

Potenziale für den Einsatz gemeinschaftlich genutzter autonomer Fahrzeuge im ländlichen Raum

Roman Klementschtz, Maria Angerer, Alfons Bauernfeind, Tobias Haider, Philipp Haydn

(Roman Klementschtz, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Verkehrswesen, Wien, Österreich, roman.klementschtz@boku.ac.at)

(Maria Angerer, Institut für partizipative Sozialforschung, Wien, Österreich, maria@projekteangerer.com)

(Alfons Bauernfeind, Institut für partizipative Sozialforschung, Wien, Österreich, bauernfeind@sozialforschung.wien)

(Tobias Haider, mobyome, Wien, Österreich, tobias.haider@mobyome.at)

(Philipp Haydn, mobyome, Wien, Österreich, philipp.haydn@mobyome.at)

1 ABSTRACT

Mit der Einführung autonomer Fahrzeuge steht uns in den kommenden Jahrzehnten ein Umbruch im gesamten Verkehrssystem bevor, der unser Verständnis von Mobilität aller Voraussicht nach radikal verändern und zu neuen Besitzverhältnissen und Nutzungsformen führen wird. Daraus eröffnen sich enorme Chancen für nachhaltigere Mobilitätsformen und insbesondere für bedarfsorientierte Angebote („Mikro-ÖV“) im ländlichen Raum. So wird durch den Wegfall des Fahrpersonals der entscheidende Kostenfaktor eliminiert, der Bedarfsverkehrssysteme plötzlich leistbar bzw. finanziell selbsttragend machen kann. Zukünftige Angebote der Shared Autonomous Mobility haben das Potential, innovativ und attraktiv genug zu sein, um von einer großen Zahl von Menschen genutzt zu werden. Insbesondere für Bedarfsverkehre bedeutet das, dass durch das Erreichen einer kritischen Masse und eine dadurch ermöglichte stärkere Bündelung von Fahrten eine sehr viel größere ökologische Wirkung erzielt werden kann. Die Technologie autonomer Fahrzeuge ist nicht automatisch mit einer intelligenten und gesellschaftlich sinnvollen Nutzung verbunden. Ein Szenario mit autonomen Privat-Pkws etwa würde die aktuelle ökologische Problematik noch weiter verschärfen. Die Herausforderung besteht daher nun darin, aus den sich abzeichnenden technologischen Entwicklungen innovative Angebote und Geschäftsmodelle zu entwickeln und durch die proaktive Gestaltung der Rahmenbedingungen dafür Sorge zu tragen, dass die entstehende neue Mobilitätslandschaft möglichst inklusiv und nachhaltig sein wird. Im Rahmen des Projekts „Shared Autonomy“ wurden die Potentiale und Wirkungen, die Chancen und Risiken des Einsatzes autonomer Fahrzeuge im ländlichen Raum in verschiedenen Nutzungsszenarien untersucht und verglichen.

Die Ergebnisse der Arbeit legen das große Potential dar, welches automatisierte Fahrzeuge hinsichtlich ökologischer Aspekte und der sozialen Kohäsion generieren können. Diese potentiellen Effekte sind jedoch stark von den Use-Cases dieser neuen Technologie abhängig und können nur dann abgerufen werden, wenn diese Modelle Fahrgemeinschaften und Car-Sharing beinhalten. Ohne die heutigen Mobilitätsbedürfnisse zu verändern (hinsichtlich Anzahl der Fahrten, Ziele und Quellen, Tageszeit), könnte bei automatisierten Car-Sharing Systemen auch in ländlichen Räumen die Anzahl der Fahrzeuge um bis zu 80% reduziert werden. Wenn zusätzlich Fahrgemeinschaften in Betracht gezogen werden (maximal 10 Minuten Abweichung des Zeitpunkts des Fahrtwunsches, maximal 10 Minuten Umweg) um fast 90%. Wenn man heutige Sharing Initiativen betrachtet, ist das Fehlen eines Fahrers ambivalent zu betrachten, da dadurch auch die Betreuung von Fahrgästen wegfällt (z. B. Kinder, Ältere, Personen mit speziellen Bedürfnissen), allerdings kann das Fahrzeug vom letzten Auftrag selbstständig zum nächsten Kunden fahren, was die Zugänglichkeit des Systems deutlich erhöht. Wenn Sharing in einem zukünftigen Mobilitätssystem nicht mitgedacht wird, besteht hingegen das Risiko, dass durch die Erhöhung der Attraktivität des Fahrens mit dem automatisierten Fahrzeug und der Erschließung neuer Kundensegmente, die Pkw-Verkehrsleistung im ländlichen Raum um ca. 5% erhöht wird.

Keywords: Automatisierte Fahrzeuge, Flexible Verkehrssysteme, Fahrgemeinschaften, Car-Sharing, ländliche Mobilität

2 TRENDS BEI DER AUTOMATISIERUNG VON FAHRZEUGEN

Prinzipiell kann man zwei Trends unterscheiden, wenn man von Automatisierung von Straßenfahrzeugen spricht. Zuerst die kontinuierliche und schrittweise Automatisierung von konventionellen Fahrzeugkonzepten, welche primär von bestehenden Fahrzeugherstellern in Kooperation mit IT-Betrieben vorangetrieben wird. Im Gegensatz dazu die Entwicklung von völlig neuen Fahrzeugkonzepten die gleich von Beginn an eine völlige Automatisierung des Fahrzeuges zum Ziel hat, Hand in Hand mit neuen Mobilitätskonzepten für den Fahrzeugeinsatz. Diese Entwickler haben eine völlig andere Vision eines zukünftigen Verkehrssystems vor ihren Augen und streben eine disruptive Entwicklung an, wie zum Beispiel

fahrerlose Taxis von Uber oder Googles fahrerloses Auto von Waymo. Auch das im Rahmen eines europäischen Forschungsprojekts durchgeführte CityMobil2 (Sessa et al. 2015) reiht sich hier ein. Das in CityMobil2 erdachte Shuttle-Konzept wird auch von Firmen wie EasyMile oder Navya verfolgt (Abbildungen 1 und 2). Alle diese Fahrzeugkonzepte sind Prototypen und es bedarf noch einer Reihe von Tests und Weiterentwicklungen, sodass diese Fahrzeuge im täglichen Verkehr fahrerlos unterwegs sein können.



Abb. 1 Navya Arma Shuttle im Einsatz für die Schweizer Post in Sion, Kanton Wallis Foto: Roman Klementschtz



Abb. 2 EasyMile ez10 Shuttle im Demobetrieb in Koppl, Salzburgerland, Foto: Roman Klementschtz

Da diese Shuttles eher dem Typus nach öffentlichen Verkehrsmitteln entsprechen, sind diese auf vordefinierten Routen unterwegs und folgen virtuellen Schienen. Das verringert auch die technische Komplexität, da sich die Fahrzeuge nur in zuvor „eingelernten“ Strecken bewegen können. Der Vorteil dabei ist, dass diese Fahrzeuge eventuell schneller marktreif sind und Mobilitätskonzepte, die sich näher am öffentlichen Verkehr orientieren einen zeitlichen Entwicklungsvorsprung erzielen können. Tests mit diesen Systemen werden bereits in einigen Regionen durchgeführt, in urbanen Gebieten (auto.Bus - Seestadt in Wien, Postbus Sion, Schweiz) wie auch in ruralen (Digibus Koppl, Salzburgerland oder Autonomer Bus Bad Birnbach, Bayern). Neben den Beispielen im deutschsprachigen Raum, gibt es auch weltweit Tests und pilothafte Umsetzungsbeispiele, einen guten Überblick dazu gibt die Seite www.sharedautomatedmobility.org.

3 CAR-SHARING, AUTOMATISIERTE FAHRZEUGE UND MOBILITÄT

Wenn man möchte, dass automatisierte Fahrzeuge zukünftig ein umweltfreundliches und nachhaltiges Mobilitätssystem ermöglichen sollen, ist neben alternativen Antriebssystemen der Fahrzeuge das Thema Sharing-Mobility ein wichtiger Aspekt. Wenn man dabei die hohen Anschaffungskosten gerade in der Phase der Markteinführung berücksichtigt, könnte der finanzielle Vorteil von geteilten Fahrzeugen ein wichtiges Argument werden.

3.1 Der Mobilitätsmarkt für Car-Sharing

Automatisierung von Fahrzeugen schafft Möglichkeiten den Einsatz für Car-Sharing zu vereinfachen. Daher wird auch von Expertenseite mit einer Abnahme von ausschließlich privat besessenen und benutzten Fahrzeugen gerechnet (siehe beispielsweise OECD 2015, Berylls Strategy Advisors 2017). Wenn man den Markt gemeinsam genutzter Fahrzeuge analysiert, zeigen sich die unterschiedlichen Möglichkeiten bei Einsatz von automatisierten Fahrzeugen deutlich (siehe Tabelle 1). Zusätzlich können heutige Angebote wie Free-Floating Car-Sharing, die bisher auf dichte urbane Räume beschränkt waren auch in weniger dicht besiedelten Regionen kosteneffizient eingerichtet werden, da das Fahrzeug selbstständig seinen Standort verändern und somit optimieren könnte. Mit automatisierten Fahrzeugen verbleibt primär die Unterscheidung, ob das Fahrzeug exklusiv (diachron) oder gemeinsam mit fremden Personen zeitgleich (synchron) genutzt wird. Dabei können die gleichen Flotten eingesetzt werden und nur unterschiedliche Fahrpreise verlangt werden oder es werden für gleichzeitige Nutzung größere Kapazitäten bereitgestellt, wie zum Beispiel den zuvor beschriebenen Shuttles, während bei exklusiver Nutzung kleinere Fahrzeuge zum Einsatz kommen, ähnlich wie schon heute beispielsweise bei Car2go. In allen Fällen kann die Gesamtzahl der benötigten Fahrzeuge reduziert werden. Im Gegensatz dazu wird die Kilometerleistung der Fahrzeuge zunehmen, da die Fahrzeuge intensiver genutzt werden, auch „leere Kilometer“ gefahren werden und die Nachfrage aufgrund der Attraktivität des Mobilitätsangebots steigt. Dieser Effekt könnte etwas reduziert werden, wenn Fahrten vermehrt miteinander durchgeführt werden (durch Bündelung von Fahrten). Dies ist auch von der kritischen Masse an Nachfragern abhängig, da bei einer größeren Zahl die Wahrscheinlichkeit gemeinsamer Fahrten oder zumindest Abschnitte von Fahrten steigt, welche ohne große Qualitätseinbußen (Veränderung der gewünschten Abfahrtszeit, Umwege) zusammengelegt werden können.

Shared Mobility	Shared Automated Mobility	Sharing-Typ	Angebots-Typ
Mietwagen	a-Car-Sharing (zeitbasiert)	nacheinander (diachron)	B2C
stationäres Car-Sharing	= a-Mietwagen		
Free-Floating Car-Sharing	a-Car-Sharing (fahrtsbasiert)		
Taxi	= a-Taxi		C2C
p2p-CarSharing	a-p2p-CarSharing		
Privat-Taxi (z.B. Uber)			
Shared Cab	a-Shared Cab	gleichzeitig (synchron)	B2C
Ridesplitting (z.B. UberPool)	a-Ridesplitting (Besitzerin oder Besitzer fährt nicht mit)		C2C
Ride-Sharing	a-Ride-Sharing (Besitzerin oder Besitzer fährt mit)		
Bedarfsverkehr	a-Bedarfsverkehr		P2C (Public2Consumer)
öffentlicher Linienverkehr	a-öffentlicher Linienverkehr		

Tabelle 1: Übersicht des Markts von gemeinsam genutzten Fahrzeugen, mit und ohne dem Einsatz automatisierter Fahrzeuge (Haider et al. 2017)

3.2 Praxisbeispiele für Car-Sharing

Car-Sharing und Fahrgemeinschaftsinitiativen mit konventionellen Fahrzeugen, die gelenkt werden müssen, existieren schon heute. Das Konzept des Teilens unterscheidet sich nicht prinzipiell im Vergleich zu einem künftigen Einsatz automatisierter Fahrzeuge. Daher kann man schon heute die gelebte Praxis des Teilens von Fahrten und Fahrzeugen und deren Auswirkungen auf die Mobilität der Teilnehmerinnen und Teilnehmer untersuchen. Wie neuere Studien zeigen, ist Fahrzeugbesitz für einen Teil der Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer an und für sich ein Wert, selbst wenn ökonomische und andere rationale Argumente dagegen sprechen, ein Fahrzeug zu besitzen (Wadud et al. 2016). Die uneingeschränkte Verfügbarkeit, Unabhängigkeit und die Personalisierung der Fahrzeuge sind weitere starke Argumente für den Besitz. Es ist also damit zu rechnen, dass auch automatisierte Fahrzeuge künftig zu einem Teil im exklusiven Privatbesitz verwendet werden, wenn nicht rechtliche oder andere restriktive Maßnahmen parallel zur Etablierung automatisierter Fahrzeuge eingeführt werden.

3.2.1 ElektroMobil Eichgraben

An Werktagen von Montag bis Samstag verkehrt ein elektrisch betriebenes Fahrzeug, gelenkt von Freiwilligen, von 7:30 Uhr bis 22:30 Uhr als Mobilitätsdienst für die Mitglieder des Vereins in der Gemeinde Eichgraben, westlich von Wien/Österreich. Das Fahrzeug kann telefonisch bestellt werden, das System ist seit Jänner 2016 im Einsatz. In einem Jahr haben 70 verschiedene freiwillige Fahrerinnen und Fahrer 9300 Fahrten durchgeführt und dabei hat das Fahrzeug 54.000 km zurückgelegt. Es gibt 200 Mitglieder im Verein, welche Fahrten bestellen. Alle diese Personen besitzen einen Führerschein, die jüngste Person ist 20 Jahre, die älteste 75 Jahre alt. Technisch gesehen könnten alle diese Personen das Fahrzeug auch selbst lenken. Freiwillige Fahrerinnen und Fahrer werden zu Beginn von der ortsansässigen Fahrschule gecheckt und auf das E-Fahrzeug eingeschult, bevor sie zum Einsatz kommen. Die Fahrgäste bezahlen eine jährliche Gebühr von 19€ Mitgliedsbeitrag, es gibt Vergünstigungen, wenn man auch bereit ist, Fahrtendienste als Fahrer oder Fahrerin zu übernehmen. Die größte Nachfrage an Fahrten ist am Nachmittag zwischen 16:30 Uhr und 19:00 Uhr, insgesamt können 95% aller durchschnittlich 44 täglichen Fahrtbestellungen innerhalb von 20 Minuten durchgeführt werden. Jugendliche und ältere Personen sind überdurchschnittlich bei den Fahrgästen vertreten. Der Fokus des Angebots richtet sich auf den Binnenverkehr in der Gemeinde, Fahrten zu Zielen außerhalb der Gemeinde werden nicht durchgeführt. Interviews mit den Fahrgästen bestätigen das Vertrauen in dieses Mobilitätsangebot, welches unabhängige Mobilität ohne Pkw-Besitz ermöglicht. Fahrten mit dem ElektroMobil Eichgraben werden auch gebündelt, wenn die Nachfrage innerhalb räumlicher und zeitlicher Schranken groß genug ist und es die Kapazität des Fahrzeugs erlaubt. Es besteht kein Recht auf einen exklusiven Fahrtendienst. Der gesellschaftliche Beitrag für die Gemeinschaft ist die Hauptmotivation der freiwilligen Fahrerinnen und Fahrer, gefolgt von sozialen Kontakten zu den Passagieren und den sonstigen Veranstaltungen des Vereins (es gibt regelmäßige Fahrerinnen- und Fahrerstammtische in einem Gasthaus in der Gemeinde). Die gesamte Initiative beruht auf das große Engagement des Projektbetreibers und der politischen Unterstützung auf lokaler Ebene. Die Möglichkeit von sozialen Kontakten innerhalb der Gemeinde ist ein wichtiger Aspekt dieser Initiative, so bringen sich neu Zugezogene als Fahrerinnen oder Fahrer in die Dorfgemeinschaft ein und integrieren sich auf diesem Wege. Ausgehend von ElektroMobil Eichgraben haben sich auch weitere soziale Aktivitäten ergeben, wie Kartenrunden, Stammtische oder Diskutierklubs. Die verkehrliche Wirkung der Initiative bleibt moderat, am ehesten noch wurden Zweit- und Dritt-Pkw in einigen teilnehmenden Haushalten aufgegeben. Bei Personen ohne Pkw gibt es auch einen Teil an Personen, die aus ökonomischen oder anderen restriktiven Gründen kein Fahrzeug besitzen. Die ökologische Wirkung ist aufgrund des elektrischen Antriebssystems des eingesetzten Fahrzeugs gegeben, da keiner der Fahrgäste die Fahrt alternativ mit einem elektrisch betriebenen Fahrzeug durchgeführt hätte und ein Teil der Fahrten auch gemeinsam durchgeführt werden konnte. Da der soziale Aspekt dieser Initiative sehr groß ist, sehen die meisten Beteiligten den Einsatz von automatisierten Fahrzeugen eher skeptisch. Auch die Unterstützung von Mobilität eingeschränkter Personen, vor allem beim Ein- und Aussteigen oder die Begleitung von Kindern würde einem fahrerloser Betrieb entgegenstehen. Als positiver Effekt wird jedoch die mögliche Ausweitung der Betriebszeit gesehen, da auch zu Zeiten, wo sich freiwillige Fahrerinnen und Fahrer schwer finden (an Wochenenden und in den Nachtstunden), das Fahrzeug im Einsatz stehen könnte. Das könnte neue Kundenschichten erschließen.

3.2.2 Cohousing Pomali Wölbling

Die Gemeinde Wölbling ist eine ländliche Gemeinde im Bundesland Niederösterreich, konventioneller Linienbusverkehr findet nur vier Mal am Tag statt, die nächste Bahnstation ist 5 km entfernt. In der Gemeinde ist der durchschnittliche Pkw-Besitz deutlich über ein Fahrzeug je Haushalt. Im Jahr 2009 wurde ein Bauträgerprojekt in der Gemeinde ausgeführt, es entstanden 30 Wohnungen, derzeit wird die Wohnhausanlage von 50 Erwachsenen und 26 Minderjährigen bewohnt (Stand 2018). Ein Drittel der Haushalte besitzt kein eigenes Fahrzeug, auch wenn der Großteil in andere Gemeinden zur Arbeit oder Ausbildung auspendelt. Innerhalb der Wohnhausanlage wurde eine Car-Sharing Initiative etabliert, es sind 8 Fahrzeuge vorhanden, welche durchschnittlich 8000 km im Monat zurücklegen. Das Projekt wurde mit einer Unterstützung des Landes Niederösterreich von 10.000€ gegründet, womit ein erstes gebrauchtes Fahrzeug angeschafft wurde. Der Bestellvorgang funktioniert durch Eintragen in einen Kalender. Abhängig vom Fahrzeugtyp ist eine kilometerabhängige Gebühr zwischen 0,25 und 0,35€ je km zu entrichten, es gibt keine weitere Grundgebühr. Mit den Einnahmen werden die Fahrzeuge gewartet und Neuanschaffungen getätigt. Dafür sind zwei Personen verantwortlich, zusätzlich ist für jedes Fahrzeug eine Person verantwortlich, welche die Betreuung übernimmt (z. B. betanken, technische Überprüfungen veranlassen etc.). Für diese Tätigkeiten kann man jedes Jahr ein Fahrzeug für 100 km gratis benutzen. Für die Abrechnung ist von den Benutzerinnen und Benützer ein Fahrtenbuch auszufüllen. Typische Nutzerinnen und Nutzer sind eher unregelmäßige Fahrerinnen und Fahrer als Tagespendlerinnen und Tagespendler. Wichtigste Fahrtziele sind der nächstgelegene Bahnhof und der Besuch von Bekannten und Verwandten. Für den täglichen Einkauf werden die Fahrzeuge weniger oft benutzt, da die Wohnhausanlage von einer regionalen Food-Kooperative beliefert wird. Kürzlich wurde ein Minibus angeschafft, wodurch die Möglichkeit für gemeinsame Ausflüge geschaffen wurde. Da sich alle Mitglieder der Car-Sharing Initiative persönlich kennen, ist das gegenseitige Vertrauen, z. B. dass mit den Fahrzeugen sorgsam umgegangen wird, ein großer Erfolgsfaktor der Initiative. Ein weiterer Erfolgsfaktor ist die gute Erreichbarkeit der Fahrzeuge, da diese direkt in der Wohnhausanlage abgestellt werden können. Es macht also diesbezüglich keinen Unterschied, ob man einen privat genutzten Pkw oder das Car-Sharing Fahrzeug benutzt. Das Hauptargument der Mitglieder ist in den meisten Fällen jedoch die Kostenersparnis, speziell die Anschaffungskosten. Auf der anderen Seite gibt es auch Einzelfälle, wo die monatlichen Kosten höher sind, als ein privat genutzter Pkw. Trotzdem wird das Angebot genutzt, da das Fahrzeug in einem gewarteten Zustand gehalten wird, ohne dass sich der Benutzer oder die Benutzerin darum kümmern muss. Ein Indiz, dass die Zuverlässigkeit manchmal der wichtigere Aspekt ist als die Kosten für Mobilität. Das größte Problem sind Nutzer und Nutzerinnen, die die Fahrzeuge für Park & Ride benutzen, da in diesem Fall das Fahrzeug nicht verfügbar ist, aber auch keine Einnahmen erzielt werden. Aus diesem Grunde wurde versucht, mit Fahrgemeinschaften und internen Fahrtendiensten diesem Problem zu begegnen. Wenn ein Car-Sharing-Mitglied verfügbar ist und er/sie dazu bereit ist, übernimmt diese den Chauffeurdienst zum Bahnhof als Bring- oder Holservice. Mitglieder können diese abrufbaren Bereitschaftszeiten ebenfalls im Kalender eintragen. Die anfallenden Fahrtkosten übernimmt dabei der Fahrgast. Für diese Bereitschaftsdienste können ebenfalls Freikilometer verdient werden. In der gesamten Anlage besitzt kein Haushalt mehr als einen Pkw, der Pkw-Besitz je Haushalt liegt deutlich unter dem eines durchschnittlichen Haushalts in der Gemeinde. Das hat auch Konsequenzen auf die benötigte Parkfläche in der Wohnhausanlage, die anderen Verwendungszwecken zugeführt werden kann. Der Einsatz von automatisierten Fahrzeugen wird positiv gesehen, speziell das Problem der Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse der Auspendler und Auspendlerinnen könnte dadurch gelöst werden, wenn das Fahrzeug selbsttätig zur Wohnhausanlage zurückkehren würde und es so wieder verfügbar wäre. Zusätzlich können jüngere und ältere Personen alleine unterwegs sein, und die Notwendigkeit der Begleitung würde wegfallen. Als zusätzlicher Vorteil von automatisierten Fahrzeugen wird die Möglichkeit gesehen, das Projekt auf benachbarte Wohnstandorte auszuweiten und dadurch den Fahrgasteinsatz effizienter und flexibler zu gestalten, indem das Fahrzeug zu den Nachfragern an verschiedenen Standorten pendelt. Klar ist auch, dass die Einwohnerinnen und Einwohner dieser Wohnhausanlage mit ihrem gemeinschaftlichen Ansatz von Wohnen und Mobilität gegenwärtig nicht repräsentativ für österreichische Haushalte sind. Nichtsdestotrotz, könnte der Erfolg des Projekts auch „konservativere“ Haushalte zum Umdenken bewegen.

4 SZENARIEN FÜR RURALE UND SUBURBANE RÄUME

Unter Berücksichtigung der existierenden Barrieren für Fahrgemeinschaften und Car-Sharing, die sich auch in den Praxisbeispielen in Kapitel 3 zeigten, wurden für eine konkrete österreichische Gemeinde Szenarien

entwickelt, wie das volle Potenzial von Sharing-Konzepten im Mobilitätsbereich ausgeschöpft werden könnte. Als Fallstudie wurde die Gemeinde Perchtoldsdorf ausgewählt, da im Rahmen der österreichweiten Mobilitätserhebung aus dem Jahre 2013/14 für diese Gemeinde eine große Anzahl an Mobilitätsdaten der Haushalte vorliegen (3178 berichtete Wege, davon 365 relevante Wege für die durchgeführte Simulation), um die Potenziale zu ermitteln zu können (BMVIT 2016). Die Gemeinde hat 15.000 Einwohnerinnen und Einwohner und bedingt durch die Nähe zur Bundeshauptstadt Wien kann sie als eine typische suburbane Region angesehen werden. Drei unterschiedliche Szenarien wurden dabei definiert und mit dem Status quo verglichen. Das erste Szenario geht davon aus, dass automatisierte Fahrzeuge die konventionellen Fahrzeuge ersetzen ohne dass Initiativen bezüglich Car-Sharing oder Fahrgemeinschaften gesetzt werden. In zwei weiteren Szenarien werden alle Fahrten, die mit privatem motorisiertem Pkw ausgeführt wurden mit einem Free-Floating Car-Sharing System abgewickelt, wobei die automatisierten Fahrzeuge nach jedem absolvierten Fahrauftrag selbsttätig zum nächsten Kunden verkehren. Im Szenario 2 werden alle Fahrtwünsche der Lenkerinnen, Lenker, Mitfahrerinnen und Mitfahrer abgearbeitet, ohne dass die Fahrtwünsche zeitlich oder räumlich anders und ohne Wartezeit auf das Fahrzeug ablaufen würden. Es gibt also keinen Unterschied, wenn sie als private Pkw-Fahrt durchgeführt worden wären. Gleichzeitig wird die Zahl der dazu benötigten Fahrzeuge ermittelt. Im letzten Szenario werden die Fahrtwünsche zusätzlich zusammengelegt, wenn es eine räumliche und zeitliche Nähe des Fahrtwunsches gibt. Dafür wurde ein Algorithmus zur Routenoptimierung von Bedarfsverkehren verwendet, welcher auch die Anzahl der benötigten Fahrzeuge und die Fahrleistung der Fahrzeuge ermittelt. Die Ergebnisse der Szenarien werden in weiterer Folge gegenübergestellt, als Output-Variablen wurden der Fahrzeugbesitz (Anzahl der benötigten Ressourcen), die Gesamt-Verkehrsleistung der Fahrzeuge und die Mobilitätskosten der Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer gewählt.

5 POTENZIALE

5.1 Motorisierungsgrad

Unterschiedlichste Effekte auf den Motorisierungsgrad sind erwartbar, wenn automatisierte Fahrzeuge die Fahrzeugmärkte erobern. Beispielsweise sind ca. 13% der Bevölkerung älter als 10 Jahre aufgrund von motorischen oder mentalen Beeinträchtigungen nicht in der Lage ein Fahrzeug zu steuern (Sammer 2012). In den dieser Arbeit zugrundeliegenden Szenarien wird daher angenommen, dass 5% der Bevölkerung, diese neuen Möglichkeiten auch tatsächlich nutzen wird und beispielsweise im Szenario Privatnutzung sich ein automatisiertes Fahrzeug anschaffen wird. Ein weiterer Teil der Bevölkerung wird auf bereits bestehende Fahrzeuge zurückgreifen (Ersatz eines konventionellen Fahrzeugs durch ein automatisiertes Fahrzeug), aber sie werden nicht mehr auf eine Begleitperson angewiesen sein. Bei den Szenarien mit Car-Sharing wurde der Anteil der benötigten (automatisierten) Fahrzeuge, die gleichzeitig benützt werden unter Zuhilfenahme der Daten der Mobilitätserhebung Österreich-Unterwegs ausgewertet (siehe Abbildung 3). Entsprechend dieser Daten werden maximal 11% der an den Stichtagen eingesetzten Fahrzeuge gleichzeitig benützt.

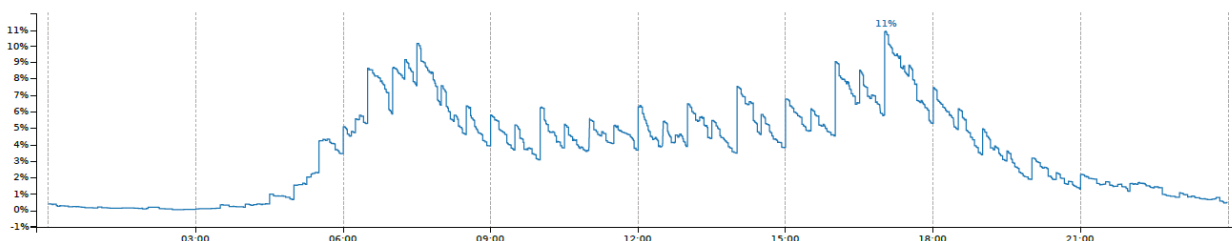


Abb. 3 Tageszeitliche Verteilung der Anteile der gleichzeitig benutzten Fahrzeuge an der Gesamtflotte in zentralen und peripheren Regionen in Österreich, Berechnung basierend auf (BMVIT 2016)

Im Szenario Free-Floating-Car-Sharing muss auch die Fahrzeit der automatisierten Fahrzeuge zwischen den Standorten des letzten und dem nächsten Fahrauftrags berücksichtigt werden. Wenn man für diese Standortwechselzeit 20 Minuten annimmt, erhöht sich die Zahl der benötigten Fahrzeuge auf 19% in Bezug auf die Fahrzeugflotte im Ausgangszustand. Wenn man für den konkreten Fall in Perchtoldsdorf diese Simulation durchlaufen lässt (mit Routing und Abarbeitung der Fahraufträge basierend auf den berichteten Pkw-Fahrten), kommt man mit 18% auf vergleichbare Werte. Dies berücksichtigt auch die Leerfahrten für den Standortwechsel der Fahrzeuge. Zusätzlich macht es Sinn einen Anteil an nicht einsatzfähigen

Fahrzeugen anzunehmen und somit gewisse Fahrzeugreserven vorzuhalten. Dies erhöht den Anteil bezogen auf den Ausgangszustand auf 20%. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass 80% der Fahrzeuge eingespart werden könnten, wenn im Extremfall alle Personen Car-Sharing betreiben würden, ohne dass sich dadurch Einschränkungen in der Mobilität der Betroffenen ergeben würden. Geht man einen Schritt weiter und lässt man auch die Bündelung der Fahrten zu (Szenario Car-Sharing plus Fahrgemeinschaften), ist das Ergebnis bezüglich der Fahrzeuge, die nicht mehr benötigt werden von der Toleranz der zeitlichen Abweichung des Fahrtwunsches und dem akzeptierten Umwegfaktor abhängig. Tabelle 2 zeigt die Auswirkungen unterschiedlicher Schranken bezüglich dieser Toleranzen.

maximale Wartezeit	maximaler Umweg	Anteil an benötigten Fahrzeugen im Vergleich zu den derzeit benötigten Fahrzeugen
5 min	5 min	18%
10 min	10 min	12%
20 min	20 min	9%

Tabelle 2: Zusammenhang zwischen Wartezeit und Zeitverlust durch Umwege sowie der Anzahl der benötigten Fahrzeuge bei fahrgemeinschaftlichem Betrieb, Ergebnisse der Simulation (Haider et al. 2017)

Wenn man 5 Minuten als maximale Wartezeit und zusätzlich 5 Minuten als maximale Umwegzeit akzeptiert, kann durch die Bündelung der Fahrten keine merkbare Einsparung bei der Fahrzeugflotte im Vergleich zum Szenario ohne Bündelung erreicht werden (18%). Wenn dieser Wert auf jeweils 20 Minuten erhöht wird, könnte die Hälfte der Fahrzeuge eingespart werden (dann nur mehr 9% der Ausgangsflotte). In allen Szenarien wurden keine Wechsel auf andere Verkehrsmittel bei der Simulation angenommen, obwohl diese für Fahrten mit weiter entfernten Zielen sinnvoll wären (z. B. Park&Ride). Somit werden manche Fahrzeuge einerseits übermäßig lange blockiert und andererseits das Potenzial zur Bündelung von Fahrten (gemeinsam zum Bahnhof) herabgesetzt. Hier könnte noch ein weiteres Potenzial gehoben werden. Tabelle 3 zeigt nun die Konsequenzen der Szenarien auf den Motorisierungsgrad, jeweils für den Ausgangszustand in Perchtoldsdorf, der Privatnutzung und für die beiden Szenarien Car-Sharing und Car-Sharing plus Fahrgemeinschaften. Bei den Sharing-Szenarien wird vom Extremfall ausgegangen, dass alle Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer diese Möglichkeit auch nutzt, es handelt sich also um das maximale Potenzial. Durch die verstärkte Nutzung der Fahrzeuge kann davon ausgegangen werden, dass sich die Lebenszeit der Fahrzeuge verkürzt und nicht in gleichem Maße der Ressourcenverbrauch durch den Fahrzeugbau vermindert wird. Darauf wird auch im folgenden Kapitel eingegangen.

Status quo	Automatisierte Fahrzeuge		
	Privatnutzung	Car-Sharing	Car-Sharing plus Fahrgemeinschaften
Fahrzeugbesitz (Pkw/1000 Einwohner)	613	122	61

Tabelle 3: Potenziale zur Reduktion des Fahrzeugbesitzes je Szenario (Haider et al. 2017)

5.2 Fahrzeugleistung

Die Fahrleistung der eingesetzten Fahrzeuge ist von der Fahrleistung der Personen abhängig, die ihre jeweiligen Fahrziele ansteuern und dem Besetzungsgrad, also wie viele Personen eine Fahrt (oder Teile davon) gemeinsam durchführen. Bei automatisierten Fahrzeugen kommen auch Fahrten ohne Fahrgast hinzu. Dies kann bei den Car-Sharing Szenarien durch den Standortwechsel zwischen den Fahraufträgen hervorgerufen werden, aber auch durch Parksuchverkehr, besonders dann, wenn Stellplätze ganz bewusst z. B. am Siedlungsrand errichtet werden, da automatisierte Fahrzeuge diese selbsttätig aufsuchen können. Auch unterschiedliche Parkkosten oder auch nur die Verfügbarkeit von Stellplätzen könnten Besitzer von automatisierten Fahrzeugen veranlassen, ihre Fahrzeuge billigere oder verfügbare Parkstandorte ansteuern zu lassen oder im Extremfall das automatisierte Fahrzeug während der Aktivität am Zielort kreisen zu lassen. Diese Rebound-Effekte wurden in den Szenarien nicht berücksichtigt, da diese Effekte in suburbanen und ruralen Regionen weniger stark zu erwarten sind. Ein weiterer Effekt ist die generelle Zunahme der Personenverkehrsleistung, wenn das Unterwegssein an Komfort gewinnt und die Fahrzeit (teilweise) für

andere Tätigkeiten zur Verfügung steht. In allen Szenarien wurde dieser Effekt berücksichtigt. Dieser Effekt wurde aufgrund der veränderten generalisierten Kosten für die Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer basierend auf Nachfrageelastizitäten abgeschätzt. Die generalisierten Kosten setzen sich aus den Betriebskosten der Fahrzeuge und der Reisezeitkosten zusammen. Dabei kann ein Anstieg der Betriebskosten aufgrund der höheren Anschaffungskosten von langfristig +3000€ der automatisierten Fahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen angenommen werden (Automobilwoche 2015) und eine Reduzierung der Lebensdauer aufgrund der größeren Fahrleistungen der Fahrzeuge von 8 auf 5 Jahren. Dem steht eine Reduktion der Reisezeitkosten gegenüber (man kann hierbei den Reisezeitwert von öffentlichen Fernverkehrsmitteln ansetzen). Dadurch kann eine Reduzierung der generalisierten Kosten um 25,4% ermittelt werden. Dies bedeutet bei einer Preiselastizität im Verkehr von -0,5 (RVS 2010) eine Zunahme der Personenverkehrsleistung um 12,7% je Person. Übersetzt man diese Personenverkehrsleistung in das Szenario Car-Sharing kann von einer Steigerung der Fahrzeugverkehrsleistung von +60% ausgegangen werden, inklusive den Leerfahrten zwischen den Kunden. Im Szenario Car-Sharing plus Fahrgemeinschaften wird diese Fahrzeugverkehrsleistung durch die Erhöhung des Besetzungsgrades abgefangen. Vergleicht man die jährliche Fahrzeugverkehrsleistung je Fahrzeug kann man ablesen, dass die kleiner gewordene Fahrzeugflotte (vergleiche Kapitel 5.1) viel stärker eingesetzt wird (siehe Tabelle 4). Dies bedeutet aber auch, dass die Verkehrsleistung der Fahrzeugflotte insgesamt steigt, selbst im Szenario mit Fahrgemeinschaften kann die Bündelung der Fahrten die gestiegene Nachfrage und die Leerfahrten nicht komplett kompensieren. Wenn also das Antriebskonzept der Fahrzeuge sich nicht verändert, sind in allen Szenarien negative Auswirkungen bezüglich der Entwicklung der Emissionswerte zu erwarten.

	Status quo	Automatisierte Fahrzeuge		
		Privatnutzung	Car-Sharing	Car-Sharing plus Fahr-gemeinschaften
Personenverkehrsleistung(Pers-km/ Person und Jahr Jahr)	8 920	10 050	10 050	10 050
Fahrzeugverkehrsleistung pro Person (Fzg-km/Person und Jahr)	8 920	10 050	15 890	8 940
Fahrzeugverkehrsleistung je Fahrzeug (Fzg-km/Jahr)	14 300	16 400	129 600	145 800
Fahrzeugverkehrsleistung der Flotte insgesamt (Mio. Fzg-km/Jahr)	8,8	10,1	15,8	8,9

Tabelle 4: Potenziale der Veränderung der Verkehrsleistungen je Szenario (Haider et al. 2017)

5.3 Mobilitätskosten

Die Mobilitätskosten setzen sich aus Fixkosten und variablen Kosten zusammen. Die Fixkosten können jedoch auf Basis der Fahrzeugverkehrsleistung bezogen auf die Lebenszeit des Fahrzeugs auch auf einen Fahrzeugkilometer umgelegt werden und mit den variablen Kosten addiert werden. Wegen der höheren Anschaffungskosten erhöht sich der aktuelle Kostensatz von 0,51 € je gefahrenen Kilometer in Szenario 1 auf 0,56 je gefahrenen Kilometer für Fahrzeuge der Kompaktklasse (für Vans wird ein Kostensatz von 1,28 €je gefahrenen Kilometer angesetzt). Bei den Szenarien mit Car-Sharing ist die Situation komplexer, einerseits senkt die große Fahrzeugverkehrsleistung die Kosten je Fahrzeugkilometer, andererseits werden diese durch die geringere Lebenszeit wiederum erhöht. Insgesamt bedeutet dies aber einen deutlichen Rückgang der Fahrzeugkilometerkosten um 50% beim Szenario Car-Sharing und 47% beim Szenario Car-Sharing plus Fahrgemeinschaften.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Wenn man den Pfad in Richtung nachhaltiger Mobilität einschlagen möchte, ist es notwendig automatisierte Fahrzeuge mit Elementen des Sharings zu verknüpfen. Die Analysen in diesem Projekt bestätigen das hohe Einsparungspotenzial bezüglich Ressourcen für die Fahrzeugherstellung und die individuellen Nutzerkosten. Aufgrund der zu erwartenden Rebound-Effekte sind automatisierte Fahrzeuge jedoch keine Selbstläufer. Im Gegenteil, es ist mit einer Steigerung der Fahrzeugverkehrsleistung der gesamten Flotte zu rechnen, siehe dazu auch eine kürzlich erschienene Meta-Analyse über Simulationsergebnisse zu automatisiertem Fahren (Soteropoulos et al. 2019). Diesen negativen Effekt bezüglich Emissionen kann man mit dem

(wahrscheinlichen) Umstieg auf elektrische Antriebe etwas abfedern. Zusätzliche Maßnahmen bezüglich Verkehrsmittelverlagerung, Verkehrsvermeidung und verstärkte Unterstützung von Fahrgemeinschaften sind aber auch bei Einsatz von automatisierten Verkehrsmitteln unabdingbar. Die hier vorgestellten Szenarien mit Car-Sharing zeigen nur das maximal mögliche Potenzial auf. Wenn man Car-Sharing in den Mainstream bringen möchte, sind aber wichtige Voraussetzungen zu schaffen. Dies hat auch die Analyse bestehender Angebote gezeigt. Car-Sharing muss in der Lage sein, alle Eventualitäten an Mobilitätsbedürfnissen der Nutzerinnen und Nutzer abdecken zu können. Gelingt das nicht, wird Car-Sharing weiterhin ein Nischendasein fristen und sich nur als mögliche zusätzliche Option, bestenfalls für den Ersatz eines Zweit- oder Drittautos darstellen. Dies könnte dann neben einer erhöhten Fahrzeugverkehrsleistung auch einen höheren Ressourcenverbrauch durch die Herstellung von zusätzlichen Fahrzeugen bedeuten. Auch der soziale Aspekt von Car-Sharing muss berücksichtigt werden. Vertrauen in die Zuverlässigkeit und in die anderen Mitglieder ist ein wesentliches Element einer erfolgreichen Car-Sharing Initiative. Die soziale Interaktion hört dabei nicht notwendigerweise an der Autotür auf, die Organisation der Abdeckung der Mobilitätsbedürfnisse der Teilnehmerinnen und Teilnehmer von Car-Sharing geht darüber hinaus. Die Teilung der Verantwortung für die Fahrzeuge und die Organisation des Betriebs ist ein weiterer Aspekt. Diese sozialen Aspekte von Car-Sharing ist ein oft zu wenig beleuchtetes Thema in der aktuellen Forschung, die technologischen Voraussetzungen für Car-Sharing sind schon heute Großteils gegeben. Auch der Effekt von Car-Sharing Initiativen auf die regionale Wirtschaft und regionale Entwicklung ist ein interessanter Nebeneffekt, auf welchen aber die Initiativen zumeist großen Wert legen. Die Simulation zeigte weiters, es ist eine kritische Masse an Teilnehmerinnen und Teilnehmern notwendig, um Car-Sharing effizient zu kompetitiven Kosten anbieten zu können und diese sind nicht linear. Wenn Car-Sharing als Nischenprodukt verbleibt, können die großen Potenziale bezüglich Mobilitätskosten und Ressourcenverbrauch nicht ausgenutzt werden. Aber auch das beste Car-Sharing Produkt benötigt ein gut ausgebautes und zuverlässiges öffentliches Verkehrssystem, an das es andocken kann, eine intensive Zusammenarbeit ist anzustreben. Car-Sharing und Fahrgemeinschaften sollten sich speziell auf die erste und letzte Meile konzentrieren, dann gelingt auch der politisch angestrebte Verlagerungseffekt auf öffentliche Verkehrsmittel und die Reduzierung der Fahrzeugverkehrsleistung. Auch ein ausgeklügeltes Güterlogistiksystem könnte den Einsatz von automatisierten Fahrzeugen noch effizienter gestalten, speziell im suburbanen und ruralen Regionen. Dies führt zur Schlussfolgerung, wenn man das volle Potenzial von automatisierten Fahrzeugen ausnützen möchte, bedarf es neben den technologischen Innovationen auch soziale Innovationen auf allen Linien, Capacity-Building in den Gemeinden, die Schaffung eines gesetzlichen Rahmens, organisatorische und ökonomische Rahmenbedingungen und die Schaffung der richtigen Produkte und Dienstleistungen am Mobilitätsmarkt. Ein letzter Aspekt, der hier angesprochen werden soll und die Weiterentwicklung von automatisiertem Fahren als solches maßgeblich beeinflusst, sind die (möglichen) Verschiebungen der Verantwortlichkeiten vom Fahrzeughalter hin zum Fahrzeughersteller. Durch die stärker greifende Produkthaftung wird das gesellschaftlich/gesetzlich akzeptierte Risiko beim Einsatz des Fahrzeugs ein Thema. Den Ingenieuren und Fahrzeugentwicklern ist klar, dass eine 100-prozentige Sicherheit ein völlig verlangsamtes Verkehrssystem bedingen würde, ein Umstand, der derzeit nur vereinzelt thematisiert wird. Möchte man das Geschwindigkeitsniveau beibehalten, muss entweder die Infrastruktur komplett verändert (vernetzt) werden oder ein gewisses Verkehrsunsicherheitsniveau akzeptiert werden. Dieses Risiko trägt heute – wissentlich oder auch unwissentlich - der einen Schaden verursachende Fahrzeuglenker. Wirtschaftlich agierende Unternehmen werden sehr wahrscheinlich Lösungen anstreben, die ihr Risiko und die damit verbundenen Folgekosten minimieren.

7 REFERENCES

- 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, Accessed 20 May 2017
- Berylls Strategy Advisors 2017. Simulation einer urbanen Mobilitätslösung basierend auf autonom fahrenden E-Robotertaxien in München. Accessed 17. April 2017 (http://www.berylls.com/media/informationen/downloads/presse/170407_Berylls-Studie-Robotaxi.pdf).
- BMVIT (Austrian Ministry for Transport, Innovation and Technology) 2016. Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“. Accessed 21. December 2016 (https://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/statistik/oesterreich_unterwegs/)
- CityMobil2. 2016. CityMobil2 - Experience and Recommendations. Accessed 14. December 2016 (http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/CityMobil2%20booklet%20web%20final_17%2011%202016.pdf).

- Haider T., Klementsitz R. 2017: Wirkungspotentiale für den Einsatz automatisierter Fahrzeuge im ländlichen Raum. Financed by: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Austria, research programme Mobilität der Zukunft, 48 pages. Accessed 31. August 2017 (https://www.sharedautomatedmobility.org/w/images/3/39/SharedAutonomy_Wirkungsanalyse.pdf)
- OECD. 2015. Urban Mobility System Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic. Accessed 28. August 2016 (http://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/15cpb_self-drivingcars.pdf).
- RVS 02.01.23. 2010: Bewertung des Neuverkehrs im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Analyse. Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr
- Sammer, G. et al. 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.
- Soteropoulos A., Berger M. & Ciari F. (2019) Impacts of automated vehicles on travel behaviour and land use: an international review of modelling studies, Transport Reviews, 39:1, 29-49, DOI: 10.1080/01441647.2018.1523253
- Wadud Z., MacKenzie, D., Leiby, P. 2016: Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles, Transp. Res. Part A: Policy Pract., 86 , pp. 1-18