

Tobias Haider (UbiGo)
Roman Klementsitz (BOKU)

ERGEBNISBERICHT

Wirkungspotentiale für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge im ländlichen Raum

Wien, Juni 2017
überarbeitete Fassung vom August 2017

Erstellt im Rahmen des Projekts

SHARED AUTONOMY

Durchgeführt von:

UbiGo KG

Institut für partizipative Sozialforschung

Universität für Bodenkultur Wien –
Institut für Verkehrswesen

Gefördert im Programm „Mobilität der Zukunft“ vom Bundes-
ministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit)



Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Stand der Forschung.....	5
Sozioökonomische Studie bei <i>CityMobil2</i> (2015)	
Studie des International Transport Forum (2015)	
<i>Transforming Personal Mobility</i> (2013)	
Studie von Berylls Strategy Advisors (2017)	
Szenarien für die Nutzung automatisierter Fahrzeuge.....	7
Auswahl der Indikatoren.....	9
Methode	10
Aufzeichnungen bei österreichischen Bedarfsverkehren.....	10
Bedarfsverkehre in Österreich	
Auswahl der Untersuchungsgemeinden	
Ablauf der Aufzeichnungen	
Auswertung	
Auswertung von Daten aus „Österreich unterwegs 2013/2014“.....	19
Auswertung der Daten aus Perchtoldsdorf	
Indikator Motorisierungsgrad	22
Einleitung.....	22
Ergebnisse.....	24
Conclusio.....	28
Indikator (Fahrzeug-)Verkehrsleistung	30
Einleitung.....	30
Ergebnisse.....	31
Conclusio.....	35
Indikator Mobilitätskosten	36
Einleitung.....	36
Ergebnisse.....	36
Einflussgrößen	
Berechnungsschritte	
Conclusio.....	43
Mobilitätskostenrechner	
Schlussfolgerungen und weiterer Forschungsbedarf	45
Bibliographie	47

Einleitung

Eine ganze Reihe hoher Erwartungen verknüpft sich mit der Einführung automatisierter Fahrzeuge. Dass die Wirkungen aus dem Einsatz dieser Technologie tatsächlich wie erhofft überwiegend positiv sein werden, kann aus heutiger Perspektive jedoch nicht mit Sicherheit bejaht werden. Vor allem, ob die Fahrzeugautomatisierung zur einer höheren Umweltverträglichkeit der Mobilität beitragen, oder ob sie das Problem noch weiter verschärfen wird, lässt sich derzeit nur schwer abschätzen. Sicher ist jedenfalls, dass die Art der zukünftigen Nutzung automatisierter Fahrzeuge darauf einen großen Einfluss hat.

In diesem Zusammenhang macht es auch einen großen Unterschied, nicht nur wie, sondern auch wo die Fahrzeuge zum Einsatz kommen. Die meisten bisherigen Forschungs- und Demonstrationsprojekte konzentrieren sich auf den urbanen Raum. Das ist verständlich, weil eine kritische Masse an NutzerInnen leichter erreicht werden kann und sich deshalb auch schneller funktionierende Geschäftsmodelle etablieren lassen. In Bezug auf zwei der drängendsten gesellschaftlichen Herausforderungen für das Mobilitätssystem, nämlich dieses inklusiv und ökologisch nachhaltig zu gestalten, haben die Städte gegenüber den nicht-urbanen Regionen aber ohnehin einen großen Vorsprung. Sie bieten im besten Fall einen zuverlässig funktionierenden und leistbaren öffentlichen Verkehr und ein gutes Umfeld für aktive Mobilität. Im Idealfall lassen sich die meisten Besorgungen des täglichen Lebens im unmittelbaren Wohnumfeld erledigen („Stadt der kurzen Wege“). Automatisierte Fahrzeugen minimieren die Nachteile des motorisierten Individualverkehrs in der Stadt: sie machen Parkraumbewirtschaftung zu einer wirkungslosen Maßnahme, weil die Fahrzeuge selbsttätig zu einem Parkplatz an der Peripherie fahren können und sie verringern die Kosten der Zeit im Stau, weil diese Zeit nun produktiv genutzt werden kann. Dadurch besteht für den urbanen Raum die Gefahr, dass attraktive Angebote mit automatisierten Fahrzeugen Kannibalisierungseffekte von den öffentlichen Massenverkehrsmitteln auslösen und damit zur erheblichen Verschärfung von Kapazitätsproblemen führen.

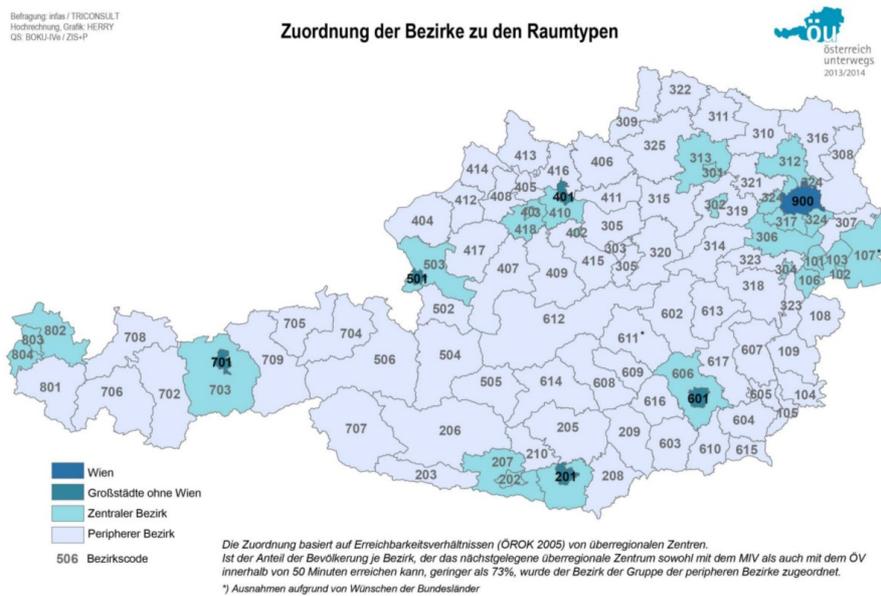
Um die vorhandenen positiven Potentiale der Automatisierung für den urbanen Raum – die sich vor allem aus der Vereinfachung einer gemeinschaftlichen Nutzung von Mobilitätsressourcen ergeben – tatsächlich wirksam werden zu lassen, werden erhebliche Anstrengungen notwendig sein und es besteht die Gefahr, gegenüber den in den Markt drängenden neuen Anbietern in die Defensive zu geraten.

Demgegenüber gibt es im ländlichen Raum aufgrund der ungünstigen Ausgangsbedingungen ein erheblich größeres Potential für automatisierte Fahrzeuge, eine positive Wirkung zu entfalten – und gleichzeitig eine viel größere Notwendigkeit zur Veränderung. Immerhin 70%¹ der österreichischen Bevölkerung leben in ländlich geprägten Bezirken. Bei der Befriedigung ihrer Mobilitätsbedürfnisse sind sie in aller Regel stark davon abhängig, ein eigenes Fahrzeug zu besitzen. Dies hat zur Folge, dass in seiner Mobilität mehr oder weniger eingeschränkt ist, wer nicht über ein Fahrzeug verfügen kann. Es schlägt sich

¹ Eigene Auswertung auf Basis der Daten aus *Österreich unterwegs 2013/2014*. Als „ländlich geprägt“ gelten die „zentralen“ und „peripheren“ Bezirke.

aber auch bei den Emissionen nieder, denn 80%² des dem Personenverkehr zuzurechnenden Treibhausgasausstoßes wird von der Bevölkerung des ländlichen Raums verursacht. Die Herausforderung des Klimaschutzes lässt sich also keinesfalls nur in den Städten alleine lösen.

Was wir meinen, wenn wir vom „ländlichen Raum“ sprechen: In unseren Auswertungen haben wir als Zielregion die „zentralen“ und „peripheren“ Bezirke entsprechend der Zuordnung der bundesweiten Mobilitätsstudie *Österreich unterwegs 2013/2014* gewählt – das sind alle Bezirke außerhalb der großen Städte (Wien, Graz, Linz, Salzburg, Innsbruck und Klagenfurt):



Zuordnung der Bezirke zu den Raumtypen bei Österreich unterwegs 2013/14 [BMVIT 2016]

Alternative Mobilitätsangebote in weniger dicht besiedelten Gebieten stehen vor enormen Herausforderungen. Einige dieser Herausforderungen könnten durch die Fahrzeugautomatisierung entschärft werden, denn sie ermöglicht die Umsetzung von Angeboten der *Shared Mobility*, die nur in geringem Maße von Subventionen abhängig sein werden oder sogar wirtschaftlich betrieben werden können.

Anzumerken ist jedoch, dass auch automatisierte Angebote wahrscheinlich nicht überall im ländlichen Raum funktionieren werden. Gemeinschaftliche Nutzung ist nur dann ökologisch und wirtschaftlich nachhaltig, wenn die erforderliche kritische Masse erreicht wird. Als primäres Zielgebiet sehen wir daher Kleinstädte bzw. Gemeinden mit 3-15.000 EinwohnerInnen.

Wie groß das Potential automatisierter Fahrzeuge für den ländlichen Raum tatsächlich ist und welche Wirkungen in unterschiedlichen Nutzungsszenarien erwartet werden dürfen, ist Gegenstand dieser Untersuchung.

² Die Emissionen wurden auf Grundlage des Modal Split, der durchschnittlichen Wegelängen je Verkehrsmittel und deren Emissionsfaktoren [Umweltbundesamt 2013] ermittelt.

Stand der Forschung

Einige Arbeiten haben sich bereits mit den Wirkungspotentialen automatisierten Fahrens beschäftigt. Die meisten von ihnen beziehen sich allerdings auf den urbanen Raum. Eine für unsere Untersuchung relevante Auswahl wird hier vorgestellt.

Sozioökonomische Studie bei *CityMobil2* (2015)

Eine erste Abschätzung der sozioökonomischen Wirkung automatisierten Fahrens wurde schon im Rahmen des großen europäischen Forschungsprojekts *CityMobil2*³ mittels Delphi-Studie durchgeführt [Sessa et al. 2015]. Der Fokus lag dabei auf der Anwendung in Städten, wobei „rural areas“ einer der vier untersuchten urbanen Raumtypen war. Verglichen wurden zwei unterschiedliche Szenarien: die Automatisierung von Privatfahrzeugen mit einer nicht näher spezifizierten geteilten Nutzung selbstfahrender Fahrzeuge. Von den 89 teilnehmenden ExpertInnen lieferte weniger als ein Drittel eine Einschätzung für ländlich geprägte Städte. Diese erwarteten bei privater Nutzung automatisierter Fahrzeuge eine leichte Steigerung der täglich zurückgelegten Wege pro Person, eine leichte Zunahme bei der täglich zurückgelegten Strecke, jedoch kaum Veränderungen in Bezug auf den Besetzungs- und Motorisierungsgrad. Bei geteilter Nutzung werden keine wesentlichen Veränderungen für die Anzahl der Wege pro Person, Tageswegelänge und Besetzungsgrade erwartet, für den Motorisierungsgrad wird allerdings von der Hälfte der ExpertInnen aufgrund der verringerten Abhängigkeit vom Privatfahrzeug eine Abnahme von 10-30% prognostiziert.

Studie des International Transport Forum (2015)

Die bekannte Studie des International Transport Forum zu den Auswirkungen automatisierten Fahrens in Städten am Beispiel von Lissabon [OECD 2015] kam zum Ergebnis, dass beide untersuchte Szenarien – Nacheinander- und Gleichzeitignutzung⁴ – eine erhebliche Reduktion der Fahrzeugflotte mit sich bringen könnten. Die Studie arbeitete mit einer agentenbasierten Simulation. Im Szenario mit automatisiertem Bedarfsverkehr in Kombination mit leistungsfähigem öffentlichen Verkehr würden 10% der derzeit zur Verfügung stehenden Fahrzeuge ausreichen. Da nach den Prämissen der Studie nicht nur der motorisierte Individualverkehr, sondern auch der gesamte Busverkehr durch das jeweilige automatisierte Angebot ersetzt wurde, ergibt sich allerdings ein Anstieg der Verkehrsleistung aufgrund der Leerfahrten der Fahrzeuge. Im Szenario mit a-Bedarfsverkehr fällt dieser Anstieg durch die Bündelung moderat aus (+6%), für a-CarSharing ist er massiv (+89%).

***Transforming Personal Mobility* (2013)**

Hier handelt es sich um eine der in der ITF-Studie zitierten frühen Arbeiten zum Thema, die hier deshalb explizit erwähnt wird, weil darin neben größeren Städten auch weniger dicht besiedelte Räume in den Blick genommen wurden [Burns et al. 2013]. Am Beispiel von Babcock Ranch, einer für 50.000 EinwohnerInnen konzipierten Öko-Planstadt im Südwesten Floridas wurde ein CarSharing-Szenario simuliert. Eine Flotte von 3.500 auto-

³ siehe <http://www.citymobil2.eu/>

⁴ In der Terminologie der Studie: „AutoVots“ und „TaxiBots“.

matisierten Fahrzeuge könnte die gesamte Mobilität innerhalb der Stadt abdecken, mit durchschnittlichen Wartezeiten unter einer Minute und einem Anteil an Leerfahrten um die 5%. Bemerkenswert ist, dass Skalierungseffekte sehr schnell greifen und bereits ab 5.000 NutzerInnen ein gutes Kostenniveau erreicht wird, das durch zusätzliche NutzerInnen nicht mehr wesentlich gesenkt werden kann.

Studie von Berylls Strategy Advisors (2017)

Eine weitere agentenbasierte Simulation wurde von Berylls Strategy Advisors für München durchgeführt [Berylls Strategy Advisors 2017]. Auch hier wurde die Annahme zugrunde gelegt, dass der gesamte innerstädtische Pkw-Verkehr durch ein alternatives automatisiertes Mobilitätsangebot – in diesem Fall elektrisch betriebene Robotaxen – substituiert wird. Eine Besonderheit stellen die vorausgesetzten Fahrzeuge dar: Ein knappes Drittel der 700.000 gemeldeten Fahrzeuge in München könnten durch 18.000 automatisierte und elektrisch betriebene zweisitzige Pods ersetzt werden. Der Anteil der Leerfahrten (zwischen den NutzerInnen und zu den Ladestationen) und damit die Zunahme der Fahrzeugverkehrsleistung liegt in dieser Simulation bei lediglich 15%. Die Kosten für die Nutzung eines solchen Angebots wären nach den Ergebnissen der Simulation denen des heutigen öffentlichen Verkehrs vergleichbar. Damit wären Kannibalisierungseffekte zu erwarten, die in der Simulation jedoch nicht berücksichtigt wurden.

Szenarien für die Nutzung automatisierter Fahrzeuge

In den letzten Jahren hat sich eine große Vielfalt an Angeboten der *Shared Mobility* entwickelt. Sie existieren heute vorwiegend in Ballungsräumen, weil sie auf Angebots- und/oder Nachfrageseite für einen wirtschaftlichen Betrieb eine kritische Masse erfordern, die in dichter besiedelten Gebieten leichter zu erreichen ist. Die Automatisierung hat das Potential, *Shared Mobility* auch für den ländlichen Raum möglich zu machen bzw. wesentlich zu erleichtern – durch den Entfall der Personalkosten bei Angeboten, die bisher auf einen FahrerIn angewiesen waren (z.B. Taxi, Bedarfsverkehr) und durch die Möglichkeit der Fahrzeuge, sich selbsttätig zu nachfolgenden NutzerInnen zu bewegen (CarSharing). Verstärkt wird dieser Effekt durch die Digitalisierung und eine zunehmend bessere *Digital Literacy* auf Seiten der potentiellen NutzerInnen.

Die zahlreichen bestehenden Angebote der *Shared Mobility* lassen sich wie folgt einteilen und ihren automatisierten Äquivalenten gegenüberstellen:

<i>Shared Mobility</i>	<i>Shared Automated Mobility</i>	Sharing-Typ	Angebots-Typ
Mietwagen	a-CarSharing (zeitbasiert)	nacheinander (diachron)	B2C
stationäres CarSharing	= a-Mietwagen		
free-floating Carsharing	a-CarSharing (fahrtbasiert)		
Taxi	= a-Taxi		
p2p-CarSharing	a-p2p-CarSharing	gleichzeitig (synchron)	C2C
Privat-Taxi (z.B. Uber)			B2C
Shared Cab	a-Shared Cab		C2C
Ridesplitting (z.B. UberPool)	a-Ridesplitting (BesitzerIn fährt nicht mit)		P2C (Public2Consumer)
Ridesharing	a-Ridesharing (BesitzerIn fährt mit)		
Bedarfsverkehr	a-Bedarfsverkehr		
öffentlicher Linienverkehr	a-öffentlicher Linienverkehr		

In der Gegenüberstellung wird deutlich, dass durch den Wegfall des Fahrpersonals die Unterschiede teilweise verschwinden. Durch Mobilitätsplattformen als gemeinsamem Zugangspunkt wird auch die Frage nach dem Anbieter, das heißt nach den Besitzverhältnissen der genutzten Mobilitätsressource, weniger relevant. Damit bleibt aus Sicht der NutzerInnen – und auch in Bezug auf die (v.a. ökologische) Wirkung – bei geteilter Mobilität vor allem ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal: steht das Fahrzeug zum Zeitpunkt der Nutzung exklusiv zur Verfügung (**Nacheinandernutzung**) oder befinden sich – zumindest potentiell – auch andere NutzerInnen an Bord (**gleichzeitige Nutzung**).

Im Projekt wurden deshalb die drei folgenden Nutzungsszenarien miteinander verglichen, wobei es sich jeweils nicht um realistische Szenarien handelt, sondern um idealtypische Extremfälle: es wird jeweils davon ausgegangen, dass der gesamte derzeitige motorisierte Individualverkehr – und nur dieser – durch die jeweilige Nutzungsform ersetzt wird. Weder werden Verlagerungseffekte von anderen Verkehrsmitteln berücksichtigt, noch werden mögliche grundlegende, mit der Automatisierung einhergehende Veränderungen

des Mobilitätsverhaltens in die Berechnung mit einbezogen. Die Wirkung einer gemeinschaftlichen Nutzung steht in Abhängigkeit vom Erreichen der kritischen Masse, die in dieser Untersuchung einfach vorausgesetzt wird. Die Ergebnisse bilden daher nur ein Potential ab und müssen mit der entsprechenden Vorsicht interpretiert werden. Die Frage, ob und wie eine ausreichende Zahl an Menschen zur Nutzung gemeinschaftlicher Angebote motiviert werden kann, und wie groß diese Zahl sein muss, ist durch weiterführende Forschung zu klären. Erste Hinweise zur Beantwortung dieser Frage finden sich in unserem Ergebnisbericht *Erfolgsbedingungen für Shared Automated Mobility*.

a-Privatfahrzeug

Dieses Szenario ist die Fortsetzung des Status Quo – automatisierte Fahrzeuge werden privat besessen und exklusiv von einer Person bzw. den Mitgliedern eines Haushalts genutzt.

a-CarSharing (Nacheinandernutzung)

In diesem Szenario stehen automatisierte Fahrzeuge öffentlich für fahrtbasierte Nutzung zur Verfügung. Das Fahrzeug bewegt sich unbesetzt selbständig zur nächsten Nutzerin bzw. zum nächsten Nutzer. In den Berechnungen wird vorausgesetzt, dass eine gemeinsame Disposition aller zur Verfügung stehenden Fahrzeuge stattfindet, sodass Routen optimiert und Leerfahrten minimiert werden können.

a-Bedarfsverkehr (gleichzeitige Nutzung)

Hier wurde die für die NutzerInnen attraktivste Form gewählt: es gibt keine Haltestellen, sondern automatisierte Fahrzeuge (*Smart Shuttles*) befördern als Sammeltaxis auf Abruf von Tür zu Tür. Es werden in der Regel auch andere Personen im gleichen Fahrzeug befördert, kurze Wartezeiten und kleinere Umwege müssen deshalb in Kauf genommen werden. Auch in diesem Szenario sorgt ein Algorithmus für die optimale Disposition der zentral gesteuerten Fahrzeuge.

Auswahl der Indikatoren

Für die im Rahmen des Projekts vorgenommene Wirkungsabschätzung wurden drei Indikatoren ausgewählt, die den folgenden Kriterien entsprechen:

- Sie sind entscheidende Einflussgrößen in Bezug auf soziale, ökologische und ökonomische Wirkungen und haben deshalb eine hohe Aussagekraft und
- sie lassen sich mit vertretbarem Aufwand quantifizieren.

Motorisierungsgrad

Die Anzahl der benötigten Fahrzeuge wird zukünftig aus ökologischer Perspektive noch stärker an Bedeutung gewinnen, wenn durch die Elektrifizierung der Anteil der bei der Produktion entstehenden Emissionen stärker ins Gewicht fällt. Zusätzlich ist zu erwarten, dass die Problematik des Ressourcenverbrauchs noch stärker in den Fokus rücken wird.

(Fahrzeug-)Verkehrsleistung bzw. Bündelungsfaktor

Während die Automatisierung insgesamt eine Zunahme der Personenverkehrsleistung im motorisierten Verkehr erwarten lässt, weil die generalisierten Wegekosten abnehmen und für bisher in ihrer Mobilität eingeschränkte Personen neue Optionen eröffnet werden, ist die entscheidende Frage, wie sich die Fahrzeugverkehrsleistung im Verhältnis dazu entwickelt. Dies steht in Abhängigkeit vom Anteil der Leerfahrten und dem Besetzungsgrad bzw. dem Ausmaß, in dem eine Bündelung von Fahrten erfolgt.

Persönliche Mobilitätskosten

Die Kostenfrage ist entscheidend dafür, ob ein Nutzungsszenario nicht nur gesellschaftlich wünschenswert, sondern auch wirtschaftlich umsetzbar ist. Die Leistbarkeit eines Angebots ist auch ein Maß für dessen Inklusivität, weil hohe Mobilitätskosten die soziale Teilhabe von Personen mit geringem Einkommen beschränken können. Zu berücksichtigen sind aus ökologischer Perspektive aber auch mögliche Rebound-Effekte, weil reduzierte Kosten wiederum zu einer höheren Nachfrage und damit einer höheren Verkehrsleistung führen können.

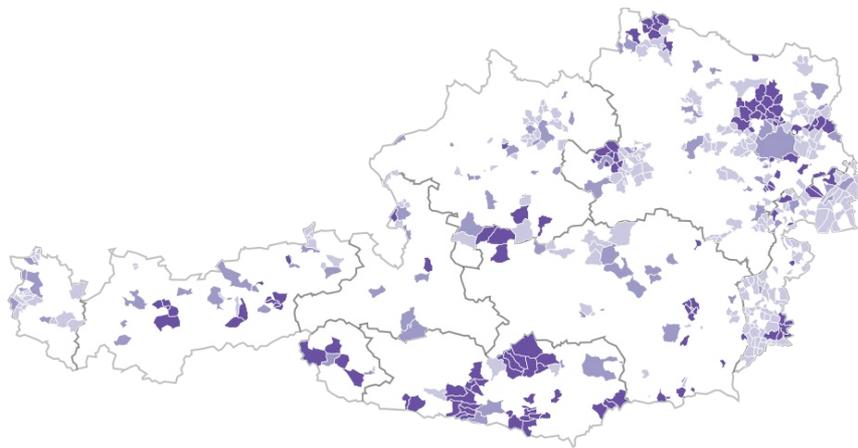
Methode

Die meisten bisherigen Untersuchungen waren auf den urbanen Raum fokussiert. Gerade bei der Automatisierung sind jedoch für unterschiedliche Raumtypen sehr unterschiedliche Auswirkungen zu erwarten. Um möglichst wirklichkeitsnahe Berechnungen durchführen zu können, wurde nicht wie in den meisten bisherigen Untersuchungen mit einem agentenbasierten Modell gearbeitet, sondern mit einer algorithmischen Auswertung präziser, geokodierter Erhebungsdaten. Dazu wurden einerseits bei bestehenden Bedarfsverkehren in vier österreichischen Gemeinden in den vergangenen Monaten über 20.000 Fahrten aufgezeichnet und andererseits wurde auf die Daten der österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“ zurückgegriffen.

Aufzeichnungen bei österreichischen Bedarfsverkehren

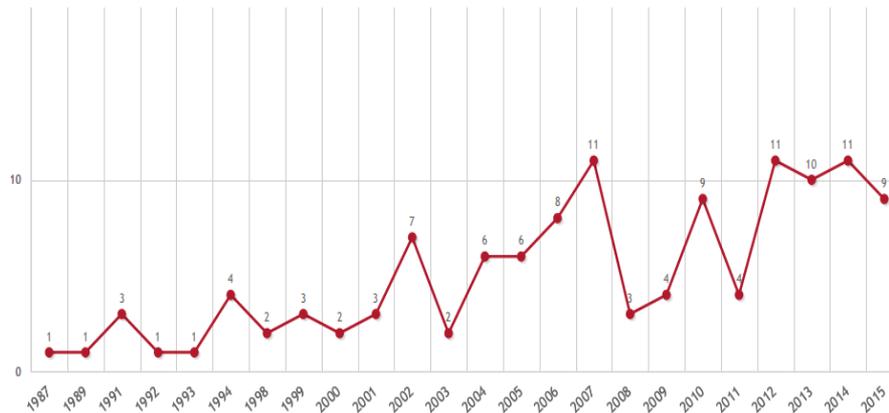
Bedarfsverkehre in Österreich

In Österreich haben viele Gemeinden erkannt, dass es nötig ist, inklusive Mobilitätsangebote als Alternative zum motorisierten Individualverkehr bereitzustellen. Deshalb sind in den vergangenen Jahren an die 200 Bedarfsverkehre („Mikro-ÖV“) entstanden. Diese Angebote sind durch einen sehr geringen Grad an Standardisierung gekennzeichnet und unterscheiden sich stark in Umfang und Qualität. Vorzeigeprojekte wie die bei *Shared Autonomy* untersuchten Bedarfsverkehre, die täglich bis zu 120 Fahrgäste befördern, haben ausgedehnte Betriebszeiten, verkehren ohne Fahrpläne und meist ohne Haltestellen und bieten für NutzerInnen daher einen Komfort ähnlich einem Taxi.



Bedarfsverkehre (und städtische Linienverkehre) in Österreich (Quelle: bedarfsverkehr.at)

Bisher werden Bedarfsverkehre in erster Linie als Lösung für ein soziales Problem und als Angebot der Daseinsvorsorge verstanden. Als essentieller Baustein für die erste/letzte Meile in einem zukünftigen lückenlosen Verbund der Alternativen können Bedarfsverkehre aber entscheidend dazu beitragen, die Abhängigkeit vom Privatfahrzeug zu verringern und Mobilität im ländlichen Raum nicht nur sozial, sondern auch ökologisch und ökonomisch nachhaltiger zu gestalten.



jährlich neu entstehende Bedarfsverkehre in Österreich (Quelle: bedarfsverkehr.at)

Jährlich werden derzeit 10-15 neue Bedarfsverkehrssysteme umgesetzt. Die größte Hürde bei der Einführung neuer Bedarfsverkehre sind die Kosten, die für eine Gemeinde damit verbunden sind. Da 50-75% der Kosten durch das Fahrpersonal verursacht werden (außer natürlich bei Systemen, die mit freiwilligen FahrerInnen arbeiten), könnte diese Hürde durch die Automatisierung zumindest reduziert werden und auch eine Ausweitung der Betriebszeiten wäre sehr einfach möglich.

In den Jahren 2011-2014 wurde die Einführung neuer Bedarfsverkehre durch ein Förderprogramm des Klima- und Energiefonds unterstützt, bei dem 30-50% der Betriebskosten in den ersten drei Betriebsjahren gefördert wurden. Dieses Programm („Mikro-ÖV Systeme für den Nahverkehr im ländlichen Raum“) wird seit 2016 im Auftrag des Verkehrsministeriums durch die SCHIG (Schieneninfrastruktur-Dienstleistungsgesellschaft) fortgeführt⁵. In mehreren Bundesländern gibt es mittlerweile zusätzliche Fördermöglichkeiten für Gemeinden. Zuletzt wurde Anfang des Jahres in der Steiermark eine Mikro-ÖV-Strategie beschlossen, die jährlich 1,5 Millionen Euro an Budgetmitteln für die dauerhafte Förderung von Bedarfsverkehren vorsieht⁶.

Auswahl der Untersuchungsgemeinden

Die im Projekt untersuchten Bedarfsverkehre wurden ausgewählt, weil sie hochflexibel sind (d.h. ohne Fahrpläne und – mit Ausnahme von Trofaiach – ohne Haltestellen verkehren) und damit dem im Szenario vorausgesetzten Typ entsprechen. Nicht zuletzt deshalb gehören sie zu den am besten genutzten Angeboten in Österreich. Hier eine Übersicht über die untersuchten Bedarfsverkehre und ausgewählte Kennzahlen:

⁵ <https://www.schig.com/foerderungen-verkehrsfinanzierung/foerderprogramme/mikro-oev/> [2017-06-10]

⁶ <http://www.verkehr.steiermark.at/cms/beitrag/12559834/135144166/> [2017-06-10]

	Breitenbrunn	Werfenweng	Trofaiach	Purbach
Fahrgäste/Tag	77	36	56	87
aufgezeichnete Fahrgäste (per 4.6.2017)	13.552	4.491	3.555	3.731
Aufzeichnungsbeginn	4.11.16	24.1.17	3.3.17	18.4.17
Besetzungsgrad	2,13	2,76	2,12	1,9
durchschn. Fahrtdauer	5,5 min	7,8 min	9,8 min	5,8 min
durchschn. Entfernung	1,2 km	2,3 km	3,7 km	1,3 km
Fzgkm/Fahrgast	1,3 km	1,7 km	3,7 km	1,5 km
Bündelungsfaktor ⁷	1,12	0,74	1	1,13
Betriebszeiten	Mo-Fr 5 ⁴⁵ -18 ³⁰ Sa 9-11 <i>im Sommer:</i> Fr/Sa bis 22 So 8 ³⁰ -18 ³⁰	Mo-Fr 7 ³⁰ -13 ³⁰ , 15 ³⁰ -20 Sa/So: 9-13 ³⁰ , 15 ³⁰ -20	Mo-Fr 7-19	Mo-Fr 5-21 Sa 8-12 <i>im Sommer:</i> Fr bis 24 Sa 14-18/19-24 So 14-18/19-23
Fahrpreis Einzelticket	€ 1,50	€ 2,60	€ 1,00	€ 1,50
Betriebsbeginn	2006	1999	2013	2006
Betreibermodell	Verein	Taxi	Taxi	Verein
EinwohnerInnen (2017)	1.938	989	11.143 (davon ca. 3.300 im Bediengebiet)	2.877

Alle vier Angebote verdanken ihr hohes Fahrgastaufkommen der Tatsache, dass sie auch Kindergartenkinder oder SchülerInnen befördern, die etwa ein Drittel bis zur Hälfte der Fahrgäste ausmachen⁸. Das bedeutet auch, dass zu den Zeiten dieser täglichen fixen Fahrten der Bedarfsverkehr für die übrige Bevölkerung nur eingeschränkt zu Verfügung steht. Diese Fahrten wirken sich auch günstig auf die Bündelung aus, da eine große Zahl von Kindern zum gleichen Zeitpunkt zum gleichen Ort gebracht bzw. von diesem abgeholt wird.

Aus bisherigen Untersuchungen zu Bedarfsverkehren ist bekannt, dass sie neben den SchülerInnen hauptsächlich von älteren Personen und zwar mehrheitlich von Frauen genutzt werden⁹.

7 Je niedriger der Bündelungsfaktor, umso stärker findet eine Bündelung von Fahrten statt, d.h. umso höher ist der Besetzungsgrad bzw. umso niedriger der Anteil der Leerfahrten an der insgesamt zurückgelegten Strecke. Vgl. die Einleitung des Kapitels zum Indikator (Fahrzeug-)Verkehrsleistung (S. 30).

8 In Werfenweng und Trofaiach, wo auch Fahrttypen bzw. Fahrtzwecke erhoben wurden, lässt sich dieser Anteil leicht ermitteln, er beträgt im Aufzeichnungszeitraum 37% bzw. 54%. Aus Purbach gibt es eine Erhebung aus dem Jahr 2009, die einen Anteil von 18% an Fahrten mit dem Wegzweck „Ausbildung, Schule, Kindergarten“ ergab [Wurz und Klementsitz 2010]. Allerdings wurden diese Fahrtaufzeichnungen zwischen 25. Mai und 30. September durchgeführt und beinhalten die Sommerferien, der tatsächliche Anteil dürfte also bedeutend höher sein.

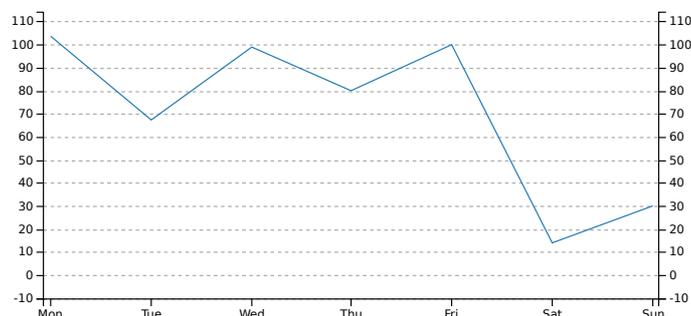
9 Die Untersuchungen zeichnen ein übereinstimmendes Bild: jeweils mehr als 75%, also die überwältigende Mehrheit der NutzerInnen ist weiblich. Vgl. beispielsweise [Klementsitz/Hoffmann 2011], [Nelson/Phonphitakchai 2012] und [Hofer 2013].

Gmoabus Breitenbrunn am Neusiedler See¹⁰



Gmoabus Breitenbrunn (Photo: Tobias Haider)

Die Gmoabuse in Breitenbrunn und Purbach wurden nach dem Modell des ersten Gmoabusses in Pötsching im Rahmen eines gemeinsamen Projekts eingeführt und sind aus den Gemeinden nicht mehr weg zu denken.



durchschnittliche Zahl der Fahrgäste in Breitenbrunn je Wochentag

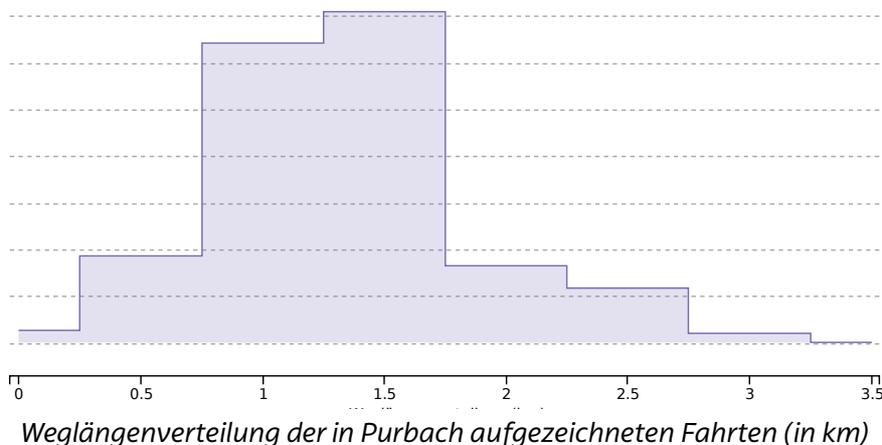
In beiden Gemeinden kann das Angebot von Gästen mit der Neusiedler See-Card kostenlos genutzt werden. Besonders in Breitenbrunn hat sich bei ersten Testaufzeichnungen mit einer frühen Version der Aufzeichnungs-App von UbiGo im Sommer 2015 bereits gezeigt, dass der Gmoabus saisonal sehr stark touristisch genutzt wird. Er wird insbesondere gerne benutzt, um das rund 4 km von Ortszentrum und Bahnhof entfernte Seebad zu erreichen, bzw. um vom dortigen Campingplatz zu den Geschäften im Ort zu gelangen.

¹⁰ siehe auch http://bedarfsverkehr.at/content/Gmoabus_Breitenbrunn [2017-06-10]

Gmoabus Purbach am Neusiedler See¹¹

Der Gmoabus Purbach wurde im Rahmen des großen europäischen Forschungsprojekts *Flipper*¹² einer umfassenden Analyse unterzogen und das Angebot auf der Grundlage der Ergebnisse weiterentwickelt [Wurz/Klementsitz 2010]. Der Gmoabus gehört in Bezug auf die Betriebszeiten zu den herausragenden Angeboten. Diese werden im Sommer an den Wochenenden unter dem Titel „Gästepus“ noch einmal weiter ausgedehnt.

Wie auch in Breitenbrunn wird das Angebot von einem durch die Gemeinde gegründeten Verein betrieben, der über die nötige Konzession zur Personenbeförderung verfügt. Die Fahrzeuge werden von angestellten FahrerInnen gelenkt.



In Purbach steht seit Anfang des Jahres auch ein E-Carsharing-Angebot der Energie Burgenland zur Verfügung¹³.

¹¹ siehe auch http://bedarfsverkehr.at/content/Gmoabus_Purbach [2017-06-10]

¹² <http://www.interreg4cflipper.eu/> [2017-06-10]

¹³ <http://www.energieburgenland.at/oekoenergie/oekomobilitaet/carsharing/standorte.html> [2017-06-10]

Ortsbus Elois Werfenweng¹⁴

Der Ortsbus Elois ist einer der sehr wenigen Bedarfsverkehre, die mit elektrischen Fahrzeugen betrieben werden. Besonders im Winter und für den Transport der Kindergartenkinder kommt aber auch ein mit Diesel betriebenes Fahrzeug zum Einsatz, weil das Elektrofahrzeug über einen Sitzplatz weniger und keine automatische Schiebetür verfügt. Bis Ende 2016 wurden die Fahrzeuge von Angestellten des Tourismusverbands gelenkt, der auch Betreiber des Angebots ist, seither besteht eine Kooperation mit einem lokalen Taxiunternehmen.



Ortsbus Elois (Photo: Tobias Haider)

Die Gemeinde Werfenweng hat die „Sanfte Mobilität“ zu ihrem Markenzeichen gemacht, Elois ist lediglich ein Baustein eines umfangreichen Angebots für TouristInnen. Es gibt einen Shuttle-Service zu den Bahnhöfen Bischofshofen, Pfarrwerfen und Werfen¹⁵, ein Nachttaxi¹⁶ sowie eine Vielzahl von Leihfahrzeugen¹⁷. Alle diese Angebote könnten mit der „SAMO-Card“ kostenlos genutzt werden. Die starke touristische Prägung zeigt sich auch im zeitlichen Verlauf der Aufzeichnungen, wo sich die starken saisonalen Schwankungen im Fahrtenaufkommen gut ablesen lassen:



durchschnittliche Zahl der täglichen Fahrgäste je Kalenderwoche

¹⁴ siehe auch http://bedarfsverkehr.at/content/Sanft_Mobil_Werfenweng_-_Elois [2017-06-10]

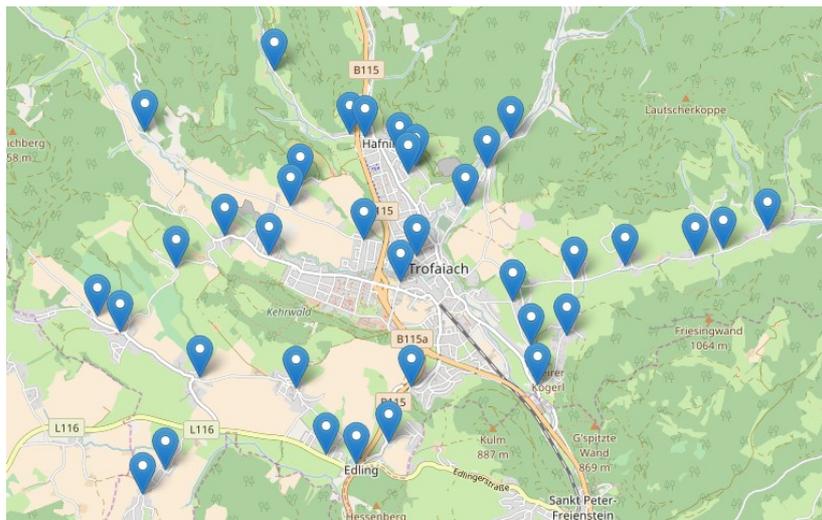
¹⁵ siehe http://bedarfsverkehr.at/content/Sanft_Mobil_Werfenweng_-_Werfenweng-Shuttle [2017-06-10]

¹⁶ siehe http://bedarfsverkehr.at/content/Sanft_Mobil_Werfenweng_-_Nachtmobil [2017-06-10]

¹⁷ siehe <http://www.werfenweng.eu/SAMO/> [2017-06-10]

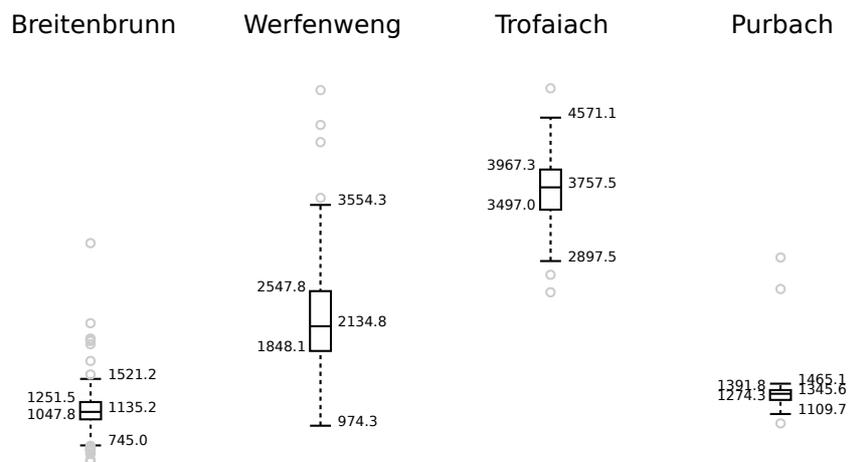
GMeinBus Trofaiach¹⁸

Der GMeinBus wurde im Zuge der Gemeindestrukturreform in der Steiermark eingeführt, bei der Trofaiach mit einigen Nachbargemeinden zusammengelegt wurde. Er dient zur Anbindung der neu hinzugekommenen Gemeindeteile an den Hauptort. Im Gegensatz zu den anderen untersuchten Angeboten sind beim GMeinBus 40 fixe Haltepunkte festgelegt. Diese sind über die peripheren Katastralgemeinden verteilt, zwei Verbindungspunkte befinden sich im Ortszentrum. Befördert wird zwischen den Haltepunkten und zu bzw. von den Verbindungspunkten.



Halte- und Verbindungspunkte des GMeinBus Trofaiach

Aus der besonderen Charakteristik des Angebots ergibt sich, dass in Trofaiach die durchschnittliche Entfernung der nachgefragten Relationen signifikant länger ist als bei den anderen untersuchten Bedarfsverkehren (beispielsweise mehr als drei mal so lange als in Breitenbrunn).



Boxplots der Durchschnittsstrecke je Fahrgast an den einzelnen Aufzeichnungstagen

¹⁸ siehe auch http://bedarfsverkehr.at/content/GMeinBus_Trofaiach [2017-06-10]

Ablauf der Aufzeichnungen

Für die Aufzeichnung der Daten wurde eine von UbiGo entwickelte App eingesetzt. Dafür stand ein funktionierender Prototyp zur Verfügung, der bereits im Sommer 2015 beim Gmoabus Breitenbrunn getestet worden war.

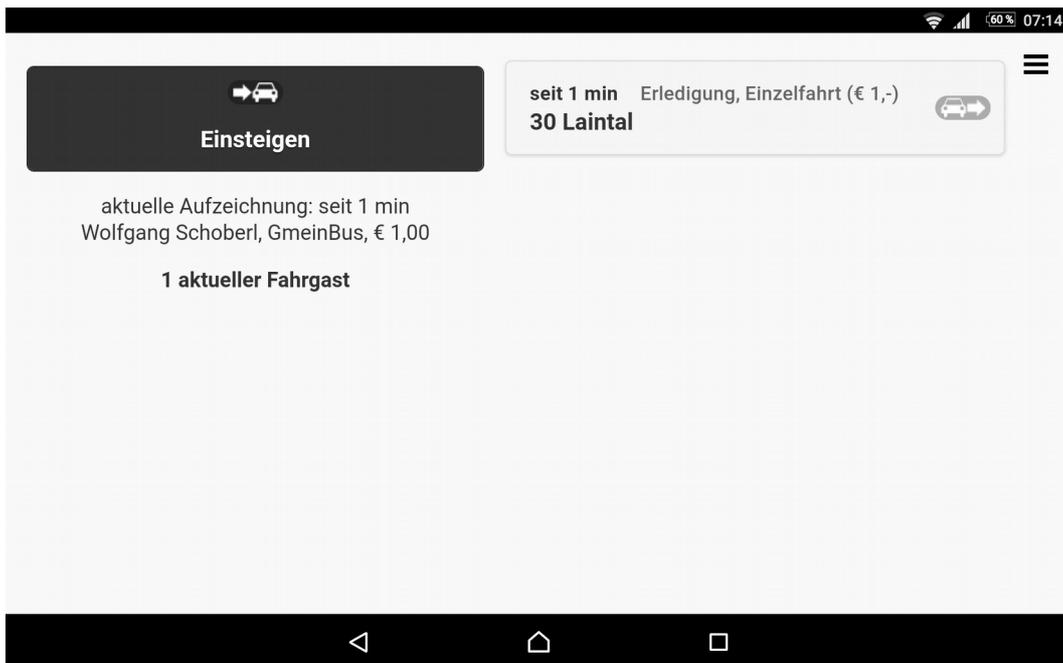
Die App wurde mit dem Anspruch entwickelt, die Aufzeichnung sehr präziser Daten zu ermöglichen und dabei das Fahrpersonal, das durch die Entgegennahme und Koordinierung der Fahrtwünsche ohnehin bereits mit hohen kognitiven Anforderungen konfrontiert ist, möglichst wenig zusätzlich zu belasten.

Die Fahrzeuge wurden mit Tablets ausgestattet. In der Minimalkonfiguration (wie sie bei den burgenländischen Bedarfsverkehren zur Anwendung kam) klickt der/die FahrerIn lediglich zwei mal je Fahrgast: einmal beim Einsteigen, einmal beim Aussteigen. Die Geokoordinaten werden automatisch ermittelt und gemeinsam mit dem Zeitpunkt an den Server übermittelt. In Werfenweng und Trofaiach wurde auf Wunsch der BetreiberInnen für jeden Fahrgast zusätzlich der Zweck der Fahrt und die Art des Tickets erhoben. In diesen beiden Gemeinden, in denen der Betrieb in Kooperation mit einem Taxiunternehmen durchgeführt wird, wurden auch für jede Aufzeichnung, d.h. jeden Dienst bzw. FahrerInnen- oder Fahrzeugwechsel, der Name des/der FahrerIn und des Fahrzeugs sowie die Start- und Endkilometerstände aufgezeichnet.

Die Geokoordinaten wurden noch vor dem Speichern am Server anonymisiert. Hierzu wurden – wo nicht bereits vorhanden – fiktive Haltepunkte definiert, deren Einzugsgebiet ausreichend groß ist, um einen Personenbezug so weit wie möglich auszuschließen. Bei der Aufzeichnung wurde automatisch der nächstgelegene „Haltepunkt“ ermittelt und dessen Koordinaten anstelle der originalen Koordinaten abgespeichert.

The screenshot shows a mobile application interface for recording a trip. The screen is divided into two main sections: 'Welchen Zweck hat diese Fahrt?' and 'Art des Tickets'. Under 'Zweck', there are radio buttons for 'Arbeit', 'Ausbildung', 'Erledigung' (which is selected), 'Freizeit', and 'Sonstiges'. Under 'Art des Tickets', there are radio buttons for 'Trofaiach Card', 'Monatskarte', and 'Einzelfahrt (€ 1,-)' (which is selected). Below these are several other ticket options with prices, such as 'Einzelfahrt (€ 0,50)', 'Zehnerblock', 'Zehnerblock (€ 8,-)', 'Zehnerblock (€ 4,-)', 'Monatskarte (€ 22,-)', 'Monatskarte (€ 11,-)', 'Jahreskarte', 'Jahreskarte (€ 200,-)', and 'Jahreskarte (€ 100,-)'. At the bottom of the form, there is a field for 'Anzahl der Personen' with a slider set to 1, and a 'Einsteigen' button. The top of the screen shows a status bar with a location pin, Wi-Fi, signal strength, 59% battery, and the time 09:33.

Beginn der Aufzeichnung einer Fahrt, mit Erhebung von Fahrtzweck und Art des Tickets



laufende Fahrt mit automatischer Ermittlung des nächstgelegenen Haltepunkts (rechts), links werden der/die aktuelle FahrerIn, das Fahrzeug und die gesamten Fahrgeldeinnahmen der aktuellen Aufzeichnung angezeigt (falls die Art des Tickets erhoben wird)

Irrtümlich aufgezeichnete Fahrten können von den FahrerInnen direkt in der App gelöscht und fehlerhafte Aufzeichnungen (z.B. Auswahl des falschen Tickets) korrigiert werden.

Auswertung

Die BetreiberInnen haben jederzeit über eine interaktive Weboberfläche Zugriff auf die aufgezeichneten Daten. Übersichtliche Diagrammdarstellungen ermöglichen einen schnellen Überblick und erleichtern die Qualitätssicherung. Fehlerhafte Aufzeichnungen können hier auch nachträglich korrigiert werden. Zusätzlich können die Daten für eigene Auswertungen als Excel-Dateien heruntergeladen werden.

Wichtige Kennzahlen wie beispielsweise die Anzahl der Fahrgäste, die gefahrenen Kilometer, die Kilometer je Fahrgast, die Verteilung der Wegezwecke oder die Besetzungsgrade werden für unterschiedliche Aggregationsebenen (Tag, Woche, Monat, Jahr, gesamter Aufzeichnungszeitraum) berechnet. Über einen Routenplaner wird die zeitliche und räumliche Distanz zwischen den einzelnen Halten automatisch ermittelt. So werden auch Aussagen über den Anteil der leer gefahrenen Kilometer sowie den erzielten Bündelungsgrad möglich. Die Entwicklung dieser Kennzahlen kann auf den verschiedenen Aggregationsebenen im Zeitverlauf betrachtet werden.

Durch die aufgezeichneten Daten lassen sich detaillierte Einblicke in die Nutzung eines Bedarfsverkehrs gewinnen, aus denen zukünftig auch Verbesserungs- und Optimierungsmaßnahmen abgeleitet werden könnten. Die Wirkung umgesetzter Maßnahmen kann mit Hilfe der Aufzeichnungen wiederum in Echtzeit beobachtet und gemessen werden.

Auswertung von Daten aus „Österreich unterwegs 2013/2014“

Zur Aufbereitung der Daten der österreichweiten Mobilitätserhebung wurde eine eigene Webapplikation entwickelt, die auch komplexere Auswertungen und ein exploratives Navigieren durch den Datenbestand möglich macht¹⁹.

Auswertung der Daten aus Perchtoldsdorf

Perchtoldsdorf gehört zu den Gemeinden, für die vertiefende Erhebungen durchgeführt wurden und für die deshalb Daten in sehr hoher Dichte zur Verfügung stehen. Da das Institut für Verkehrswesen der Universität für Bodenkultur an der Durchführung der Erhebung beteiligt war, standen uns zur Auswertung nicht nur die veröffentlichten Datensätze zur Verfügung, sondern auch Straßenangaben für Start- und Zielort, sofern diese von den ProbandInnen eingetragen wurden. Dies erlaubte eine zumindest näherungsweise Geokodierung, wie sie für die durchgeführte Auswertung benötigten wurden.

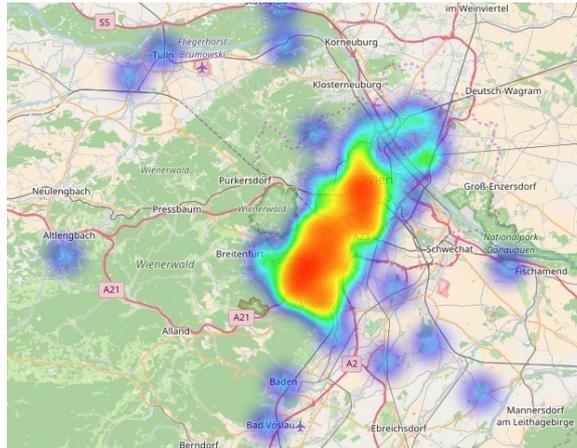
Insgesamt wurden bei *Österreich unterwegs* 3.178 Wege für Perchtoldsdorf erhoben, davon wurden von uns nur diejenigen Wege ausgewertet, die

- als Pkw-LenkerIn durchgeführt wurden (weg_vm_haupt_kl = 3),
- über (voneinander unterschiedliche) Straßenangaben für Start- und Zielort verfügen und
- an Werktagen durchgeführt wurden.

Um das Ergebnis nicht zu verfälschen, wurde, wenn beide Erhebungstage eines Haushalts Werktage waren, nur der erste Erhebungstag für die Auswertung herangezogen.

Nach Anwendung dieser Kriterien verbleiben 365, also 12% der insgesamt aufgezeichneten Wege. 104 Wege davon (28%) wurden innerhalb der Gemeinde durchgeführt. Bei der räumlichen Verteilung der Wege außerhalb von Perchtoldsdorf zeigt sich eine (erwartbare) starke Orientierung nach Wien:

¹⁹ Die Entwicklung dieser Webapplikation stand auch in Zusammenhang mit der Idee, eine Typologie von Haushalten zu entwickeln und zu untersuchen, wie sich deren Mobilitätsverhalten unterscheidet, und wie sich demzufolge die Fahrzeugautomatisierung und die verschiedenen Nutzungsszenarien auf die unterschiedlichen Haushaltstypen auswirken würden. Diese Idee konnte mangels Ressourcen im gegenständlichen Projekt nicht weiter verfolgt werden.



Heatmap der Start- und Endpunkte der ausgewerteten Fahrten (Karte: OpenStreetMap)

Zur Auswertung dieser Daten wurde ein einfacher statischer Algorithmus für das *Dial-a-Ride-Problem* (DARP) entwickelt, der es ermöglicht, für diese Wege Szenarien mit automatisiertem CarSharing und Bedarfsverkehr zu berechnen. Der Algorithmus berechnet in einem ersten Schritt eine den Kriterien entsprechende, aber nicht optimale Lösung und versucht, diese Lösung in einem zweiten Schritt weiter zu verbessern. Das Konzept orientiert sich an den Algorithmen, wie sie von der Universität Thessaloniki im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts *InMoSion* (2006-2009) für die automatisierte Disposition von Bedarfsverkehren entwickelt wurden [InMoSion 2009].

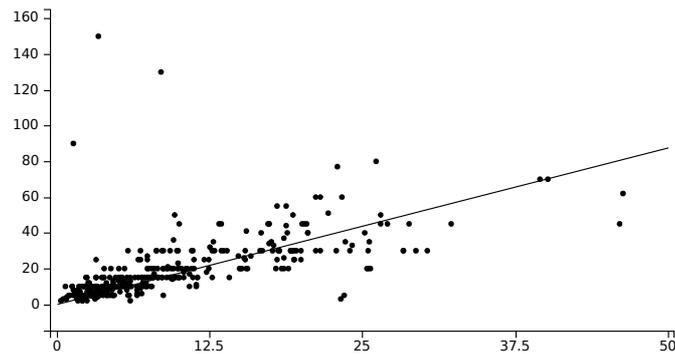
Die Eingabeparameter für den Algorithmus sind die Anzahl der verfügbaren Fahrzeuge sowie die maximale Wartezeit (Abweichung vom gewünschten Abfahrtszeitpunkt) und der maximal in Kauf zu nehmende Umweg (im Vergleich zu einer direkten Fahrt mit dem eigenen Fahrzeug). Es ist darauf hinzuweisen, dass der Algorithmus derzeit keine zusätzliche Zeit für das Ein- und Aussteigen miteinrechnet.

Den Straßennamen wurden mit Hilfe des Geocoding Service der OpenStreetMap (Nominatim²⁰) Geokoordinaten zugeordnet. Zur automatisierten Ermittlung von Wegedauern und -distanzen wurde auf die OpenSource-Software *Graphhopper*²¹ zurückgegriffen, die für das Routing ebenfalls die Daten der *OpenStreetMap* verwendet.

Da sich die Schätzung der Wegedauern sehr deutlich von den Ergebnissen des Routings unterscheidet, wurde ein Korrekturfaktor ermittelt. Die Verteilung der Werte ist aus dem folgenden Streudiagramm ersichtlich.

²⁰ <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Nominatim> [2017-06-10]

²¹ <https://www.graphhopper.com/> [2017-06-10]



Verhältnis der durch den Router ermittelten (X-Achse) zur erhobenen Wegedauer (Y-Achse),
Regressionsgerade $f(x)=1,75 \cdot x$

Es zeigt sich, dass die Wegedauern deutlich höher geschätzt werden, als durch das Routing ermittelt wird. Die Formel der Regressionsgeraden durch den Nullpunkt lautet $f(x)=1,75 \cdot x$. Die von den ProbandInnen angegebene Wegedauer ist also rund 75% höher als die durch das Routing ermittelte. Um die Ergebnisse nicht zu verfälschen, wurde daher der Ankunftszeitpunkt jeder Fahrt auf Grundlage der vom Router ermittelten Wegedauer neu berechnet.

Da die Wegelängen bei Österreich unterwegs korrigiert wurden, sind die Abweichungen hier nicht sehr stark und gleich verteilt. Die Formel einer Regressionsgeraden durch den Nullpunkt lautet $f(x)=1,0025 \cdot x$. Hier wurden deshalb direkt die durch den Router ermittelten Werte verwendet.

Indikator Motorisierungsgrad

Einleitung

Ausgangspunkt und Vergleichswert für die Berechnung ist der aktuelle Motorisierungsgrad der betrachteten Region (zentrale und periphere Bezirke entsprechend der Zuordnung der Bezirke für *Österreich unterwegs*). Aus den Hochrechnungen für die Anzahl der Personen und die Zahl der verfügbaren Pkws bei *Österreich unterwegs* lassen sich näherungsweise Motorisierungsgrade errechnen. In der folgenden Tabelle werden diese Werte für die einzelnen Raumtypen den aus Daten der Statistik Austria²² für Ende 2013 (Erhebungszeitpunkt von *Österreich unterwegs*) und Ende 2016 (aktuell) ermittelten Motorisierungsgrade gegenübergestellt:

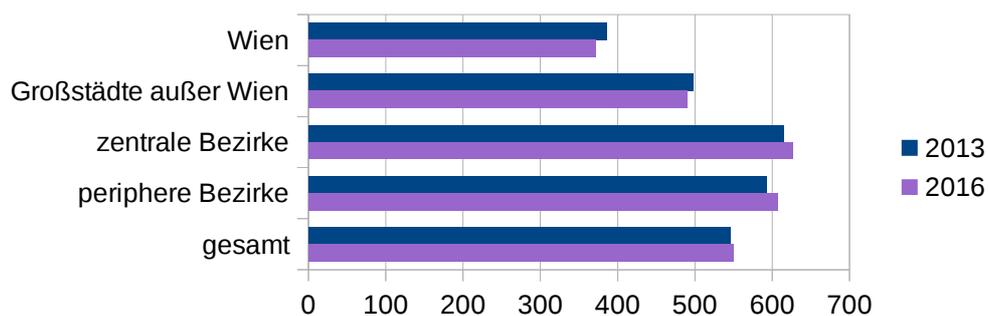
Raumtyp	Österreich unterwegs (bezogen auf Personen über 6 Jahre)	Motorisierungsgrad 31.12.2013	Motorisierungsgrad 31.12.2016
1 Wien	410	386	371
2 Großstädte ohne Wien	525	498	490
3 Zentraler Bezirk	621	615	626
4 Peripherer Bezirk	629	593	607
3+4 „ländlicher Raum“	627	600	613
gesamt	572	546	550

Die Anzahl der verfügbaren Fahrzeuge je Haushalt gehört zu den Gewichtungsmerkmalen bei *Österreich unterwegs*, deshalb überrascht auf den ersten Blick die Abweichung des Motorisierungsgrads von durchschnittlich 5%. Sie ergibt sich daraus, dass die betrachtete Grundgesamtheit nicht die gesamte Wohnbevölkerung, sondern lediglich Personen ab 6 Jahre umfasst. Der Anteil der Unter-6-Jährigen an der Wohnbevölkerung beträgt knapp 6%, insgesamt ergibt sich also eine leichte Unterschätzung des Motorisierungsgrads.

Betrachtet man die Entwicklung des Motorisierungsgrads 2013 bis 2016, zeigt sich zwar für Österreich insgesamt weiterhin eine Zunahme, in den Großstädten wächst die Bevölkerung aber stärker als der Fahrzeugbestand, sodass es dort in den letzten Jahren zu einer Reduktion des Motorisierungsgrads gekommen ist. Außerhalb der großen Städte nimmt die Motorisierung jedoch weiter zu, besonders stark in den peripheren Bezirken.

²² Statistik Austria: Kfz-Bestand 2013 bzw. 2016, Pkw-Bestand am 31.12.2013/2016 nach Meldestellen; Statistik Austria: Statistik des Bevölkerungsstandes, Bevölkerung zu Jahresbeginn 2014 bzw. 2017

Indikator Motorisierungsgrad



Motorisierungsgrade 2013 und 2016 (Quelle: Statistik Austria)

Die Zahl der verfügbaren Fahrzeuge, die für unsere Berechnungen ausschlaggebend ist, entspricht in *Österreich unterwegs* relativ genau dem Pkw-Bestand für den 31.12.2013, die Abweichung beträgt durchschnittlich 1,6%. Diese Abweichung ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass der Gesamtbestand auch Pkw umfasst, die rein dienstlich bzw. unternehmerisch genutzt werden.

Raumtyp	verfügbare Fahrzeuge Österreich unterwegs 2013/2014	Pkw-Bestand 31.12.2013 Statistik Austria
1 Wien	670.713	681.413
2 Großstädte ohne Wien	408.590	413.844
3 Zentraler Bezirk	1.188.518	1.190.337
4 Peripherer Bezirk	2.300.890	2.355.714
3+4 „ländlicher Raum“	3.489.408	3.546.051
gesamt	4.568.712	4.641.308

Ergebnisse

Die Automatisierung hat das Potential, neue Mobilitätsoptionen für Gruppen zu eröffnen, die bisher in ihrer Mobilität eingeschränkt waren. Nach den Ergebnissen des Forschungsprojekts „Égalitéplus“ sind 13% der Bevölkerung über 10 Jahren von starken oder mittelschweren Mobilitätseinschränkungen betroffen [Sammer et al. 2012]. Wo sich die Einschränkung allein daraus ergibt, dass eine Person in einem auf den motorisierten Individualverkehr ausgerichteten Mobilitätssystem aus physischen oder rechtlichen Gründen nicht in der Lage ist, selbst einen Pkw zu lenken, kann die Fahrzeugautomatisierung in allen untersuchten Nutzungsszenarien zu einer höheren Inklusivität führen. Angebote mit gemeinschaftlicher Nutzung von Fahrzeugen wären mit hoher Wahrscheinlichkeit mit geringeren Kosten für die NutzerInnen verbunden und würden damit zusätzlich jene Personen ansprechen, deren Mobilität derzeit aus Gründen der Leistbarkeit eingeschränkt ist.

a-Privatfahrzeuge:

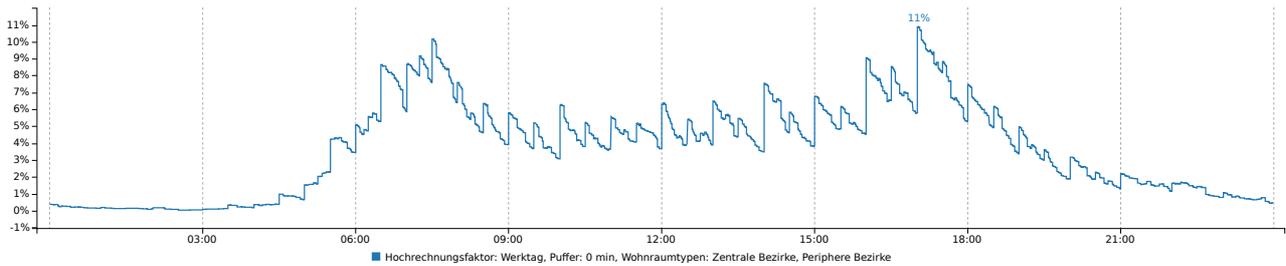
Durch neue NutzerInnengruppen, die bisher durch die fehlende Lenkberechtigung (z.B. Jugendliche) oder physische Einschränkungen (z.B. ältere Personen) nicht über ein eigenes Fahrzeug verfügen konnten, ist eine leichte Erhöhung des Motorisierungsgrads zu erwarten. Da es in vielen Fällen aber lediglich um die Mitnutzung eines im Haushalt ohnehin vorhandenen (Zweit-)Autos gehen wird, wird eine Zunahme von nicht mehr als 5% erwartet.

Die Automatisierung erleichtert das Teilen eines Fahrzeugs innerhalb eines Haushalts. Das Fahrzeug kann, nachdem es ein Familienmitglied zu seinem Ziel gebracht hat, selbsttätig zurückkehren, um für weitere Fahrten zur Verfügung zu stehen. Es ist schwer abzuschätzen, inwieweit dies beispielsweise zu einem Verzicht auf Zweit- und Drittfahrzeuge in einem Haushalt führen wird. Das wird vor allem davon abhängen, wie sich die Anschaffungs- im Verhältnis zu den Betriebskosten entwickeln. Hohe Anschaffungskosten und günstiger Betrieb würden eine solche Entwicklung verstärken, die zwar einen niedrigeren Motorisierungsgrad aber eine stark steigende Fahrzeugverkehrsleistung zur Folge hätte, weil sich innerhalb eines Haushalts kaum Bündelungseffekte und ein sehr hoher Anteil an Leerfahrten ergeben würden.

a-CarSharing:

Bei einer ausschließlich gemeinschaftlicher Nutzung darf eine wesentliche Reduktion des Motorisierungsgrads erwartet werden. Für eine erste Abschätzung der zu den Tagesspitzen benötigten Fahrzeuge wurden die bei *Österreich unterwegs* erhobenen Wege ausgewertet. Für jede Minute des Tages wurden die jeweils gleichzeitig als Pkw-LenkerIn durchgeführten Wege aufsummiert²³. Diese Auswertung wurde jeweils für Werktage, Samstage, Sonn- und Feiertage sowie für die verschiedenen Raumtypen durchgeführt. Es zeigt sich, dass je nach betrachtetem Segment lediglich 6-12% der verfügbaren Fahrzeuge gleichzeitig auf der Straße sind (siehe auch die vollständigen Diagramme im Anhang).

²³ Es wurden alle Wege ausgewertet, die zumindest teilweise mit dem Pkw zurückgelegt wurden (weg_vm_pkwlenk=1).



*gleichzeitig stattfindende Pkw-LenkerInnen-Wege im Tagesverlauf
(zentrale und periphere Bezirke an Werktagen)*

In einem Szenario mit Nacheinander-Nutzung von Fahrzeugen stellt sich nicht nur die Frage, wie viele Fahrzeuge zu jedem Zeitpunkt gleichzeitig Personen befördern, sondern es muss auch Zeit für Leerfahrten zwischen den einzelnen NutzerInnen eingeplant werden. Deshalb wurde dieselben Rechnungen wie oben, nur mit einer zusätzlichen Pufferzeit durchgeführt. Dazu wurden die Abfahrts- und Ankunftszeitpunkte um jeweils 5 bzw. 10 Minuten nach vorne bzw. hinten verlegt, sodass sich insgesamt eine Zeitfenster von 10 bzw. 20 Minuten für die Fahrt zu den nachfolgenden NutzerInnen ergibt.

		Österreich	1 Wien	2 Großstädte	3 zentral	4 peripher	3+4 „ländlich“
Werktage	ohne	10%	9%	10%	12%	11%	11%
	5 min	14%	12%	13%	16%	15%	14%
	10 min	17%	14%	16%	19%	18%	18%
Sonn-/Feiertage	ohne	6%	9%	10%	6%	6%	6%
	5 min	8%	12%	13%	8%	8%	7%
	10 min	10%	14%	14%	9%	10%	9%
Samstage	ohne	9%	12%	12%	9%	10%	9%
	5 min	12%	14%	15%	11%	14%	12%
	10 min	15%	17%	18%	13%	18%	16%

Zu beachten ist, dass der Tagesverlauf natürlich lokal unterschiedliche Ausprägungen haben kann und sich die Spitzen umso stärker ausgleichen und abflachen, je größer das betrachtete Untersuchungsgebiet ist. Deshalb sind die Werte für Österreich beispielsweise jeweils niedriger als der Maximalwert der einzelnen Raumtypen.

Zur Überprüfung und für eine detailliertere Auswertung wurden in einem zweiten Schritt die in **Perchtoldsdorf** erhobenen Fahrten herangezogen. Auf sie wurde der im vorherigen Kapitel beschriebene Algorithmus angewendet, wobei der Parameter Fahrzeugkapazität auf 1 gesetzt wurde, um eine exklusive Nutzung der Fahrzeuge zu gewährleisten. Auf diese Weise konnte ermittelt werden, dass mindestens **29 Fahrzeuge** nötig sind, um alle nachgefragten Fahrten abdecken zu können.

Das Verhältnis von der Zahl der gesamten Pkw-LenkerInnen-Wege zur Zahl der verfügbaren Fahrzeuge ist für zentrale und periphere Bezirke 2,32 Wege/Fahrzeug. Der Erwartungswert für die 365 Wege aus Perchtoldsdorf läge daher bei 157 korrespondierenden Fahrzeugen. Die ermittelte Zahl von 29 benötigten Fahrzeugen im CarSharing-Szenario beträgt nur **18%** dieses Erwartungswerts. Dies entspricht relativ genau dem in der ersten Abschätzung ermittelten Wert bei einer Pufferzeit von 10 Minuten (d.h. 20 Minuten Zeit für Leerfahrten zwischen NutzerInnen). Der Puffer scheint daher jedenfalls ausreichend ge-

wählt. Wie groß er in der Realität sein muss, ist davon abhängig, wie dicht die Fahrzeuge verteilt sind. Für die Auswertung in Perchtoldsdorf konnte nur ein kleiner Teil der tatsächlich täglich stattfindenden Wege herangezogen werden, die Anfahrtswege und damit die benötigte Pufferzeit wäre bei einer vollständigen Ersetzung des motorisierten Individualverkehrs entsprechend kleiner. Da schwer vorherzusagen ist, wie viele Fahrzeuge „in Reserve“ vorgehalten werden müssten, um beispielsweise spontan auftretende lokale Spitzen bewältigen zu können und die regelmäßige Wartung der Fahrzeuge zu ermöglichen, wird ein Sicherheitspolster eingeplant. Für die weiteren Berechnungen wird daher davon ausgegangen, dass der Motorisierungsgrad im Vergleich zum Status Quo in diesem Szenario um 80% reduziert werden kann.

Da eine geringe Abweichung vom gewünschten Abfahrtszeitpunkt vermutlich für die meisten NutzerInnen vertretbar wäre, wurde zusätzlich ermittelt, wie sich eine Änderung des Parameters „maximale Wartezeit“ auf die Zahl der benötigten Fahrzeuge auswirkt. Wie erwartet zeigt sich, dass dadurch eine weitere Reduktion des Motorisierungsgrads erreicht werden kann:

maximale Wartezeit	benötigte Fahrzeuge	Anteil an den derzeit verfügbaren Fahrzeugen
0	29	18%
10	27	17%

a-Bedarfsverkehre:

Für das Ausmaß an Bündelung, dass im Szenario mit gleichzeitiger Nutzung erzielt werden kann, ist neben der Charakteristik der nachgefragten Fahrten das angebotene Servicelevel ausschlaggebend. Dieses wird durch die maximale Wartezeit (in Abweichung vom originalen Abfahrtszeitpunkt) und dem maximalen Umweg definiert.

Werden die Daten aus Perchtoldsdorf erneut herangezogen, die zur Verfügung stehenden Fahrzeuge diesmal aber, wo möglich, von mehreren Personen gleichzeitig genutzt, ergibt sich – in Abhängigkeit vom gewählten Servicelevel – das folgende Bild von der Zahl der benötigten Fahrzeuge:

maximale Wartezeit	maximaler Umweg	benötigte Fahrzeuge	Anteil an den derzeit verfügbaren Fahrzeugen
5	5	28	18%
10	10	19	12%
20	20	14	9%

Die Zahl der Fahrzeuge (hier mit einer angenommenen Kapazität von 8 Personen) lässt sich also im Vergleich zum CarSharing noch einmal deutlich reduzieren.

Besonders wenn mit den Daten aus Perchtoldsdorf gerechnet wird, wird augenscheinlich, dass es in der Realität noch zielführender wäre, Synergien mit den Massentransportmit-

teln zu suchen, anstatt alle Wege des motorisierten Individualverkehrs durch Tür-zu-Tür-Bedarfsverkehrsfahrten zu ersetzen. Eine eingehende Betrachtung konnte im Rahmen von *Shared Autonomy* nicht geleistet werden, es wurde aber zumindest eine zweite Auswertung durchgeführt, für die nur die 104 Binnenwege herangezogen wurden. Fahrten nach Wien wären dann intermodal, mit (getakteten) Zubringerfahrten durch den a-Bedarfsverkehr nach Liesing zum (städtischen) öffentlichen Verkehr.

maximale Wartezeit	maximaler Umweg	benötigte Fahrzeuge
5	5	3
10	10	2
20	20	2

Die Berechnung für Binnenwege ist auch deshalb von hoher Relevanz, weil aus heutiger Perspektive ein automatisierter Bedarfsverkehr als innerörtliches Angebot und als Zubringer zum höherrangigen öffentlichen Verkehr das wahrscheinlichste Einführungsszenario für automatisierte Fahrzeuge im ländlichen Raum darstellt²⁴.

Aufgrund der bei den Bedarfsverkehren erhobenen Daten, wo ein Fahrzeug ausreicht, um im Binnenverkehr über hundert Fahrgäste täglich zu bedienen, erscheint es gerechtfertigt anzunehmen, dass tatsächlich – bei einer höheren Zahl an NutzerInnen – ein höherer Bündelungsgrad erreicht werden kann und deshalb im Szenario mit automatisiertem Bedarfsverkehr 90% der derzeit zur Verfügung stehenden Fahrzeuge eingespart werden könnten.

²⁴ Siehe auch die im Projekt entwickelte *Roadmap für Shared Automated Mobility in Österreich*.

Conclusio

In Bezug auf die Zahl der benötigten Fahrzeuge und – daraus resultierend – den Motorisierungsgrad zeigt sich ein enormes Reduktionspotential von 80-90% bei gemeinschaftlicher Nutzung. 15-20% der Emissionen im Lebenszyklus eines Fahrzeugs werden heute bei der Produktion erzeugt. Dieser Anteil wird zukünftig ansteigen, wenn durch Elektrifizierung und andere alternative Antriebstechnologien die Emissionen im Betrieb sinken. Nicht nur aus diesem Grund wird die Anzahl der benötigten Fahrzeuge zukünftig zu einem ökologisch noch bedeutenderen Faktor. Zusätzlich zur Klimawirkung der Produktionsemissionen geht es dabei vor allem auch um den Verbrauch von Rohstoffen, die nur begrenzt zur Verfügung stehen.

Zu berücksichtigen ist allerdings auch, dass eine Reduktion des Motorisierungsgrads nicht automatisch auch zu einer verringerten Fahrzeugproduktion bzw. einem geringeren Rohstoffverbrauch führen muss, wenn sich nämlich die Nutzungsdauer der Fahrzeuge im gleichen Maße reduziert in dem ihre Auslastung zunimmt. Es ist bemerkenswert, dass die durchschnittliche jährliche Fahrzeugverkehrsleistung beim automatisierten CarSharing durch den hohen Anteil an Leerfahrten und die fehlende Bündelung kaum geringer ist als beim automatisierten Bedarfsverkehr (siehe auch die Ergebnistabelle im Kapitel zu den Mobilitätskosten). Der Unterschied zur Privatnutzung ist jedoch eklatant: gemeinschaftlich genutzte Fahrzeuge legen jährlich neun bis zehn Mal so viele Kilometer zurück, ihre Lebensdauer wird sich dementsprechend reduzieren.

Die ermittelten Werte können aus mehreren Gründen nur eine grobe erste Schätzung liefern und sind durch zusätzliche Untersuchungen abzusichern:

- Perchtoldsdorf ist nur ein Beispiel und nicht unbedingt repräsentativ und es ist ebenso wenig gewährleistet, dass die untersuchten Wege, die wiederum nur eine Auswahl darstellen, annähernd einer realistischen Verteilung für Perchtoldsdorf entsprechen.
- Da für die Auswertung die Hochrechnungsfaktoren naturgemäß nicht berücksichtigt werden konnten, greifen die damit verbundenen Korrekturen nicht – schon dadurch sind einzelne Bevölkerungsgruppen überrepräsentiert, außerdem ist eine Verzerrung zu erwarten, die nicht alle Gruppen gleichermaßen bereit waren, im Fragebogen auch Adressen anzugeben.
- Zu berücksichtigen ist, dass nur ein sehr kleiner Teil der tatsächlich stattfindenden Fahrten abgebildet wurde, der Bündelungseffekt in der Realität also mutmaßlich viel höher wäre. Die ermittelten Werte entsprechen der Bündelung in einem Ort von unter 300 EinwohnerInnen bzw. bei 300 ein Mobilitätsangebot in Anspruch nehmenden Personen. Die Bevölkerung von Perchtoldsdorf legt täglich über 18.000 Wege als Pkw-LenkerInnen zurück, die untersuchten Wege umfassen also nur etwa 2 % der tatsächlichen Pkw-Fahrten.

Der eingesetzte Algorithmus ist sehr einfach und produziert Ergebnisse, die aber keine optimalen Lösungen sind. Es darf vermutet werden, dass durch ausgereifere Optimierung

weitere 10-15% der benötigten Fahrzeuge bzw. der zurückgelegten Fahrzeugkilometer eingespart werden können.

Eine Reduktion der Fahrzeugflotte hat auch eine drastische Reduktion des erforderlichen Parkraums zur Folge. Für den ländlichen Raum ergibt sich daraus, dass (private) Garagen nicht mehr errichtet werden müssen bzw. bestehende Garagen einer anderweitigen Nutzung zugeführt werden können.

Indikator (Fahrzeug-)Verkehrsleistung

Einleitung

Durch die Automatisierung wird im Allgemeinen eine Erhöhung der Personenverkehrsleistung erwartet, weil die Zeit im Fahrzeug besser genutzt werden kann, dadurch die generalisierten Kosten eines gefahrenen Kilometers abnehmen und deshalb auch längere Wege in Kauf genommen werden. Zusätzlich werden Gruppen, die bisher in ihrer Mobilität eingeschränkt oder von anderen abhängig waren, neue Optionen eröffnet.

Wie sich gegenüber der Personenverkehrsleistung die Fahrzeugverkehrsleistung entwickeln wird, steht in starker Abhängigkeit von der Form der Nutzung. Die untersuchten Szenarien wirken sich hier sehr unterschiedlich aus. Um einen Vergleich zu ermöglichen, wird der Bündelungsfaktor als Kennzahl eingeführt. Dieser Faktor beschreibt das Verhältnis der tatsächlich zurückgelegten Fahrzeugkilometer zur Summe der Personenkilometer (bei direkter Fahrt):

$$\text{Bündelungsfaktor} = \frac{\text{zurückgelegte Fahrzeugkilometer}}{\text{Personenkilometer (bei direkter Fahrt)}}$$

Abgebildet werden darin also sowohl etwaige Leerfahrten (zwischen NutzerInnen oder z.B. zum Parkplatz) als auch das Ausmaß, in dem eine Bündelung von Fahrten stattfindet – wenn es eine solche überhaupt gibt. Je niedriger diese Zahl ist, umso geringer der Anteil der Leerfahrten bzw. umso höher der Grad der Bündelung.

Ergebnisse

a-Privatfahrzeuge:

Im Vergleich zum Status Quo sind im ländlichen Raum für den Bündelungsfaktor keine großen Veränderungen zu erwarten. Während es in größeren Städten vermutlich auch zu längeren Leerfahrten zu weiter entfernt liegenden, an der Peripherie situierten Parkplätzen kommen wird, spielt dies im Untersuchungsgebiet weniger eine Rolle. In geringem Maße entstehen Leerfahrten, wenn das private Fahrzeug innerhalb des Haushalts gemeinschaftlich genutzt wird.

a-CarSharing:

Zur Ermittlung des Bündelungsfaktors wurden wiederum die Wege aus Perchtoldsdorf algorithmisch verarbeitet. Die Ergebnisse für unterschiedliche Wartezeiten lauten wie folgt:

maximale Wartezeit	Bündelungsfaktor
0 min	1,59
5 min	1,59
10 min	1,55

Anders ausgedrückt: durch die nicht besonders hohe Zahl an Fahrten und eine ungünstige Verteilung liegt der Anteil der Leerfahrten an den gefahrenen Kilometern bei 60%. Dies würde sich bei einer höheren Zahl an NutzerInnen ändern. Je mehr Fahrzeuge zur Verfügung stehen, das heißt je dichter diese verteilt sind, umso geringer ist der durchschnittliche Anfahrtsweg und umso geringer wird auch der Bündelungsfaktor.

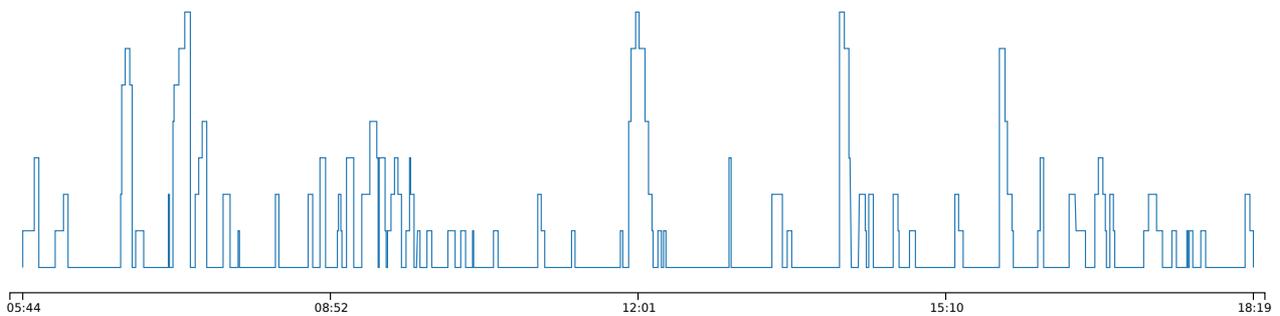
a-Bedarfsverkehr:

Die real zu beobachtenden Bedarfsverkehre in Österreich entsprechen nur bedingt den idealtypischen automatisierten Bedarfsverkehren aus unserem Nutzungsszenario, weil sie in deutlich geringerem Maß genutzt werden, als es für jene erwartet wird. Die untersuchten Bedarfsverkehre erreichen Leistungen zwischen 4-13 Beförderungsfällen je EinwohnerIn und Jahr, was durchaus beachtlich ist. Werden jedoch in unserem Szenario sämtliche als Pkw-LenkerIn durchgeführten Wege durch Bedarfsverkehr ersetzt, ergeben sich jährlich knapp 500 Wege/Person²⁵, die mit dem Bedarfsverkehr durchgeführt würden. Selbst wenn nur die innerhalb der Gemeinde zurückgelegten Wege betrachtet werden, also jene Wege, für die die derzeit bestehenden Bedarfsverkehre genutzt werden können, ergeben sich ca. 250 Wege/Person bzw. um den Faktor 20-50 höhere theoretische Nutzungszahlen. Da die Effizienz von Bedarfsverkehren wesentlich von einer kritischen Masse an NutzerInnen abhängig ist, hat dies entsprechende Auswirkungen auf die Bündelbarkeit von Fahrten. Ist die Zahl der NutzerInnen groß genug, um mehrere Fahrzeuge einsetzen zu können, hat dies außerdem eine Verringerung des durchschnittlichen Anfahrtswegs zur Folge.

²⁵ Bei 2,77 Wege/Person/Tag * 365 Tage * 47% Modal Split Pkw-LenkerIn.

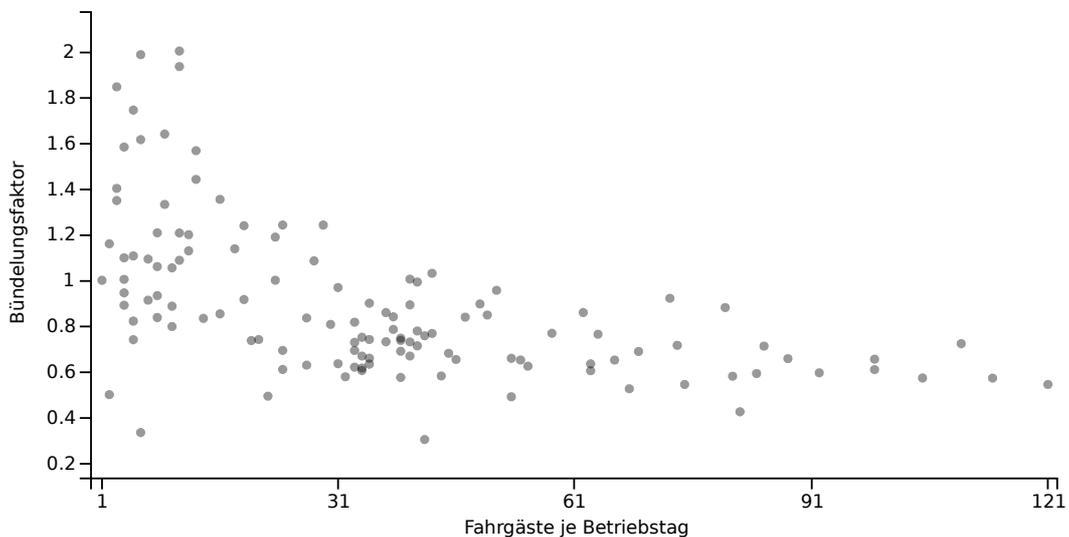
Bei den Aufzeichnungen sind vor allem die Extremfälle interessant, d.h. Tage mit hoher Bündelung bzw. niedrigem Bündelungsfaktor. Aus den oben genannten Gründen darf für das Szenario mit automatisierten Bedarfsverkehren eine mindestens ebenso gute Bündelung erwartet werden.

Ein Beispieltag aus Breitenbrunn mit gutem Bündelungsfaktor (0,91) und hoher Fahrgastzahl:



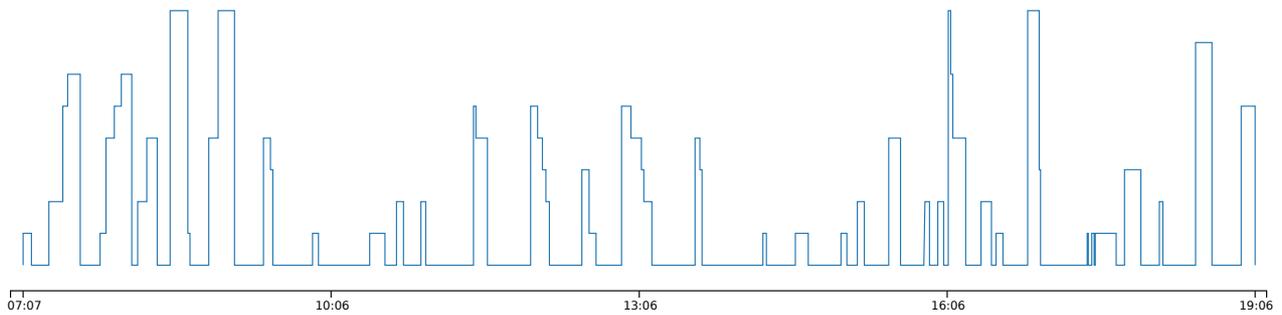
Aufzeichnung in Breitenbrunn vom 16. November 2016
(Y-Achse: Anzahl der Fahrgäste im Fahrzeug)

Wenig überraschend steht der Bündelungsfaktor in einer klaren Abhängigkeit von der Zahl der am jeweiligen Tag beförderten Fahrgäste, wie hier am Beispiel von Werfenweng gezeigt:



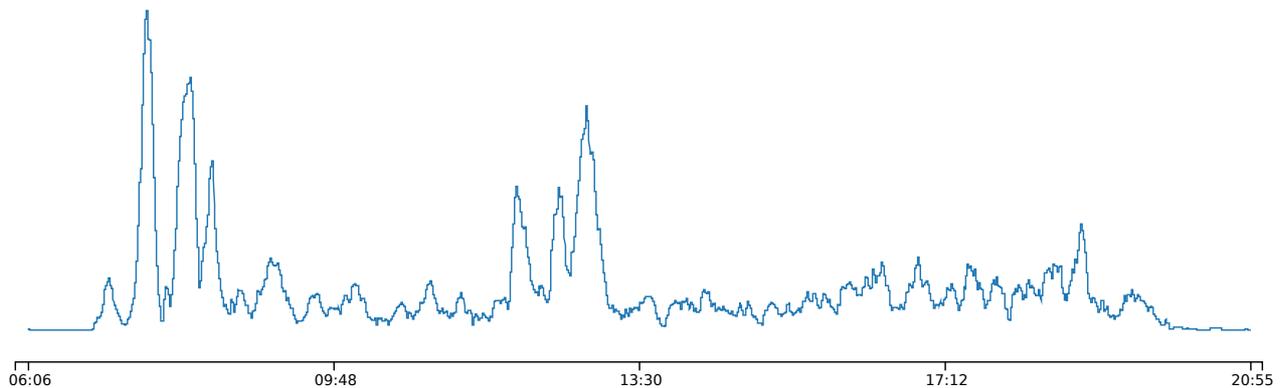
beförderte Fahrgäste (X-Achse) und Bündelungsfaktor (Y-Achse) der Aufzeichnungstage in Werfenweng

Am Tag mit der höchsten Zahl an beförderten Fahrgästen (121), dem 8. Februar 2017 konnte ein Bündelungsfaktor von 0,54 erreicht werden. Hätten die beförderten Fahrgäste die jeweils gewünschte Relation selbst (alleine) mit einem Privatfahrzeug zurückgelegt, hätten sie gemeinsam also fast doppelt so viele Kilometer zurückgelegt wie der Bedarfsverkehr.



Aufzeichnung in Werfenweng vom 8. Februar 2017
(Y-Achse: Anzahl der Fahrgäste im Fahrzeug)

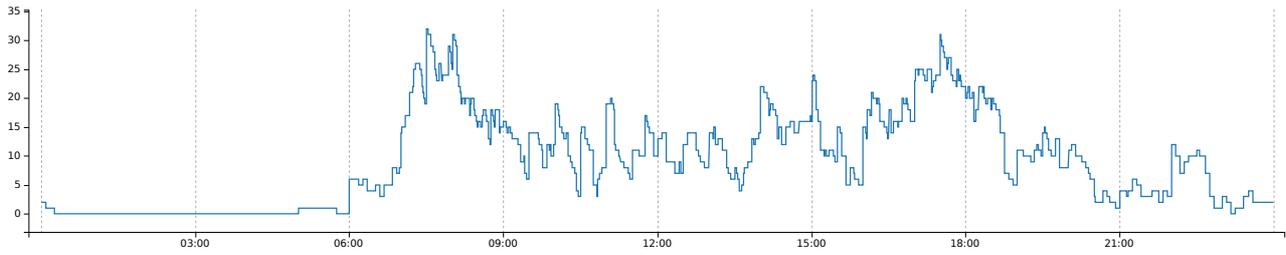
Im Tagesverlauf dieser Aufzeichnung aus Werfenweng sind gut die Kindergartentransporte in der Früh zu erkennen. Zwischen 8:33 und 9:10 finden zwei vollbesetzte Fahrten zur Seilbahn statt, danach weitere Fahrten mit Gästen und vereinzelt auch mit Einheimischen. Zu Mittag erneut die charakteristischen Kindergartenfahrten, bei denen die Kinder an verschiedenen Orten abgeliefert werden. Am Nachmittag und Abend finden weitere Fahrten zur/von der Seilbahn und zu/von Gastronomiebetrieben statt. Etwa zwei Drittel der Zeit ist das Fahrzeug in Bewegung, 45% der gefahrenen Kilometer werden ohne Fahrgäste zurückgelegt.



Tagesverlauf aller in Werfenweng aufgezeichneten Fahrten

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass sich die sehr guten Werte für Werfenweng aus den Kindergartenfahrten ergeben und durch die touristische Nutzung und die damit verbundene Tatsache, dass auch TouristInnen häufig in Gruppen unterwegs sind und gemeinsam identische Strecken zurücklegen.

Zur Überprüfung wurde auch für den Indikator Verkehrsleistung/Bündelungsfaktor eine Auswertung der Daten für Perchtoldsdorf aus *Österreich unterwegs* durchgeführt. Erneut wurden die 365 Wege mit Hilfe des Algorithmus ausgewertet und diesmal der Bündelungsfaktor ermittelt.



Tagesverlauf der ausgewerteten 365 Pkw-Lenker-Fahrten aus Perchtoldsdorf

maximale Wartezeit	maximaler Umweg	Bündelungsfaktor
5	5	1,5
10	10	1,4
20	20	1,2

Schwer zu beurteilen ist der tatsächliche Servicelevel der untersuchten Bedarfsverkehre, weil nicht der gewünschte, sondern lediglich der tatsächliche Abfahrtszeitpunkt aufgezeichnet werden konnte. Da jeweils nur ein einziges Fahrzeug gleichzeitig eingesetzt wird, das zu gewissen Tageszeiten auch Kindergarten- und SchülerInnentransporte durchführt, können sich im Einzelfall durchaus längere Wartezeiten ergeben. In der Regel kommen die Busse aber sehr rasch, Umwege sind gering. Zwar wird eine Vorbestellzeit von 30 min empfohlen, viele Buchungen erfolgen aber de facto kurzfristiger, auch weil die NutzerInnen gelernt haben, dass es in der Regel kein Problem ist.

	Breitenbrunn	Werfenweng	Trofaiach	Purbach
durchschnittliche Dauer einer Fahrt (direkt)	1,9 min	3,9 min	5,2 min	1,5 min
durchschnittlicher Umweg	3,4 min	4 min	4,6 min	3,3 min

Werden, wie schon zuvor beim Motorisierungsgrad, zum Vergleich nur die Binnenwege zur Auswertung herangezogen, lässt sich die Bündelung noch steigern:

maximale Wartezeit	maximaler Umweg	Bündelungsfaktor
5	5	1,4
10	10	1,4
20	20	1,1

Für die weiteren Berechnungen wurde angenommen, dass ein Bündelungsfaktor von 0,9 wie bei den untersuchten Bedarfsverkehren erreicht werden kann.

Conclusio

Die Fahrzeugverkehrsleistung und das heißt die tatsächlich zu erzielende Bündelung ist ein sehr schwer vorhersagbarer Indikator, weil er stark von verschiedenen Faktoren abhängt: von der Zahl der nachgefragten Fahrten, davon, wie häufig ähnliche Relationen zum gleichen Zeitpunkt nachgefragt werden und auch vom Servicelevel des Angebots.

Beide Wege zur Ermittlung der Bündelungsfaktoren geben einen ersten Hinweis auf die zu erwartende Größenordnung, sind jedoch mit starken Unsicherheiten behaftet und bedürfen weiterführender Untersuchungen zur Bestätigung.

Bei der Auswertung der Fahrten aus Perchtoldsdorf wurden nur Wege mit Pkw-LenkerIn als Hauptverkehrsmittel herangezogen. Intermodale Fahrten, die Teilstrecken mit dem Pkw und dem öffentlichen Verkehr beinhalten, werden in *Österreich unterwegs* dem öffentlichen Verkehr als Hauptverkehrsmittel zugeordnet. Sie wurden daher in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Indikator Mobilitätskosten

Einleitung

Auch für dieses Kapitel gilt das Extremszenario, dass sämtliche derzeit als LenkerIn eines Pkw in der betrachteten Region durchgeführten Wege vollständig durch die drei Szenarien automatisiertes Privatfahrzeug, automatisiertes CarSharing und automatisierter Bedarfsverkehr ersetzt werden. Verlagerungseffekte von und zu anderen Verkehrsmodi, wie sie in der Realität mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten sind, bleiben daher in dieser Rechnung unberücksichtigt.

Ergebnisse

Einflussgrößen

Eine Reihe von Faktoren ist für die Höhe der Kosten ausschlaggebend. Sie werden im Folgenden im Detail vorgestellt und die für die Berechnung herangezogenen Werte begründet.

Motorisierungsgrad

Die Anzahl der aktuell verfügbaren Fahrzeuge wird aus dem Motorisierungsgrad der betrachteten Region (zentrale und periphere Bezirke entsprechend der Zuordnung der Bezirke in Österreich unterwegs) wie weiter vorne dargestellt abgeleitet. Der Motorisierungsgrad für zentrale und periphere Bezirke per 31.12.2016 beträgt 613 Pkw/1000 EinwohnerInnen.

a-Privatfahrzeug: Um einen Vergleich mit dem Status Quo zu ermöglichen, wurde hier nicht der im vorherigen Kapitel ermittelte erhöhte Motorisierungsgrad für dieses Nutzungsszenario zur Berechnung herangezogen. Diese Erhöhung ist nämlich auf neue Nutzergruppen zurückzuführen und enthält damit Neuverkehr und Änderungen in der Verkehrsmittelwahl, die sich auf die persönlichen Mobilitätskosten von Einzelpersonen, nicht aber auf die Kosten der in unserer Kalkulation betrachteten „fiktiven Durchschnittsperson“ auswirken.

a-CarSharing, a-Bedarfsverkehr: Für die Szenarien mit gemeinschaftlicher Nutzung wird mit den für den Indikator Motorisierungsgrad ermittelten reduzierten Motorisierungsgraden gerechnet. Detaillierte Ausführungen finden sich im entsprechenden Kapitel. Die verwendeten Werte sind:

- 20% der zur Verfügung stehenden Fahrzeuge beim a-CarSharing
- die Hälfte davon (also 10%) beim a-Bedarfsverkehr

Personenkilometer/Person (aktuell) und allgemeine Erhöhung der Personenverkehrsleistung durch Automatisierung

Die Gesamtstrecke, die durchschnittlich pro Person jährlich als Pkw-LenkerIn zurückgelegt wird beträgt für Österreich 8920 Kilometer [EUROSTAT in VCÖ 2016]. Dieser Wert wurde in der folgenden Berechnung als Ausgangswert für die Szenarien genommen. Zur Überprüfung des Ausgangswertes wurde zusätzlich eine Auswertung der bei *Österreich unterwegs 2013/2014* erhobenen Daten vorgenommen. Dafür wurde die durchschnittliche Tageswegelänge (als Pkw-LenkerIn) je Person mit Hilfe des Hochrechnungsfaktors für Wochentage (*weg_hochrechnungsfaktor_woche*) ermittelt.

Raumtyp	als Verkehrsmittel (weg_vm_pkwlenk=1)	als Hauptverkehrsmittel (weg_vm_haupt_kl=3)
1 Wien	3956 km	3955 km
2 Großstädte außer Wien	5366 km	5324 km
3 Zentraler Bezirk	7079 km	7003 km
4 Peripherer Bezirk	8684 km	8420 km
3+4 „ländlicher Raum“	8133 km	7933 km
gesamt	7007 km	6864 km

Jahresverkehrsleistung/Person als Pkw-LenkerIn (Quelle: Österreich unterwegs 2013/2014)

Wenn man automatisierte Fahrzeuge einsetzt, ist von einer Steigerung der Personenverkehrsleistung im motorisierten Individualverkehr auszugehen, da die Zeit im Fahrzeug nutzbarer wird und daher weniger hoch bewertet wird. Die generalisierten Kosten für eine Stunde Pkw-Lenken bei durchschnittlich 30km/h Geschwindigkeit (entspricht einer Fahrstrecke von 30 km in dieser Stunde) können mit folgendem Wert berechnet werden:

$$C_{\text{gen}} = C_{\text{Pkw}} + C_t = 14,70\text{€} + 5,80\text{€} = 18,40\text{€}$$

Wobei:

C_{gen} = generalisierte Kosten

C_{Pkw} = Kosten für den Betrieb des Pkw (bei 49 ct/km entspricht dies 14,70€ für 30 km, siehe Szenarienberechnung im Abschnitt *Conclusio*)

C_t = Zeitkosten (gemäß [RVS 02.01.22]: 5,80€/h)

Unter der Annahme, dass die Fahrzeit im Idealfall für andere Tätigkeiten komplett nutzbar wird, reduzieren sich die generalisierten Kosten gemäß:

$$C_{\text{gen-a}} = C_{\text{Pkw-a}} = 15,30\text{€}$$

Wobei:

$C_{\text{Pkw-a}}$ = Kosten für den Betrieb des Pkw (bei 51 ct/km entspricht dies 15,30€ für 30 km, siehe Szenarienberechnung im Abschnitt *Conclusio*)

$C_{\text{gen-a}}$ = generalisierte Kosten für automatisiertes Fahren

Dies entspricht einer Kostenreduktion von -25,4%. Bei einer Kostenelastizität im Verkehr von -0.5 [RVS 02.01.23], ergibt sich daraus eine erwartbare Nachfragesteigerung von

+12,68%. Dieser Neuverkehrsanteil wurde in alle Szenarien mit automatisierten Fahrzeugen berücksichtigt.

Es ist darauf hinzuweisen, dass zusätzlich anfallende Verkehrsnachfrage auch dadurch entstehen kann, dass automatisierte Angebote neuen NutzerInnengruppen offenstehen, für die die Option, selbst ein Fahrzeug zu lenken, bisher nicht offenstand (z. B. kein Führerschein, physische oder soziale Einschränkungen). Dies wird in den vorliegenden Szenarien nicht berücksichtigt, da es sich hier einerseits um einen Vergleich mit dem Ausgangszustand handelt und andererseits noch rechtlich nicht geklärt ist, ob und welche der betroffenen Gruppen zukünftig ein Fahrzeug in Betrieb nehmen dürfen.

Wegfall Hol-/Bringwege

Aus der Ersetzung von Hol- und Bringwegen, die potentiell auch Leerfahrten beinhalten, ergibt sich in Szenarien gemeinschaftlicher Nutzung ein Reduktionspotential für die Verkehrsleistung. Insgesamt werden dem Wegzweck „Bringen/Holen/Begleitung von Personen“ 10,1% jener Wege zugeordnet, die in den zentralen und peripheren Bezirken an Werktagen mit dem Pkw als LenkerIn (als Hauptverkehrsmittel) durchgeführt werden. Für die Ermittlung des Reduktionspotentials ist die Frage entscheidend, ob ein Hol-/Bringdienst in eine ohnehin stattfindende Wegekette eingebettet ist (beispielsweise das Kind auf dem Weg in die Arbeit zur Schule gebracht wird), oder ob eine Fahrt nur zu diesem Zweck durchgeführt wird. Es lassen sich die folgenden Typen von Hol-/Bringwegen unterscheiden:

Typ des Hol-/Bringwegs	Bündelungsgrad
in Wegekette eingebettet	0,1-0,5 (abhängig vom Umweg, der gefahren werden muss)
eigens unternommene Fahrt, mit Warten	1 (die zurückgelegte Strecke entspricht exakt der Strecke, die die Person zurücklegen würde, würde sie den Pkw selbst lenken)
eigens unternommene Fahrt, ohne Warten	2 (die Person wird gebracht/abgeholt und die gleiche Strecke ein zweites Mal leer gefahren)
eigens unternommene Fahrt mit Anfahrtsweg, mit Warten	1-2 (in Abhängigkeit von der Länge des Anfahrtswegs)
eigens unternommene Fahrt mit Anfahrtsweg, ohne Warten	2-4 (in Abhängigkeit von der Länge des Anfahrtswegs)

Die Unterscheidung der Fälle in den Erhebungsdaten ist schwierig. Es kann z.B. zwar relativ leicht die Zahl derjenigen Hol-/Bringwege ermittelt werden, die von Zuhause starten und unmittelbar wieder dorthin zurückführen. Dies sind eindeutig eigens unternommene Fahrten. Ihr Anteil entspricht 4,8% der betrachteten Wege (Pkw-LenkerIn als Hauptverkehrsmittel, zentrale und periphere Bezirke, Werktage), also fast der Hälfte der Hol-/Bringwege. Schwieriger ist die Unterscheidung, ob sich die gebrachte bw. abgeholt Person bei der Hin- und Rückfahrt oder nur für eine Strecke im Fahrzeug befand. Eine erste Einschätzung erlaubt die Aufenthaltsdauer zwischen den beiden Wegen, für die sich folgendes Bild ergibt:

Aufenthaltsdauer	Anteil
0 min	21.1 %
1-5 min	19.6 %
6-10 min	13.8 %
11-20 min	16.7 %
21-30 min	3.6 %
31-60 min	8.9 %
>60 min	16.4 %

Bei etwas mehr als der Hälfte der Wegekette dieses Typs beträgt die Aufenthaltsdauer 0-10 Minuten. Es ist also wahrscheinlich, dass hier nicht auf die beförderte Person gewartet wurde. Für unsere Berechnung wurde vereinfachend angenommen, dass genau in diesen Fällen bei gemeinschaftlicher Nutzung eine von zwei Fahrten eingespart werden kann und daher die Personenverkehrsleistung insgesamt um 1,2% abnimmt.

Der Effekt wird dadurch ein wenig abgeschwächt, dass Hol-/Bringwege mit durchschnittlich 12 km signifikant kürzer sind als der durchschnittliche Pkw-LenkerInnen-Weg von 16,1 km. Fahrten des Typs „eigens unternommene Fahrten“ sind noch kürzer, mit einer durchschnittlichen Länge von 11,1 km.

Bündelungsfaktor (Verhältnis von Personen- zu Fahrzeugverkehrsleistung für die einzelnen Nutzungsszenarien)

Der Bündelungsfaktor wurde als Maßzahl eingeführt, die das Verhältnis der tatsächlich zurückgelegten Fahrzeugkilometer zur Summe der Personenkilometer (bei direkter Fahrt) beschreibt (vergleiche auch das Kapitel zum Indikator Verkehrsleistung):

$$\text{Bündelungsfaktor} = \frac{\text{zurückgelegte Fahrzeugkilometer}}{\text{Personenkilometer (bei direkter Fahrt)}}$$

Abgebildet werden darin also sowohl etwaige Leerfahrten (zwischen NutzerInnen oder z.B. zum Parkplatz) als auch das Ausmaß, in dem eine Bündelung von Fahrten stattfindet – wenn es eine solche überhaupt gibt. Je niedriger diese Zahl ist, umso geringer der Anteil der Leerfahrten bzw. umso höher der Grad der Bündelung.

a-Privatfahrzeug: Angenommen wird ein Bündelungsfaktor von 1. Hier ließe sich auch eine leichte Erhöhung damit begründen, dass ein vollautomatisiertes Fahrzeug selbständig zu einem auch weiter entfernt liegenden Parkplatz fahren kann. Das wird insbesondere bei Fahrten in den urbanen Raum der Fall sein, wo Parkplätze stärker limitiert sind.

a-CarSharing: Hier kommt es zu einem hohen Anteil von Leerfahrten, weil sich die Fahrzeuge jeweils zu den nächsten NutzerInnen bewegen müssen. Aus den im Kapitel „Verkehrsleistung“ dargestellten Berechnungen folgt ein Bündelungsfaktor von 1,6 für dieses Szenario.

a-Bedarfsverkehr: Durch Bündelung von Fahrten kann die Verkehrsleistung im Vergleich zum CarSharing erheblich reduziert werden, für das Szenario wird ein Faktor von 0,9 angenommen.

Anschaffungskosten der Fahrzeuge

Die künftigen Anschaffungskosten für automatisierte Fahrzeuge abzuschätzen ist eine Herausforderung. Klar ist, dass sich die heute noch in einem Prototyp-Stadium befindlichen Fahrzeuge nicht als Maßstab genommen werden können. Der Preis für das Fahrzeug von Navya, wie es beim Demonstrationsprojekt in Koppl aktuell zum Einsatz kommt, beträgt derzeit rund 250.000 € [Rehrl 2017]. Es ist davon auszugehen, dass die Preisentwicklung mit zunehmender Produktionszahl deutlich nach unten gehen wird und sich asymptotisch einem Wert annähern wird. Diese Preisentwicklung kann auch bei anderen Produkten nachvollzogen werden (z.B. Personal-Computer, Mobiltelefone). In den Szenarien wird daher angenommen, dass die Extrakosten im Vergleich zu einem Standard-Fahrzeug mit 3.000 € zu Buche schlagen werden [Automobilwoche 2015]. Als Grundwert für Pkw mit Verbrennungsmotor wird der Durchschnittswert der verkauften Pkw für Verbrennungsmotor herangezogen, dies entspricht 29.439 € [Salzburger Nachrichten 2017], für einen mit einem Elektromotor betriebenen Pkw wird 31.003 € angenommen [EVREST 2014]. Für die größeren Fahrzeuge für den Bedarfsverkehr (Verbrennungsmotor) wird der aktuelle Listenpreis eines VW Multivan herangezogen (Mittelwert über verschiedene Ausstattungen: 58.602 €) [Volkswagen AG 2017], für die Variante mit Elektromotor die Differenz zwischen Pkw Version Verbrennungsmotor und Elektromotor aufgeschlagen und für die selbstfahrende Version wiederum die 3.000 € [Automobilwoche 2015]. Somit gehen folgende Preise in die Szenarienberechnung ein:

	Status Quo	a-Privatfahrzeuge	a-CarSharing	a-E-CarSharing	a-Bedarfsverkehr (Minibus)	a-E-Bedarfsverkehr (Minibus)
Anschaffungskosten/Fahrzeug	€ 29.440	€ 32.440	€ 32.440	€ 34.003	€ 61.602	€ 63.165

Nutzungsdauer der Fahrzeuge

Bei Pkw und Kombi sind vom Gesetzgeber her eine 8-jährige Nutzungsdauer (§ 8 Abs 6 EStG) anzusetzen [AFA 2000]. Für Omnibusse wären es 10 Jahre. Durch die große Benützungintensität (siehe Szenarienberechnung) wurden aber Fahrzeuge, die für Bedarfsverkehre benützt werden, deutlich in ihrer Lebensdauer reduziert. Erfahrungen aus bestehenden Bedarfsverkehren zeigen, dass ein Fahrzeug kaum ein Lebensalter von über 6 Jahren erreicht (z. B. Gmoabus Purbach), da die Instandhaltungskosten danach deutlich ansteigen. In den betreffenden Szenarien wurde daher eine Nutzungsdauer von 5 Jahren angesetzt. Somit fließen folgende Nutzungsdauern in die Szenarienberechnung ein:

	Status Quo	a-Privatfahrzeuge	a-CarSharing	a-E-CarSharing	a-Bedarfsverkehr (Minibus)	a-E-Bedarfsverkehr (Minibus)
Nutzungsdauer/Fahrzeug	8 Jahre	8 Jahre	8 Jahre	8 Jahre	5 Jahre	5 Jahre

Betriebskosten der Fahrzeuge

Die Betriebskosten setzen sich aus den Treibstoff- bzw. Energiekosten, den Versicherungskosten, den Wartungskosten und bei Sharing- bzw. Bedarfsverkehren auch den Kosten für Disposition und Reinigung zusammen. Ausgehend von den aktuellen Verbrauchswerten eines konventionellen Pkws [Randelhof 2014] und eines heute im Einsatz befindlichen Bedarfsbusses [Purbach 2015] ist bei automatisierten Fahrzeugen aufgrund ihres optimierten Fahrstils ein Effizienzpotenzial von 10% zu erwarten [CityMobil2 2015], beim Einsatz von elektrischen Antrieben weitere 20% [EVREST 2013].

Die Versicherungskosten basieren auf einem Referenzmodell, da es keine Unterlagen zu Durchschnittswerten gibt. Hier wurde ein Mittelklasse-Pkw (Renault Scenic) und für den Bedarfsverkehr ein Minivan (VW Multivan) herangezogen und die Kosten bei www.durchblicker.at abgefragt. Wie sich die Versicherungskosten für automatisierte Fahrzeuge entwickeln ist schwierig abzusehen. Es gibt Argumente für höhere Kosten (größerer Fahrzeugwert) und Argumente für niedrigere Versicherungskosten (geringeres Unfallrisiko). In den Szenarienberechnungen wurde der Wert als konstant angenommen.

Bei den Wartungskosten wurde ähnlich vorgegangen, als Referenzkosten wurden wiederum die Kosten aus einem laufenden Betrieb [Purbach 2015] und auf Basis von Durchschnittswerten eines Referenzmodells [ÖAMTC 2017] festgelegt.

Als Dispositionskosten für Car-Sharing wurden 80 Stunden im Jahr zu einem Stundenwert von 20 €/h angesetzt, im Bedarfsverkehr aufgrund des komplexeren Ablaufs 160 Stunden. Dies entspricht wiederum den Erfahrungswerten eines bestehenden Bedarfsverkehrs [Purbach 2015].

Reinigungskosten werden nur bei gemeinschaftlicher Nutzung angesetzt, im Car-Sharing werden vier 4 Reinigungen zu 250 € angesetzt im Bedarfsverkehr von 500 €, basierend auf den Erfahrungswerten eines bestehenden Bedarfsverkehrs [Purbach 2015].

	Status Quo	a-Privatfahrzeuge	a-CarSharing	a-E-CarSharing	a-Bedarfsverkehr (Minibus)	a-E-Bedarfsverkehr (Minibus)
Treibstoff-bzw. Energiekosten/km	€ 0,10	€ 0,09	€ 0,09	€ 0,07	€ 0,14	€ 0,11
Versicherung/Fahrzeug/Jahr	€ 648	€ 648	€ 648	€ 648	€ 1.248	€ 1.248
Wartung/Fahrzeug/Jahr	€ 1.568	€ 1.568	€ 1.568	€ 1.568	€ 3.136	€ 3.136
Disposition/Fahrzeug/Jahr	-	-	€ 2.000	€ 2.000	€ 4.000	€ 4.000
Reinigungskosten/Fahrzeug/Jahr	-	-	€ 1.000	€ 1.000	€ 2.000	€ 2.000

Berechnungsschritte

Anzahl der Fahrzeuge/Person:

$$\frac{\text{Motorisierungsgrad}}{1000}$$

Personenkilometer/Person (zukünftig):

$$\text{Personenkilometer/Person (aktuell)} \cdot (1 + \text{zusätzliche Verkehrsleistung})$$

Fahrzeugkilometer/Person:

$$\text{Personenkilometer/Person (zukünftig)} \cdot \text{Bündelungsfaktor} \cdot (1 - \text{Wegfall Holbringfahrten})$$

Jahresverkehrsleistung/Fahrzeug:

$$\frac{\text{Fahrzeugkilometer/Person}}{\text{Anzahl der Fahrzeuge/Person}}$$

Anschaffungskosten/Jahr:

$$\frac{\text{Anschaffungskosten/Fahrzeug} \cdot \text{Anzahl der Fahrzeuge}}{\text{Nutzungsdauer}}$$

Treibstoff-/Energiekosten:

$$\text{Treibstoffkosten/km} \cdot \text{Fahrzeugkilometer/Person}$$

Sonstige Kosten:

$$(\text{Versicherungskosten/Fahrzeug} + \text{Wartungskosten/Fahrzeug}) \cdot \text{Anzahl der Fahrzeuge}$$

Organisatorische Kosten:

$$(\text{Dispositionsstellen/Fahrzeug} + \text{Reinigungskosten/Fahrzeug}) \cdot \text{Anzahl der Fahrzeuge}$$

Gesamtkosten:

$$\text{Anschaffungskosten} + \text{Energiekosten} + \text{Sonstige Kosten} + \text{Organisatorische Kosten}$$

Conclusio

	Status Quo	a-Privat-fahrzeug e	a-CarSharin g	a-E-CarSharin g	a-Bedarfs-verkehr (Minibus)	a-E-Bedarfs-verkehr (Minibus)
Motorisierungsgrad	613	613	122	122	61	61
Anzahl der Fahrzeuge/Person	0,61	0,61	0,12	0,12	0,06	0,06
Personenkilometer/Person (aktuell)	8.920	8.920	8.920	8.920	8.920	8.920
zusätzliche Verkehrsleistung durch Automatisierung	0%	12,68%	12,68%	12,68%	12,68%	12,68%
Personenkilometer/Person (zukünftig)	8.920	10.051	10.051	10.051	10.051	10.051
Bündelungsfaktor (Leerfahrten und Bündelung)	1	1	1,6	1,6	0,9	0,9
Wegfall Hol-/Bringfahrten	0%	0%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%
Fahrzeugkilometer/Person	8.920	10.051	15.889	15.889	8.937	8.937
Jahresverkehrsleistung/Fzg	14.295	16.397	129.598	129.598	145.798	145.798
Anschaffungskosten/Fzg	€ 29.440	€ 32.440	€ 32.440	€ 34.003	€ 61.602	€ 63.165
Nutzungsdauer	8	8	8	8	5	5
Treibstoff-/Energiekosten/km	€ 0,10	€ 0,09	€ 0,09	€ 0,07	€ 0,14	€ 0,11
Versicherung/Fahrzeug/Jahr	€ 648	€ 648	€ 648	€ 648	€ 1.248	€ 1.248
Wartung/Fahrzeug/Jahr	€ 1.568	€ 1.568	€ 1.568	€ 1.568	€ 3.136	€ 3.136
Disposition/Fahrzeug/Jahr			€ 2.000	€ 2.000	€ 4.000	€ 4.000
Reinigungskosten/Fahrzeug/Jahr			€ 1.000	€ 1.000	€ 2.000	€ 2.000
Kosten/km	€ 0,51	€ 0,56	€ 0,45	€ 0,43	€ 1,38	€ 1,36
Wertverlust/Person/Jahr	€ 2.256	€ 2.486	€ 497	€ 521	€ 755	€ 774
Energiekosten/Person/Jahr	€ 861	€ 873	€ 1.380	€ 1.104	€ 1.207	€ 965
Versicherung+Wartung/Person/Jahr	€ 1.358	€ 1.358	€ 272	€ 272	€ 269	€ 269
Disposition+Reinigung/Person/Jahr	€ 0	€ 0	€ 368	€ 368	€ 368	€ 368
Gesamtkosten/Jahr/Person	€ 4.475	€ 4.717	€ 2.517	€ 2.265	€ 2.598	€ 2.376
Einsparung/Jahr/Person ²⁶		-€ 242	€ 1.958	€ 2.210	€ 1.877	€ 2.099
Einsparung/Jahr/Person in Prozent		-5%	44%	50%	42%	47%

Diese Ergebnisse sind eine Gesamtbetrachtung. Sie deuten darauf hin, dass (öffentliche) Angebote mit gemeinschaftlich genutzten automatisierten Fahrzeugen mit sehr geringem Subventionsbedarf betrieben werden könnten. Bei der Anwendung auf konkrete Individuen bzw. Nutzergruppen sind jedoch große Unterschiede zu erwarten, etwa weil sich Jahreskilometerleistung oder die Anschaffungskosten von Person zu Person stark unter-

²⁶ Ein negativer Wert entspricht hier einer Verteuerung.

scheiden können. Aus diesem Grund sollte in einer anschließenden Untersuchung eine Differenzierung von Nutzergruppen vorgenommen werden, um beispielsweise zu klären, ob bestimmte Gruppen besonders stark von veränderten Kosten betroffen sind.

Mobilitätskostenrechner

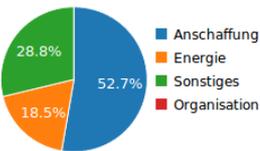
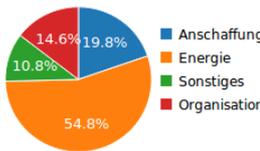
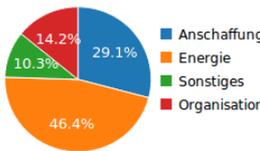
Da viele der Einflussgrößen eine erhebliche Schwankungsbreite aufweisen bzw. Vorhersagen mit heutigem Wissensstand sehr schwierig sind, wurde das Berechnungsmodell als interaktives Tool umgesetzt, das auf einfache Weise erlaubt, einzelne Parameter zu verändern. Dieses Tool ist unter <http://rechner.sharedautomatedmobility.org/kosten> zugänglich.

SHARED AUTOMATED MOBILITY Mobilitätskostenrechner

Ausgangsbedingungen [weniger...](#)

Der Motorisierungsgrad beträgt aktuell **613** 🚗, es stehen also durchschnittlich **0,61** 🚗 Fahrzeuge pro Person zur Verfügung. Durchschnittlich werden jährlich pro Person **8.920 Pkm** 🚗 als Pkw-LenkerIn bzw. **16.397 km** 🚗 je Fahrzeug zurückgelegt.

Eingabewerte für alle Szenarien [Eingabewerte anzeigen](#)

	Szenario 1 <small>Vorlagenwerte anzeigen</small>	Szenario 2	Szenario 3
	a-Privatfahrzeug 🔄 + ✕	a-CarSharing 🔄 + ✕	a-Bedarfsverkehr 🔄 + ✕
Leistungskennzahlen: Eingabewerte anzeigen	Im Szenario werden durchschnittlich 0,61 🚗 Fahrzeuge benötigt. Ein Fahrzeug legt 16.397 km 🚗 pro Jahr zurück, das sind 10.051 Fzghm 🚗 pro Person.	Im Szenario werden durchschnittlich 0,12 🚗 Fahrzeuge benötigt. Ein Fahrzeug legt 129.598 km 🚗 pro Jahr zurück, das sind 15.889 Fzghm 🚗 pro Person.	Im Szenario werden durchschnittlich 0,06 🚗 Fahrzeuge benötigt. Ein Fahrzeug legt 145.798 km 🚗 pro Jahr zurück, das sind 8.937 Fzghm 🚗 pro Person.
Kostenstruktur: Eingabewerte anzeigen	 <p>Pro Person werden jährlich 2.486 € 🚗 Anschaffungskosten (Wertverlust), 873 € 🚗 Energiekosten, 1.358 € 🚗 sonstige Kosten und 0 € 🚗 für Organisation bezahlt.</p> <p>Die Gesamtkosten pro Person belaufen sich auf 4.717 € 🚗 im Jahr bzw. 393,09 €/Monat.</p>	 <p>Pro Person werden jährlich 497 € 🚗 Anschaffungskosten (Wertverlust), 1.380 € 🚗 Energiekosten, 272 € 🚗 sonstige Kosten und 368 € 🚗 für Organisation bezahlt.</p> <p>Die Gesamtkosten pro Person belaufen sich auf 2.517 € 🚗 im Jahr bzw. 209,71 €/Monat.</p>	 <p>Pro Person werden jährlich 755 € 🚗 Anschaffungskosten (Wertverlust), 1.207 € 🚗 Energiekosten, 269 € 🚗 sonstige Kosten und 368 € 🚗 für Organisation bezahlt.</p> <p>Die Gesamtkosten pro Person belaufen sich auf 2.598 € 🚗 im Jahr bzw. 216,53 €/Monat.</p>

powered by UbiGo, wissenschaftlich begleitet durch das Institut für Verkehrswesen der Universität für Bodenkultur (Wien)

Schlussfolgerungen und weiterer Forschungsbedarf

Die Ergebnisse des Projekts zeigen klar, dass die gemeinschaftliche Nutzung automatisierter Fahrzeuge in Bezug auf die untersuchten Indikatoren erhebliche Potentiale birgt, zu einem sozial, ökologisch und ökonomisch nachhaltigeren Mobilitätssystem beizutragen.

Im Anschluss stellt sich die Frage, unter welchen Voraussetzungen diese Potentiale realisiert werden können. Denn die im Projekt ermittelten Wirkungspotentiale beziehen sich auf idealtypische Szenarien, in denen die gesamten bisherigen Pkw-LenkerInnen-Wege (und nur diese) durch das jeweilige automatisierte Mobilitätsangebot ersetzt werden. Diese Herangehensweise ermöglichte, mit verhältnismäßig geringem Ressourcenaufwand zu einer ersten Wirkungsabschätzung zu gelangen, hat aber Limitierungen in mehreren Hinsichten, die durch weiterführende Forschung zu klären sind.

- **Grenzszenarien:** Gemeinschaftliche Nutzung ist für einen (zumindest annähernd) wirtschaftlichen Betrieb vom Erreichen einer kritischen Masse abhängig. Wo die Besiedlungsdichte gering ist, wird diese kritische Masse schwer zu erreichen sein. Es ist außerdem nicht davon auszugehen, dass es mittelfristig gelingen wird, alle oder auch nur die Mehrheit der derzeitigen AutobesitzerInnen zum Umstieg auf nachhaltigere Alternativen zu bewegen. Es gilt daher zu untersuchen, welche Zahl an NutzerInnen unter welchen (z.B. raumstrukturellen) Umgebungsbedingungen nötig sind, um die jeweils spezifische kritische Masse zu erreichen. Die Bereitschaft, alternative Mobilitätsangebote zu nutzen, ist individuell verschieden und hängt nicht nur von der persönlichen Einstellung ab, die stark durch das soziale Umfeld geprägt ist, sondern auch von objektiven Faktoren. Aus unterschiedlichen Lebensumständen (Arbeitssituation, familiäre Situation, Betreuungspflichten etc.) ergeben sich verschiedene Mobilitätsmuster, die sich durch alternative Mobilitätsangebote unterschiedlich gut abbilden lassen. Sinnvoll wäre es daher, auch zu erheben, welche objektiven und subjektiven Faktoren für die Nutzung alternativer Angebote förderlich sind oder dieser im Wege stehen, welche Nutzergruppen überhaupt dafür ansprechbar sind und wie groß diese Gruppen sind.
- **Mischszenarien:** Da die Nutzungsformen voraussichtlich nicht als jeweils ausschließliche Option realisiert werden, wie in den Szenarien dieser Untersuchung vorausgesetzt, sondern als nebeneinander bestehende Angebote (allerdings mit unterschiedlichem Einführungszeitpunkt), sind ihr Verhältnis zueinander sowie zu bestehenden Mobilitätsoptionen, sowie mögliche Komplementaritäten und Konkurrenzierungen zu untersuchen.
- **Wechselwirkungen mit anderen Verkehrsmodi:** Die Einführung selbstfahrender Fahrzeuge wird nicht nur die bisherigen Pkw-LenkerInnen-Wege betreffen, sondern sich stark auf die Verkehrsmittelwahl insgesamt auswirken. Ein komfortabler und kostengünstiger automatisierter Tür-zu-Tür-Transport könnte etwa den öffentli-

chen Verkehr sowie aktive Mobilität unattraktiv machen – mit den entsprechenden Folgen für Umwelt und Gesundheit. Zu untersuchen sind daher die Wechselwirkungen automatisierter Angebote mit anderen Verkehrsmodi und Möglichkeiten der Einflussnahme.

- **Servicelevel:** Wie im Kapitel zum Indikator Verkehrsleistung ausgeführt, steht das Ausmaß der Bündelung von Fahrten (Bündelungsfaktor) in starker Abhängigkeit davon, welche Vorbestellzeiten, Wartezeiten und Umwege den NutzerInnen zugemutet werden können. Die Ansprüche an das Servicelevel unterscheiden sich individuell und auch je nach dem konkreten Mobilitätsbedürfnis. Die Fahrt zum Bahnhof ist zeitkritischer als eine Einkaufsfahrt, für die Fahrt zum Geschäft gibt es vermutlich eine höhere zeitliche Toleranz als bei der Abholung nach erfolgtem Einkauf. Die Qualität eines Angebots korreliert mit der Zahl potentieller NutzerInnen. Es gilt herauszufinden, ob es gelingen kann, den Spagat zwischen ausreichend hoher Qualität (und damit Nutzung) und möglichst geringen Kosten zu schaffen.

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen, sind Daten in noch größerer Dichte nötig, als sie bisher zur Verfügung stehen. Die Datengrundlage könnte geschaffen werden, indem die Aufzeichnungsdaten der Bedarfsverkehre durch Erhebungsdaten von bisherigen Nicht-NutzerInnen angereichert werden oder überhaupt beispielhaft in einer Gemeinde eine möglichst umfassende Erhebung zu Mobilitätsverhalten und -einstellungen der gesamten Bevölkerung durchgeführt wird.

Bibliographie

AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter: Anlagenkennzahlen mit den Nutzungsdauerwerten, Wien 2000,

http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/2000-12-15-afa-103.pdf?__blob=publicationFile&v=1, abgerufen am 20.5.2017

Automobilwoche: „Kosten des autonomen Fahrens: Preis der Technik wird sinken“, Branchen und Wirtschaftszeitung,

<http://www.automobilwoche.de/article/20150710/AGENTURMELDUNGEN/307109930/kosten-des-autonomen-fahrens-preis-der-technik-wird-sinken>, 10. Juli 2015, abgerufen am 20.5.2017

BMVIT. 2016. *Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“*. Abgerufen 21. Dezember 2016

(https://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/statistik/oesterreich_unterwegs/downloads/oeu_2013-2014_Ergebnisbericht.pdf).

Burns, Lawrence, William C. Jordan, und Bonnie A. Scarborough. 2013. *Transforming Personal Mobility*. The Earth Institute, Columbia University. Abgerufen 10. Juni 2017 (<http://sustainablemobility.ei.columbia.edu/files/2012/12/Transforming-Personal-Mobility-Jan-27-20132.pdf>).

CityMobil2 (2015): *Cities demonstrating automated road passenger transport: Experience and recommendations*, research project under European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration

Eurostat, *Eurostat Database*. Abgerufen 25. Mai 2017

(<http://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database>)

Hofer, Michaela. 2013. „Das ‚Dorfmobil‘ in Klaus an der Pyhrnbahn – eine mehrjährige Erfolgsgeschichte?“ Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.

InMoSion. 2009. *Algorithms for the web based DRT application* (internal documentation)

Berylls Strategy Advisors. 2017. *Simulation einer urbanen Mobilitätslösung basierend auf autonom fahrenden E-Robotertaxen in München*. Abgerufen 17. April 2017

(http://www.berylls.com/media/informationen/downloads/presse/170407_Berylls-Studie-Robotaxi.pdf).

Klementsitz, Roman und Michael Hoffmann. 2011. „Bedarfsgesteuerter Verkehr“. *Österreichische Gemeindezeitung*, Juni, 30–32.

Klementsitz R., Stark J., Armoogum J., Chlond B., Franke T., Kolli Z., Madre J.L., Weiss Ch. (2013): *Framework and trends for electromobility of the future*, Deliverable 3.1, EVREST Electric Vehicle with Range Extender as a Sustainable Technology

Nelson, John D. und Thanawat Phonphitakchai. 2012. „An evaluation of the user characteristics of an open access DRT service“. *Research in Transportation Economics* 34(1):54–65.

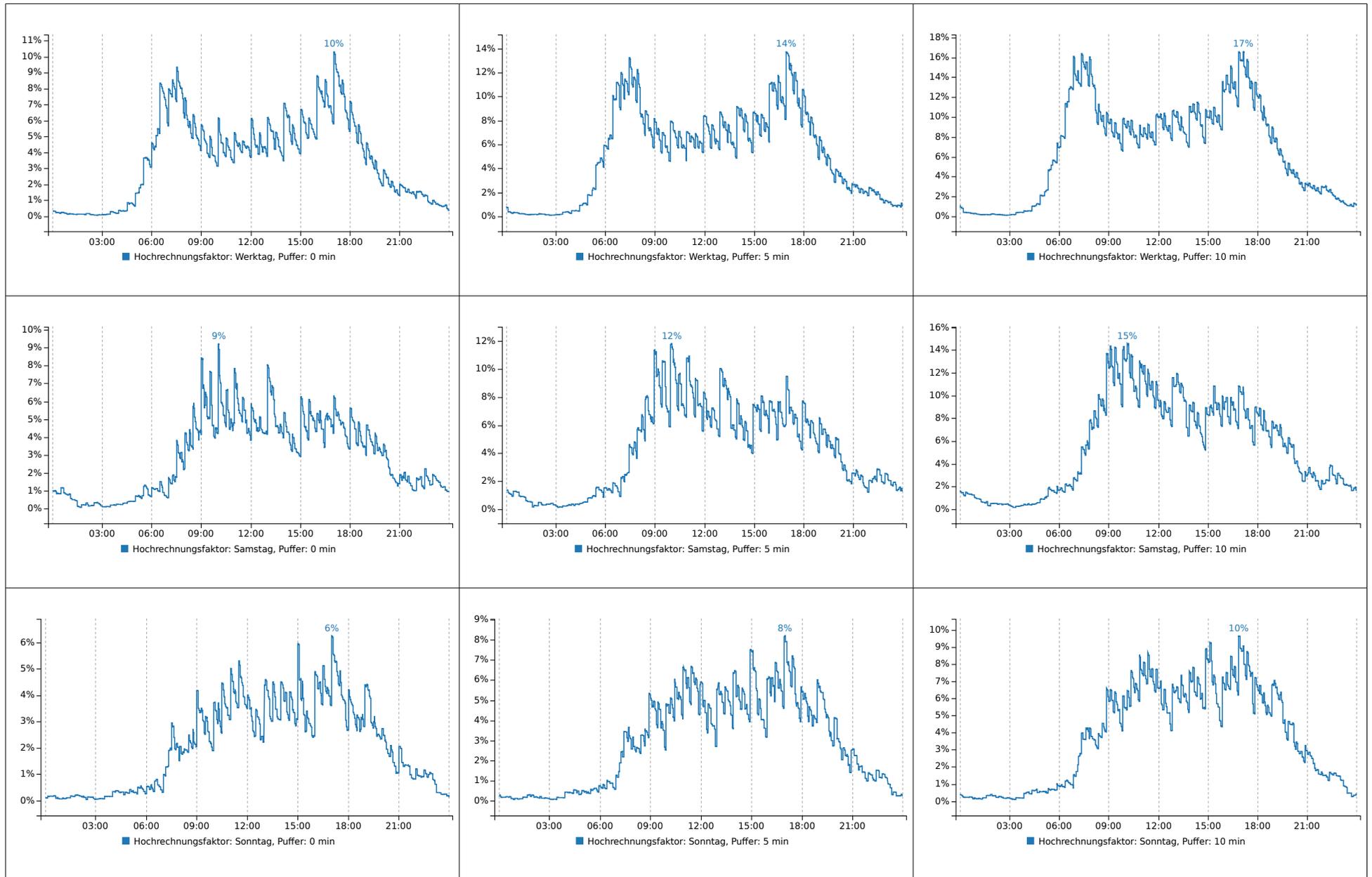
ÖAMTC (2017): Auto-Info <https://www.oeamtc.at/ai-webapp>, abgerufen am 20.5.2017

OECD. 2015. *Urban Mobility System Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic*. Abgerufen 28. August 2016 (http://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/15cpb_self-drivingcars.pdf).

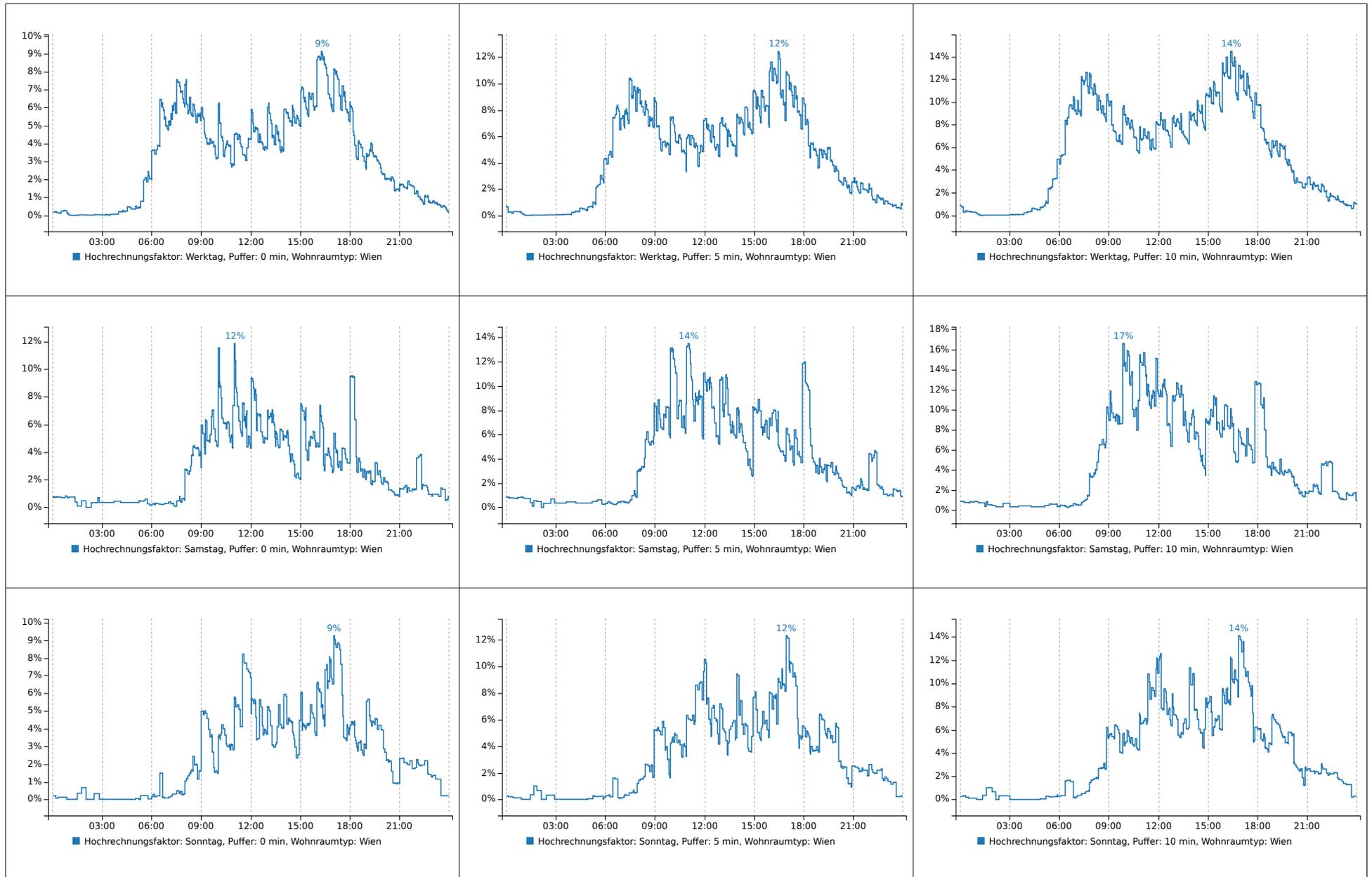
Purbach (2015): *Gmoabus Purbach, Verbrauchsmessung und Kostenbilanz*, internes Dokument

- Randelhof M. (2014): *Die wahren Kosten eines Kilometers Autofahrt*, Straßenverkehr 87, <http://www.zukunft-mobilitaet.net>, abgerufen am 20.5.2017
- RVS 02.01.22. 2010. *Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen*. Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr
- RVS 02.01.23. 2010. *Bewertung des Neuverkehrs im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Analyse*. Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr
- Salzburger Nachrichten: Beim Autokauf zahlt niemand den Listenpreis <http://www.salzburg.com/nachrichten/oesterreich/wirtschaft/sn/artikel/beim-autokauf-zahlt-niemand-den-listenpreis-229528/>, 10. Jänner 2017, abgerufen am 20.5.2017
- Sammer, Gerd u. a. 2012. „Identification of Mobility-Impaired Persons and Analysis of Their Travel Behavior and Needs“. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2320:46–54.
- Sessa, C. u. a. 2015. *CityMobil2 - D27 2 Results on the on-line DELPHI survey*. Abgerufen 10. April 2017 (<http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/D27%202%20Results%20on%20the%20on-line%20DELPHI%20survey.pdf>).
- Umweltbundesamt. 2013. *Emissionsfaktoren bezogen auf Fahrzeugkilometer*.
- VCÖ. 2016. APA-Presseaussendung: „Österreicher fahren knapp 9.000 Kilometer pro Jahr mit dem Auto“
- Volkswagen AG, http://www.volkswagen-nutzfahrzeuge.de/content/medialib/vwd4/de_vwn/pdf/preislisten/aktuelle-preislisten/der-multivan/_jcr_content/renditions/rendition.file/der-multivan.pdf, 2017, abgerufen am 20.5.2017
- Wurz, David und Roman Klementsitz. 2010. *Analyse und Weiterentwicklungspotenzial eines bedarfsgesteuerten Verkehrssystems am Beispiel des „GmoaBus“ in Purbach am Neusiedlersee*.

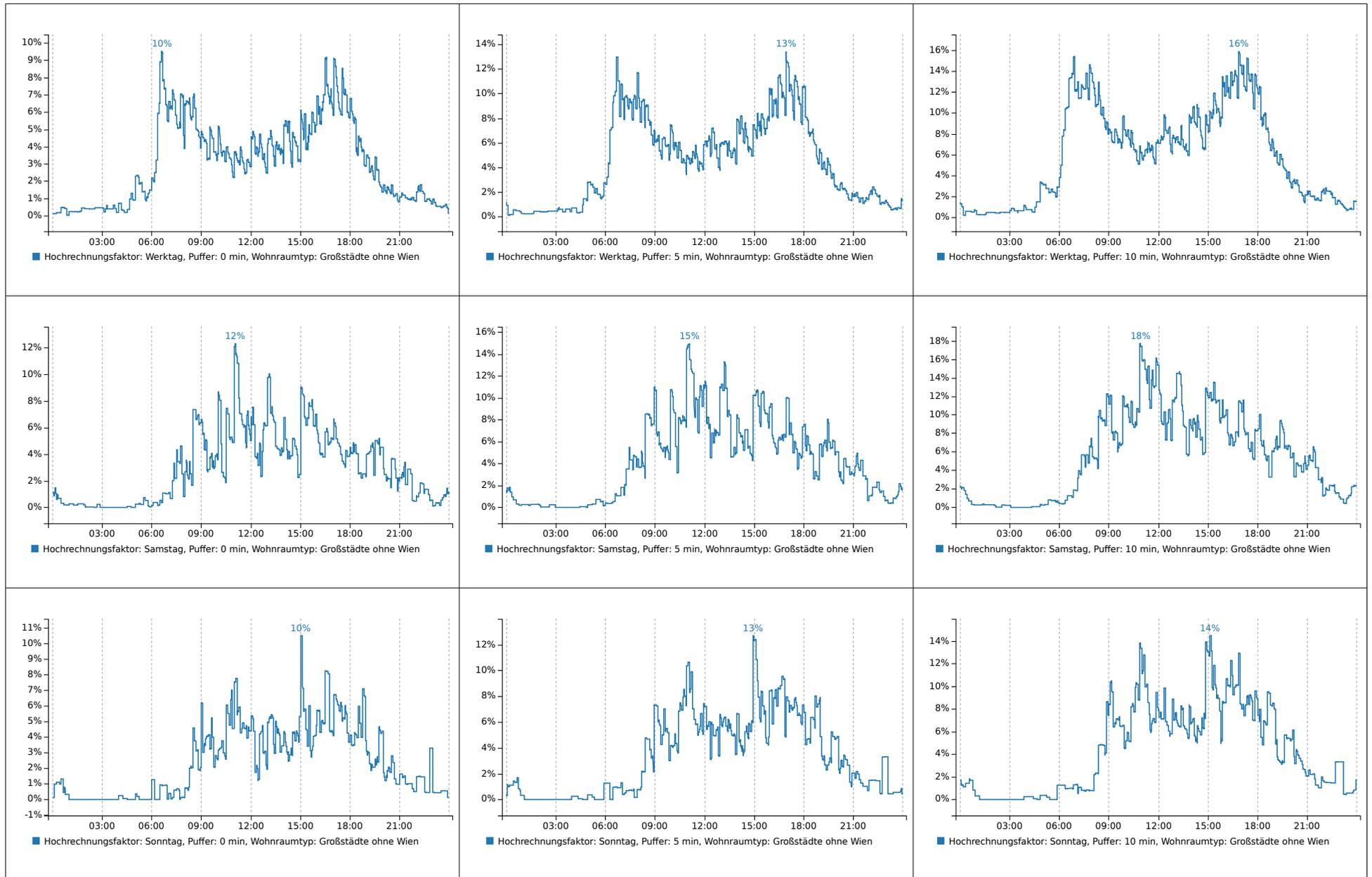
Pkw-LenkerInnen-Wege im Tagesverlauf: Österreich



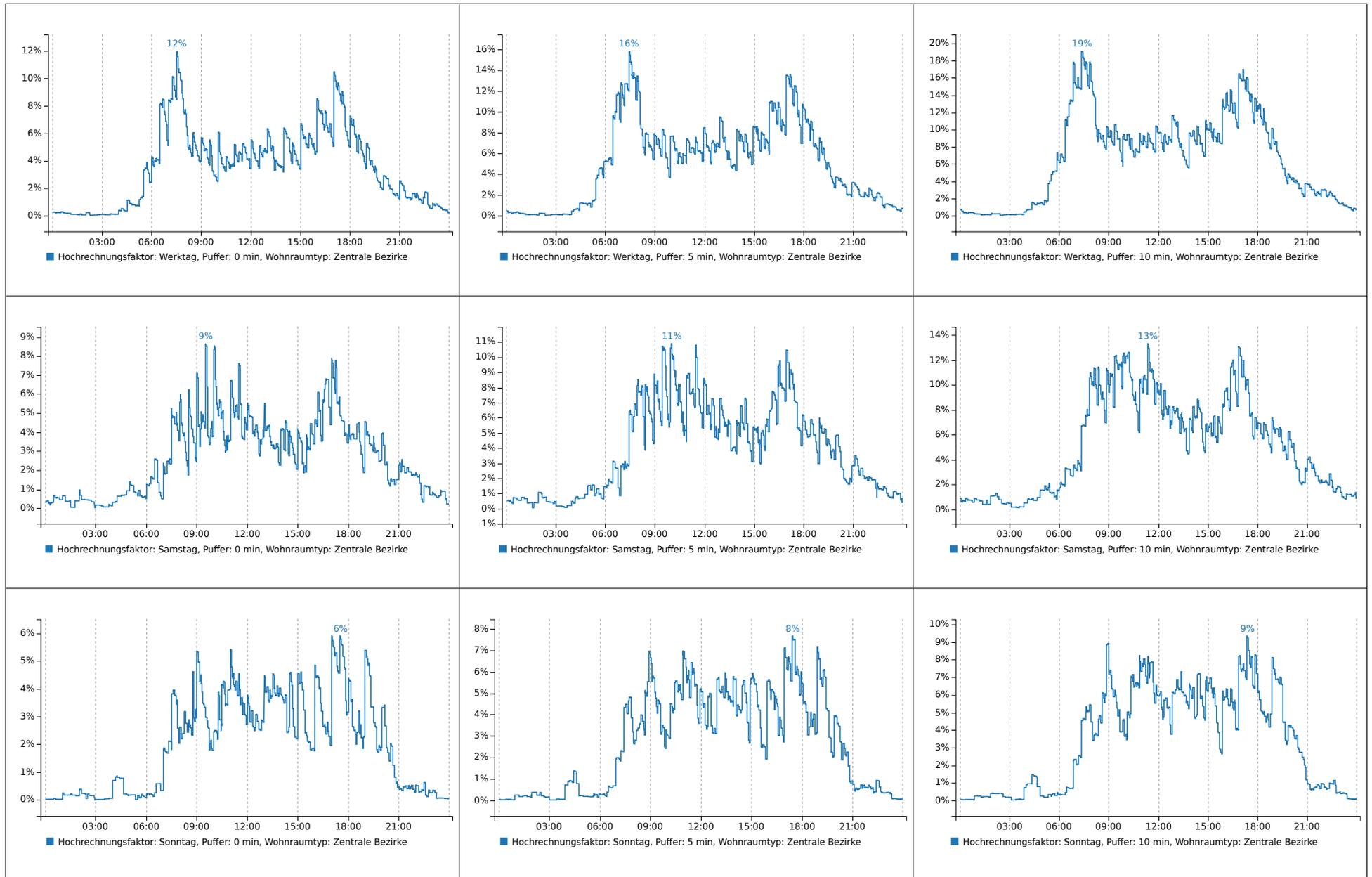
Pkw-LenkerInnen-Wege im Tagesverlauf: Wien



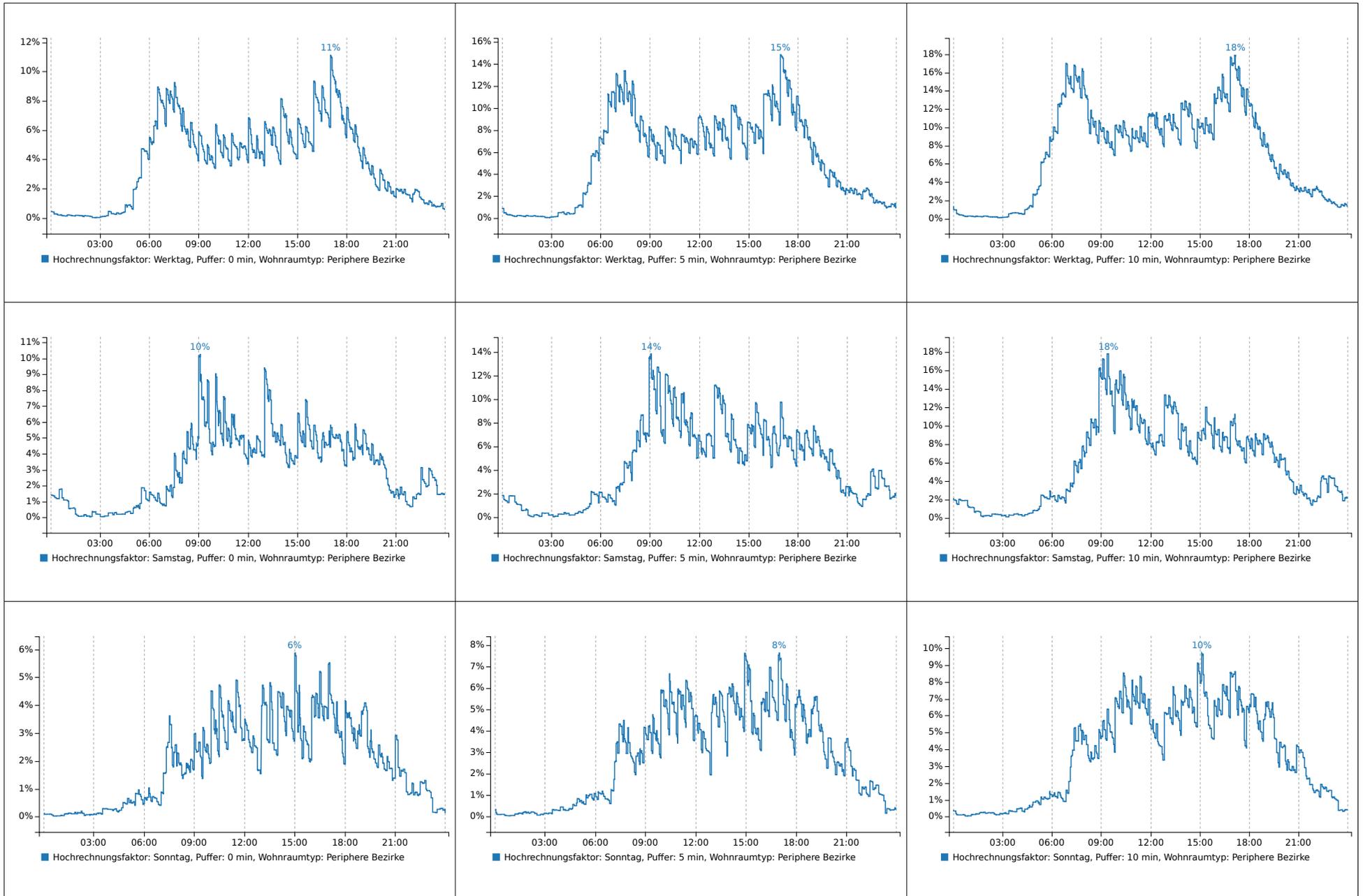
Pkw-LenkerInnen-Wege im Tagesverlauf: Großstädte ohne Wien



Pkw-LenkerInnen-Wege im Tagesverlauf: Zentrale Bezirke



Pkw-LenkerInnen-Wege im Tagesverlauf: Periphere Bezirke



Pkw-LenkerInnen-Wege im Tagesverlauf: Zentrale/Periphere Bezirke („ländlicher Raum“)

