mit dieser können verschiedene mathematische Problemstellungen gelöst werden. MATLAB eignet sich insbesondere zum Auswerten von Matrizen, womit sich auch der Name dieser Software erklären lässt. MATLAB steht für **MAT**rix **LAB**oratory.

MATLAB ist ein proprietäres Programm, welches eine Reihe von speziellen Befehlen anbietet. Damit ist eine kompakte Lösung für viele Problemstellungen möglich. Der Programmcode wird in einfachen ASCII¹⁰-Textdaten in sogenannten m-Files abgespeichert. Eine genauere Beschreibung dieser Software und Hilfestellungen findet man in [8].

¹⁰ ASCII ... American Standard Code for Information Interchange

3.4 Programmstruktur

Zu Beginn des selbst erstellten MATLAB- Programms wird der gesamte Datensatz der Studie „Mobilität in Deutschland 2008“ eingelesen. Als Initialisierung der Datengrundlage sind die Einschränkungen und Annahmen der Daten festgelegt (siehe Kapitel 3.2).

Nun hat der Benutzer die Möglichkeit den gültigen Wertebereich der vier soziodemographischen Parameter „ungefähres monatliches Haushaltsnettoeinkommen“, „Alter“, „Geschlecht“ und die „politische Gemeindegrößenklasse“ selbst festzulegen. Je enger dieser Wertebereich gewählt wird, desto weniger Wege bleiben klarerweise übrig. Damit überhaupt Wege ausgegeben werden können, ist es notwendig, dass für jeden Parameter mindestens ein gültiger Wert festgelegt wird.

Falls durch die Auswahl der gültigen Wertebereiche weniger als 100 Wege übrig bleiben, wird der Programmbenutzer darauf aufmerksam gemacht. Da unter dieser Gegebenheit eine sinnvolle Auswertung nicht gewährleistet ist, soll der gültige Wertebereich in diesem Fall erweitert werden.

In Abbildung 4 ist jener MATLAB- Programmteil zu sehen, in dem Wege mit der Eigenschaft eines bestimmten monatlichen Haushalts- Nettoeinkommens ausgewählt werden können. Es kann dabei auch ein gewisser Bereich des Haushalts- Nettoeinkommens festgelegt werden (z.B. der Bereich 4 bis 7). In Abbildung 4 wurde der gesamte Wertebereich (1 bis 15) ausgewählt.

Dieselbe Möglichkeit hat man auch für die drei weiteren soziodemographischen Parameter „Alter“, „Geschlecht“ und die „politische Gemeindegrößenklasse“.


```
% MONATLICHES HAUSHALTS-NETTOEINKOMMEN (1:15)
% 1 ... bis unter 500 Euro
% 2 ... 500 Euro bis unter 900 Euro
% 3 ... 900 Euro bis unter 1.500 Euro
% 4 ... 1.500 Euro bis unter 2.000 Euro
% 5 ... 2.000 Euro bis unter 2.600 Euro
% 6 ... 2.600 Euro bis unter 3.000 Euro
% 7 ... 3.000 Euro bis unter 3.600 Euro
% 8 ... 3.600 Euro bis unter 4.000 Euro
% 9 ... 4.000 Euro bis unter 4.600 Euro
% 10 ... 4.600 Euro bis unter 5.000 Euro
% 11 ... 5.000 Euro bis unter 5.600 Euro
% 12 ... 5.600 Euro bis unter 6.000 Euro
% 13 ... 6.000 Euro bis unter 6.600 Euro
% 14 ... 6.600 Euro bis 7.000 Euro
% 15 ... mehr als 7.000 Euro
Einkommen = [1:15];
```

Abbildung 4: Auswahlmöglichkeit für Wertebereich

Im nächsten Schritt wird neben diesen Variablen jeweils der volle Wertebereich der Größen „Person“, „Jahr“, „Monat“, „Tag“, „Kalenderwoche“, „Beginn der Wege in Stunden“, „Beginn der Wege in Minuten“, „Ende der Wege in Stunden“, „Ende der Wege in Minuten“, „Wegezweck“, „Anzahl der Autos“, „Tätigkeit“ und „Datum neu“, welche die MATLAB- Zeit beinhaltet, übernommen. Für die Variable „Hauptverkehrsmittel differenziert“ wurden nur Wege übernommen, welche mit einem Pkw als Mitfahrer (Wert 5) oder einem Pkw als Fahrer (Wert 6) zurückgelegt wurden. Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, wurde die Variable „Weglänge“ auf den Maximalwert 155 km beschränkt.

Im darauffolgenden Programmteil erfolgt die Abfrage auf Gültigkeit der jeweiligen Parameter für jeden Weg (=Zeile) und jede Eigenschaft (=Spalte). Werte, die mit dem vorgegebenen Gültigkeitsbereich übereinstimmen, werden mit 1 gekennzeichnet und jene, die nicht entsprechen, erhalten den Wert 0.

Abschließend wird aus jenen Wegen, die in jeder Spalte gültige Werte (=Einser) haben, die Matrix „endgueltige_Werte“ gebildet, indem die eigentlichen Werte der Variablen wieder zurück übernommen werden. Diese besteht aus 19 Spalten bzw. Variablen und maximal 36.696 Zeilen bzw. Wegen, wenn der volle gültige Wertebereich der vier soziodemographischen Variablen gewählt wird. Abhängig

von der Wahl des Wertebereichs dieser vier Größen, ergibt sich die Anzahl der übrigen Wege.

Um einen eventuellen Fehler bei der Erstellung dieser reduzierten Wegematrix sofort erkennen zu können, werden für jede dieser 19 Variablen die Statistikparameter Minimum, Maximum, Median, Mittelwert und Varianz berechnet und in einer eigenen Matrix ausgegeben.

Aus der nun gebildeten Matrix wird mit einem weiteren Programm eine Wegekette zusammengewürfelt. Da in der Datengrundlage nur ein Wegezweck pro Weg angegeben ist, wird der erste Weg als Rückweg nach Hause festgelegt, womit der zweite Weg zu Hause beginnt. Die Berechnung des SOC-Verlaufs und die Erstellung des Ladeprofiles der Wegekette beginnen daher erst mit dem zweiten Weg.

Die Wegekette wird dabei nach folgendem Ablauf zusammengewürfelt:

- 1.) Damit die Wegekette möglichst viele Wege pro Tag erhält, muss der Startzeitpunkt des ersten Weges zwischen vier und sieben Uhr liegen. Das macht in weiterer Folge die Erstellung des Ladeprofiles und die SOC-Berechnung interessanter.
- 2.) Der Wegezweck des letzten Weges ist der Ziel-Ort dieses Weges und gleichzeitig auch der Startort des darauffolgenden Weges.
- 3.) Nun werden alle Wege aus der Grundgesamtheit gesucht, welche einen anderen Wegezweck haben, damit sich Start- und Zielort voneinander unterscheiden.
- 4.) Aus diesen Wegen werden schließlich nur jene genommen, welche am selben Tag begonnen haben. Dies wird mittels MATLAB-Zeit überprüft.
- 5.) Ein Weg der an einem vorangegangenen Weg angehängt wird, darf natürlich erst beginnen, wenn der Weg davor zu Ende ist.
- 6.) Dazu wird die Start-Zeit des neuen Weges, welche in Stunden und Minuten gegeben ist, auf einen gesamten Minutenwert umgerechnet.
- 7.) Genau so wird die Ziel-Zeit des vorangegangenen Weges umgerechnet und die beiden Werte werden miteinander verglichen.
- 8.) Nur Wege, die diese Kriterien erfüllen bleiben übrig.

- 9.) Per Zufallsgenerator wird aus diesem Pool ein Weg gezogen und dessen Eigenschaften werden übernommen.
- 10.) In diesem Programm kann darüber hinaus die maximale Anzahl der einzelnen Wege und die Anzahl der Tage, über die sich die Wegekette erstreckt, gewählt werden.
- 11.) Eine zusätzliche Möglichkeit besteht darin, die Wegekette nach einer bestimmten Gesamtdauer in Minuten, die eingestellt werden kann, abubrechen.
- 12.) Falls Wege über Mitternacht gehen, wird der Wert der MATLAB-Zeit um eins erhöht und so die Wegedauer als Differenz der Start- und Ziel-Zeit berechnet.
- 13.) Die weiteren Wege folgen daran anschließend und bleiben im neu festgelegten Tageszeitfenster.

Die Variablen der Wegekette sind in einer Tabelle in Anhang 2 zusammengefasst.

3.5 Argumentationskette zur Nutzung der Mobilitätsdaten von konventionellen- zu E- Autos

Im Projekt „Mobilität in Deutschland 2008“ wurden Wege mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt. Also etwa per Fahrrad, Motorrad, LKW, Schiff, Bahn, Flugzeug oder auch zu Fuß. Um diese Wege mit jenen der Studie „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ vergleichen zu können, wurden nur Wege ausgewertet, welche mit dem Hauptverkehrsmittel Pkw als Fahrer oder Mitfahrer zurückgelegt wurden.

Um nun die Mobilitätsdaten, die durch den Einsatz konventionell angetriebener Autos gesammelt wurden mit Wegen, die mit Elektroautos zurückgelegt wurden vergleichen zu können, wird folgende Argumentationskette angegeben:

Warum sollte sich das Mobilitätsbedürfnis ändern, wenn man von einem konventionell angetriebenen Auto auf ein Elektroauto wechselt?

Die meisten Wege, die man durchführen muss, ändern sich nicht. Unabhängig vom Antriebssystem muss der Arbeitsplatz erreicht werden oder man fährt einkaufen, usw. Deshalb ist in der Häufung bzw. Charakteristik der Wege mit den entsprechenden Wegezwecken keine große Änderung zu erwarten.

Die Studie „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ lieferte unter anderem das Ergebnis, dass in 90% aller Einzelfahrten eine Strecke von 37 km zurückgelegt wurde. Die Distanz bei den Tagesfahrten liegt zu 90% unter 93 km. In den meisten Fällen ist daher keine Zwischenladung erforderlich.

Einziges Problem stellen klarerweise längere Distanzen (z.B. Urlaubsfahrten) dar, die über der Reichweite liegen. In diesem Fall müssen entweder Zwischenladungen durchgeführt werden oder man führt die Wege mit einem anderen Fahrzeug (Mietauto) bzw. Verkehrsmittel (Bus, Bahn, Flugzeug) durch.

Da die Anzahl der Wege, die die Reichweite des Akkus eines Elektroautos übersteigen vergleichsweise gering ist, sind die Datensätze der beiden Studien grundsätzlich miteinander vergleichbar. Trotzdem wurden nur Wege in die Wegekette aufgenommen, bei der eine einzelne Strecke die Reichweite nicht

überschreitet. Schließlich soll die Realisierung der Wegekette nicht von vornherein an einem zu langen Weg scheitern, sondern höchstens daran, dass je nach Szenario an einem bestimmten- bzw. an mehreren aufeinanderfolgenden Standorten nicht geladen werden kann.

3.6 Das E- Fahrzeug- und Lademodell

Heute gibt es die verschiedensten Ausführungen von Akkusystemen mit unterschiedlichen Materialien. Eine Batterie besteht dabei im Allgemeinen aus mehreren einzelnen Zellen. Abhängig von deren Verschaltung erhält man so die gewünschte Speicherkapazität bei einem gewählten Spannungsniveau.

Nach wie vor sind in der Elektromobilität fast ausschließlich Lithium-Ionen-Akkus im Einsatz. Deshalb wird auch in dieser Arbeit von dieser Batterietechnologie Gebrauch gemacht.

In der folgenden Berechnung wird dabei nicht auf die Verschaltung einzelner Zellen eingegangen. Stattdessen wird eine vereinfachte Batterie angenommen, die aus einer einzelnen Zelle besteht und das gewünschte Speichervolumen besitzt. Daher wird auch auf die Berücksichtigung von Abweichungen im Ladezustand oder im Ladevorgang verzichtet, die durch Interaktionen zwischen den einzelnen Zellen auftreten können. Ebenso werden in diesem Modell Alterungseffekte und Temperaturabhängigkeiten vernachlässigt, da die genannten Parameter für die Beantwortung der Fragestellung von nebensächlicher Bedeutung sind.

Als Datengrundlage dient eine personenbezogene Wegedatenbank, aus der schließlich eine fahrzeugbezogene Wegekette zusammengewürfelt wird. Deshalb wird im Lademodell nur ein Elektroauto berücksichtigt, wodurch der Ladevorgang ungesteuert erfolgen kann. Abhängig von der im MATLAB- Programm eingegebenen maximalen Anschlussleistung ergibt sich eine I-U- Kennlinie nach der die Aufladung des Akkus erfolgt (siehe Kapitel 3.6.2).

3.6.1 Auswahl der fahrzeugspezifischen Parameter

Im Projekt „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ kamen mehrere verschiedene Elektroautos zum Einsatz. Um eine möglichst gute Vergleichbarkeit zwischen den beiden Studien zu erzielen, wurden für die Größen der Ladecharakteristik typische Werte genommen.

Die Akkukapazität wurde als Durchschnittswert aller Elektrofahrzeuge, die im Projekt „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ verwendet wurden, festgelegt und beträgt 22 kWh. Der Mittelwert des Verbrauchs der Elektroautos betrug in dieser Studie 14,15 kWh/100 km und wird daher auch für jenes Elektroauto angenommen, welches eine Wegekette mit Daten aus der Studie „Mobilität in Deutschland 2008“ zurücklegt.

Es wurde angenommen, dass der Akku zu Beginn der ersten Fahrt einer Wegekette zu 95% aufgeladen ist. Um die Akkulebensdauer zu erhöhen, wird nie die gesamte Akkukapazität genutzt. Der minimale Ladezustand wird mit 5% festgelegt. Alle Fahrten, bei denen der SOC unter diesen Wert fällt, sind laut dieser Annahme nicht durchführbar. Der maximale Ladezustand wird auf 95% beschränkt.

Die Berechnung der Ladeprofile erfolgte im Projekt „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ mit drei unterschiedlichen Anschlussleistungen der Ladevorgänge:

- 3,7 kW (einphasig)
- 11 kW (dreiphasig)
- 22 kW (dreiphasig)

Das MATLAB- Programm zur Berechnung der Ladeprofile und des State of Charge- Verlaufs wurde daher so gestaltet, dass jeweils eine der drei Anschlussleistungen berücksichtigt werden kann.

3.6.2 Ladecharakteristik

Hier wird das übliche I-U- Ladeverfahren [10] angewendet, welches durch zwei Ladephasen gekennzeichnet ist:

Die erste Phase, in der mit konstantem Strom geladen wird, ist die I-Phase. Durch das Laden steigt die Zellenspannung langsam an bis der Wert der sogenannten Ladeschlussspannung erreicht ist. Das ist die maximale Spannung, mit der eine Lithium-Ionen-Batterie aufgeladen werden darf. Bis zu diesem Punkt steigt die Spannung nur minimal, weshalb von einer konstanten Spannung ausgegangen werden darf. Damit wird bis zum Ladeumschaltzeitpunkt näherungsweise mit konstanter Leistung geladen.

Jetzt folgt die zweite Phase des Ladevorgangs, die auch U-Phase genannt wird. Hier ist die Ladespannung auf die Ladeschlussspannung begrenzt, weshalb der Ladestrom mit der Ladedauer exponentiell absinkt. Da die Spannung des Ladevorgangs in der U-Phase konstant gehalten wird, sinkt die Leistung ebenfalls exponentiell ab.

Das Überladen der Lithium-Ionen-Batterie wird verhindert, in dem ab Erreichen des Ladeabschaltstroms der Ladevorgang abgebrochen wird.

Für die Berechnung der Ladecharakteristik ist es notwendig zu Beginn einige Kenngrößen festzulegen und zu definieren:

Ladeschlussspannung: $U_{LS} = 4.2 \text{ V}$

Nennspannung: $U_N = 3.6 \text{ V}$

Ladeleistung: $P_{const} = 3.7 \text{ kW}$ bzw. 11 kW oder 22 kW nach [7, S.42]

Akkukapazität: $E_{Batt} = 22 \text{ kWh}$ nach [7, S.39]

Folgende Formeln werden für die Berechnung der Ladecharakteristik benötigt:

Ladeumschaltpunkt: $s = P_{const} * (-0.008) + 0.83$ nach [9]

Ladeabschaltstrom: $I_{LS} = P_{const} * 0.006 + 0.008$ nach [10]

Ladeschlussleistung: $P_{LS} = \frac{U_{LS}}{U_N} * I_{LS} * E_{Batt}$ nach [11, S.83-84]

Ladekorrekturfaktor: $k_L = \frac{1-s}{\ln\left(\frac{P_{const}}{P_{LS}}\right)}$ nach [11, S.83-84]

In Tabelle 4 sind die drei verschiedenen Anschlussleistungen und deren Auswirkungen auf den Ladeumschaltpunkt bzw. die gesamte Ladedauer gegenübergestellt. Wie zu erwarten ist, sinkt die Ladedauer mit steigender Anschlussleistung.

Tabelle 4: Anschlussleistungen

Anschlussleistung [kW]	Ladeumschaltpunkt [min]	Ladedauer [min]
3,7	287	457
11	90	173
22	40	98

Je nach Ladeleistung erhält man einen Ladeleistungs- bzw. SOC- Verlauf. In Abbildung 5 ist der mit den Formeln berechnete Ladeleistungsverlauf für eine Anschlussleistung von 11 kW dargestellt. Abbildung 6 zeigt den zugehörigen SOC- Verlauf. In beiden Kennlinienverläufen ist der Ladeumschaltpunkt deutlich zu erkennen, welcher bei 11 kW nach 90 Minuten auftritt.

Abbildung 6 zeigt, dass nach der Hälfte der Ladedauer der Akku bereits zu ca. 70% aufgeladen ist. Da die Ladeleistung nach dem Ladeumschaltpunkt exponentiell abnimmt, wird für die letzten 30% bis zum Vollladepunkt wesentlich mehr Zeit benötigt.

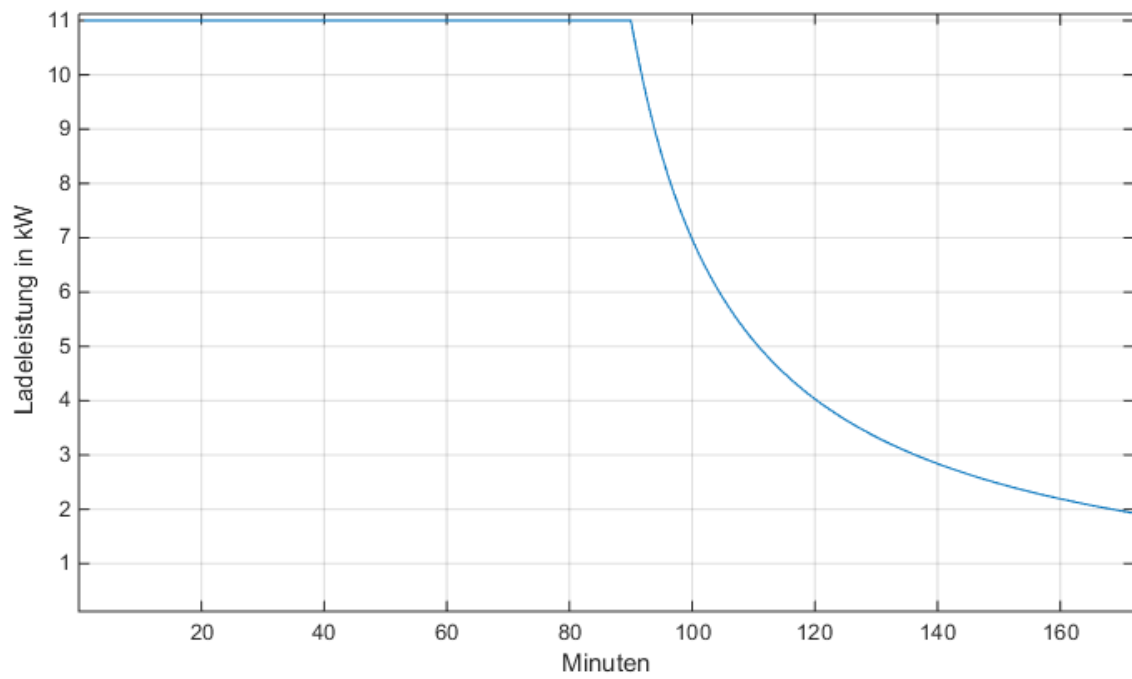


Abbildung 5: Ladeleistungsverlauf (11 kW)

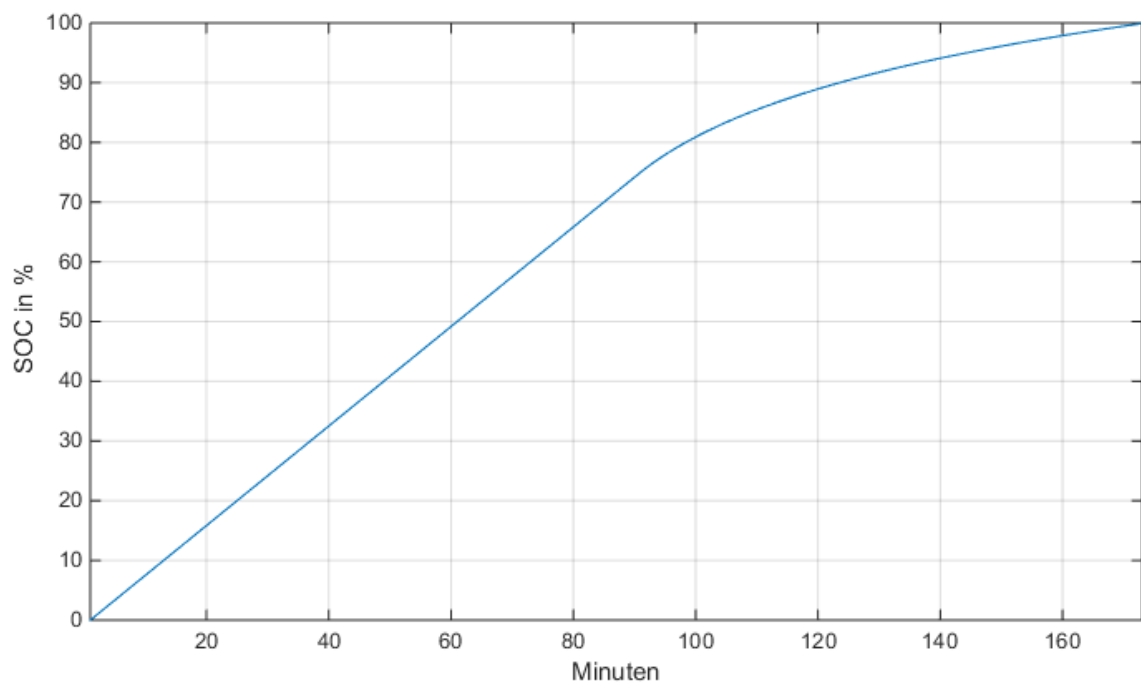


Abbildung 6: SOC- Verlauf (11 kW)

3.6.3 Realisierung in MATLAB

Zu Beginn jeder Wegekette wird von einem Ladezustand (SOC) von 95% ausgegangen. Um das Über- oder Unterschreiten der Akkulimits rasch zu erkennen, erfolgt die Ladezustandsberechnung in Minutenauflösung.

Während ein Weg zurückgelegt wird, verringert sich der SOC-Wert linear. Nachdem der Verbrauch/km mit steigender Durchschnittsgeschwindigkeit steigt, wird im Programm berücksichtigt, in welcher Zeitdauer die Weglänge zurückgelegt wird:

$$SOC(neu) = SOC(alt) - \frac{Wegl\ddot{a}nge}{Wegdauer} * \frac{14.15\text{ kWh}}{100\text{ km}} * \frac{100\%}{E_{Batt}}$$

Es ergeben sich dadurch unterschiedlich starke Abnahmen des SOC-Stands, was auch der Praxis entspricht. Diese Berechnung erfolgt in Form einer Schleife, welche so oft durchlaufen wird, bis die Wegdauer erreicht ist. Dabei wird der neue SOC- Wert nach jeder Minute überprüft und die Wegekette abgebrochen, falls der vorgegebene Minimalwert des Ladezustands unterschritten wird. So weiß der Benutzer sofort, welcher Weg nicht mehr realisiert werden konnte.

Für den Ladevorgang können verschiedene Szenarien durchgespielt werden. Je nach Festlegung der Lademöglichkeit(en), ergeben sich so für eine Wegekette unterschiedliche SOC- Verläufe bzw. Ladeprofile. Nimmt man z.B. an, dass nur zu Hause geladen werden kann, lassen sich weniger Wegeketten durchführen, als wenn zusätzlich auch beispielsweise am Arbeitsplatz geladen werden kann. Entscheidend ist also einerseits natürlich die Weglänge der einzelnen Strecken und andererseits ob an den Standorten dazwischen geladen werden kann oder nicht. Falls eine Lademöglichkeit besteht, ist auch die Standdauer ausschlaggebend. Also wie lange zwischen den Fahrten geladen werden kann.

Es wurde jeweils angenommen, dass erst fünf Minuten nach dem Erreichen eines Standorts mit Lademöglichkeit mit dem Ladevorgang begonnen wird. Ist ein Aufladen des Akkus nicht möglich, bleibt der Ladezustand während der Standdauer unverändert.

Wenn geladen werden kann, wird die Berechnung nach folgender Methodik durchgeführt:

- 1.) Der aktuelle Ladezustand (SOC-Wert) wird erhoben.
- 2.) Dieser Wert wird mit einem „Muster-SOC-Verlauf“ (siehe Abbildung 5) verglichen.
- 3.) Von nun an wird jeder darauffolgende Minutenwert aus der zuvor berechneten Vorlage übernommen.
- 4.) Dieser Vorgang wird abgebrochen sobald die nächste Fahrt beginnt, oder der Maximalwert des Ladezustands erreicht ist.
- 5.) In diesem Fall wird der SOC- Wert auf 95% beschränkt.

Die Berechnung des Ladeprofilverlaufs erfolgt nach demselben Schema.

4 Vergleiche und Profilerstellung

In diesem Kapitel erfolgt die eigentliche Auswertung des Datensatzes der Studie „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ [7]. Noch einmal wird auf die soziodemographischen Parameter eingegangen, welche je nach Auswahl die übrig bleibenden Wege beeinflussen.

In den nächsten beiden Unterkapiteln werden Verteilungen innerhalb dieser Parameter behandelt und Differenzen diskutiert. Ebenso werden Abhängigkeiten zwischen den Variablen untersucht.

Schließlich werden Standprofile an verschiedenen Tagen bzw. Tageszeiten behandelt und Unterschiede bzw. Auffälligkeiten präsentiert.

Im Kapitel 4.6 werden die Ladeinfrastruktur und Szenarien beschrieben, welche für die Berechnung des SOC- Verlaufs und der Ladeprofile ausschlaggebend sind. Abschließend werden interessante Ladeverläufe gezeigt und beschrieben.

4.1 Auswahl der soziodemographischen Parameter

Unter den 32 gewählten Variablen (siehe Anhang 1), wurden vier als soziodemographische Parameter eingestuft:

- monatliches Haushaltsnettoeinkommen
- Alter
- Geschlecht
- politische Gemeindegrößenklasse

In Kapitel 4.6 wird der Frage nachgegangen, ob durch gezielte Einschränkung des Wertebereichs dieser vier Variablen Unterschiede im Verlauf der Ladeprofile erkennbar sind.

4.2 Verteilungen der soziodemographischen Parameter und Differenzen

In diesem Unterkapitel werden die Verteilungen der vier soziodemographischen Parameter auf die dokumentierten Wege dargestellt und diskutiert. Es ergibt sich somit je nach Parameter eine Häufigkeit eines Wertebereichs über alle aufgezeichneten Wege. Die Auswertung erfolgte mit MATLAB.

1.) Monatliches Haushaltsnettoeinkommen

In Abbildung 7 ist die Aufteilung aller aufgezeichneten Wege hinsichtlich des monatlichen Nettoeinkommens dargestellt. Das Einkommen ist dabei in folgende Kategorien eingeteilt:

1 ... bis unter 500 Euro	9 ... 4.000 Euro bis unter 4.600 Euro
2 ... 500 Euro bis unter 900 Euro	10 ... 4.600 Euro bis unter 5.000 Euro
3 ... 900 Euro bis unter 1.500 Euro	11 ... 5.000 Euro bis unter 5.600 Euro
4 ... 1.500 Euro bis unter 2.000 Euro	12 ... 5.600 Euro bis unter 6.000 Euro
5 ... 2.000 Euro bis unter 2.600 Euro	13 ... 6.000 Euro bis unter 6.600 Euro
6 ... 2.600 Euro bis unter 3.000 Euro	14 ... 6.600 Euro bis 7.000 Euro
7 ... 3.000 Euro bis unter 3.600 Euro	15 ... mehr als 7.000 Euro
8 ... 3.600 Euro bis unter 4.000 Euro	

Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, wurden die meisten aufgezeichneten Wege von Personen mit 2.000 bis unter 2.600 Euro monatlichem Haushaltseinkommen zurückgelegt.

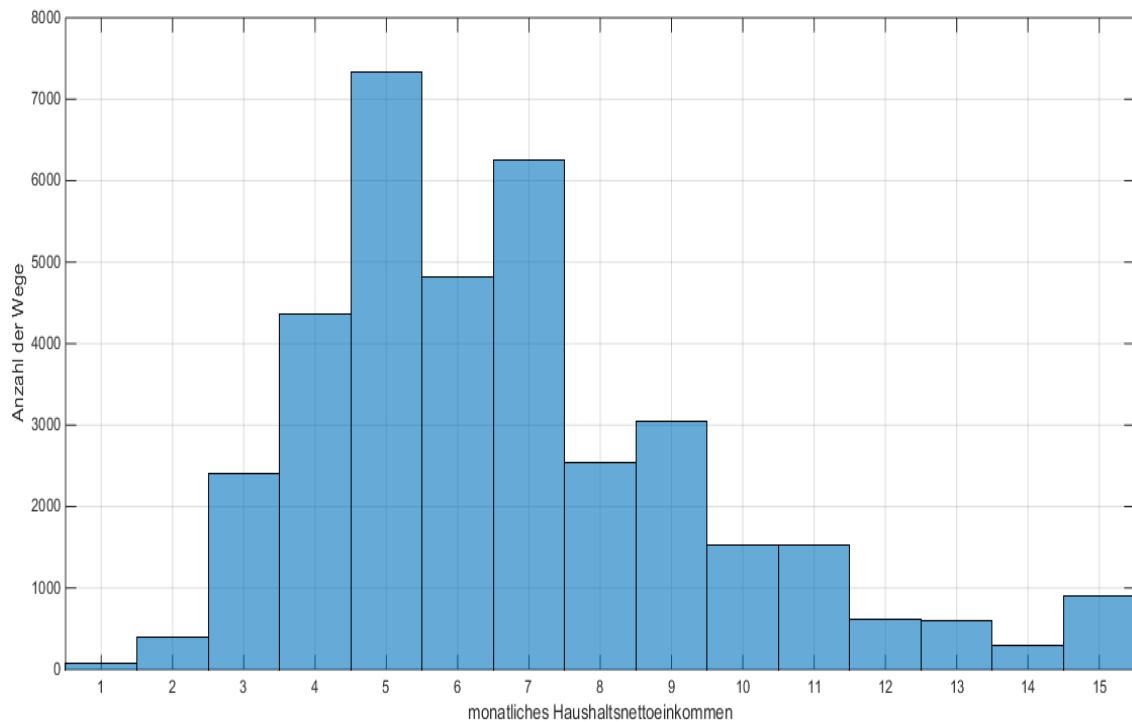


Abbildung 7: Aufteilung aller Wege in Bezug auf das Einkommen

2.) Alter

Abbildung 8 zeigt wie das Alter der Personen auf die dokumentierten Wege aufgeteilt ist. In diesem Datenpool wurden die meisten Wege von Menschen zwischen 40 und 55 Jahren aufgezeichnet. Eine interessante Häufung an dokumentierten Wegen gibt es in der Gruppe der 18- bis 21- Jährigen. Erwartungsgemäß geht die Anzahl der aufgezeichneten Wege ab 75 Jahren deutlich zurück.

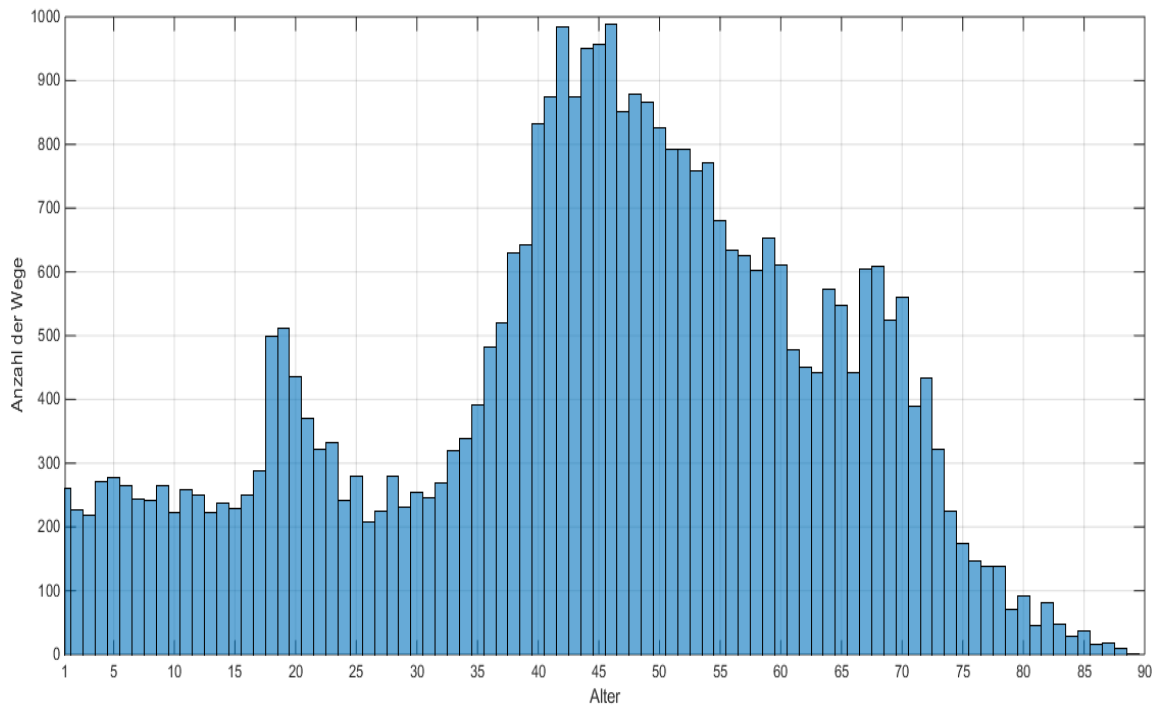


Abbildung 8: Altersverteilung

3.) Geschlecht

Wenn man alle aufgezeichneten Wege auf die Geschlechter männlich (1) und weiblich (2) aufteilt, ergibt sich ein sehr geringer Unterschied. In Zahlen bedeutet das:

18.353 Wege wurden von Männern zurückgelegt und 18.343 dokumentierte Wege wurden von Frauen zurückgelegt. Die Differenz von 10 Wegen ist zu gering, um diese in Abbildung 9 erkennen zu können.

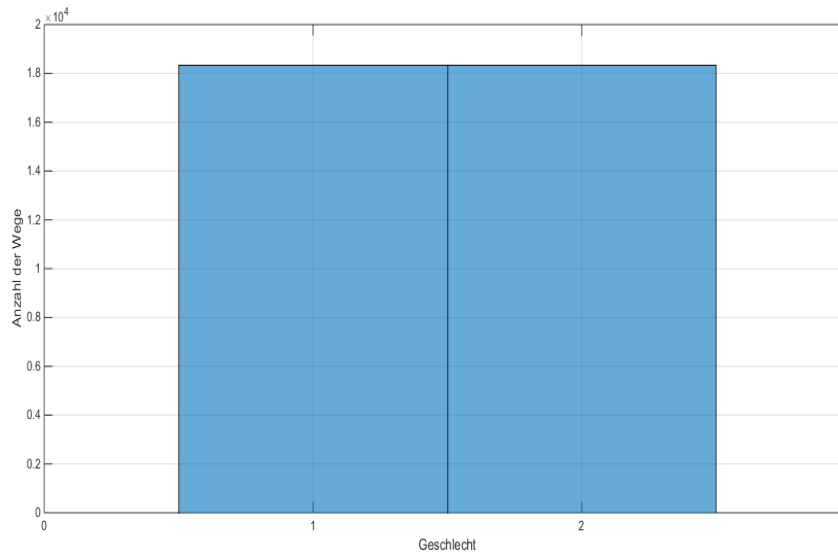


Abbildung 9: Aufteilung aller Wege auf die Geschlechter

4.) Politische Gemeindegrößenklasse

In Abbildung 10 ist die Aufteilung aller Wege auf die jeweilige politische Gemeindegrößenklasse dargestellt. Die Ziffern der horizontalen Achsenbeschriftung bedeuten:

- 1 ... unter 5.000 Einwohner
- 2 ... 5.000 Einwohner bis unter 20.000 Einwohner
- 3 ... 20.000 Einwohner bis unter 50.000 Einwohner
- 4 ... 50.000 Einwohner bis unter 100.000 Einwohner
- 5 ... 100.000 Einwohner bis unter 500.000 Einwohner
- 6 ... 500.000 Einwohner und mehr

Demnach wurden mit 10.870 Wegen die meisten in Gemeinden der Größenklasse 2 zurückgelegt. In Abbildung 10 fällt auf, dass die wenigsten Wege nicht in den größten Städten, sondern im Bereich zwischen 50.000 und 100.000 Einwohner zurückgelegt wurden.

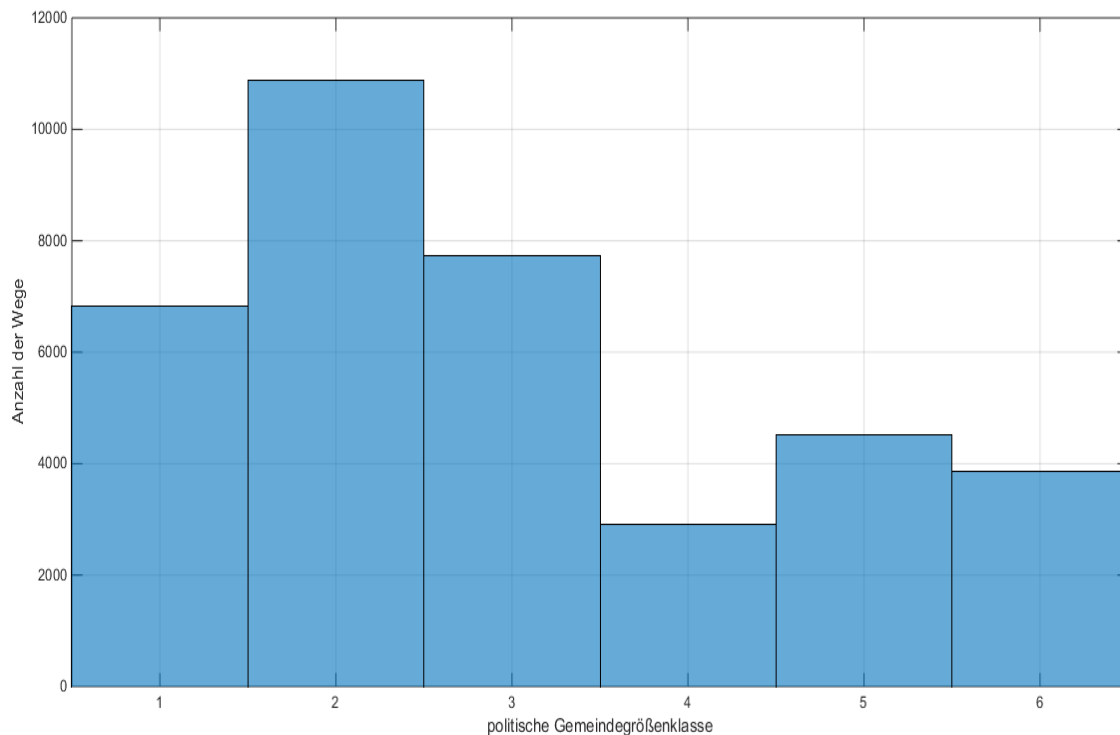


Abbildung 10: Aufteilung der aufgezeichneten Wege auf die Gemeindegröße

4.3 Standprofile

In diesem Kapitel werden ausgewählte Standprofile dargestellt und diskutiert. Nachdem im Standprofil für die einzelnen Tage Montag bis Donnerstag keine signifikanten Unterschiede feststellbar waren, wurden alle Wege dieser vier Tage zusammengekommen und dieser Datenpool gemeinsam ausgewertet.

Abbildung 11 zeigt den Standprofilverlauf für alle Wege, welche an den Tagen Montag bis inklusive Donnerstag zurückgelegt wurden. Wie erwartet ist der Anteil „zu Hause“ während der Abend- und Nachtstunden, also von ca. 18:30h (Minute 1100) bis ca. 06:40h (Minute 400), am größten. Tagsüber sind die Anteile für „Arbeitsplatz“, „Ausbildung“, „Schule“ und „Kindergarten“ deutlich zu erkennen. Dafür beträgt die Häufigkeit für den Standort „zu Hause“ während der Mittagszeit nur etwas mehr als 25%. Der weiß dargestellte Bereich am oberen Ende der Standort-Diagramme entspricht dem Anteil an Personen, welche in diesem Moment unterwegs sind. In Abbildung 11 erkennt man diesbezüglich die

Morgenspitze um ca. 7h (Minute 430). Zu dieser Zeit sind ca. 20% aller Teilnehmer gleichzeitig unterwegs. Während der Nachtstunden verringert sich der „weiße Anteil“ auf weniger als 5%. Dieser „weiße Anteil“ in den Standprofilen gibt also die Häufigkeit der Fahrprofile an.

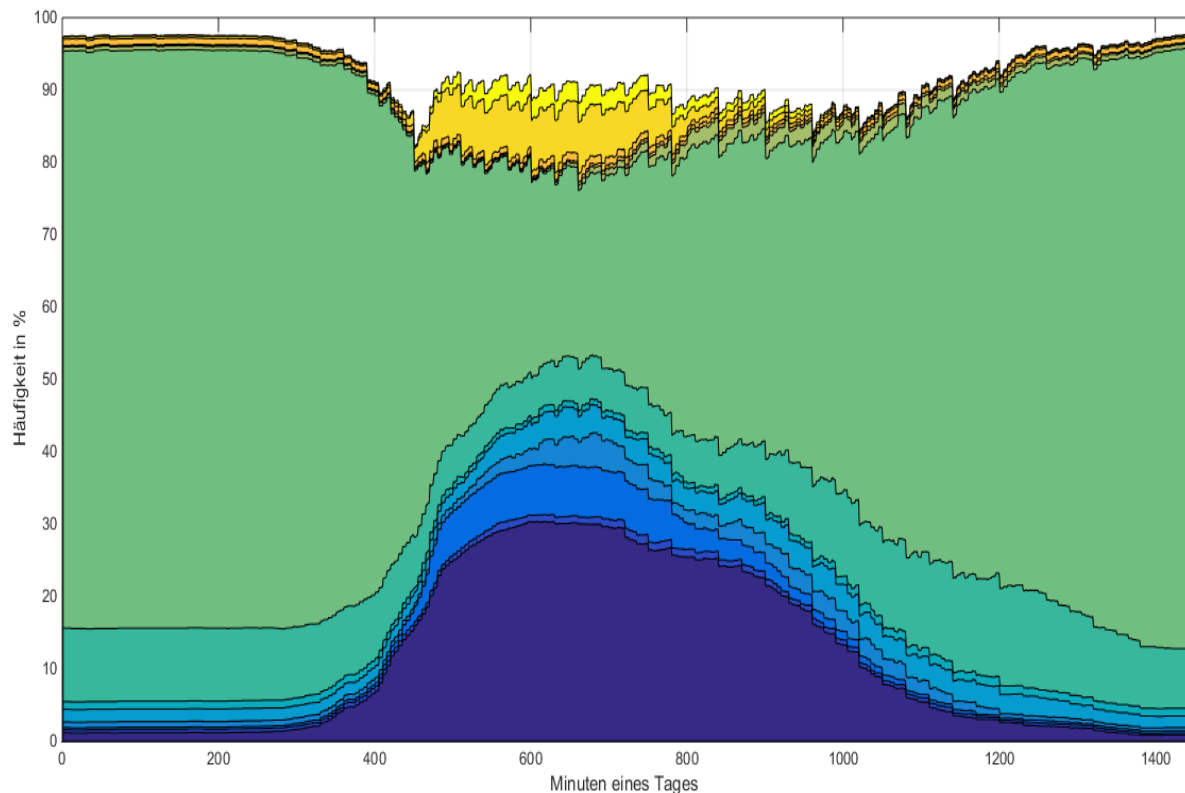


Abbildung 11: Standprofil Montag- Donnerstag

In Abbildung 12 ist der Index für das Standprofil aus Abbildung 11 zu sehen. Die Zuteilung gilt auch für die weiteren Standprofile in diesem Unterkapitel.



Abbildung 12: Index zu den Standprofilen

In Abbildung 13 ist das Standprofil für alle Wege, welche an einem Freitag durchgeführt wurden, zu sehen. Im Vergleich zu Abbildung 11 ist zwar ein ähnlicher Verlauf der einzelnen Parameter zu erkennen, wenn man die Aufteilung genauer betrachtet, erkennt man doch Unterschiede:

- Der größte Anteil des Standorts „Arbeitsplatz“ ist am Freitag- Mittag um gut 5% geringer als in Abbildung 11. Es gibt also offenbar einige Teilnehmer in diesem Datenpool, die nur von Montag bis Donnerstag arbeiten. Dabei erkennt man auch, dass viele Personen am Freitag nicht so lange arbeiten. Der Anteil „Arbeitsplatz“ wird am Nachmittag schneller geringer als in Abbildung 11.
- Der Verlauf des Standorts „Freizeit“ ist ähnlich jenem von Montag bis Donnerstag, aber am Freitag über den gesamten Tag prozentuell höher.

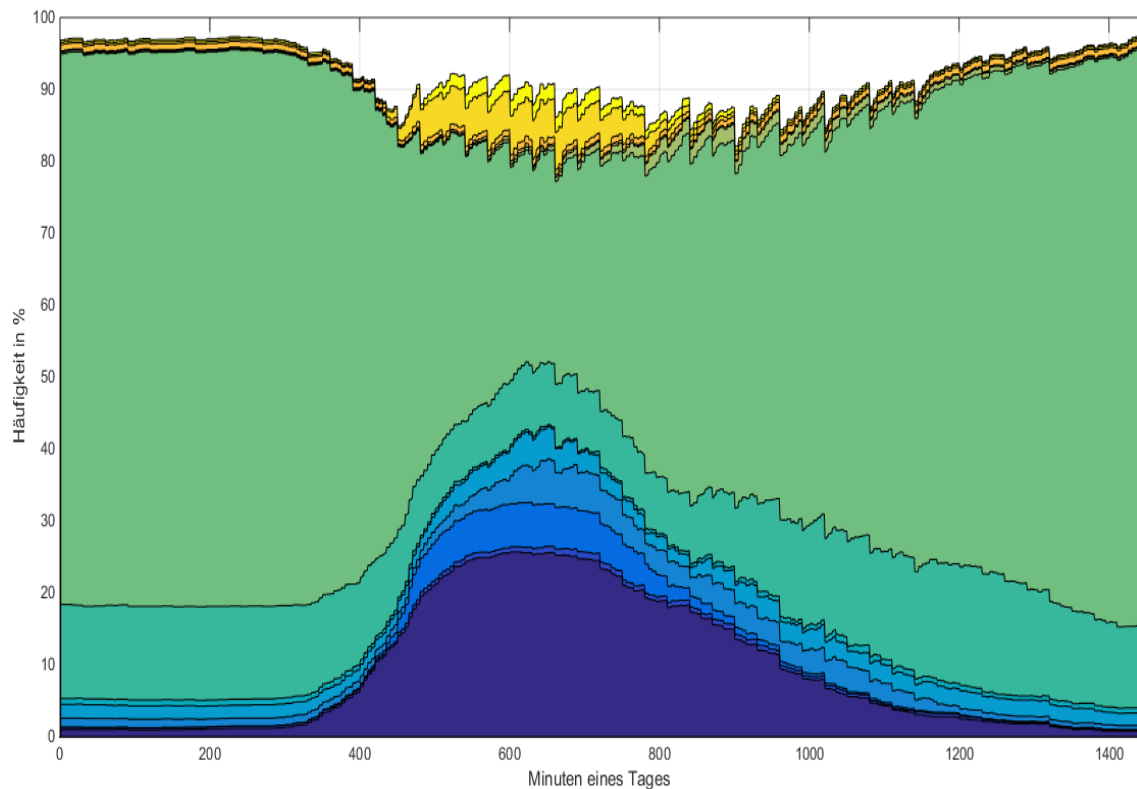


Abbildung 13: Standprofil Freitag

Abbildung 14 zeigt das Standprofil für Samstag und Sonntag. Erwartungsgemäß ist der Anteil des Standorts „Arbeitsplatz“ an den beiden Wochenendtagen viel geringer als von Montag bis Freitag. Die beiden größten Anteile während des Wochenendes sind die Standorte „Freizeit“ und „zu Hause“. In Abbildung 14 fällt auf, dass der weiß dargestellte Bereich insbesondere während der Mittagszeit groß ist. Es lässt sich daraus ableiten, dass viele Teilnehmer Ausflugsfahrten und dgl. durchgeführt haben. Ebenso ist dieser Anteil während der Nachtstunden größer als an den Wochentagen. Einige Freizeitaufenthalte dürften also bis in die Morgenstunden angedauert haben und wurden erst dann mit der Rückfahrt beendet.

Verglichen mit den Standprofilen von Montag bis Freitag ist der Anteil der Standorte „Schule“ und „Kindergarten“ tagsüber am Wochenende naturgemäß verschwindend klein.

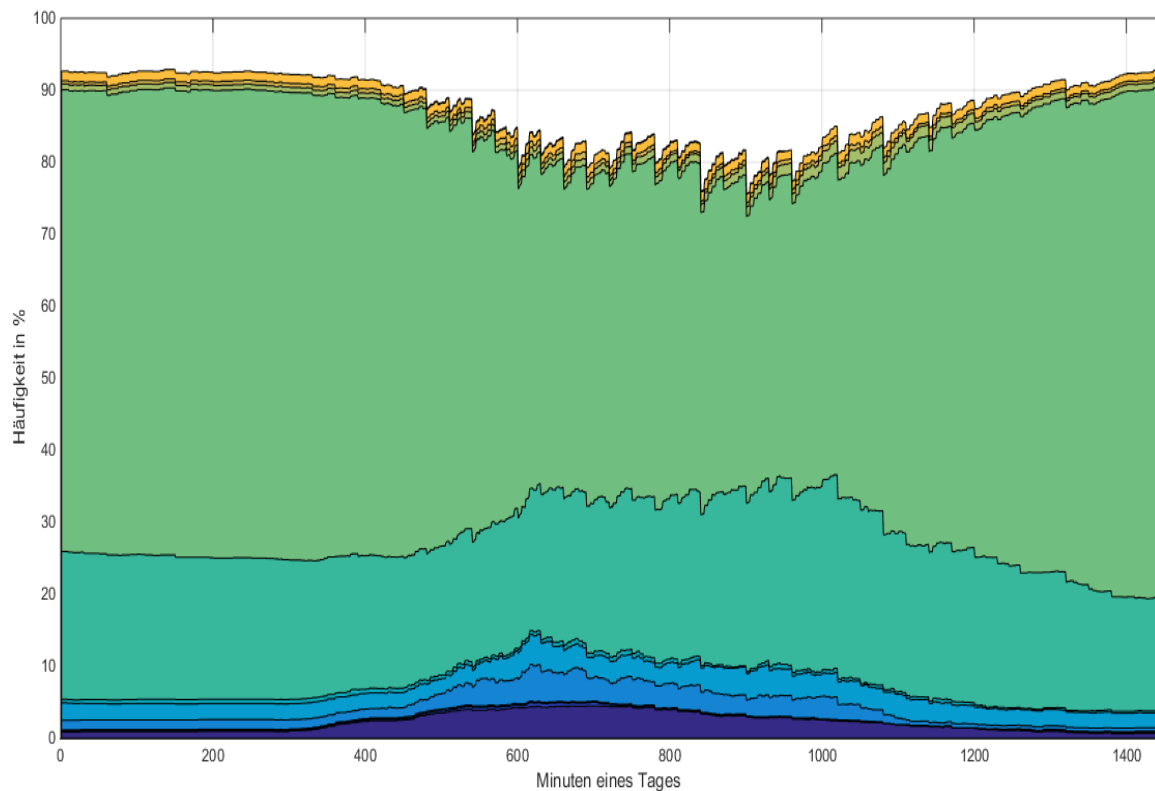


Abbildung 14: Standprofil Samstag und Sonntag

4.4 Ladeinfrastruktur und Szenarien

Wie bereits erwähnt, wird angenommen, dass es so wie im Projekt „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ bezüglich der Ladeinfrastruktur je nach Standort eine von drei verschiedenen Anschlussleistungen gibt:

- 3,7 kW (einphasig)
- 11 kW (dreiphasig)
- 22 kW (dreiphasig)

Neben der Anschlussleistung werden dabei auch in mehreren Szenarien unterschiedlich viele Lademöglichkeiten an den diversen Standorten durchgespielt. Dabei ist im selbst geschriebenen MATLAB- Programm auch die Anzahl der Tage, über die sich die Wegekette erstreckt, frei wählbar. Der

Wertebereich der soziodemographischen Parameter wird hier nicht eingeschränkt. Diesbezügliche Auswirkungen werden in Kapitel 4.6 behandelt.

Ausgangspunkt für die Untersuchung ist eine Wegekette, welche über 14 Tage berechnet wird. Diese Aneinanderreihung der Wege bleibt für alle Szenarien gleich.

Folgend werden sieben beispielhafte Fälle angenommen und durchgespielt:

Im 1. Szenario ist das Laden des Akkus nur zu Hause möglich. Die Anschlussleistung beträgt dabei 3,7 kW. Der SOC- Verlauf dieses Szenarios ist in Abbildung 15 zu sehen. Die Wegekette ist unter diesen Voraussetzungen nur 10 Tage durchführbar. In Abbildung 16 ist der Batterieladezustandsverlauf für den gesamten 11. Tag zu sehen. Man erkennt, dass der SOC- Wert unter 5% fällt. Laut Annahme ist eine Wegekette in diesem Fall nicht realisierbar. Die Minuteneinteilung erfolgt in den einzelnen Abbildungen tageweise, d.h. nach 1440 Minuten ist der erste Tag zu Ende, nach 2880 Minuten der zweite, usw.

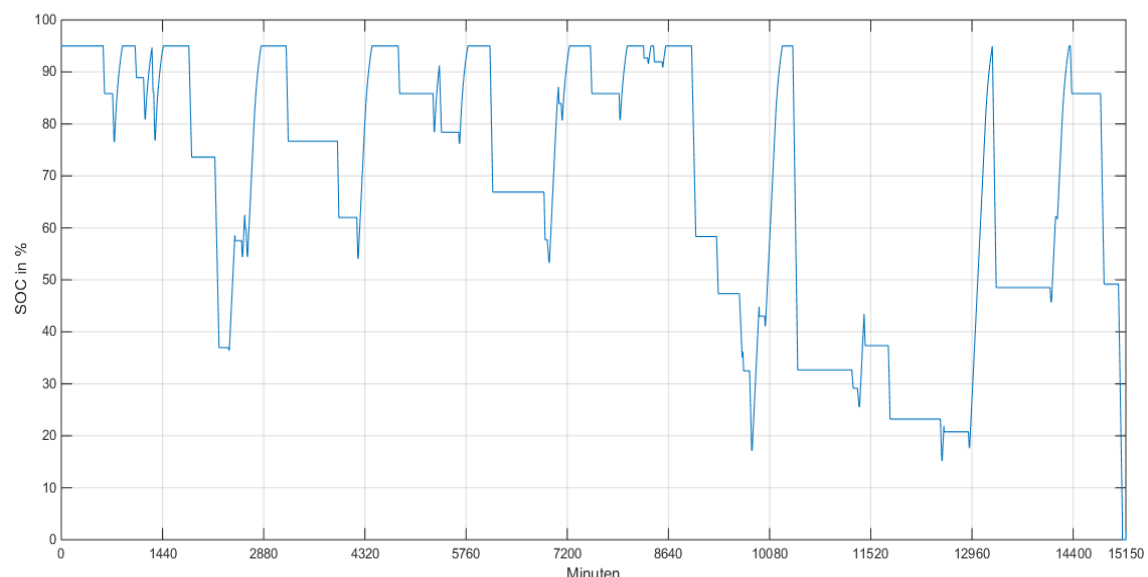


Abbildung 15: Szenario 1, SOC-Verlauf

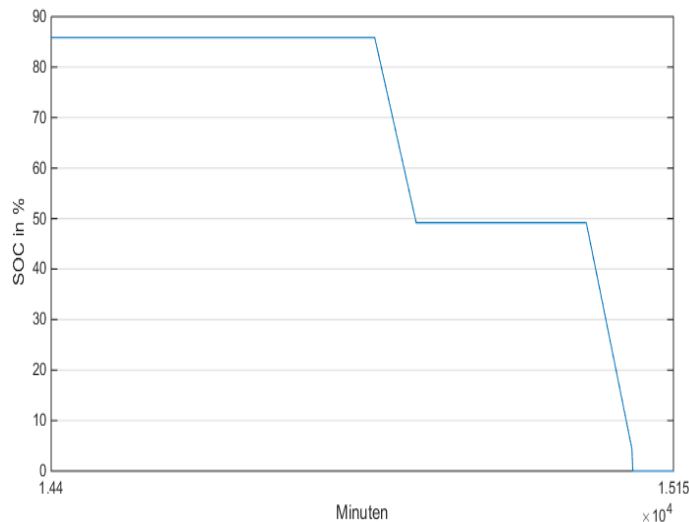


Abbildung 16: Letzter Teil im Szenario 1, SOC-Verlauf

Im Szenario 2 wird ebenfalls angenommen, dass der Ladevorgang ausschließlich zu Hause durchführbar ist. Einziger Unterschied zu Szenario 1 ist die höhere Anschlussleistung von 11 kW. Trotzdem ist die Wegekette auch in diesem Fall nur bis zum 10. Tag realisierbar.

In Abbildung 17 ist der SOC- Verlauf von Szenario 3 zu sehen. Hier wird angenommen, dass nur zu Hause geladen werden kann. Die Anschlussleistung beträgt dabei 22 kW. Auch unter dieser Voraussetzung ist die Wegekette nicht über den 10. Tag hinaus durchführbar.

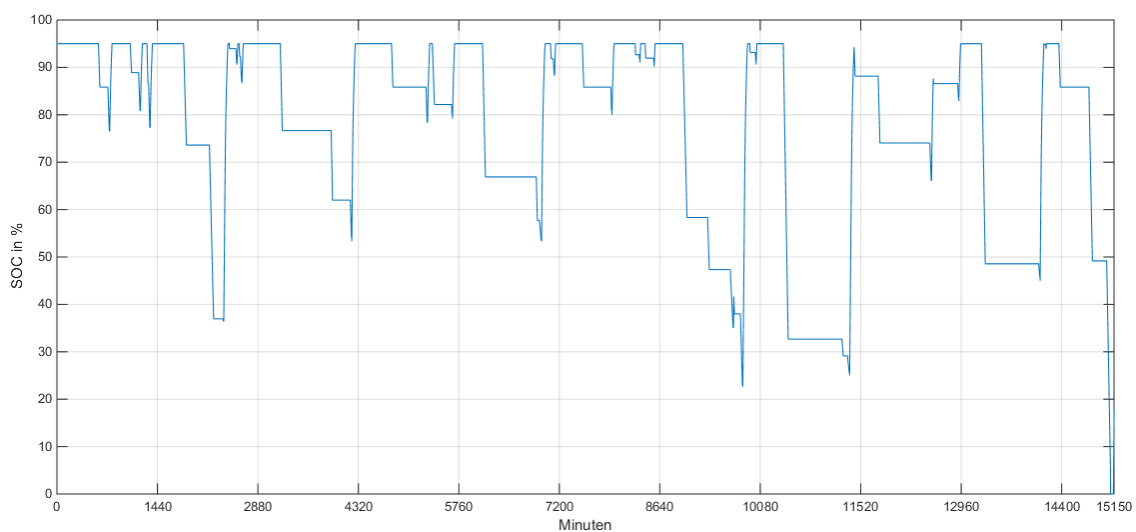


Abbildung 17: Szenario 3, SOC-Verlauf

In den ersten drei Szenarios scheitert die Realisierung der Wegekette also nicht an der Anschlussleistung, sondern an der Annahme, dass nur zu Hause geladen werden kann.

Im Gegensatz zu den bisherigen Annahmen ist in Szenario 4 das Laden des Akkus nicht nur zu Hause, sondern zusätzlich auch am Arbeitsplatz möglich. Dabei genügt die Annahme der Anschlussleistung von 3,7 kW, um die komplette Wegekette über 14 Tage erstmalig komplett durchführen zu können. Den zugehörigen Batterieladezustandsverlauf zeigt Abbildung 18. Ergänzend wird hier auch das Ladeprofil des 4. Szenarios in Abbildung 19 dargestellt. Dabei sieht man insbesondere am 6. Tag der Wegekette, also zwischen Minute 7200 und 8640, dass abhängig vom SOC- Wert nicht immer die gesamte Ladeleistung zum Aufladen des Akkus notwendig ist.

Um die beiden Ladephasen (I bzw. U, vgl. Kapitel 3.6.2) besser erkennen zu können, ist in Abbildung 20 der Ladeleistungsverlauf der ersten beiden Tage der Wegekette bis Minute 2880 dargestellt. Man erkennt dabei, dass es am zweiten Tag zwei Ladephasen gibt, die aufgrund zu kurzer Standdauer bereits abgebrochen sind bevor die Umschaltung in die U-Phase erfolgt.

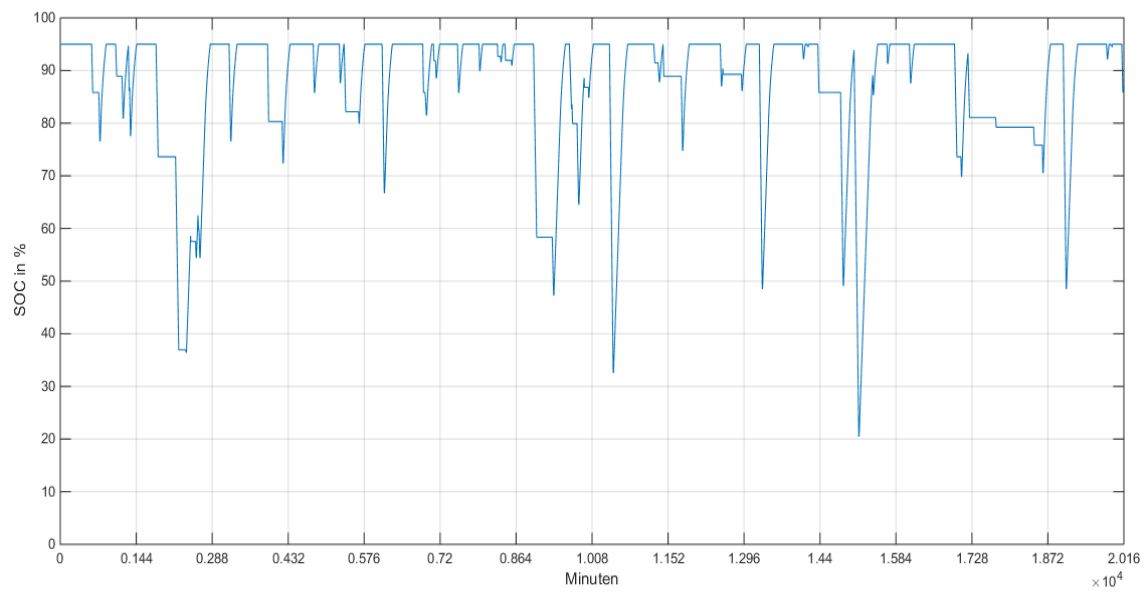


Abbildung 18: Szenario 4, SOC-Verlauf

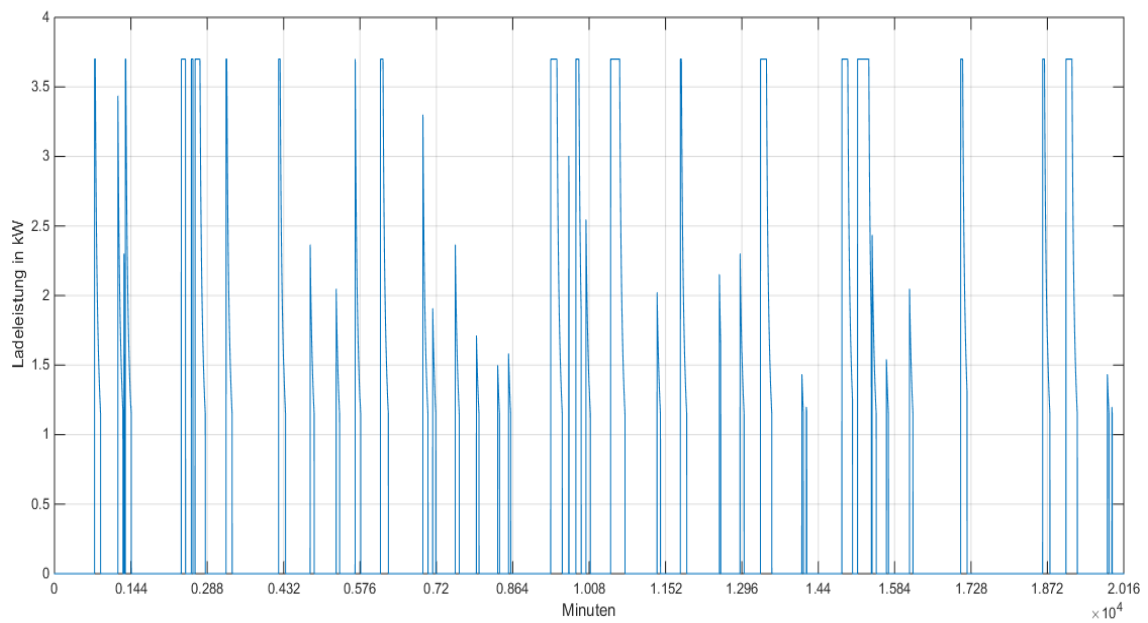


Abbildung 19: Szenario 4, Ladeleistungsverlauf

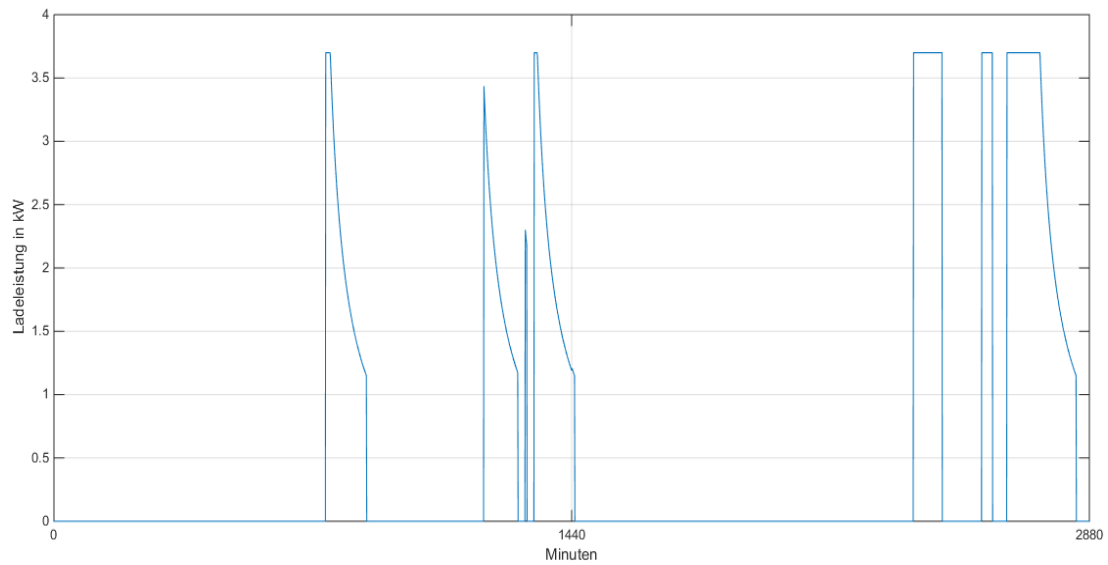


Abbildung 20: Szenario 4, Ausschnitt des Ladeleistungsverlaufs

Im Szenario 5 ist das Laden zu Hause und am Arbeitsplatz möglich. Die Anschlussleistung wurde dabei auf 22 kW erhöht. Auch unter dieser Annahme lässt sich die Wegekette durchführen. Der Batterieladezustandsverlauf ist in Abbildung 21 dargestellt. Aufgrund der größeren Ladeleistung sind die Ladezeiten im Vergleich zu Szenario 4 kürzer, da der SOC- Wert rascher zunimmt (vgl. Abbildung 18).

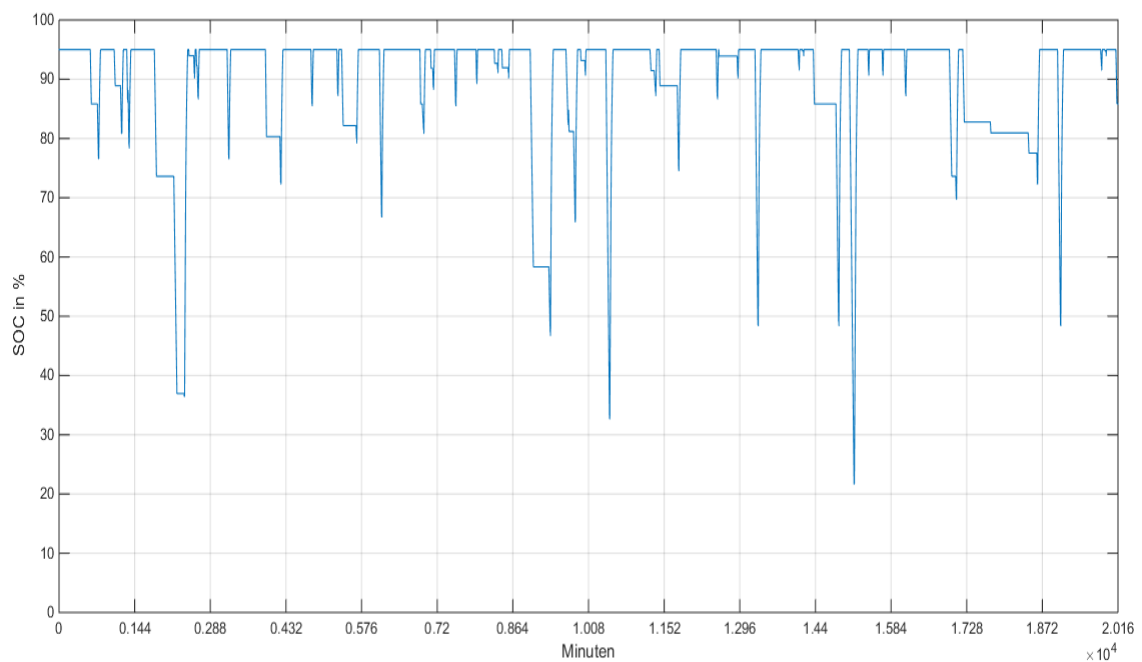


Abbildung 21: Szenario 5, SOC-Verlauf

Im 6. Szenario kann der Akku zu Hause, am Arbeitsplatz und auch an Standorten in der Freizeit geladen werden. Die Anschlussleistung wurde im Vergleich zu Szenario 5 unverändert bei 22 kW belassen. Auch hier ist die Wegekette mit dem Elektroauto durchführbar. Die Annahme, dass zusätzlich auch an Standorten in der Freizeit geladen werden kann führt dazu, dass der SOC- Wert seltener stark einbricht. Meistens kann der Ladezustand in einem Band zwischen 75% und 95% gehalten werden (siehe Abbildung 22).

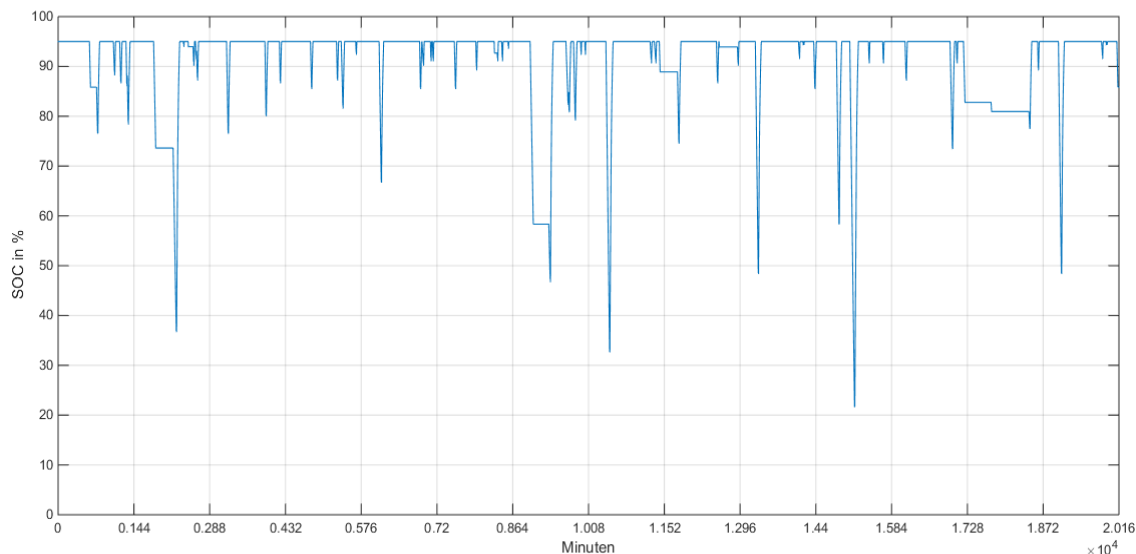


Abbildung 22: Szenario 6, SOC-Verlauf

Die Annahme, dass an jedem Standort geladen werden kann, wird im Szenario 7 getroffen. Die Anschlussleistung beträgt 22 kW. Nachdem das die beste aller Voraussetzungen ist, um eine Wegekette mit einem Elektroauto realisieren zu können, ist klar, dass es hier keinerlei Probleme bei der Durchführung gibt. Den Verlauf des SOC- Wertes zeigt Abbildung 23. Ergänzend ist in Abbildung 24 der Verlauf der Ladeleistung im 7. Szenario dargestellt. Man erkennt, dass selten die maximale Ladeleistung von 22 kW benötigt wird, da an jedem Standort geladen werden kann. Der SOC- Wert ist also meist nur gering zurückgegangen, wodurch fast nur die zweite Ladephase (U-Phase) mit geringerer Ladeleistung zur Anwendung kommt (vgl. Kapitel 3.6.2).

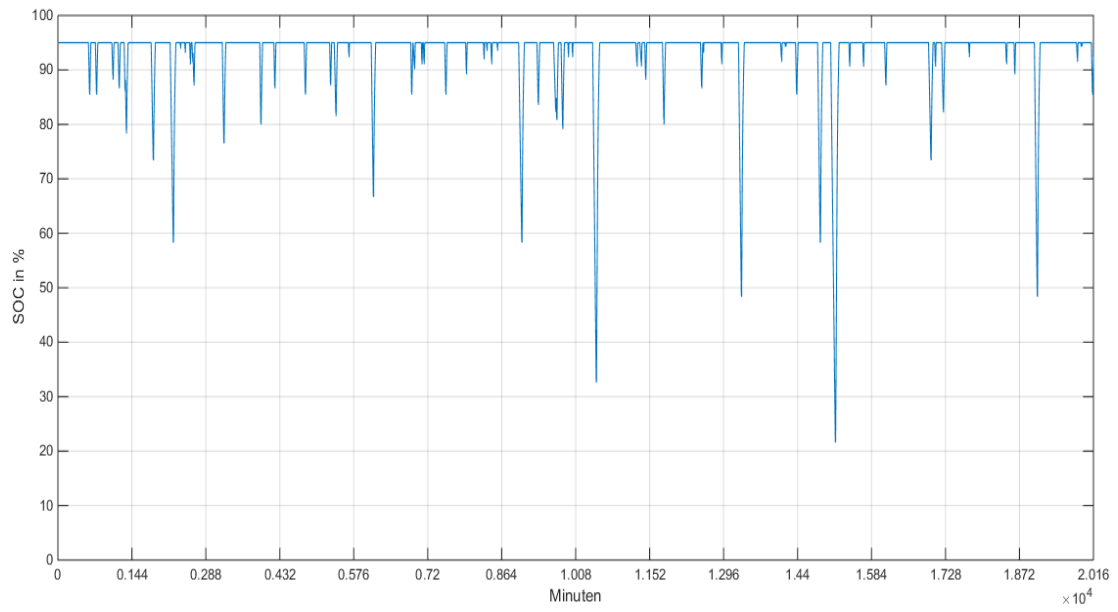


Abbildung 23: Szenario 7, SOC-Verlauf

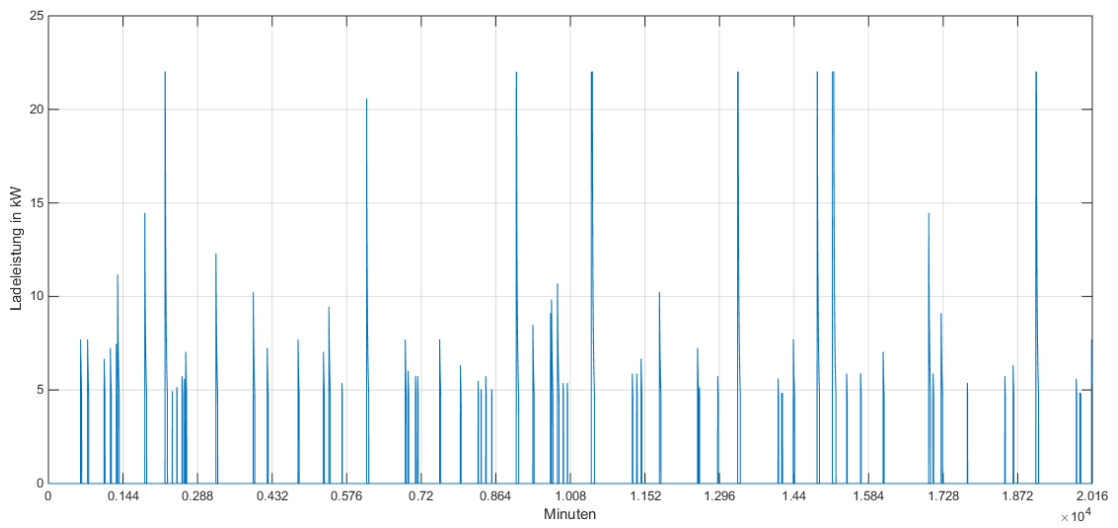


Abbildung 24: Szenario 7, Ladeleistungsverlauf

4.5 Soziodemographische Parameter und deren Auswirkung auf das Ladeprofil

Neben der Ladeleistung und der Annahme wo geladen werden kann, soll nun der gültige Wertebereich der vier soziodemographischen Parameter in mehreren Szenarien verändert bzw. eingeschränkt werden. Aus dem sich daraus ergebenden Datenpool werden Wegeketten über jeweils einen Tag generiert und der Ladeleistungsverlauf berechnet. Durch Aufsummieren der einzelnen Ladeleistungen für jede Minute und anschließendes Durchdividieren durch die Anzahl der betrachteten Verläufe erhält man ein sogenanntes „Ladeleistungsgebirge“. Die dabei auftretenden Unterschiede werden herausgearbeitet und diskutiert.

Um die Vergleichbarkeit zu erhöhen, wird bei allen Szenarios ausschließlich der Wertebereich der soziodemographischen Parameter verändert. Im Folgenden wird immer der Wertebereich innerhalb eines soziodemographischen Parameters zwei Mal verändert. Diese zwei verschiedenen Szenarios werden anschließend einander gegenübergestellt. Somit werden die Auswirkungen auf das Ladeprofil durch gezielte Wahl des gültigen Wertebereichs eines soziodemographischen Parameters sichtbar.

Szenario 1 „NIEDRIGES EINKOMMEN“:

Der gültige Wertebereich des monatlichen Haushaltseinkommens wird auf 1 bis 3 eingeschränkt. Es handelt sich also um Personen mit einem Einkommen bis weniger als 1.500 Euro/Monat. Dass an jedem Standort geladen werden kann, wird angenommen. Die Ladeleistung beträgt 3,7 kW.

Abbildung 25 zeigt die gemittelte Ladeleistung der Wegeketten dieses Szenarios über einen Tag verteilt. Während in den Nachtstunden keine Ladevorgänge durchgeführt werden, ergibt sich unter dieser Annahme in den Morgenstunden ein auffallend großer Ladeleistungsbedarf. Daran anschließend ist die gemittelte Ladeleistung deutlich geringer und während der Mittagszeit fast null. Im Szenario 1 lässt sich eine Abendspitze erkennen, welche jedoch im Vergleich zu den Morgenstunden wesentlich kleiner ist.

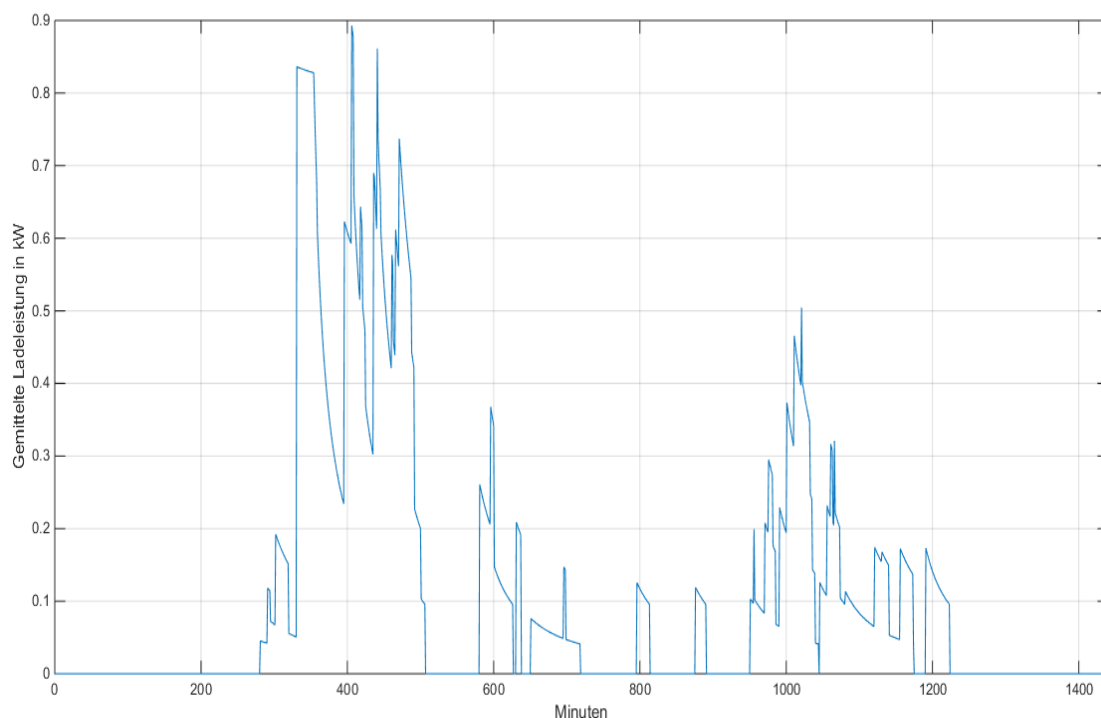


Abbildung 25: Ladeprofil- Szenario 1

Szenario 2 „HOHES EINKOMMEN“:

Der gültige Wertebereich des monatlichen Haushaltseinkommens wird auf 12 bis 15 eingeschränkt. Es handelt sich also um Personen mit einem Einkommen zwischen 5.600 Euro/Monat und mehr als 7.000 Euro/Monat. Angenommen wird, dass an jedem Standort geladen werden kann. Die Ladeleistung beträgt 3,7 kW.

Im Vergleich zu Abbildung 25 sind die Ladevorgänge in Szenario 2 mehr über den Tag verteilt (siehe Abbildung 26). Anders als in der ersten Annahme werden im 2. Szenario während der Nacht Ladevorgänge durchgeführt. Auch hier lässt sich eine Verbrauchsspitze in den Morgenstunden feststellen. Zwischen den Minuten 800 und 1000, also während der Nachmittagsstunden, ist der Ladebedarf so wie in Szenario 1 deutlich geringer. Dagegen ist hier die Abendladespitze deutlicher ausgeprägt als im gemittelten Ladeleistungsverlauf der ersten Annahme.

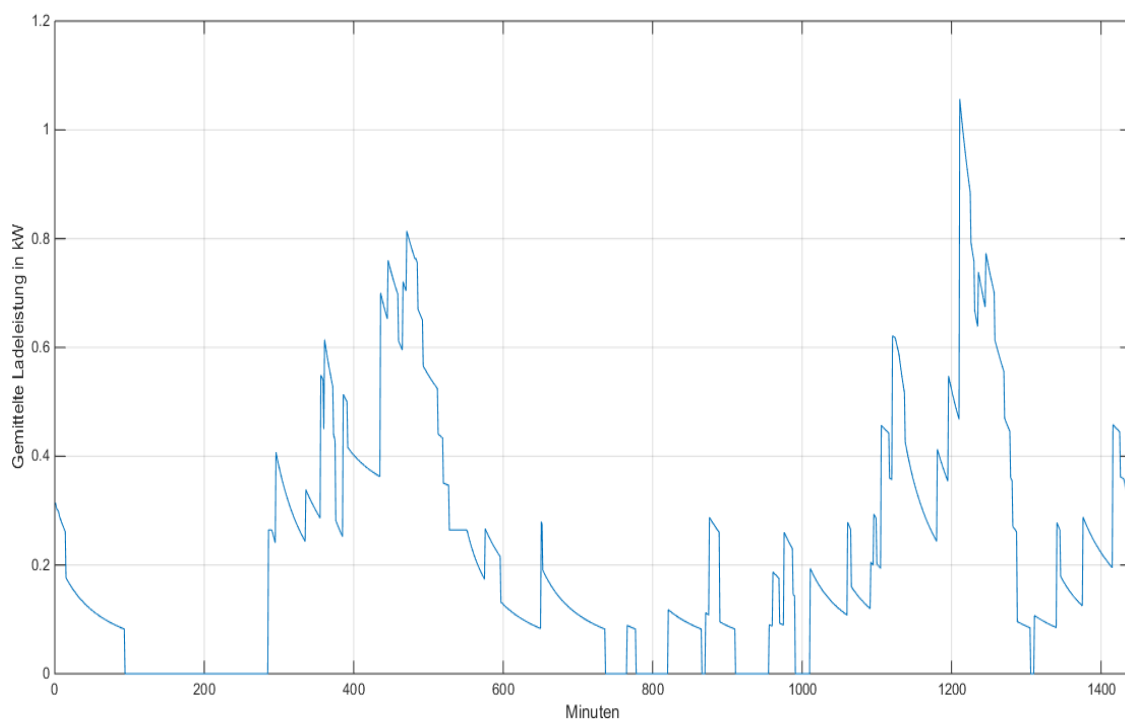


Abbildung 26: Ladeprofil- Szenario 2

Szenario 3 „JUNG“:

Der gültige Wertebereich des Alters wird auf 15 bis 25 Jahre eingeschränkt. Es wird angenommen, dass an jedem Standort geladen werden kann. Die Ladeleistung beträgt 3,7 kW. In Abbildung 27 sieht man, dass sich in diesem Szenario eine Vormittagsspitze bildet, welche ca. um 9h bei 1,25 kW gemittelter Ladeleistung liegt.

Der sonst oft erhöhte Ladebedarf in den Abendstunden konnte in Szenario 3 nicht beobachtet werden. Vielmehr verteilt sich die Ladeleistung auf die Abend- und Nachtstunden mit einer kleinen Lasterhöhung um 23:30h.

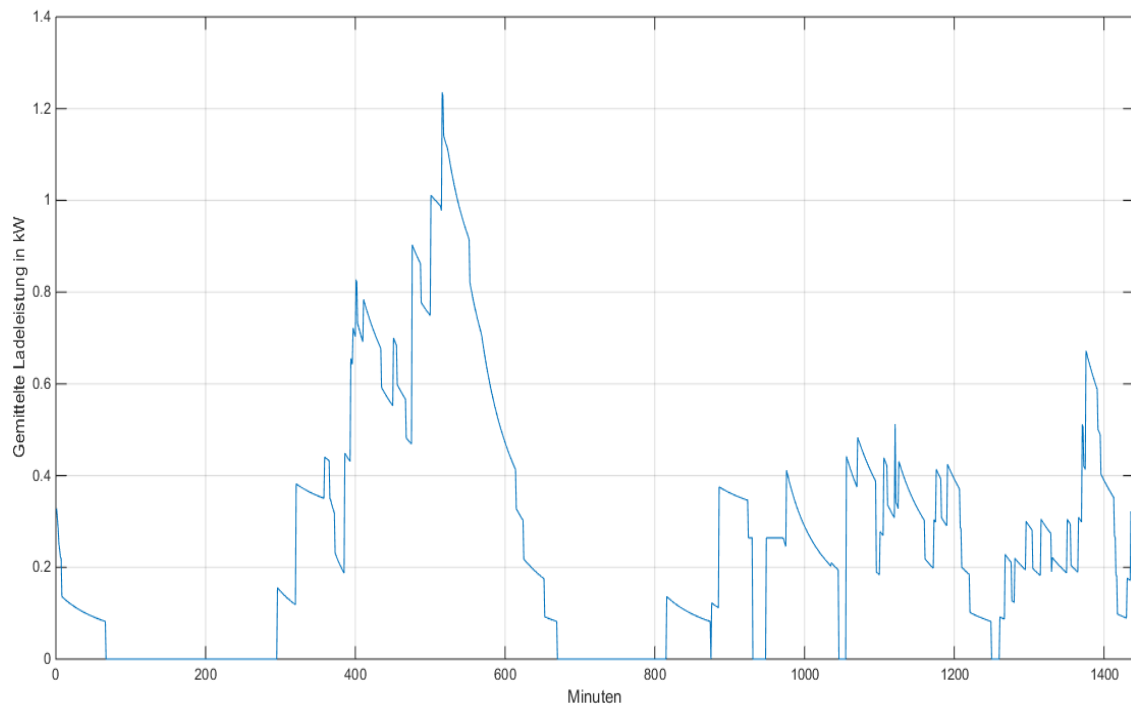


Abbildung 27: Ladeprofil- Szenario 3

Szenario 4 „ALT“:

Der gültige Wertebereich des Alters wird auf 65 bis 75 Jahre eingeschränkt. Es wird angenommen, dass an jedem Standort geladen werden kann. Die Ladeleistung beträgt 3,7 kW. Im Szenario 4 ergibt sich so wie in Abbildung 27 eine Vormittagsspitze im Ladeprofil.

Wie zu erwarten ist, sind ältere Teilnehmer im Gegensatz zu Jüngeren nicht bis in die Morgenstunden unterwegs. Deshalb ist in Abbildung 28 spät abends nur noch ein vergleichsweise geringer Ladebedarf. Ältere Personen laden den Akku ihres Elektroautos dafür häufiger in den Abendstunden als in der Nacht.

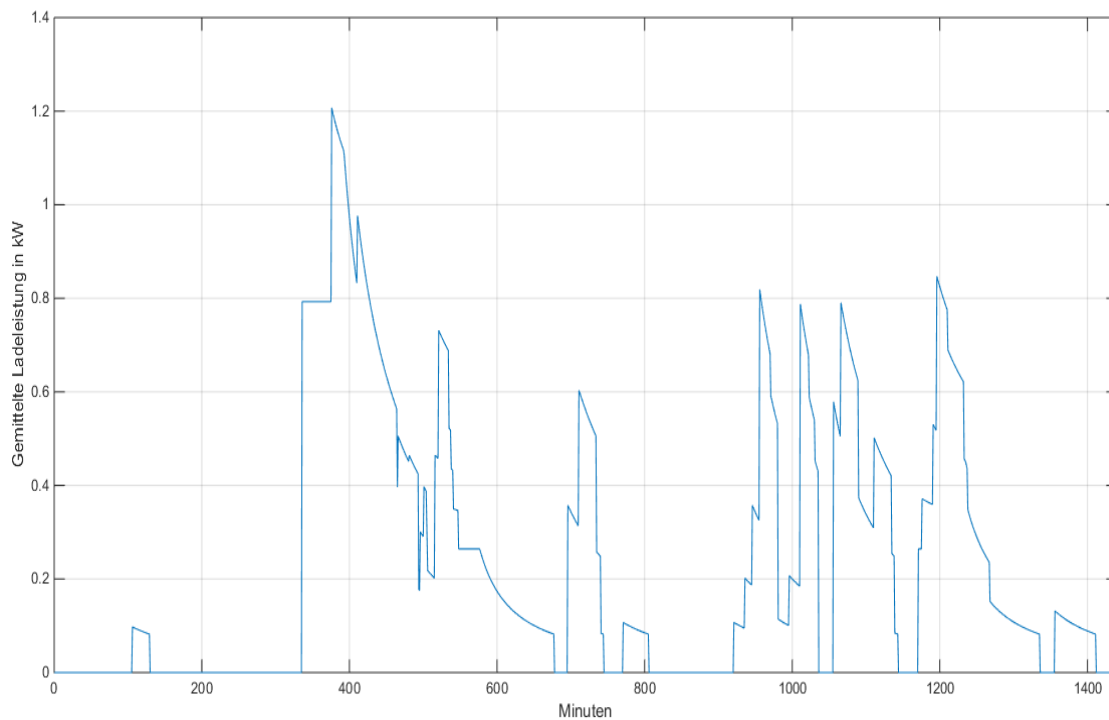


Abbildung 28: Ladeprofil- Szenario 4

Szenario 5 „MÄNNLICH“:

Der gültige Wertebereich des Geschlechts wird auf 1 (männlich) eingeschränkt. In diesem Szenario wird angenommen, dass an jedem Standort geladen werden kann. Die Ladeleistung beträgt 3,7 kW.

Das Ladeprofil für männliche Nutzer der Elektromobilität setzt sich aus mehreren Leistungsspitzen, welche über den Tag verteilt sind, zusammen. Die markanteste davon erstreckt sich über den Zeitraum kurz vor- und kurz nach Mitternacht, wobei die maximale gemittelte Leistung den Wert 1,18 kW hat (siehe Abbildung 29).

Zwischen Minute 180 und 300 (bzw. 3h und 5h) bricht der Ladebedarf zusammen. Kurz nach 5h beginnt eine Leistungsspitze, welche bis ca. 10h (Minute 600) andauert. So wie in den bisherigen Szenarien ist die gemittelte Ladeleistung zu Mittag mit 0,1 bis 0,2 kW sehr gering.

Daran anschließend konnte als Ergebnis dieser Annahme eine deutliche Ladespitze am Nachmittag festgestellt werden. Der Maximalwert der gemittelten Ladeleistung beträgt ca. 0,7 kW und tritt ca. um 14h auf.

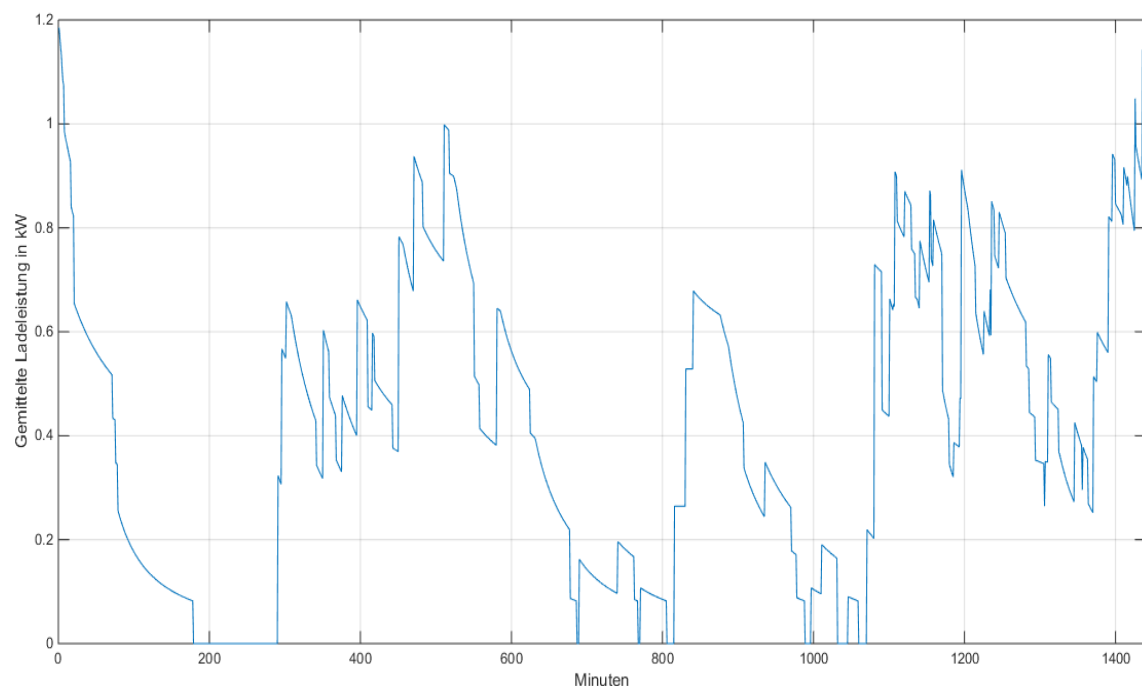


Abbildung 29: Ladeprofil- Szenario 5

Szenario 6 „WEIBLICH“:

Der gültige Wertebereich des Geschlechts wird auf 2 (weiblich) eingeschränkt. Es wird angenommen, dass an jedem Standort geladen werden kann. Die Ladeleistung beträgt 3,7 kW.

Im Vergleich zu den Männern haben weibliche Elektroautobesitzer in den frühen Morgenstunden einen deutlich kleineren Ladeleistungsbedarf. Auch während der Mittagsstunden ist die gemittelte Ladeleistung in Abbildung 30 geringer (vgl. Abbildung 29).

Die Abendspitze in Szenario 6 ist von mehreren Überhöhungen gekennzeichnet. Um ca. 19h erreicht die gemittelte Ladeleistung den Maximalwert von mehr als 1 kW.

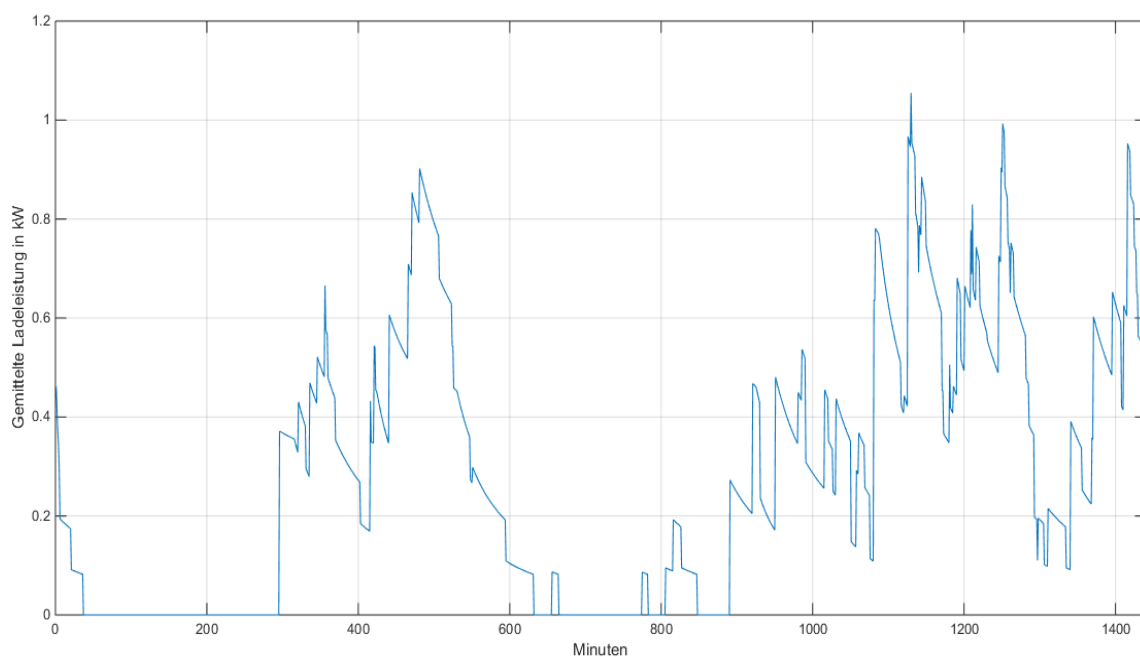


Abbildung 30: Ladeprofil- Szenario 6

Szenario 7 „GEMEINDE“:

Der gültige Wertebereich der politischen Gemeindegrößenklasse wird auf 1 bis 2 eingeschränkt. Es handelt sich also um Gemeinden bzw. kleinere Städte mit bis zu 20.000 Einwohnern. Angenommen wird, dass an jedem Standort geladen werden kann. Die Ladeleistung beträgt 3,7 kW.

In diesem Szenario ist in den Nacht- und frühen Morgenstunden ein relativ geringer Ladebedarf erkennbar. Daran anschließend ist die erhöhte gemittelte Ladeleistung während der Vormittagsstunden mit mehr als 0,8 kW deutlich zu sehen. Während der Mittagsstunden ist auch im Szenario 7 ein viel geringerer Ladebedarf feststellbar. In Abbildung 31 erkennt man, dass anders als in anderen Szenarien bereits am Nachmittag ein länger andauernder Ladeleistungsanstieg beginnt.

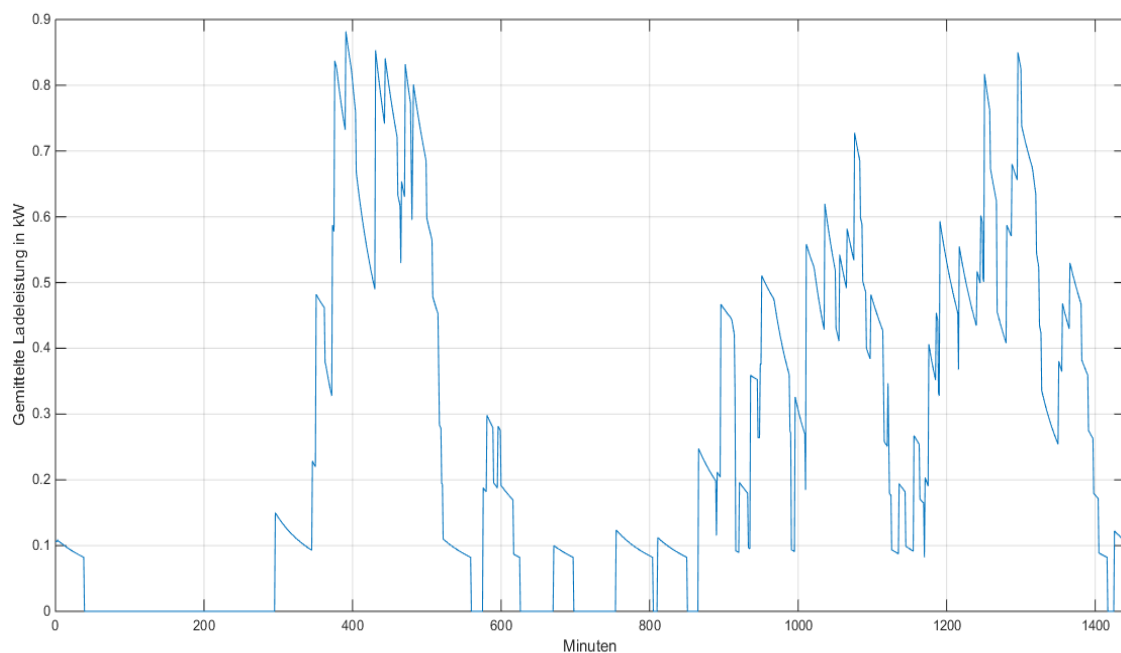


Abbildung 31: Ladeprofil- Szenario 7

Szenario 8 „STADT“:

Der gültige Wertebereich der politischen Gemeindegrößenklasse wird auf 5 bis 6 eingeschränkt. Es handelt sich also um Städte mit 100.000 bis 500.000 Einwohnern und mehr. Dass an jedem Standort geladen werden kann, wird angenommen. Die Ladeleistung beträgt 3,7 kW.

Im Vergleich zum Szenario „GEMEINDE“ ist der Ladebedarf in den Nacht- und frühen Morgenstunden sichtbar größer. Nach einem kurzen Einbruch zwischen 3h und 5h folgt eine erhöhte gemittelte Ladeleistung während der Vormittagsstunden mit mehr als 1 kW. Während der Mittagsstunden ist auch im Szenario 8 ein viel geringerer Ladebedarf feststellbar.

Verglichen mit dem Szenario 7 ist der Ladebedarf am Nachmittag deutlich geringer. Zusätzlich zeigt Abbildung 32, dass die Verbrauchsspitze in den Abendstunden im Vergleich zum Vormittag betragsmäßig kleiner ist.

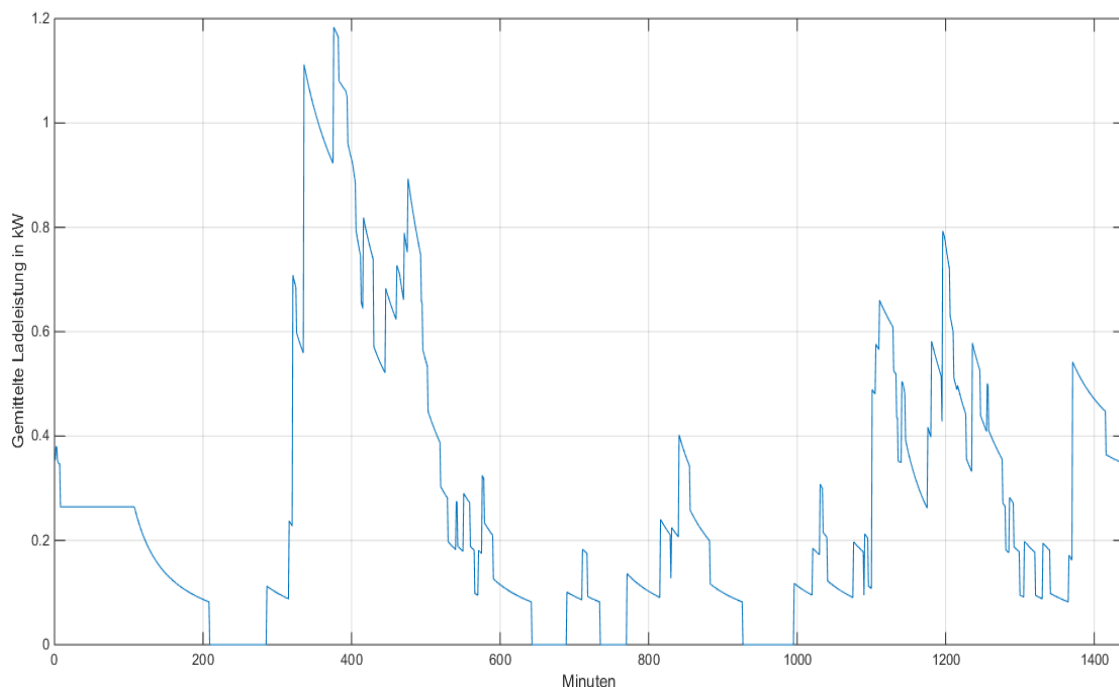


Abbildung 32: Ladeprofil- Szenario 8

5 Datensatzübergreifende Ergebnisse und Vergleiche

In diesem Kapitel wird mittels Abbildungen versucht die beiden Datenpools anschaulich gegenüber zu stellen und damit Unterschiede erkennbar zu machen. Dabei werden Größen miteinander verglichen, welche die Wege beschreiben und somit für das Mobilitätsverhalten charakteristisch sind.

5.1 Weglänge

In den Abbildungen 33 und 34 sind die Weglängen der Einzelfahrten an den Wochentagen der beiden Studien dargestellt. Man erkennt dabei, dass die Weglängen im Projekt „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ durchschnittlich sogar etwas länger als im Projekt „Mobilität in Deutschland 2008“ sind. Das ist insofern bemerkenswert, da die Reichweite in der öffentlichen Diskussion immer noch einen Schwachpunkt der Elektromobilität darstellt. Die einzelnen Ziffern entlang der horizontalen Achse in Abbildung 33 stehen für die Wochentage (1...Montag bis 7...Sonntag).

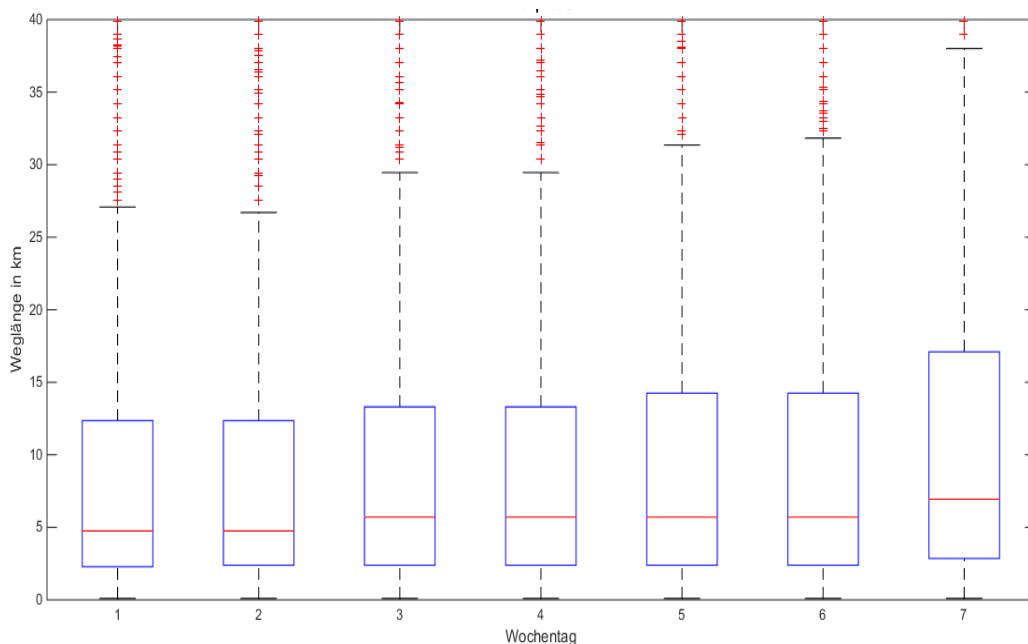


Abbildung 33: Weglängen (Mobilität in Deutschland)

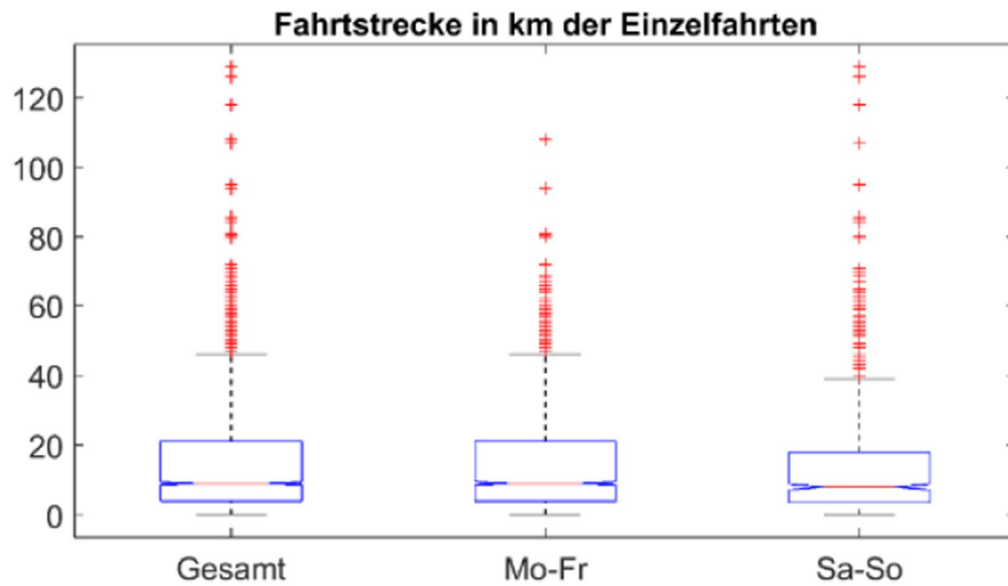


Abbildung 34: Weglängen (e-pendler)

5.2 Wegdauer

Im Gegensatz zu den Weglängen liefert der Vergleich der beiden Abbildungen 35 und 36 keinen erkennbaren Unterschied der Wegdauer der Einzelfahrten in den beiden Studien.

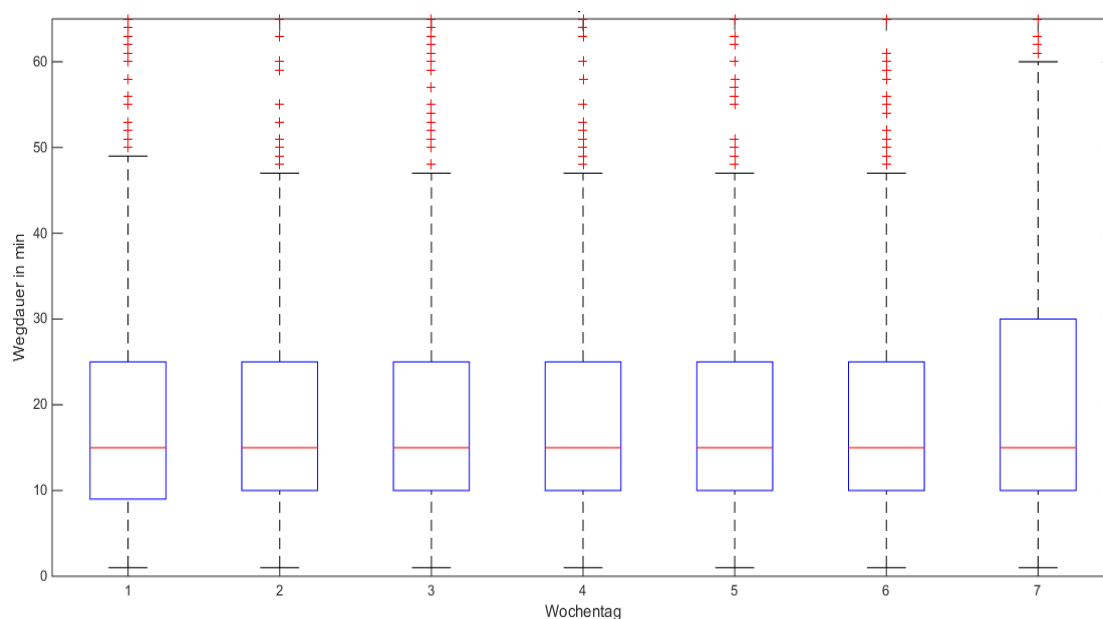


Abbildung 35: Wegdauer (Mobilität in Deutschland)

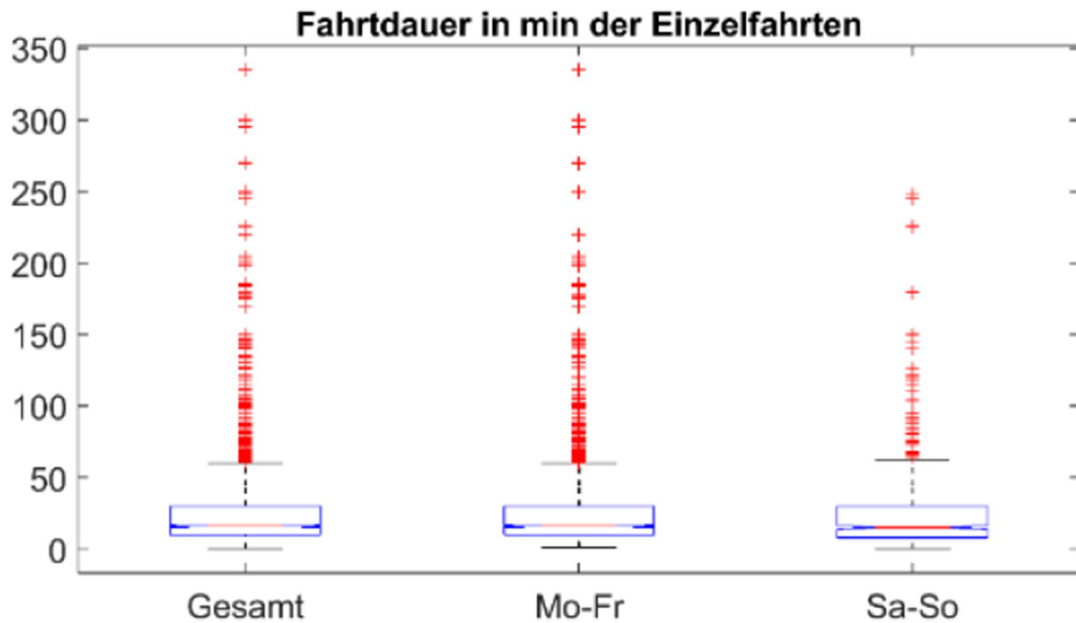


Abbildung 36: Wegdauer (e-pendler)

5.3 Standprofil

In den folgenden beiden Abbildungen erfolgt ein Vergleich hinsichtlich der Standortverteilung an den Werktagen (Montag bis Freitag). Auch hier ist kein deutlicher Unterschied zu erkennen. Es zeigt sich, dass die Personen unabhängig von der Antriebsart ihres Fahrzeugs, also elektrisch oder konventionell, täglich bestimmte Wege zurückzulegen haben. Es wird dadurch die Vermutung aus Kapitel 3.5 bestätigt, wonach sich das Mobilitätsverhalten bei einem Wechsel von einem Auto mit Verbrennungsmotor hin zu einem Elektroauto nicht merkbar ändert.

Im Gegensatz zum Projekt „e-pendler - e-mobil in niederösterreich“ wurde in der Studie „Mobilität in Deutschland 2008“ der Standort „Park+Ride/Bahnhof“ nicht ausgewiesen. Deshalb fehlt der Vergleich in dieser Kategorie.

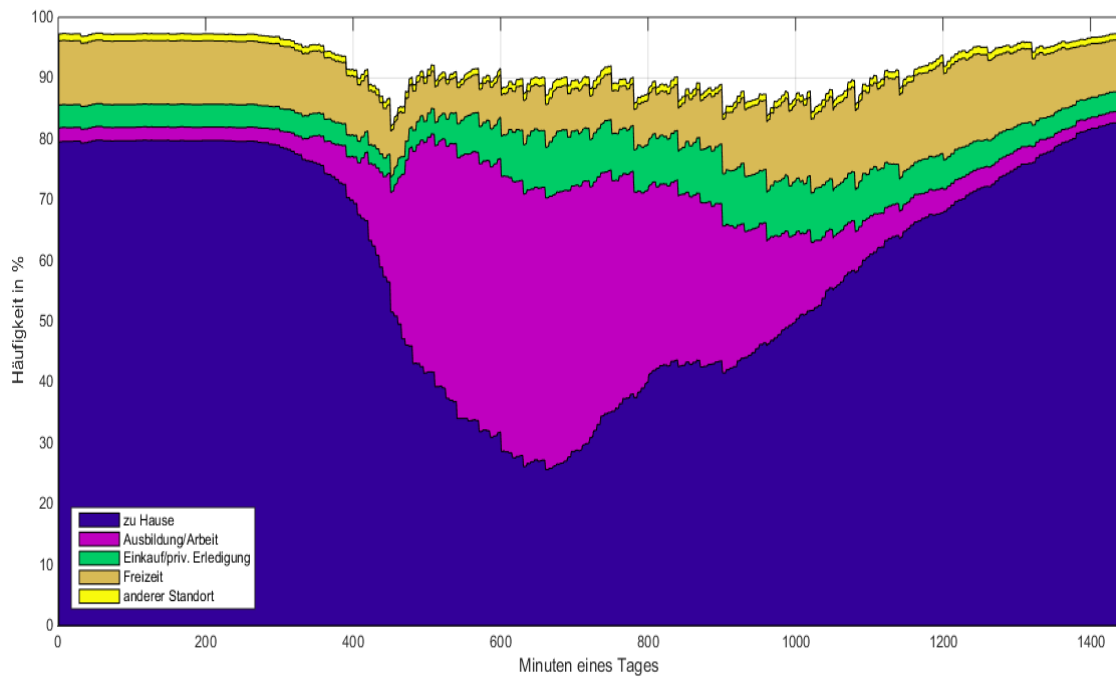


Abbildung 37: Standortverteilung (Mobilität in Deutschland)

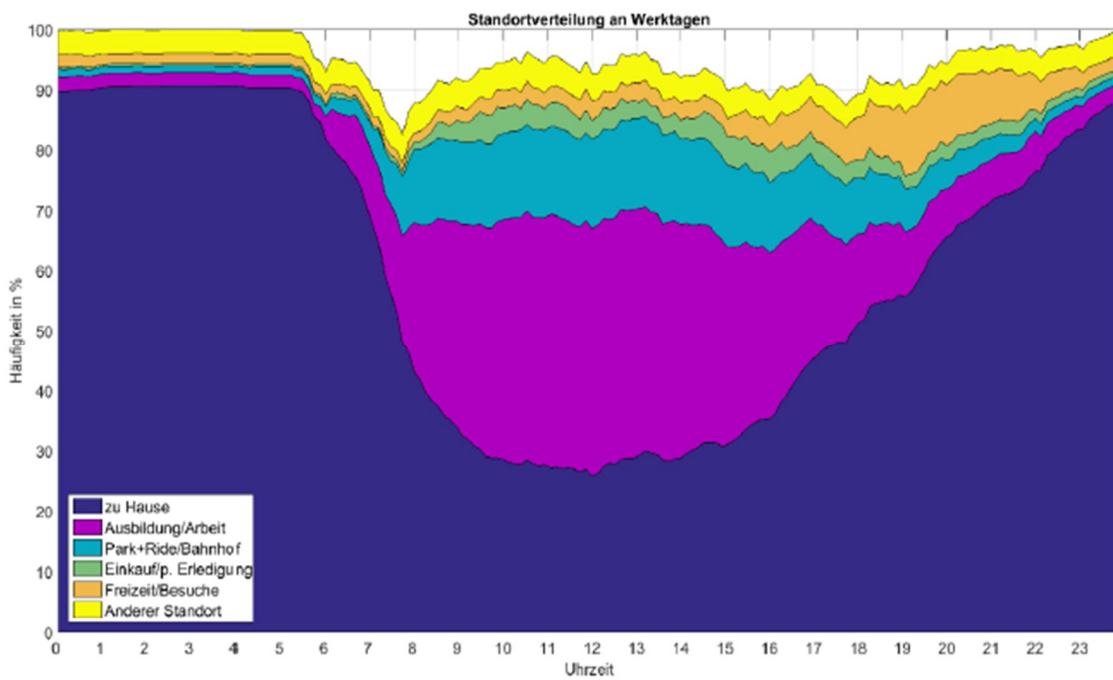


Abbildung 38: Standortverteilung (e-pendler)

6 Schlussfolgerungen

Aufgrund der diversen untersuchten Szenarien sind Unterschiede des Ladeprofils in Abhängigkeit von soziodemographischen Parametern offensichtlich. Diese Tatsache lässt sich durch unterschiedliche Gründe untermauern:

- 1.) Ein höheres monatliches Nettoeinkommen ist häufig Auslöser für eine aufwendigere Lebensweise im Vergleich zu Haushalten, welche weniger Geld zur Verfügung haben. Daraus ergeben sich Unterschiede im Mobilitätsverhalten und damit auch im Ladeprofilverlauf.
- 2.) Jüngere Nutzer der Elektromobilität haben verständlicherweise andere Tagesabläufe und Lebensgewohnheiten als Ältere. Allein dieser Grund führt wohl zwangsläufig zu unterschiedlichen Ladeprofilen.
- 3.) Dass es auch heute noch vielfache Unterschiede zwischen den Geschlechtern gibt, ist bekannt. Beispielsweise werden mit Abstand die meisten Teilzeitjobs von Frauen durchgeführt, während es bei den Vollzeitbeschäftigten genau umgekehrt ist. Allein diese Tatsache führt werktags zu unterschiedlichen zeitlichen Abläufen und damit auch zu verschiedenen Ladeprofilen.
- 4.) Wie in Kapitel 2.1.3 in der Kombination 10 festgestellt wurde, gibt es in Abhängigkeit der politischen Gemeindegrößenklasse unterschiedliche durchschnittliche Weglängen. Verschiedene Verläufe der Ladeprofile sind deshalb auch hier zu erwarten.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Den zunehmenden Trend zu Elektroautos und den damit verbundenen höheren Bedarf an elektrischer Energie werden in absehbarer Zeit auch die Energieversorgungsunternehmen feststellen. Wenn alle Nutzer der Elektromobilität abends nach Hause kommen und gleichzeitig den Akku ihres Elektroautos aufladen wollen, wird die Verbrauchsspitze in den Abendstunden weiter erhöht. In Abhängigkeit der Durchdringungsrate der Elektromobilität kann dies zur Überlastung von Teilen des elektrischen Versorgungsnetzes führen. Um das zu verhindern, kann eine intelligente Ladesteuerung Abhilfe schaffen, indem der Ladevorgang in die Nachtstunden verlagert wird.

Auf Basis dieser Diplomarbeit kann untersucht werden, welche Auswirkungen soziodemographische Parameter in Kombination mit einer- der drei Anschlussleistungen auf ein Beispielnetz haben. Dabei können auch mehrere verschiedene Netztopologien, also Strahlennetze, Ringnetze oder Maschennetze in ländlichen- oder urbanen Gebieten herangezogen werden. Simulationen mit NEPLAN oder SINCAL können Aufschluss über die resultierenden Summenlastflüsse der behandelten Ladeprofile geben.

Literaturverzeichnis

- [1] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE, „*Nationaler Strategierahmen "Saubere Energie im Verkehr"*“, 2016, Wien.
- [2] SPIEGELBERG, G. „*Elektrofahrzeuge – Auf dem Weg zur Mobilität 2.0*“, 2014. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [3] AUSTRIAN MOBILE POWER. *Steuerliche Behandlung von E-Pkw*. 06. März 2017. http://www.austrian-mobile-power.at/amp/AMP_Factsheets/Austrian_Mobile_Power_Factsheet_10_Steuerliche_Behandlung_von_E-Pkw.pdf
- [4] EVN AG. *E-Mobilität, Fahren mit Strom*. 5. Auflage, Oktober 2016. <https://www.evn.at/CMSPages/GetFile.aspx?guid=cd9a4b31-5596-412d-89fd-df2f15d881aa>
- [5] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE. *Start des Förderpakets für Elektromobilität*. 23. März 2017. <https://www.bmvit.gv.at/presse/aktuell/downloads/leichtfried/emobilpaket.pdf>
- [6] Projekt „MOBILITÄT IN DEUTSCHLAND 2008“. Februar 2010. Durchgeführt von INFAS Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrsforschung. <http://www.mobilitaet-in-deutschland.de>
- [7] Projekt „E-PENDLER: E-MOBIL IN NIEDERÖSTERREICH“. September 2016. Durchgeführt von HERRY Consult GmbH und TU Wien - Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe im Auftrag der EVN AG.
- [8] THE MATHWORKS. *MATLAB-Support*. 10. Oktober 2016. https://de.mathworks.com/support/?s_tid=gn_supp

- [9] KITANO, S. u.a. *„Development of Large-sized Lithium-ion Cell “LEV50” and its Battery Module “LEV50-4” for Electric Vehicle”*, 2008. GS Yuasa Corporation
- [10] GAWLIK, W. u.a. *„ZENEM- Zukünftige Energienetze mit Elektromobilität Endbericht“*, 2013. Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe, TU Wien.
- [11] SCHUSTER, A. Diplomarbeit *„Batterie- bzw. Wasserstoffspeicher bei elektrischen Fahrzeugen“*, September 2008. TU Wien

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung alternativer Kraftstoffe im Verkehrssektor bis 2030	2
Abbildung 2: Gegenbeispiel	13
Abbildung 3: Teil der Auswertematrix	15
Abbildung 4: Auswahlmöglichkeit für Wertebereich	23
Abbildung 5: Ladeleistungsverlauf (11 kW).....	31
Abbildung 6: SOC- Verlauf (11 kW)	31
Abbildung 7: Aufteilung aller Wege in Bezug auf das Einkommen.....	37
Abbildung 8: Altersverteilung	38
Abbildung 9: Aufteilung aller Wege auf die Geschlechter	39
Abbildung 10: Aufteilung der aufgezeichneten Wege auf die Gemeindegröße ...	40
Abbildung 11: Standprofil Montag- Donnerstag	41
Abbildung 12: Index zu den Standprofilen	42
Abbildung 13: Standprofil Freitag.....	43
Abbildung 14: Standprofil Samstag und Sonntag	44
Abbildung 15: Szenario 1, SOC-Verlauf.....	45
Abbildung 16: Letzter Teil im Szenario 1, SOC-Verlauf	46
Abbildung 17: Szenario 3, SOC-Verlauf.....	46
Abbildung 18: Szenario 4, SOC-Verlauf.....	48
Abbildung 19: Szenario 4, Ladeleistungsverlauf	48
Abbildung 20: Szenario 4, Ausschnitt des Ladeleistungsverlaufs	49
Abbildung 21: Szenario 5, SOC-Verlauf.....	49
Abbildung 22: Szenario 6, SOC-Verlauf.....	50
Abbildung 23: Szenario 7, SOC-Verlauf.....	51
Abbildung 24: Szenario 7, Ladeleistungsverlauf	51
Abbildung 25: Ladeprofil- Szenario 1	53
Abbildung 26: Ladeprofil- Szenario 2	54
Abbildung 27: Ladeprofil- Szenario 3	55
Abbildung 28: Ladeprofil- Szenario 4	56
Abbildung 29: Ladeprofil- Szenario 5	57
Abbildung 30: Ladeprofil- Szenario 6	58
Abbildung 31: Ladeprofil- Szenario 7	59
Abbildung 32: Ladeprofil- Szenario 8	60
Abbildung 33: Weglängen (Mobilität in Deutschland).....	61
Abbildung 34: Weglängen (e-pendler)	62
Abbildung 35: Wegdauer (Mobilität in Deutschland)	62
Abbildung 36: Wegdauer (e-pendler)	63
Abbildung 37: Standortverteilung (Mobilität in Deutschland).....	64
Abbildung 38: Standortverteilung (e-pendler)	64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gewählte Parameter	7
Tabelle 2: Parameterschwankungen.....	9
Tabelle 3: Gewählte Parameter	19
Tabelle 4: Anschlussleistungen.....	30

Anhang 1 - Allgemeine Variablenübersicht

Excel-spalte	Matlabspalte (data_all)	Matlabspalte (auswertedaten)	Variablen-name	Frage / Variablenlabel	Werte und Wertelabel	Quelle
A	1	1	hhid	Haushalts-ID	sechsstellige ID-Nummer	System
B	2	2	pid	Personen-ID	einstellige ID-Nummer Wertebereich: 1 bis 8	System
	3 (chronolog.)	3		Personendurch-nummerierung	Wertebereich: 1 bis 51333	selbst gebildet
C	4	4	wid	Wege-ID (Primärschlüssel)	dreistellige ID-Nummer Wertebereich Privatwege: 1 bis 27 Wertebereich rbW: 101 bis 182	System
D	5	5	wsid	Sortierte Wege-ID (mit rbW)	dreistellige ID-Nummer Wertebereich Privatwege: 1 bis 13 Wertebereich rbW: 101 bis 182	System
E	6	6	w_gew	Gewichtungsfaktor Wege		gebildet
H	9	7	stich_j	Stichtag (Kalenderjahr)	Jahr der Erhebung Wertebereich: 2008 bis 2009	Stichtags-info
I	10	8	stich_m	Stichtag (Kalendermonat)	1: Januar 2: Februar 3: März 4: April 5: Mai 6: Juni 7: Juli 8: August 9: September 10: Oktober 11: November 12: Dezember	Stichtags-info
J	11	9	stichtag	Stichtag (Wochentag)	1: Montag 2: Dienstag 3: Mittwoch 4: Donnerstag 5: Freitag 6: Samstag 7: Sonntag	Stichtags-info
K	12	10	stichwo	Stichtag (Kalenderwoche)	Kalenderwoche Wertebereich: 1 bis 52	Stichtags-info
L	13	11	saison	Jahreszeit des Stichtags	1: Winter 2: Frühjahr 3: Sommer 4: Herbst	gebildet
N	15	12	st_std	Beginn Weg (Stunde)	Stundenangabe Wertebereich: 0 bis 23	gebildet
O	16	13	st_min	Beginn Weg (Minute)	Minutenangabe Wertebereich: 0 bis 59	gebildet
R	19	14	en_std	Ende Weg (Stunde)	Stundenangabe Wertebereich: 0 bis 23	gebildet
S	20	15	en_min	Ende Weg (Minute)	Minutenangabe Wertebereich: 0 bis 59	gebildet
T	21	16	st_dat	Beginn Weg (Stichtag/Folgetag)	0: Stichtag 1: Folgetag	gebildet
U	22	17	en_dat	Ende Weg (Stichtag/Folgetag)	0: Stichtag 1: Folgetag	gebildet
V	23	18	w04	Wegezzweck	1: Erreichen des Arbeitsplatzes 2: dienstlich oder geschäftlich 3: Erreichen der Ausbildungsstätte oder Schule 4: Einkauf 5: private Erledigungen 6: Bringen oder Holen von	Befragung

					Personen 7: Freizeitaktivität 8: nach Hause 9: Rückweg vom vorherigen Weg 10: andere Aktivität 11: Begleitung Erwachsener 31: zur Schule oder Vorschule 32: Kindertagesstätte oder Kindergarten 97: verweigert 98: weiß nicht	
Y	26	19	hwzweck	Hauptzweck des Weges	1: Arbeit 2: dienstlich 3: Ausbildung 4: Einkauf 5: Erledigung 6: Freizeit 7: Begleitung 99: keine Angabe	gebildet
AI	36	20	w05_5	Welche Verkehrsmittel haben Sie im Verlauf dieses Weges benutzt? Auto	0: nicht genannt 1: genannt	Befragung
AZ	53	21	hvm_diff	Hauptverkehrsmittel (differenziert)	1: zu Fuß 2: Fahrrad 3: Mofa Moped 4: Motorrad 5: Pkw (Mitfahrer) 6: Pkw (Fahrer) 7: Lkw 8: ÖPNV 9: Taxi 10: Schiff Bahn Bus Flugzeug 11: sonstiges 99: keine Angabe	gebildet
BA	54	22	hvm	Hauptverkehrsmittel	1: zu Fuß 2: Fahrrad 3: MIV (Mitfahrer) 4: MIV (Fahrer) 5: ÖPV 9: keine Angabe	gebildet
BW	76	23	wegkm_k	Wie weit war der zurückgelegte Weg in Kilometern ungefähr?	offene Nennung Wertebereich: 0,00 bis 950,00	gebildet
BX	77	24	wegmin_k	Wegedauer korrigiert [min]	Wertebereich: 0 bis 480	gebildet
		25		durchschn. Geschwindigkeit	Wertebereich: 1 bis 100 km/h	selbst gebildet
CB	81	26	hheink	ungefähres monatliches HH- Nettoeinkommen	1: bis unter 500 Euro 2: 500 Euro bis unter 900 Euro 3: 900 Euro bis unter 1.500 Euro 4: 1.500 Euro bis unter 2.000 Euro 5: 2.000 Euro bis unter 2.600 Euro 6: 2.600 Euro bis unter 3.000 Euro 7: 3.000 Euro bis unter 3.600 Euro 8: 3.600 Euro bis unter 4.000 Euro 9: 4.000 Euro bis unter 4.600 Euro 10: 4.600 Euro bis unter 5.000 Euro 11: 5.000 Euro bis unter 5.600 Euro 12: 5.600 Euro bis unter	HH-Datensatz

					6.000 Euro 13 : 6.000 Euro bis unter 6.600 Euro 14: 6.600 Euro bis 7.000 Euro 15: mehr als 7.000 Euro 97: verweigert 98: weiß nicht 99: keine Angabe	
CC	82	27	oek_stat	ökonomischer Status des Haushalts	1: sehr niedrig 2: niedrig 3: mittel 4: hoch 5: sehr hoch 95: nicht zuzuordnen	HH-Datensatz
CE	84	28	h04_3	Anzahl Autos im Haushalt	offene Nennung Wertebereich: 0 bis 8	HH-Datensatz
CK	90	29	hp_sex	Geschlecht	1: männlich 2: weiblich	Personen-datensatz
CL	91	30	hp_alter	Alter	Altersangabe: Wertebereich 0 bis 101	Personen-datensatz
CP	95	31	hp_besch	Tätigkeit (inkl. Diff. Berufstätigk., Ang. aus HH-/ P-Int.)	1: Berufstätige(r) – Vollzeit 2: Berufstätige(r) – Teilzeit (11 bis unter 35 Stunden/ Woche) 3: Berufstätige(r) ohne Angabe zum Umfang 4: Auszubildende(r) 5: Schüler(in) (einschließlich Vorschule) 6: Student(in) 7: Kind zu Hause betreut 8: Kind betreut im Kindergarten, Krippe, Tagesmutter etc. 9: zurzeit arbeitslos 10: vorübergeh. freigest. (z.B. Mutterschaftsurl., Elternzeit) 11: Hausfrau Hausmann 12: Rentner(in) Pensionär(in) 13: Wehr- oder Zivildienstleistende(r), Freiwilligendienst 14: andere Tätigkeit 99: keine Angabe	Personen-datensatz
DJ	115	32	polgk	politische Gemeindegrößenklasse	1: unter 5.000 Einw. 2: 5.000 bis unter 20.000 Einw. 3: 20.000 bis unter 50.000 Einw. 4: 50.000 bis unter 100.000 Einw. 5: 100.000 bis unter 500.000 Einw. 6: 500.000 und mehr Einw.	extern

Anhang 2 - Variablen der Wegekette

Spaltennummer	Variablenbezeichnung	Einheit
1	Start-Ort	Nummer
2	Start-Zeit	Stunden
3	Start-Zeit	Minuten
4	Laufvariable-Start	MATLAB-Zeit
5	Ziel-Ort	Nummer
6	Ziel-Zeit	Stunden
7	Ziel-Zeit	Minuten
8	Laufvariable-Ziel	MATLAB-Zeit
9	Wegdauer	Minuten
10	Weglänge	Kilometer
11	Standdauer	Tage
12	Standdauer	Minuten
13	Dauer insgesamt	Minuten
14	Beginn der Strecke (1.Weg)	Minuten

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Arbeit gemäß dem Code of Conduct – Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis (in der aktuellen Fassung des jeweiligen Mitteilungsblattes der TU Wien), insbesondere ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel, angefertigt wurde. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Die Arbeit wurde bisher weder im In– noch im Ausland in gleicher oder in ähnlicher Form in anderen Prüfungsverfahren vorgelegt.

Wien, 29. Mai 2017

Peter Springer