

Digitalisierung und Verkehrswende¹

On-Demand Ridepooling Shuttlesysteme, eine Mobilitätsdienstleistung der Zukunft?

Birgit Mack, Karolin Tampe-Mai, Gabriel Wilkes, Martin Kagerbauer und Eugen Diesch

Einleitung

Im Mittel haben die Treibhausgasemissionen, prominent darunter die CO₂-Emissionen, in den Mitgliedsstaaten der EU zwischen 1990 und 2017 um 28 Prozent zugenommen (EEA European Energy Agentur 2020). Auch Deutschland verzeichnet eine Zunahme der Treibhausgasemissionen in diesem Zeitraum. Der Verkehrssektor trägt dazu nicht unerheblich bei. Angesichts dieser Entwicklung sieht der Klimaschutzplan 2050 der deutschen Bundesregierung vor, die Treibhausgasemissionen speziell im Verkehrsbereich im Vergleich zu 1990 bis 2030 um 40 – 42 Prozent abzusenken. Für das Erreichen dieser klimapolitischen Ziele sind allerdings weitreichende Veränderungen im Verkehrssektor erforderlich (BMWi 2018; Sachverständigenrat für Umweltfragen 2017).

Viele Städte und Kommunen müssen sich der vielfachen Herausforderung stellen, Lösungen für die zunehmenden Staus, die Luftverschmutzung durch Stickoxide und Feinstaub, die Lärmbelastung sowie die CO₂-Emissionen, die durch das hohe Aufkommen an motorisiertem Individualverkehr verursacht sind, zu erarbeiten. Die in mehreren deutschen Städten ausgesprochenen Fahrverbote für Diesel-Fahrzeuge der Euro-IV-Norm stellen eine erste Antwort auf diese Situation dar (für Stuttgart: Stadt Stuttgart 2019a; Stadt Stuttgart 2019b; MVK BW 2019b; MVK BW 2016; MVK BW 2019a; MVK BW 2019b).

In Deutschland ist der private Pkw unverändert das am häufigsten genutzte Verkehrsmittel. 68 Prozent aller Erwerbstätigen pendeln mit dem eigenen Pkw, den

1 Die Studie wurde im Rahmen des Kopernikus-Projekts ENavi (<https://www.kopernikus-projekte.de/en/projects/system-integration>) durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 03SFK4M gefördert. Wir danken Daniel Kraus, Würzburg, Deutschland, für die Bereitstellung der XL Toolbox. Unser besonderer Dank gilt Prof. Ortwin Renn für seine große Unterstützung und seine äußerst hilfreichen Kommentare zu unserer Arbeit.

öffentlichen Nahverkehr (ÖPNV) nutzen nur 14 Prozent, das Rad 9 Prozent (Suhr 2017). In Städten wie Stuttgart ist mit einem Einpendlerüberschuss von knapp 170.000 in den Hauptverkehrszeiten die Maximalauslastung der Straßen erreicht (Schunder 2019; Bremer 2019). Der motorisierte Individualverkehr auf Pkw-Basis geht charakteristischerweise mit einer suboptimalen Nutzung des Fahrzeuginnenraums und einer maximalen Nutzung des Straßenraums einher. Daher wäre eine Reduktion des motorisierten Individualverkehrs durch Umstieg auf alternative Verkehrsmittel wie den ÖPNV oder den Rad- und Fußverkehr anzustreben. Gerade der ÖPNV wird jedoch häufig als unattraktiv angesehen. Vielerorts stößt er auch an Kapazitätsgrenzen und begrenzte Ausbaumöglichkeiten (für die Region Stuttgart MVK BW 2019b; Stadt Stuttgart 2017). Um für alle einen hohen Mobilitätsgrad nachhaltig gewährleisten zu können, bedarf es daher alternativer Mobilitätskonzepte. In vielen Fällen nutzen diese Konzepte die Potentiale der Digitalisierung.

Die Entwicklung digitaler Technologien ermöglicht ganz neue Mobilitätsdienstleistungen wie z.B. die rezenten Angebote von On-Demand Ridepooling Shuttlesystemen. Solche Systeme kombinieren individuelle, über eine Smartphone-App gebuchte Fahrten zu optimierten Routen mit räumlich und zeitlich variablen Start- und Endpunkten, die durch jeweils ein Shuttle bedient werden. Durch die Bündelung von Fahrten können sie dazu beitragen, die derzeitige Verkehrssituation in den Städten zu verbessern. Auf diese Weise könnten Lösungen oder Teillösungen für die oben genannten Probleme entstehen. Sowohl in der Planung von Verkehrsinfrastrukturen als auch in der Entwicklung von Mobilitätsangeboten spielen dabei Mobilitätsdaten in Form von »Big Data« (mit den drei V volume, velocity und variety) eine zunehmend wichtige Rolle. »Big Data« bezeichnet Datenkörper und Datenströme, die in großen Volumina und vielfältigen Datenformaten aus unterschiedlichen Quellen vorliegen und mit hoher Geschwindigkeit (in Echtzeit oder Beinahe-Echtzeit) untereinander kombiniert werden, um dann als Information für neue Einsatzzwecke zur Verfügung zu stehen (Brunauer und Rehl 2016). Im Mobilitätsbereich entstehen Daten aus den unterschiedlichsten Quellen. Das reicht von Personenbewegungsdaten (durch Smartphones erhoben) und Fahrzeugnavigationsdaten sowie Nutzungs- und Auslastungsdaten des ÖPNV über immer genauer erfasstes Kartenmaterial bis dahin, dass einzelne Stakeholder Technologien wie Self-Tracking-Apps und mobile Endgeräte einsetzen, um ihr Verkehrsverhalten für (lernende) Algorithmen der Verkehrsplanung sichtbar und relevant zu machen (Kropp 2018). Aus der Kombination von Bewegungsdaten mit Daten aus anderen Kontexten lassen sich Verhaltensmuster prognostizieren. So werden u.a. verkehrsplanerische Prognosen über die heute mit Verkehrsmodellen zur Verfügung stehenden Erkenntnisse hinaus möglich (Milne und Watling 2019). Das bildet die Grundlage für vielfältige Anwendungszwecke, vom autonomen und vernetzten Fahren über die Verkehrsplanung bis zur Gestaltung neuartiger Verkehrsangebote (Ruhrort

2017). Langfristig erwartet man sich von der Digitalisierung eine zunehmende Vernetzung verschiedener Verkehrsträger und dadurch eine nachhaltigere multi- und intermodale Mobilität (Levy et al. 2019; Canzler und Knie 2016).

Ein gutes Beispiel dafür sind On-Demand Ridepooling Shuttlesysteme. Sie setzen mehrere digitale Technologien voraus: Das Internet, Smartphones, Online Bezahlssysteme und schließlich Algorithmen und Applikationsplattformen, die diese Komponenten integrieren. Solche Systeme kombinieren bei Minimierung von Umwegen mittels eines Matching-Algorithmus mehrere jeweils über eine Smartphone App buchbare und bezahlbare Fahrten mit individuellen Ein- und Ausstiegsorten und -zeiten zu flexibel optimierten Routen und weisen diese einem Vehikel einer Shuttle-Flotte zu. Durch eine effiziente Bündelung von Fahrten steigert Ridepooling die Fahrzeugnutzung und reduziert gleichzeitig die Straßennutzung. Ridepooling ist deshalb ein wichtiges Moment nachhaltiger Verkehrssysteme. Ridepooling Algorithmen werden zur Erweiterung des motorisierten Individualverkehrs (e.g. Masoud und Jayakrishnan 2017; Schreieck et al. 2016) eingesetzt, aber auch auf der Basis von Shuttle Bussen – und dann i.d.R. tatsächlich unter der Bezeichnung Ridepooling – für autonome Systeme (e.g. Alonso-Mora et al. 2017; Simonetto et al. 2019). Unter dem Stichwort ›Mobility as a Service‹ (MAAS) dienen sie zur individualisierenden Ergänzung und zur Erweiterung des ÖPNV (e.g. Kamargianni et al. 2016; Stopka et al. 2018).

Alternative Verkehrsangebote wie flexible On-Demand Shuttlebussysteme könnten in Kombination mit dem ÖPNV auch im Pendlerverkehr zu den morgend- und abendlichen Hauptverkehrszeiten Abhilfe schaffen. Die Nachfrage nach solchen Angeboten oder zumindest das Entwicklungspotential dafür ist wahrscheinlich vorhanden (Kostorz et al. 2019). Unter gewissen Bedingungen können sich 58 Prozent der über 18-jährigen Deutschen vorstellen, das eigene Auto abzuschaffen. Dazu gehören Wehn (2019) zufolge ein kostenloser und angebotsseitig verbesserter ÖPNV und für 18 Prozent der Befragten auch kostenlose Sharingdienste.

Mehrere Modellstudien haben gezeigt, dass unter bestimmten Umständen größere Flotten von durch Ridepooling Algorithmen gesteuerten autonomen On-Demand Shuttles oder Taxis einen Großteil des motorisierten Individualverkehrs ersetzen und eine erhebliche Entlastung der Verkehrssituation auch in der Hauptverkehrszeit bewirken könnten (für Berlin: Bischoff und Maciejewski 2016; für Austin/Texas: Fagnant, Daniel J., Kockelman, Kara M. 2018; für Mailand: d-fine Jahr unbekannt; für New York: Alonso-Mora et al. 2017; für die Region Stuttgart: Heilig et al. 2017). Beispielsweise kommen Bischoff und Maciejewski (2016) zu dem Schluss, dass im Falle Berlins eine Flotte von 90.000 – 110.000 autonom fahrende Shuttles in der Lage wären 1,1 Millionen private Pkws zu ersetzen.

Bei der Entwicklung neuer, durch Einsatz digitaler Technologien realisierter, ökologisch sinnvoller Mobilitätsangebote sollten frühzeitig auch die Präferenzen

breiter Bevölkerungsgruppen als potentielle Nutzer*innen erhoben werden, damit auch gesellschaftliche Interessen und nicht nur ökonomische Partikularinteressen eine Chance haben. Nur so können passgenaue Angebote erstellt werden, die von vielen genutzt werden, was wiederum eine Voraussetzung für einen positiven ökologischen Impact neuer Verkehrssysteme ist.

Die von uns durchgeführte Befragung hat für ausgewählte Zielgruppen untersucht, auf welche Nachfrage ein On-Demand Ridepooling Shuttlesystem im Kontext des Pendelverkehrs in urbanen Zentren treffen würde. Die Zielgruppen sind definiert durch Alter, Geschlecht, (Aus)bildungsniveau, vollzeitliche berufliche Tätigkeit, Einkommen, gegenwärtig bevorzugt genutztes Verkehrsmittel beim Pendeln und die persönliche ökologische Norm im Sinne einer persönlichen moralischen Überzeugung, ökologisch handeln zu müssen. Die persönliche Norm ist ein zentrales Konstrukt des Norm-Aktivations-Modells, um altruistisches Verhalten zu erklären (Schwartz 1977). Angewandt auf ökologisches Verhalten hat sich die persönliche ökologische Norm in vielen Studien, vom sparsamen Nutzen von Strom bis zu nachhaltigem Mobilitätsverhalten, als bedeutsamer Einflussfaktor ökologischen Verhaltens erwiesen (Bamberg et al. 2007; Bamberg und Möser 2007; Bamberg 2013; Mack et al. 2019).

Wir fokussieren auf die Fahrten von Berufspendlern, da die durch diese erzeugten Staus zu morgendlichen und abendlichen Hauptverkehrszeiten die Verkehrsinfrastruktur urbaner Zentren maximal belastet, hier also der größte Handlungsbedarf besteht. Da die Option, ein Shuttle zu benutzen, gerade für die regionale Umgebung von urbanen Zentren (noch) nicht gegeben ist und um die im Alltag getroffene Wahl des Verkehrsmittels möglichst gut nachzubilden, wurde die Untersuchung gemäß der Methodik eines Choice-based Conjoint Experiment (CBCE) bzw. Discrete Choice Experiment (DCE) durchgeführt (Louviere et al. 2010; McFadden 1973; Orme 2010). CBC- bzw. DCE-Experimente ermöglichen es, zu untersuchen, welche Merkmale eines Mobilitätsangebots in dessen Verkehrskontext für die Verkehrsmittelwahl wesentlich sind. Dabei wurden in unserer Studie nicht nur die klassischen Attribute der zur Auswahl dargebotenen Verkehrsmittel, wie Fahrtkosten und Fahrzeit, berücksichtigt, sondern auch bisher zumindest im Rahmen von CBC/DCE nicht oder kaum untersuchte Attribute wie die Besetzungsdichte und die soziale Bewertung der Verkehrsmittel durch Kolleg*innen, Freund*innen.

Methoden

In unserer Studie haben wir untersucht, ob ein On-Demand Ridepooling Shuttle Service in Zukunft eine attraktive Alternative für den Pendlerverkehr in der Region Stuttgart darstellen könnte, welche Zielgruppen diesen Dienst vornehmlich wählen würden und für wen ein On-Demand Shuttle keine Option zum Pendeln darstellt.

Befragte aus der Region und Stadt Stuttgart sollten für eine zukünftige Pendlerstrecke von der Region Stuttgart in die Stuttgarter Innenstadt während der Hauptverkehrszeit Verkehrsmittelwahlentscheidungen zwischen dem eigenen Pkw, dem ÖPNV und einem Shuttle treffen. Wir beauftragten das Marktforschungsunternehmen Sociotrend in Mannheim mit der Durchführung der Online-Befragung und stellten diesem die Survey-Items zur Verfügung. Sociotrend übernahm die Rekrutierung der Stichprobe aus einem Online Panel, programmierte den Online-Fragebogen, erhob die Daten und lieferte eine erste deskriptive Auswertung. Die Teilnehmenden der Studie (bereinigte Stichprobe, $N = 1002$, 542 weiblich, 460 männlich) lebten in der Region Stuttgart (Abbildung 1), waren zwischen 18 und 65 Jahre alt und verfügten über einen Führerschein.

Der Fragebogen enthielt – in dieser Reihenfolge – Items zur Online-Selektion der Studienteilnehmer, Items zum aktuellen Mobilitätsverhalten und persönlichen Modal Split, also der Nutzung unterschiedlicher Verkehrsmittel in einen bestimmten Zeitraum (infas et al. 2018), dann die Instruktionen und die Items für ein Choice-based Conjoint Experiment (CBCE), auch bekannt als Discrete Choice Experiment (DCE), zur Verkehrsmittelwahl, schließlich Rating Items zur Evaluation verschiedener Verkehrsmittel, Rating Items zur Identifikation von Umweltschutzeinstellungen und Items zu soziodemographischen Merkmalen.

In dem CBC-Experiment wurden die Studienteilnehmer*innen aufgefordert, sich eine hypothetische Pendlerfahrt über eine Distanz von ca. 25 km von einem Wohnort in der Region Stuttgart, aber außerhalb der Stadt Stuttgart, zu einem Arbeits- oder Ausbildungsplatz im Zentrum der Stadt vorzustellen. Dabei durften sich die virtuellen Wohn-, Arbeits- und Ausbildungsorte von den realen unterscheiden und taten dies auch in der Mehrzahl der Fälle. Die Fahrt sollte während der morgendlichen Hauptverkehrszeit stattfinden.

Die Teilnehmenden hatten die Wahl zwischen drei Transportmitteln, einem privaten Pkw, öffentlichen Verkehrsmitteln und einem On-Demand Ridepooling Shuttle-Service mit Elektrovans. Es wurde ihnen eine Aufgabenserie dargeboten. Jede Aufgabe bot drei Wahlalternativen an und forderte zu einer Entscheidung auf. Die Wahlalternativen werden als Profiles und ihre Kombinationen als Choice Sets bezeichnet. Abbildung 2 veranschaulicht einen Choice Set. Die Teilnehmenden wurden gebeten, die Verkehrsmittel – privater Pkw, öffentliche Verkehrsmittel, Shuttle – und die Ausprägungen ihrer Eigenschaften bei jeder Entscheidung zu berücksichtigen. Als Attribute wurden aufgenommen: a) Fahrtkosten, b) Fahrzeit, c) zu Fuß zurückzulegende Entfernung zum Verkehrsmittel und vom Verkehrsmittel zum Zielort, d) soziale Bewertung eines bestimmten Verkehrsmittels durch Kolleg*innen und Freund*innen, e) Parkgebühren (nur für Pkw) und f) Besetzungsdichte des Verkehrsmittels (nur für Shuttle und ÖPNV). Es wurde angenommen, dass das Verkehrsmittel mit dem größten subjektiven Nutzen mit der höchsten Wahrscheinlichkeit gewählt werden würde. Nachdem sie sich entschieden hatten,

wurden die Teilnehmenden gefragt, welches der genannten Verkehrsmittel sie tatsächlich wählen würden und die Option »keines der oben genannten« zusätzlich angeboten. Auf diese Weise wählten sie in der ersten Stufe dasjenige Verkehrsmittel, das für sie von den in dieser Stufe angebotenen Verkehrsmitteln den höchsten Nutzwert hatte. Anschließend gaben sie in Stufe zwei an, ob eine erweiterte Wahl anders ausgefallen wäre.

Bei einem CBC-Experiment wird angenommen, dass die Teilnehmenden jedes Profil auf der Grundlage der enthaltenen Attributausprägungen bewerten und mit größter Wahrscheinlichkeit die Alternative wählen, die ihnen den höchsten Nutzen bringt. Es wird angenommen, dass sie zum Gesamtnutzen einer Alternative gelangen, indem sie die Teilnutzen, die mit den Attributausprägungen ihres Profils verbunden sind, gedanklich aufsummieren. Daher muss bei der Auswahl der Attribute ein Kompromiss zwischen zwei Kriterien gefunden werden. Erstens sollte ein CBC-Experiment Attribute, die zu den wichtigsten Determinanten des Gesamtnutzens einer Alternative gehören, nicht zugunsten anderer Attribute ausschließen, die für die Autor*innen des Experiments von aktuellem Interesse sind. Aus diesem Grund haben wir die häufig untersuchten Attribute Fahrtzeit und Fahrtkosten einbezogen. Zweitens muss die Anzahl der Attribute begrenzt werden, um eine kognitive Überforderung der Teilnehmenden zu vermeiden (Hair 2010). Dasselbe Argument gilt für die Anzahl der Profile. Daher haben wir die Anzahl der Verkehrsmittelalternativen auf drei beschränkt, eine weniger als die empfohlene Höchstzahl von vier (Orme 2010), und die Anzahl der Attribute auf sechs.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die in der aktuellen Studie verwendeten Attribute, ihre Ausprägungen und deren Spannweiten. Jedes Attribut wurde durch vier linear äquidistante Ausprägungen instanziiert. Bei drei Attributen – Parkgebühr, Shuttle-Besetzungsdichte, ÖPNV-Besetzungsdichte – variierten die Attributausprägungen und ihre Spannweiten in alternativen-spezifischer Weise. In allen anderen Fällen wurden die Attribute, die Attributausprägungen und die Spannweiten gleichgesetzt. Der durch die Kombination von Attributausprägungen aufgespannte Raum wurde ohne Einschränkungen ausgenutzt, so dass jedes Attribut seine volle Wirkung auf die Entscheidung der Teilnehmenden ausüben konnte. Die Teilnehmenden wurden angewiesen, sich nicht von (scheinbar) unwahrscheinlichen oder unplausiblen Kombinationen beirren zu lassen und unbeirrt mit der Profilbewertung und dem Profilvergleich fortzufahren.

Das in der Analyse von CBC-Daten benutzte Modell subjektiven Nutzens stellt den Gesamtnutzen einer Alternative j für ein Individuum i als die Summe U_{ij} eines durch Beobachtung bzw. Messung bekannten Anteils V_{ij} und eines nicht beobachteten bzw. nicht beobachtbaren Anteils ε_{ij} dar, so dass $U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij}$ (McFadden 1973). Die gemessene Komponente V_{ij} ist eine Linearkombination von K Attributausprägungen:

$$V_{ij} = \sum_k x_{jk} \beta_{ik} \quad (1)$$

wobei x_{jk} die mit der j -ten Alternative assoziierte k -te Attributsausprägung und β_{ik} den mit dem Individuum i assoziierten k -ten Teilnutzen bezeichnet. Die Gesamtnutzenwerte gehen gemäß einem multinomialen Logit-Modell in die Entscheidung ein. Gegeben ein bestimmtes Choice Set, wählt das Individuum i die Alternative j mit der Wahrscheinlichkeit P_{ij} :

$$P_{ij} = \exp(x_j \cdot \beta_i) / \sum_k \exp(x_k \cdot \beta_i) \quad (2)$$

wobei x_j den j -ten Vektor der mit der Alternative j zugeordneten Attributsausprägungen bezeichnet und β_i den Vektor der Teilnutzen, die dem Individuum i zugeordnet sind.

Die Teilnutzenwerte β wurden von dem beauftragten Marktforschungsunternehmen mittels der Software Lighthouse Studio (Sawtooth Software, Inc., Sequim, WA) geschätzt. Alle weiteren Analysen wurden durch die Autoren mit Hilfe der Statistiksoftware SPSS berechnet.

Ergebnisse

Nutzenwerte und Wahlwahrscheinlichkeiten der Verkehrsmittel

Wie sieht in unserer Stichprobe die Verteilung der Präferenzen für die zur Auswahl dargebotenen Verkehrsmittel aus? Das hängt natürlich von den Ausprägungen der Attribute ab. Wenn wir für jede Wahlalternative alle Attribute auf ihren attributspezifischen Mittelwert und im Falle des Pkws zusätzlich die Parkgebühren auf null setzen, erhalten wir die in Abbildung 4 dargestellte Verteilung der subjektiven Gesamtnutzen. Die Nutzenwerte für Pkw, Shuttle, ÖPNV und ›keine‹ waren $V = 1.18, 0.47, 0.11$ und -1.60 , die entsprechenden Wahlwahrscheinlichkeiten $P = 0.54, 0.27, 0.15$ und 0.03 . Ausgedrückt in Prozentwerten wären also 27 Prozent der Befragten bereit, auf dem morgendlichen Weg zum Arbeits- oder Ausbildungsplatz ein Shuttle zu benutzen.

Attribute und ihr Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl

Die mittlere Root Likelihood der multinomialen Modelle der Individualebene belief sich auf $mRLH = 0.63$, $SD = 0.11$, $\max = 0.89$, $\min = 0.40$, untere Grenze = 0.25 . Die Differenzen zwischen den individuenspezifischen Teilnutzenwerten (*part worths*) der Attributausprägungen waren für jedes untersuchte Attribut statistisch

signifikant (SPSS Prozedur GLM, Tabelle 2a). Um Attributausprägungsdifferenzen zwischen den Attributen vergleichbar zu machen, wurden die *part worths* durch Subtraktion der attribut-spezifischen Mittelwerte und Division durch die mittlere Differenz, berechnet über alle Attribute, zwischen maximaler und minimaler Attributsausprägung, reskaliert. Die Reskalierung führte bei den Attributen Fahrtkosten, Fahrtdauer und Parkgebühren zu einer Zunahme des partiellen η^2 , bei den Attributen Fußweg, soziale Norm, Besetzungsdichte und Verkehrsmittel dagegen zu einer Abnahme (Tabelle 2b). Trotzdem blieben auch nach der Reskalierung alle Attribute statistisch signifikant.

Wenn die Kontraste des subjektiven Nutzens der Ausprägungen eines Attributs statistisch signifikant sind, trägt das Attribut zum subjektiven Gesamtnutzen des Objekts bei, dessen Attribut es ist. Der Beitrag der untersuchten Attribute zum Gesamtnutzen fiel relativ homogen aus. Der subjektive Gesamtnutzen (*subjective total utility*) eines Verkehrsmittels – privater Pkw, ÖPNV, On-Demand Shuttle – nahm mit zunehmenden Fahrtkosten, zunehmenden Fahrtzeiten, zunehmenden Fußwegen und zunehmend negativer sozialer Bewertung signifikant ab. Beim privaten Pkw kamen noch die Parkgebühren hinzu: Auch zunehmende Parkgebühren verkleinerten den subjektiven Gesamtnutzen des privaten Pkws signifikant. Der subjektive Nutzen des öffentlichen Nahverkehrs nahm mit dem Anstieg der Besetzungsdichte zuerst von 50 Prozent auf 100 Prozent der Sitzplätze und dann auf 50 Prozent der Stehplätze signifikant ab (Abbildung 3a). Die subjektive Nützlichkeit des Shuttle nahm mit der Zunahme der Besetzungsdichte von zwei auf vier Passagiere kaum und von vier auf sechs Passagiere ein wenig zu und nahm dann bei einer weiteren Steigerung von sechs auf acht Passagiere signifikant ab (Abbildung 3b).

Gruppenunterschiede in der Verkehrsmittelwahl

Nach ihrer Dichotomisierung wurde mittels der SPSS-Prozedur GLM in MANOVAs der Einfluss von soziodemographischen Faktoren wie Alter (< 40, >= 40), Geschlecht (m, w), (Aus-)bildungsniveau (<= Realschulabschluss, > Realschulabschluss), vollzeitliche berufliche Tätigkeit (ja, nein) und Einkommen (<= € 2500, > € 2500), Lage von Wohn- und/oder Arbeits- bzw. Ausbildungsort relativ zum urbanen Zentrum des Stadtkreises Stuttgart (innerhalb, ausserhalb), gegenwärtiger Mobilitätspraxis beim Pendeln (vorwiegende Nutzung eines Pkw: ja/nein) und persönlicher ökologischer Norm (persönliche Verpflichtung zu umweltschonendem Mobilitätsverhalten: ja, nein) auf die Gesamtnutzenwerte der Verkehrsmittelalternativen (Pkw, ÖPNV, Shuttle) untersucht. Während Alter und Geschlecht weder als Haupteffekte (Alter: $F(1,998) = 0.829$, n.s., part. $\eta^2 = 0.001$, Geschlecht: $F(1,998) = 0.001$, n.s., part. $\eta^2 = 0.000$) noch in Interaktion mit dem Verkehrsmittelgesamtnutzen (Alter x VMnutzen: $T^2[3,998] = 0.004$, $F[3,998] = 1.42$, n.s., part. $\eta^2 = 0.004$, Geschlecht x

VMnutzen: $T^2[3,998] = 0.003$, $F = 0.90$, n.s., part. $\eta^2 = 0.003$) einen statistisch signifikanten Einfluss hatten, interagierten (Aus-)bildungsniveau (Aus-)bildungsniveau x VMnutzen: $T^2[3,992] = 0.010$, $F = 3.30$, $p = 0.02$, part. $\eta^2 = 0.010$), vollzeitliche Berufstätigkeit (Berufstätigkeit x VMnutzen: $T^2[3,992] = 0.014$, $F = 4.64$, $p = 0.003$, part. $\eta^2 = 0.014$) und Einkommen (Einkommen x VMnutzen: $T^2[3,992] = 0.008$, $F = 2.68$, $p = 0.048$, part. $\eta^2 = 0.008$) statistisch signifikant mit dem Verkehrsmittelgesamtnutzen (Abbildung 5a, b, c). Ein höheres (Aus-)bildungsniveau und ebenso eine nicht vollzeitliche Berufstätigkeit sind mit geringfügig, aber statistisch signifikant höheren Gesamtnutzenwerten von Shuttle und ÖPNV assoziiert (Abbildung 5a, b). Auch die Höhe des Einkommens korreliert positiv mit dem Gesamtnutzenwert des Shuttle, allerdings nicht mit dem des ÖPNVs (Abbildung 5c). Außer dass das Ergebnis für die Variable »vollzeitliche berufliche Tätigkeit« knapp unter die Signifikanzgrenze fällt, bleiben die Ergebnisse in der reduzierten Stichprobe der Pendler*innen in Reallife qualitativ erhalten.

Gemessen an dem Wert des Powerindikators »partielles η^2 « war der Einfluss der Faktoren »persönliche ökologische Norm« und »gegenwärtige Mobilitätspraxis beim Pendeln« auf den Gesamtnutzen der virtuell zu Verfügung stehenden Verkehrsmittel um eine Größenordnung stärker. Die Interaktion zwischen dem Messwiederholungsfaktor Verkehrsmittel und dem Gruppierungsfaktor »persönliche ökologische Norm« war mit $T^2[6,1474] = 0.062$, $F = 7.57$, $p = 0.000$, part. $\eta^2 = 0.030$, statistisch signifikant, ebenso die Interaktion mit dem Gruppierungsfaktor »aktuelle Mobilitätspraxis« ($T^2[3,738] = 0.105$, $F = 25.88$, $p = 0.000$, part. $\eta^2 = 0.095$). Je stärker ausgeprägt die persönliche ökologische Norm, sich nachhaltig fortzubewegen, desto geringer der subjektive Nutzen des privaten Pkw und desto stärker der subjektive Nutzen des Shuttle und des ÖPNVs. Der Effekt ist am stärksten für den Pkw und am schwächsten für den ÖPNV; das Shuttle nimmt die Mittenposition ein (Abbildung 6a). Vergleichbares gilt für die Variable »aktuelle Mobilitätspraxis«. Ist diese am Pkw orientiert, ist auch im CBC-Experiment der Nutzen des Pkw eher hoch und der von Shuttle und ÖPNV eher gering (Abbildung 6b). Die Triple-Interaktion zwischen »Verkehrsmittel«, »aktuelle Mobilitätspraxis« und »Wohn- oder Arbeitsplatz/Ausbildungsstätte im Stadtkreis Stuttgart« war ebenfalls signifikant ($T^2[3,738] = 0.015$, $F = 3.62$, $p = 0.013$, part. $\eta^2 = 0.014$). Bei habituellen Nutzer*innen von Alternativen zum Pkw war Wohnen, Arbeiten und Lernen im urbanen Zentrum des Stadtkreises Stuttgart mit einer schwächeren Pkw-Nützlichkeits und einer stärker ausgeprägten Nützlichkeits von Shuttle und ÖPNV verbunden. Für habituelle Nutzer*innen des Pkw verhielt es sich umgekehrt. Wohnen, Arbeiten und Lernen im Zentrum war mit größerer Pkw-Nützlichkeits und einer kleineren Nützlichkeits von Shuttle und ÖPNV verbunden (Abb 6c).

Diskussion der Befunde der vorliegenden Studie

Verkehrsmittel: stated and revealed preferences

Im CBC-Experiment wurden Präferenzen für Verkehrsmittel abgefragt; man spricht von ›*stated preferences*‹. Entsprechen die *stated preferences*, die durch Wahlwahrscheinlichkeiten gemessenen wurden, den Angaben der Proband*innen zu ihren ›*revealed preferences*‹ für die von ihnen zum Pendeln tatsächlich benutzten Verkehrsmittel? Und wie verhalten die *stated preferences* sich zu publizierten Schätzungen empirisch beobachtbaren Wahlverhaltens beim Pendeln? Zu beachten ist hier allerdings, dass die Alternative On-Demand Ridepooling Shuttle, die zum Befragungszeitpunkt in der Realität für die Region Stuttgart nicht zur Verfügung stand (Heilig et al. 2018),² vom Vergleich ausgenommen werden muss.

Die bei den Berufspendlern unter den Proband*innen registrierten Wahlwahrscheinlichkeiten waren für den privaten, alleine genutzten Pkw: $P = 0.55$, für den ÖPNV: $P = 0.15$, für das On-Demand Ridepooling Shuttle: $P = 0.27$ und für ›keine‹: $P = 0.03$. Diese Gruppe benutzte nach eigener Angabe zu 69 Prozent den Pkw und zu 17 % den ÖPNV. Suhr (2017) berichtet, dass laut Statistischem Bundesamt 68 Prozent der Erwerbstätigen mit dem eigenen Pkw und 14 Prozent mit dem ÖPNV pendeln. In Baden-Württemberg entfallen auf die Pkw-Pendler*innen 70 Prozent und auf die ÖPNV-Pendler*innen 13 Prozent (Bauer-Hailer 2019). Die Größenordnungen scheinen übereinzustimmen und das lässt hoffen, dass mit $P = 0.27$ auch die Schätzung des Nachfrage-Potentials für einen On-Demand Shuttle Service nicht ganz falsch liegt.

Die Wahlwahrscheinlichkeit von $P=0.27$ für den On-Demand Shuttle legt nahe, dass das On-Demand Ridepooling Shuttlesystem eine attraktive Alternative zu den bisherigen zum Pendeln benutzten Verkehrsmitteln darstellen könnte. Darüber hinaus legt, unabhängig davon, ob man Differenzen oder Proportionen betrachtet, der Vergleich der Prozentwerte mit den CBC-Wahrscheinlichkeiten die Hypothese nahe, dass die Pkw-Nutzer*innen vielleicht sogar eher als die ÖPNV-Nutzer*innen auch den Shuttle wählen würden, eine ›Kannibalisierung‹ des ÖPNV durch Einführung der Shuttles also nicht stattfinden würde.

Attribute und ihr Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl

Welche Variablen determinieren den subjektiven Nutzen eines Verkehrsmittels und, davon abgeleitet, die Präferenz für das Verkehrsmittel? Hier sind zwei Variablenklassen zu unterscheiden, die im CBC-Experiment variierten Attribute der

2 Mittlerweile gibt es mit SSB-Flex ein On-Demand Shuttle Angebot für die Stadt Stuttgart, das den ÖPNV ergänzt, jedoch noch nicht die Region bedient (SSB 2019).

dargebotenen Verkehrsmittel (Fahrzeit, Fahrtkosten, Parkgebühren, Fußwege, Besetzungsdichte von Shuttle und ÖPNV, soziale Bewertung des Verkehrsmittels) und die zur Bildung von Untergruppen verwendbaren soziodemographischen und sozialkognitiven Variablen (Alter, Geschlecht, (Aus-)Bildungsniveau, Berufstätigkeit, Einkommen, aktuell tatsächlich genutztes Verkehrsmittel beim Pendeln, persönliche ökologische Norm). Die Attributausprägungen hatten ohne Ausnahme einen statistisch signifikanten Effekt auf den subjektiven Gesamtnutzen (*total subjective utility*) des jeweiligen Verkehrsmittels und damit auf die Verkehrsmittelwahl. Im Prinzip können sie daher als abstrakte Schablonen verkehrspolitischer Maßnahmen verstanden und benutzt werden. Im Vergleich dazu sind Gruppenzugehörigkeiten nur schwer oder gar nicht zu ändern. Der Einfluss der Gruppierungsvariablen auf die Verteilung des subjektiven Nutzens auf die Verkehrsmittel wird am besten als Modulation des Einflusses der Attribute verstanden. Daher sind die varianzanalytischen Haupteffekte der Gruppierungsvariablen auch nicht von Interesse.

Nicht nur die im engeren Sinn ›ökonomischen‹ Attribute (Fahrtkosten, Fahrzeit, Parkplatzkosten) waren statistisch signifikant, sondern auch die ›psychologischen‹ Größen (mit der Benutzung des Verkehrsmittels verbundene zu Fuß zurückzulegende Entfernung (Komfort), verkehrsmittelspezifische Besetzungsdichte, soziale Bewertung des Verkehrsmittels). Die Daten zu Fahrtkosten, Fahrzeit und Parkplatzkosten bestätigen frühere, ebenfalls mit der CBC- bzw. DCE-Methodologie gewonnene Befunde (e.g. Krueger et al. 2016; Qin et al. 2013) und weiten diese auf das Shuttle aus. Je geringer Fahrt- und Parkplatzkosten ausfallen und je weniger lang die Fahrt dauert, desto stärker ausgeprägt ist der subjektive Nutzen des benutzten Verkehrsmittels. Mit Ausnahme der Shuttle-Besetzungsdichte weisen auch die eher ›psychologischen‹ Attribute (Länge der Fußwege, soziale Bewertung, ÖPNV-Besetzungsdichte) diesen durchgängig monotonen Zusammenhang zwischen der Ausprägung des Attributs und dem subjektiven Nutzen auf. Je kürzer die Fußwege, je positiver die soziale Bewertung des Verkehrsmittels und je geringer die Besetzungsdichte im ÖPNV, desto größer war dessen subjektiver Nutzen.

Unabhängig davon, ob man den Pkw, ein Shuttle oder den ÖPNV benutzt, wird man zumindest ein paar Meter zu Fuß gehen müssen, um das gewünschte Verkehrsmittel zu erreichen. Auch bei der Ankunft am Ziel wird man die letzten Meter zu Fuß gehen müssen. Das kostet physische Anstrengung und Zeit und korreliert daher negativ mit subjektiver Nützlichkeit. Auch für dieses Attribut bestätigt und erweitert die aktuelle Studie ältere Befunde (Changjiang et al. 2010).

Auch die Daten zur sozialen Bewertung der Verkehrsmittel (durch Kolleg*innen und Freund*innen) werden durch ältere Studien unterstützt. Bamberg und Möser (2007) zeigen in einer Metaanalyse, dass soziale Normen eine bedeutsame Rolle bei Entscheidungsprozessen für oder gegen umweltfreundliches Verhalten

spielen. Soziale Normen haben sich auch bei der Adaptation neuer Technologien, z.B. dem Kauf eines Elektroautos (Barth et al. 2016; Bobeth und Matthies 2018) und der Verkehrsmittelwahl für öffentlichen Nahverkehr (Bamberg et al. 2007) als wirksame Faktoren in Entscheidungsprozessen für nachhaltiges Mobilitätsverhalten erwiesen.

Die Erhöhung der Besetzungsdichte im ÖPNV von »die Hälfte der Sitzplätze ist besetzt« bis »alle Sitz- und Stehplätze sind besetzt« geht mit einer Verringerung des subjektiven Nutzens des ÖPNV einher. Je mehr Mitfahrer*innen im ÖPNV, desto näher kommt man den anderen Fahrgästen und desto stärker wird Crowding bzw. Nähestress wahrgenommen (vgl. Oberzaucher 2017). Bei der Shuttle-Besetzungsdichte ergab sich ein umgekehrt U-förmiger Zusammenhang. Der maximale subjektive Nutzen wurde bei einer Besetzungsdichte von sechs erzielt, der minimale bei einer Besetzungsdichte von acht. Die Besetzungsdichten zwei und vier lagen dazwischen.

Ähnlich wie beim ÖPNV wird die maximale Besetzungsdichte negativ erlebt und verringert entsprechend die Wahlwahrscheinlichkeit für den Shuttle. Allerdings kommt hier noch eine weitere Dimension des Crowdingerlebens ins Spiel. Durch die Vorstellung, das Shuttle mit nur einer fremden Person zu teilen, könnte neben Sicherheitsbedenken auch Crowding in dem Sinne, dass man auf engem Raum im Shuttle zu sozialem Kontakt, insbesondere zu Gesprächen, »genötigt« werden könnte antizipiert werden. Einen ähnlichen Effekt beschreibt Oberzaucher (2017) für die räumliche Situation in einem ICE Sechserabteil. Durch die räumliche Nähe wird eine Intimität hergestellt, die soziale Interaktion nahezu »erzwingt«. Viele Fahrgäste präferieren deshalb den anonymen Großraumwagen, in dem man in der Masse leichter soziale Distanz für sich schaffen kann. Gleichzeitig könnte aufgrund von persönlichen Sicherheitserwägungen eine Präferenz dafür vorhanden sein, das Shuttle mit mehr als nur einer fremden Person zu teilen. Allerdings könnte sich dieses Optimum durch die gegenwärtig grassierende COVID-19 Pandemie verschoben haben.

Gruppenunterschiede

In Zielgruppenanalysen wiesen die Variablen »(Aus-)bildungsniveau«, »vollzeitliche Berufstätigkeit (ja, nein)«, »Einkommen«, »aktueller Mobilitätsmodus« (Pkw, andere), »persönliche Norm hinsichtlich einer nachhaltigen Mobilität« und »Wohn- oder Arbeits-/Ausbildungsort im Stadtkreis Stuttgart (ja, nein)« einen statistisch signifikanten Einfluss auf den subjektiven Gesamtnutzen der Verkehrsmittel und damit auf die Verkehrsmittelwahl auf. Ein höheres (Aus-)bildungsniveau und ebenso eine nicht vollzeitliche Berufstätigkeit resultierte in einem geringeren Pkw-Bias. Im Umkehrschluss korrelierte die vollzeitliche Berufstätigkeit – genauso wie ein höheres Einkommen – mit einem verstärkten Pkw-Bias. Hier spielt sicher auch ei-

ne Rolle, dass man sich einen Pkw auch leisten können muss und dieser deshalb gleichzeitig zum Statussymbol taugt (Steg 2005).

Die Variablen Alter und Geschlecht wurden in der Zielgruppenanalyse nicht signifikant. Das ist im Fall der Altersvariablen besonders erstaunlich. Eine größere Offenheit für Innovationen auf Seiten der Jüngeren wurde schon oft und mit Bezug auf unterschiedliche Domänen berichtet (Nobis 2014). In Bratzel (2014) werden gut ausgebildete und in urbanen Zentren lebende junge Erwachsene beschrieben, die bereit scheinen, auf den Kauf eines Autos zu verzichten und für eine Innovation wie ein On-Demand Ridepooling offen sein sollten.

Im CBC-Experiment wurden die Proband*innen aufgefordert, sich unabhängig von ihrem realen Wohn- und Arbeits- bzw. Ausbildungsort eine virtuelle Fahrt zur Zeit der morgendlichen Rush Hour von außerhalb der Stadt Stuttgart zu einem Arbeits- oder Ausbildungsplatz im Zentrum der Stadt vorzustellen und auf Basis dieser Vorstellung eine Entscheidung über das virtuell zu benutzende Verkehrsmittel zu treffen. Wir untersuchten deshalb auch die Frage, ob nicht das von den Probanden tatsächlich für Pendelfahrten benutzte Verkehrsmittel ihre Wahlantwort im CBC-Experiment beeinflusste. Dies war tatsächlich der Fall. Pkw-Pendler*innen zeigten im CBC-Experiment einen signifikant stärker ausgeprägten Pkw-Bias als Nicht-Pkw-Pendler*innen. Für Pkw-Pendler*innen hat der Pkw anscheinend einen subjektiven Nutzen, der durch die wohl eher negativen Rush Hour Erfahrungen (noch) nicht in Frage gestellt wird. Die Triple-Interaktion zwischen aktuellem Mobilitätsmodus, Nähe zum Stadtkreis Stuttgart und virtueller Verkehrsmittelwahl bestätigt diese Hypothese. Den am stärksten ausgeprägten Pkw-Bias wies die Gruppe der Pkw-Pendler*innen auf, die im Stadtkreis Stuttgart wohnen und/oder arbeiten bzw. lernen. Den geringsten Pkw-Bias zeigten die Nicht-Pkw-Pendler*innen, deren Wohn- oder Arbeits- bzw. Ausbildungsplatz im Stadtkreis Stuttgart liegt.

Die stärkste Gruppierungsvariable in unserer Studie war die persönliche ökologische Norm, sich nachhaltig fortzubewegen. Je stärker ausgeprägt die persönliche ökologische Norm, desto geringer der subjektive Nutzen des privaten Pkw und desto stärker der subjektive Nutzen des Shuttles und des ÖPNVs. Die persönliche ökologische Norm hat sich sowohl im Bereich der Verkehrsmittelwahl als auch in anderen Bereichen ökologischen Handelns als zentrale Einflussgröße auf die Verhaltensintention erwiesen (Bamberg und Möser 2007; Mack et al. 2019; Bamberg et al. 2007). Unsere Ergebnisse unterstützen damit die bisherigen Forschungsergebnisse. Neuigkeitswert haben sie insofern, als stärker ausgeprägte persönliche ökologische Normen hinsichtlich nachhaltigen Mobilitätsverhaltens und umweltfreundlicher Verkehrsmittelwahl auch die Verhaltensintention, ein On-Demand Ridepooling Shuttle zu wählen, der elektrisch betrieben wird und geteiltes Fahren anbietet, positiv beeinflussen. Damit könnte die Gruppe der Verkehrsteilnehmer*innen mit einer persönlichen ökologischen Norm hinsichtlich einer umweltfreundli-

chen Verkehrsmittelwahl bei der Einführung von On-Demand-Ridepooling Shuttles für Pendlerwege aus der Region in die Stuttgarter Innenstadt eine *„early adopter“* Zielgruppe sein, für die man speziell und selektiv die Shuttles bewirbt, um eine Nachfrage nach Shuttle Services zu generieren. Auch betriebliches Mobilitätsmanagement könnte bei Mitarbeiter*innen mit einer ausgeprägteren persönlichen ökologischen Norm ansetzen und On-Demand Shuttledienste, auch in Verbindung mit dem ÖPNV, als ökologische Alternative zur individuellen PkW-Nutzung für den Arbeitsweg herausstellen und betrieblich unterstützen.

Konklusion

Viele Städte und Kommunen müssen Lösungen für die zahlreichen Probleme erarbeiten, die zunehmende Staus, Luftverschmutzung durch Stickoxide und Feinstaub, Lärmbelastung und CO₂-Emissionen durch das hohe Aufkommen an motorisiertem Individualverkehr verursachen. Im Prinzip könnte der motorisierte Individualverkehr durch einen Ausbau des öffentlichen Transportsystems (Busse, Straßenbahnen, U- und S-Bahnen und Züge) vermindert werden. Die Möglichkeiten, räumliche und zeitliche Flexibilität zu erhöhen und die Überfüllung des öffentlichen Transportsystems in Hauptverkehrszeiten zu reduzieren, sind allerdings limitiert. On-Demand Ridepooling Shuttlesysteme und damit auch geteilte Pendlerfahrten in einem Shuttle können einen Beitrag zur Entwicklung eines nachhaltigen, multimodalen und vernetzten Verkehrssystems leisten und eine Alternative zum individualisierten Automobilverkehr darstellen. In soziotechnischen Transformationsprozessen wie dem ökologisch orientierten Umbau des Verkehrssystems ist es wesentlich, frühzeitig die Orientierungen und Perspektiven der Nutzer*innen des Systems kennen und respektieren zu lernen und die Nutzer*innen im Sinne kooperativer Technikentwicklung an der Entwicklung und Ausgestaltung des Systems zu beteiligen, damit eine nachhaltige Verkehrswende auch gelingen kann. Die Ergebnisse unserer Studie legen nahe, dass das On-Demand Ridepooling Shuttle eine attraktive Alternative fürs Pendeln in der Region Stuttgart darstellen könnte. Sie geben wichtige Hinweise auf Zielgruppen, die On-Demand Ridepooling Shuttle bevorzugt nutzen würden, und auf präferierte Eigenschaften eines On-Demand Ridepooling Shuttlesystems und seines Verkehrskontexts, die Ansatzpunkte für kommunikative und verkehrspolitische Maßnahmen sein können.

Tabellen

Table 1: Die untersuchten Attribute von Pkw, Shuttle und ÖPNV und deren Ausprägungen

Attribute	PKW	Shuttle	ÖPNV
Fahrtkosten	2,00 €-10,00 €	2,00 €-10,00 €	2,00 €-10,00 €
Parkgebühren	0,00 €-10,00 €	0,00 €	0,00 €
Fahrtzeit	30 min-90 min	30 min-90 min	30 min-90 min
Fußwege	100 m-1600 m	100 m-1600 m	100 m-1600 m
Besetzungsdichte	1 Fahrer (Sie selbst)	2, 4, 6, 8 (von 8 Fahrgastplätzen besetzt)	1) 1/2 der Sitzplätze besetzt 2) alle Sitzplätze besetzt 3) alle Sitzplätze plus 1/2 der Stehplätze besetzt 4) alle Sitz- und Stehplätze besetzt.
Soziale Bewertung	1) positiv 2) überwiegend positiv 3) überwiegend negativ 4) negativ	5) positiv 6) überwiegend positiv 7) überwiegend negativ 8) negativ	9) positiv 10) überwiegend positiv 11) überwiegend negativ 12) negativ

(Reine) Fahrtkosten, Parkgebühren (> € 0.00 nur beim Pkw), reine Fahrtzeit (incl. Parkplatzzsuchzeiten, Wartezeiten, Stauzeiten, Gehzeiten); Fußweg (m) zum Verkehrsmittel und vom Verkehrsmittel zum Ziel, Besetzungsdichte (Skala verkehrsmittelspezifisch und > 1 nur bei shuttle und ÖPNV), soziale Bewertung (Kolleg*innen und Freund*innen bewerten dieses Verkehrsmittel für den Arbeitsweg ...).

Tabelle 2a: Unterschiedlichkeit, ohne Reskalierung, der subjektiven Teilnutzen (part worths) der Ausprägungen der untersuchten Attribute der Verkehrsmittel Pkw, Shuttle und ÖPNV

Attribute	T²	F	df_{treat}	df_{error}	Signif.	part. η^2
Parkgebühren	2.568	855.28	3	999	0.000	0.720
Fahrtkosten	2.474	823.82	3	999	0.000	0.712
Fahrtzeit	1.893	630.22	3	999	0.000	0.654
Fußwege	1.017	338.68	3	999	0.000	0.504
Besetzungsdichte ÖPNV	0.704	234.57	3	999	0.000	0.413
Besetzungsdichte Shuttle	0.640	213.00	3	999	0.000	0.390
Soziale Bewertung	0.558	185.94	3	999	0.000	0.358
Transport Modus	0.148	74.16	2	1000	0.000	0.129

Tabelle 2b: Unterschiedlichkeit, nach Reskalierung, der subjektiven Teilnutzen (part worths) der Ausprägungen der untersuchten Attribute der Verkehrsmittel Pkw, Shuttle und ÖPNV

Attribute	T²	F	df_{treat}	df_{error}	Signif.	part. η^2
Parkgebühren	3.298	1098.27	3	999	0.000	0.767
Fahrtkosten	3.169	1055.41	3	999	0.000	0.760
Fahrtzeit	1.964	653.99	3	999	0.000	0.663
Fußwege	0.862	287.08	3	999	0.000	0.463
Besetzungsdichte ÖPNV	0.590	196.36	3	999	0.000	0.371
Besetzungsdichte Shuttle	0.516	171.88	3	999	0.000	0.340
Soziale Bewertung	0.466	155.07	3	999	0.000	0.318
Transport Modus	0.067	33.41	2	1000	0.000	0.063

Abbildungen

Abbildung 1: Baden-Württemberg: Land- und Stadtkreise



Das mit St bezeichnete Feld entspricht dem Stadtkreis oder der Stadt Stuttgart. Die Stadt Stuttgart bildet zusammen mit den Landkreisen Böblingen, Ludwigsburg, Rems-Murr-Kreis, Esslingen und Göppingen die Region Stuttgart.

Abbildung 2: Beispiel eines choice set

Weiches Verkehrsmittel wählen Sie unter diesen Bedingungen?

Anmerkung: Um mehr Informationen zu erhalten, bewegen Sie Ihre Maus über das .

(1 von 12)

	Verkehrsmittel 1	Verkehrsmittel 2	Verkehrsmittel 3
Verkehrsmittel	Privater Pkw (Benziner, Mittelklassemodell)	ÖPNV (S-/U-, Regionalbahn, Bus)	Ruf-Shuttle (Elektro-Bus)
Fahrtkosten 	7,30 €	2,00 €	4,70 €
Parkgebühren/Tag 	0,00 €		
Fahrtzeit 	30 Minuten	90 Minuten	70 Minuten
Fußwege zum Verkehrsmittel und zum Ziel 	1.100 m	100 m	600 m
Zu erwartende Besetzungsdichte im Verkehrsmittel	1 Fahrer (Sie selbst)	Alle Sitzplätze besetzt	2 von 8 Fahrgastplätzen besetzt
Kolleg*innen und Freund*innen bewerten diese Verkehrsmittel	Negativ	Überwiegend positiv	Überwiegend negativ
	<input type="button" value="Am besten"/>	<input type="button" value="Am besten"/>	<input checked="" type="button" value="Am besten"/>
	<input type="button" value="Am schlechtesten"/>	<input checked="" type="button" value="Am schlechtesten"/>	<input type="button" value="Am schlechtesten"/>

Abbildung 3a: Sensitivitätsfunktion der ÖPNFV-Besetzungsdichte

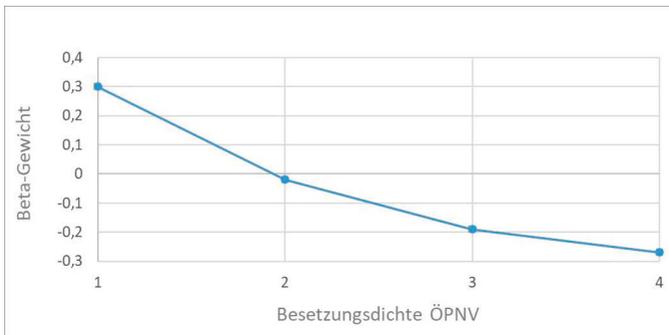


Abbildung 3b: Sensitivitätsfunktion der Shuttle-Besetzungsdichte

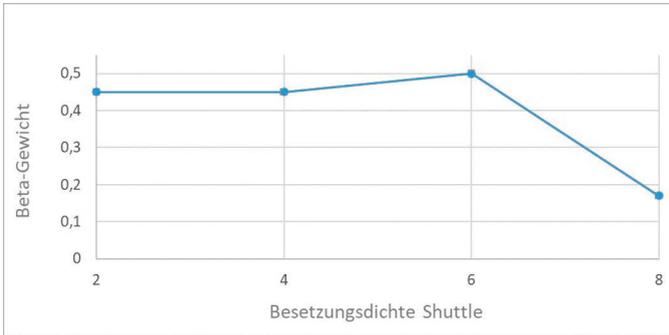
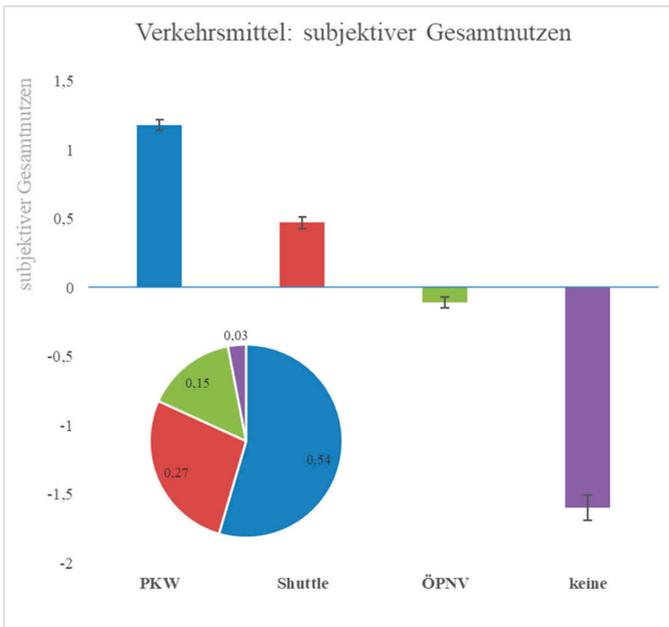
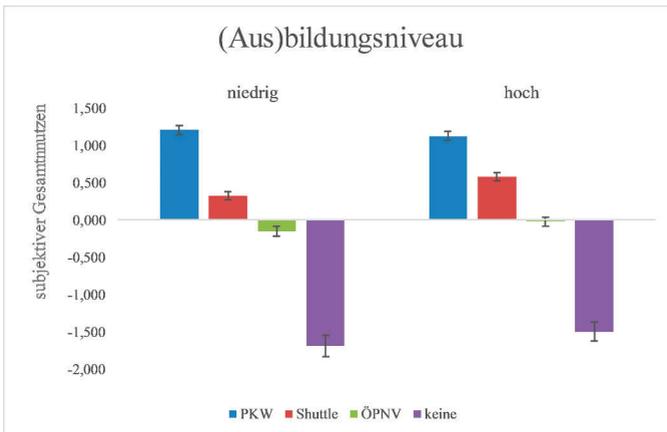


Abbildung 4: Der subjektive Gesamtnutzen der zur Auswahl angebotenen Verkehrsmittel



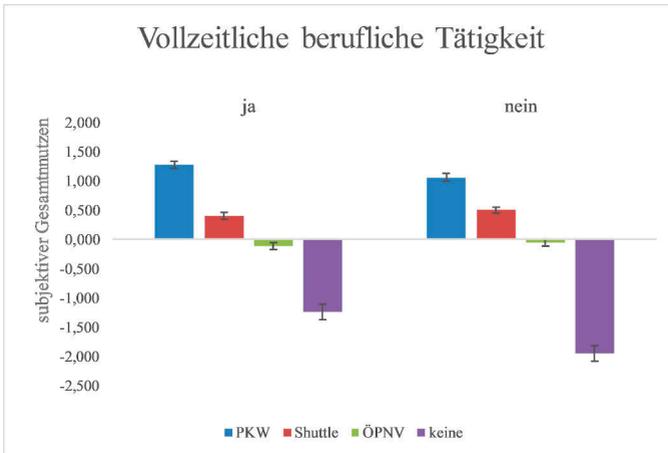
Den Nutzenwerten von 1.18, 0.47, -0.11 und -1.60 für Pkw, shuttle, ÖPNV und »keine« entsprechen nach Gleichung (2) Wahlwahrscheinlichkeiten von $P = 0.55, 0.27, 0.15$ und 0.03 .

Abbildung 5a: (Aus-)Bildungsniveau x Verkehrsmittelnutzen



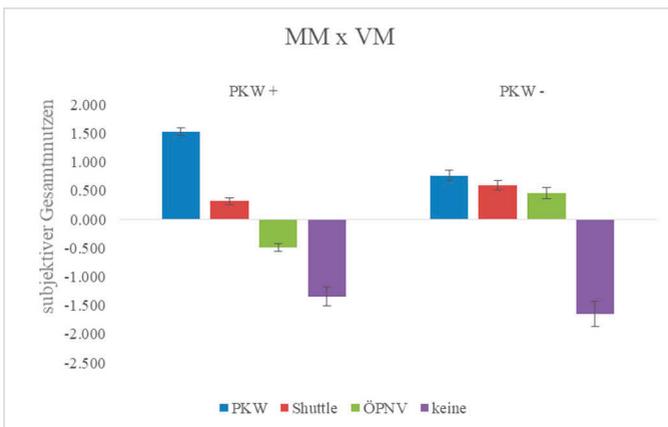
In der Gruppe mit niedrigem (Aus-)Bildungsniveau weisen Pkw, shuttle, ÖPNV und ›keine‹ Nutzenwerte von 1.207, 0.327, -0.147 und -1.689 auf. Diesen entsprechen nach Gleichung (2) Wahlwahrscheinlichkeiten von 0.5786, 0.2400, 0.1494 und 0.0320. In der Gruppe mit höherem (Aus-)bildungsniveau entsprechen den Nützlichkeitswerten 1.126, 0.583, -0.021 und -1.496 Wahrscheinlichkeiten von 0.5073, 0.2947, 0.1611 und 0.037.

Abbildung 5b: Vollzeitliche Berufstätigkeit x Verkehrsmittelnutzen



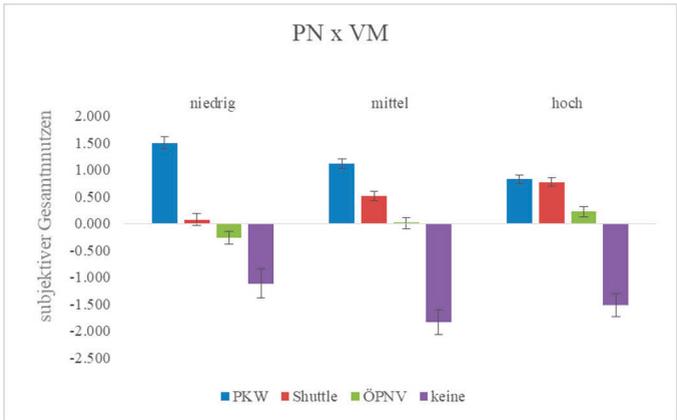
In der Gruppe der vollzeitig Berufstätigen weisen Pkw, shuttle, ÖPNV und »keine« Nutzenwerte von 1.271, 0.407, -0.113 und -1.238 auf. Diesen entsprechen nach Gleichung (2) Wahlwahrscheinlichkeiten von 0.5703, 0.2404, 0.1429 und 0.0464. In der Gruppe der nicht vollzeitig Berufstätigen entsprechen den Nützlichkeitswerten 1.062, 0.503, -0.055 und -1.947 Wahrscheinlichkeiten von 0.5132, 0.2935, 0.1680 und 0.0253. Abbildung 5c: Einkommen x Verkehrsmittelnutzen.

Abbildung 6a: Aktuelle Mobilitätspraxis x Verkehrsmittelnutzen



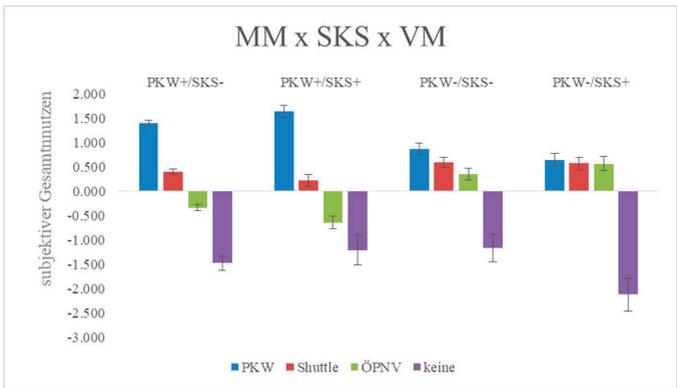
MM: aktueller Mobilitätsmodus, VM: Verkehrsmittel im CBC-Experiment

Abbildung 6b: Persönliche ökologische Norm x Verkehrsmittelnutzen



PN: persönliche ökologische Norm. VM: Verkehrsmittel im CBC-Experiment

Abbildung 6c: Aktuelle Mobilitätspraxis x Wohn- oder Arbeitsplatz/Ausbildungsstätte im Stadtkreis Stuttgart x Verkehrsmittelnutzen



MM: aktueller Mobilitätsmodus, SKS: Wohn- und/oder Arbeits- bzw. Ausbildungsstätte im Stadtkreis Stuttgart. VM: Verkehrsmittel im CBC-Experiment

Literatur

- Alonso-Mora, J., Samaranayake, S., Wallar, A., Frazzoli, E. and Rus, D. (2017). On-demand high-capacity ride-sharing via dynamic trip-vehicle assignment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114(3): 462-467.
- Bamberg, S. (2013). Changing environmentally harmful behaviors: A stage model of self-regulated behavioral change. *Journal of Environmental Psychology* (34): 151-159.
- Bamberg, S., Hunecke, M. and Blöbaum, A. (2007). Social context, personal norms and the use of public transportation: Two field studies. *Journal of Environmental Psychology* 27 (3): 190-203.
- Bamberg, S. and Möser, G. (2007). Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour. *Journal of Environmental Psychology* 27(1): 14-25.
- Barth, M., Jugert, P. and Fritsche, I. (2016). Still underdetected – Social norms and collective efficacy predict the acceptance of electric vehicles in Germany. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* (37): 64-77.
- Bauer-Hailer, U. (2019). Berufspendler im Bundesländervergleich – Beitrag19_02_02.pdf. Online verfügbar unter https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/PDF/Beitrag19_02_02.pdf. Zugegriffen: 03. Oktober 2020.
- Bischoff, J. and Maciejewski, M. (2016). Simulation of City-wide Replacement of Private Cars with Autonomous Taxis in Berlin. *Procedia Computer Science* 83: 237-244.
- BMWi (2018). Sechster Monitoring-Bericht zur Energiewende. Die Energie der Zukunft: Berichtsjahr 2016. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/sechster-monitoring-bericht-zur-energiewende.pdf?__blob=publicationFile&v=26. Zugegriffen: 28. September 2020.
- Bobeth, S. and Matthies, E. (2018). New opportunities for electric car adoption: the case of range myths, new forms of subsidies, and social norms. *Energy Efficiency* 11(7): 1763-1782.
- Bratzel, S. (2014). Die junge Generation und das Automobil. – Neue Kundenanforderungen an das Auto der Zukunft? In *Automotive Management. Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft*, 2. Aufl., Hg. B. Ebel und M.B. Hofer, 93-108. Berlin/Heidelberg: Gabler Verlag.
- Bremer, Patrick (2019). Ergebnisse der Berufspendlerrechnung 2019. *Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg* (6/7): 17-20.

- Brunauer, R. and Rehrl, K. (2016). Big data in der mobilität–FCD modellregion salzburg. In *Big Data. Grundlagen, Systeme und Nutzungspotenziale*, Hg. D. Fasel und A. Meier, 235-267. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Canzler, W. and Knie, A. (2016). Mobility in the age of digital modernity: why the private car is losing its significance, intermodal transport is winning and why digitalisation is the key. *Applied Mobilities*, 1(1): 56-67.
- Changjiang, Z., Ling, G. and Li, Y. (2010). Study on the Choices of Park and Ride Based on Discrete Choice Models. In *WASE International Conference on Information Engineering (ICIE), 2010. 14.-15. Aug. 2010*, Ed. Qiu, R. . Beidaihe, China ; proceedings. Piscataway, NJ, IEEE.
- d-fine (o.J.). The Impact Of Shared And Autonomous Robo-Taxis on Future Urban Mobility. A simulation approach for Milano 2030. Online verfügbar unter http://www.d-fine.com/fileadmin/user_upload/pdf/insights/whitepapers/Shared-Autonomous-Robo-Taxis-Urban-Mobility-Milan-2018.pdf. Zugegriffen: 21. Dezember 2020.
- EEA European Energy Agentur (2020). Progress of EU transport sector towards its environment and climate objectives. Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/term/term-briefing-2018>. Zugegriffen 04. Mai 2020.
- Fagnant, D. J., Kockelman, K. M. (2018). Dynamic ride-sharing and fleet sizing for a system of shared autonomous vehicles in Austin, Texas. *Transportation* 45(1): 143-158.
- Hair, J. F. (2010). *Multivariate data analysis. A global perspective*. 7th edition. Upper Saddle River, N.J./London: Pearson Education.
- Heilig, M., Hilgert, T., Mallig, N., Kagerbauer, M. and Vortisch, P. (2017). Potentials of Autonomous Vehicles in a Changing Private Transportation System – a Case Study in the Stuttgart Region. *Transportation Research Procedia* 26: 13-21.
- Heilig, M., Mallig, N., Schröder, O., Kagerbauer, M. and Vortisch, P. (2018). Implementation of free-floating and station-based carsharing in an agent-based travel demand model. *Travel Behaviour and Society* (12): 151-158.
- infas/DLR/IVT/infas 360 (2018). Mobilität in Deutschland.
- Kagermann, H. (2017). Die Mobilitätswende: Die Zukunft der Mobilität ist elektrisch, vernetzt und automatisiert. In *CSR und Digitalisierung. Der digitale Wandel als Chance und Herausforderung für Wirtschaft und Gesellschaft*, Hg. A. Hildebrandt und W. Landhäußer, 357-371. Berlin: Springer Gabler.
- Kamargianni, M., Li, W., Matyas, M. and Schäfer, A. (2016). A Critical Review of New Mobility Services for Urban Transport. *Transportation Research Procedia* (14): 3294-3303.
- Kostorz, N., Hilgert, T. und Kagerbauer, M. (2019). Automatisierte Kleinbusse im Öffentlichen Personennahverkehr – Akzeptanz und Nutzungsintentionen in Deutschland. *Journal für Mobilität und Verkehr* 2: 23-32.

- Kropp, C. (2018). Intelligente Städte: Rationalität, Einfluss und Legitimation von Algorithmen. In *Smart City. Kritische Perspektiven auf die Digitalisierung der Städte*, Hg. S. Bauriedl und A. Strüver, 33-42. Bielefeld: transcript.
- Krueger, R., Rashidi, T. H. and Rose, J. M. (2016). Preferences for shared autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 69: 343-355.
- Levy, N., Golani, C. and Ben-Elia, E. (2019). An exploratory study of spatial patterns of cycling in Tel Aviv using passively generated bike-sharing data. *Journal of Transport Geography* 76: 325-334.
- Louviere, J. J., Flynn, T. N. and Carson, R. T. (2010). Discrete Choice Experiments Are Not Conjoint Analysis. *Journal of Choice Modelling* 3 (3): 57-72.
- Mack, B., Tampe-Mai, K., Kouros, J., Roth, F., Taube, O. and Diesch, E. (2019). Bridging the electricity saving intention-behavior gap: A German field experiment with a smart meter website. *Energy Research & Social Science* 53, 34-46.
- Masoud, N. and Jayakrishnan, R. (2017). A real-time algorithm to solve the peer-to-peer ride-matching problem in a flexible ridesharing system. *Transportation Research Part B: Methodological* 106: 218-236.
- McFadden, D. (1973). *Conditional logit analysis of qualitative choice behavior*. New York: Academic Press.
- Milne, D. and Watling, D. (2019). Big data and understanding change in the context of planning transport systems. *Journal of Transport Geography* 76: 235-244.
- MVK BW (2016). Gesamtbilanz zum Feinstaub-Alarm von Januar bis April 2016. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/D_ateien/PDF/Luft_Gesamtbilanz_Wirkung_Feinstaub-Alarm. Zugegriffen: 15. Oktober 2019.
- MVK BW (2019a). Was tun bei Feinstaubalarm? Online verfügbar unter <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/mensch-umwelt/luftreinhaltung/feinstaubalarm/>. Zugegriffen: 15. Oktober 2019.
- MVK BW (2019b). ÖPNV-Pakt für die Region Stuttgart. Online verfügbar unter <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/mobilitaet-verkehr/bus-und-bahn/oepnv-pakt-stuttgart/>. Zugegriffen: 16. Oktober 2019.
- Nobis, C. (2014). *Multimodale Vielfalt. Quantitative Analyse multimodalen Verkehrshandelns*. Berlin: Humboldt Universität Berlin.
- Oberzaucher, E. (2017). *Homo urbanus*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Orme, B. K. (2010). *Getting started with conjoint analysis. Strategies for product design and pricing research*. 2nd edition. Madison, WI: Research Publishers.
- Qin, H., Guan, H., Zhang, Z., Tong, L., Gong, L. and Xue, Y. (2013). Analysis on Bus Choice Behavior of Car Owners based on Intent – Ji'nan as an Example. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 96, 2373-2382.

- Ruhrort, L. (2017). *Transformation im Verkehr? Erfolgsbedingungen verkehrspolitischer Maßnahmen im Kontext veränderter Verhaltens- und Einstellungsmuster*. Berlin: Technische Universität Berlin.
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (2017). Umsteuern erforderlich: Klimaschutz im Verkehrssektor. Online verfügbar unter https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2016_2020/2017_11_SG_Klimaschutz_im_Verkehrssektor.pdf?__blob=publicationFile&v=25. Zugegriffen 28. September 2020.
- Schrieck, M., Safetli, H., Siddiqui, S. A., Pflügler, C., Wiesche, M. and Krcmar, H. (2016). A Matching Algorithm for Dynamic Ridesharing. *Transportation Research Procedia* 19: 272-285.
- Schunder, J. (2019). Zählungen in Stuttgart. Autoverkehr an Stadtgrenze nimmt leicht zu. StN.de. Online verfügbar unter <https://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.zaehlungen-in-stuttgart-autoverkehr-an-stadtgrenze-nimmt-leicht-zu.c91ca5b2-948d-46f5-b31e-9b19c6dea61b.html>. Zugegriffen: 21. April 2020.
- Schwartz, S. H. (1977). Normative influences on altruism. In *Advances in Experimental Social Psychology*, Vol. 10, Ed. Berkowitz, L. New York: Academic Press.
- Simonetto, A., Monteil, J. and Gambella, C. (2019). Real-time city-scale ridesharing via linear assignment problems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 101: 208-232.
- SSB (2019). SSB Flex. SSB. Online verfügbar unter <https://www.ssb-ag.de/kundeninformation/ssb-flex/>. Zugegriffen 14. Oktober 2019.
- Stadt Stuttgart (2017). Bürgerumfrage 2017. Pressemitteilung Dokument Nummer 11716. Statistisches Amt, Pressemitteilung vom 2017. Online verfügbar unter <https://www.stuttgart.de/item/show/305805/1/publ/28557>. Zugegriffen 10. Oktober 2019.
- Stadt Stuttgart (2019a). Feinstaubalarm. Online verfügbar unter <https://www.stuttgart.de/feinstaubalarm/>. Zugegriffen 10. Januar 2019.
- Stadt Stuttgart (2019b). Bürgerservice. Informationen zum Diesel-Verkehrsverbot. Online verfügbar unter <https://www.stuttgart.de/diesel-verkehrsverbot>. Zugegriffen 15. Oktober 2019.
- Steg, L. (2005). Car use: lust and must. Instrumental, symbolic and affective motives for car use. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 39 (2/3): 147-162.
- Stopka, U., Pessier, R. and Günther, C. (2018). Mobility as a Service (MaaS) Based on Intermodal Electronic Platforms in Public Transport. In: *Human-computer interaction. 20th international conference, HCI International 2018, Las Vegas, NV, USA, July 15-20, 2018, proceedings*, Ed. Masaaki, 419-439. Cham: Springer. K.
- Suhr, F. (2017). Die meisten Berufspendler fahren mit dem Auto. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/infografik/10822/die-haeufigsten-verkehrsmittel-der-berufspendler/>. Zugegriffen 03. Oktober 2020.

Wehn, J. (2019). Bevölkerungsbefragung Autotrends 2019. Online verfügbar unter https://www.creditplus.de/fileadmin/03_Ueber_Creditplus/Newsroom_und_Pressebereich/Newsroom/CP_Bevoelkerungsbefragung_Autotrends_2019.pdf. Zugegriffen 10. Januar 2020.

