

Shared Mobility

-

Raumbezogene Analysen zur Nutzung von E-Scooter-Sharing und Ridepooling in Deutschland

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

Vorgelegt an der Fakultät Raumplanung
der Technischen Universität Dortmund

von

Jan Götde, M. Sc.

Dortmund

März 2026

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr.-Ing.
an der Fakultät Raumplanung der Technischen Universität Dortmund

vorgelegt von

Jan Gödde

Gutachter:

Prof. Dr. Joachim Scheiner

Fakultät Raumplanung der Technischen Universität Dortmund

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sascha von Behren

Fakultät Raumplanung der Technischen Universität Dortmund

Vorsitz der Prüfungskommission:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Siedentop

Fakultät Raumplanung der Technischen Universität Dortmund

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel „Shared Mobility – Raumbezogene Analysen zur Nutzung von E-Scooter-Sharing und Ride-pooling in Deutschland“ selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel und Quellen verwendet habe. Alle in Anspruch genommenen Quellen und Hilfen habe ich als solche gekennzeichnet. Ferner erkläre ich an Eides statt, dass diese Arbeit weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung oder in Teilen weder an der Technischen Universität Dortmund noch an einer anderen Hochschule im Zusammenhang mit einer staatlichen oder akademischen Prüfung bereits vorgelegt worden ist (dies gilt auch für Fassungen in anderen Sprachen).

Dortmund 13.03.26

Ort und Datum

Jan Gödde

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Prof. Dr. Joachim Scheiner für die hervorragende Betreuung meines Promotionsvorhabens bedanken. Die Mischung aus konstruktiver Kritik und motivierendem Feedback hatte nicht nur maßgeblichen Einfluss auf die Dissertation selbst, sondern hat auch meine persönliche Entwicklung als Wissenschaftler entscheidend geprägt. Ebenfalls möchte ich mich herzlich bei Prof. Dr. Sascha von Behren für die Übernahme der Gutachtertätigkeit und bei Prof. Dr. Stefan Siedentop für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes bedanken.

Ein besonderer Dank geht an Dr. Viktoria Allert und Dr. Nadezda Krasilnikova für die jahrelange Begleitung und Unterstützung durch die Höhen und Tiefen des Büroalltags, unserer Promotionen und darüber hinaus.

Außerdem möchte ich Prof. Dr. Meike Levin-Keitel, Dr. Lisa Ruhort, Max Wagner und allen weiteren Kolleginnen und Kollegen am Fachgebiet Stadtentwicklung sowie am Fachgebiet Verkehrswesen und Verkehrsplanung für den fachlichen Austausch in Forschungskolloquien, Workshops und auf Konferenzen danken. Und natürlich für die heiteren Gespräche in den Mittagspausen.

Last but not least gilt mein größter Dank meiner Familie und meinen Freunden für die wertvolle Zeit und Unterstützung abseits der Dissertation.

I Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
Zusammenfassung	V
Abstract	VI
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	4
1.2 Beitrag der Dissertation	8
1.3 Exkurs: Forschungsprojekt MoveMe	9
2 Theoretische Grundlagen der raumbezogenen Analysen	10
2.1 Aktivitätsbasierte Verkehrstheorie	10
2.2 Verkehrsdeterminanten	11
2.3 Multimodalität und Intermodalität	13
2.4 Anwendung der theoretischen Grundlagen in der Dissertation	14
3 Artikel	16
3.1 Artikel 1	16
3.2 Artikel 2	27
3.3 Artikel 3	43
4 Diskussion & Schlussfolgerungen	64
4.1 Beitrag der Artikel zur Beantwortung der Forschungsfragen	64
4.1.1 Artikel 1	64
4.1.2 Artikel 2	65
4.1.3 Artikel 3	67
4.2 Shared Mobility für alle? Zwischen Anspruch und Wirklichkeit	68
4.2.1 Status Quo	69
4.2.2 Barrieren	70
4.2.3 Handlungsempfehlungen	71

4.3	Ergänzung des ÖPNV in und außerhalb von urbanen Raumstrukturen	73
4.3.1	E-Scooter-Sharing und Ridepooling in Großstädten	74
4.3.2	E-Scooter-Sharing und Ridepooling außerhalb der Großstädte	75
4.3.3	Schlussfolgerungen bezüglich der Nutzungspotenziale	77
5	Reflektion der Methodik	79
5.1	Daten	79
5.2	Modellierung	82
5.3	Nutzungspotenziale	83
6	Fazit	86
	Literaturverzeichnis	89
	Anhang	103
	Anhang A1 – Artikel 1: Befragung der CleverShuttle-Nutzenden	103
	Anhang A2 – Artikel 3: Befragung der Nutzenden während des Reallabors	105
	Anhang A3 – Artikel 3: Moderationsleitfaden für die Fokusgruppen	109

II Abbildungsverzeichnis

Rahmentext

- | | | |
|----|--|---|
| 1. | Hauptangebotsformen der Shared Mobility in Deutschland | 3 |
|----|--|---|

Artikel 1 „User characteristics and spatial correlates of ride-pooling demand – Evidence from Berlin and Munich“

- | | | |
|----|---|---|
| 1. | Spatial distribution of CleverShuttle ride-pooling demand per 100 m × 100 m grid cell in Berlin | 3 |
| 2. | Spatial distribution of CleverShuttle ride-pooling demand in Munich | 4 |
| 3. | Temporal distribution of CleverShuttle ride-pooling demand in Berlin and Munich (yearly average 2019) | 7 |

Artikel 2 „Spatiotemporal patterns of shared-e-scooter-usage: Studying access, egress and complementary trips to transit“

- | | | |
|----|--|----|
| 1. | The City of Hanover and adjacent areas split up into the spatial aggregation units (cells) of the Transport Model of the Hanover Region TMHR | 4 |
| 2. | Classification of transit-access, transit-egress and transit-complementary ESS trips using origin (O) and destination (D) data and transit station (S) catchment areas | 6 |
| 3. | 50 m (used for access/egress) and 300 m catchment areas around rail transit station entrances in Hanover | 6 |
| 4. | Temporal distribution of all ESS trips in Hanover 2022 | 9 |
| 5. | Average share of access, egress and complementary ESS trips in Hanover | 9 |
| 6. | Cluster and outlier analysis (LISA) of all, access, egress, and complementary trips | 10 |

Artikel 3 „Evaluation of e-scooter sharing as a feeder mode for public transport in suburban communities in Germany – A mixed methods approach“

- | | | |
|-----|---|----|
| 1. | Mixed methods design | 2 |
| 2. | 21 municipalities of the research area Hanover region | 3 |
| 3. | Administrative cells of the transport model for the Hanover region | 5 |
| 4. | Map of living lab - Ronnenberg settlement areas with ESS and rail stations | 6 |
| 5. | Summarized theoretical potential for the settlement areas of the Hanover region | 7 |
| 6. | Determining service areas for the purpose of first/last mile use to rail stations | 8 |
| 7. | Daily Destinations with ESS per 100x100m in Ronnenberg | 10 |
| 8. | Example of a parking space used in accordance with regulations | 11 |
| 9. | Example of a parking space not used in accordance with regulations | 12 |
| 10. | Temporal distribution of ESS trips per hour | 12 |

III Tabellenverzeichnis

Artikel 1 „*User characteristics and spatial correlates of ride-pooling demand – Evidence from Berlin and Munich*“

1.	Descriptive statistics of variables used in negative binomial regression	5
2.	Sociodemographic characteristics of survey participants	6
3.	Usage patterns of survey participants	7
4.	Spatial regression results for Berlin and Munich	8

Artikel 2 „*Spatiotemporal patterns of shared-e-scooter-usage: Studying access, egress and complementary trips to transit*“

1.	Description and data source of all variables used in the analysis.	5
2.	Descriptive statistics of all variables	7
3.	Distribution of ESS trip type	8
4.	Spatial regression results: Estimated coefficients for origins and destinations of all, transit-connecting, and transit-complementary trips	13

Artikel 3 „*Evaluation of e-scooter sharing as a feeder mode for public transport in suburban communities in Germany – A mixed methods approach*“

1.	Use of transport / modal split for Hanover compared to the sum of all surrounding municipalities (based on residential population)	3
2.	User survey results (n =67)	9

IV Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
API	Application Programming Interface
B2C	Business-to-Consumer
B2G	Business-to-Government
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BS	Bikesharing
bzw.	beziehungsweise
CS	Carsharing
CsgG	Carsharinggesetz
DRT	Demand-Responsive-Transport
e.g.	exempli gratia (for example)
eKfV	Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung
ESS	E-Scooter-Sharing
F1, F2, F3, F4	Forschungsfrage 1-4
Fig.	Figure
GHG	Greenhouse Gas
GPS	Global Position System
GTFS	General Transit Feed Specification
km	Kilometer
LISA	Local Indicator of Spatial Association
LM	Lagrange Multiplier
m	Meter
MaaS	Mobility as a Service
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
OD	Origin-Destination
OLS	Ordinary Least Squares
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OSM	OpenStreetMap
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
Pkw	Personenkraftwagen
POI	Point of Interest
PSS	Produkt-Service-Systeme
QR-Code	Quick Response Code
RegioStaR	Regionalstatistische Raumtypologie
RH	Ridehailing
RP	Ridepooling
SDEM	Spatial Durbin Error Model
SEM	Spatial Error Model
SLX	Spatially Lagged X (Model)
TMHR	Transport Model of the Hanover Region
VIF	Variance Inflation Factor
VKT	Vehicle Kilometers Traveled
z.B.	zum Beispiel

V Zusammenfassung

Die Digitalisierung des Verkehrs und die Marktetablierung der Angebote der Shared Mobility bieten neue Chancen, ein multioptionales Mobilitätssystem zu schaffen, in dem Shared Mobility ein fester Bestandteil des ÖPNV werden könnte. Trotz ihrer zunehmenden Präsenz in Städten weltweit gibt es jedoch nach wie vor kein vollständiges Verständnis der sozialen und räumlichen Dimensionen von Shared Mobility. Das Ziel der Dissertation ist es, die Nutzergruppen von E-Scooter-Sharing (ESS) und Ridepooling in Deutschland zu beschreiben, deren Nutzungsmuster räumlich und zeitlich zu analysieren, Wechselwirkungen mit dem ÖPNV zu identifizieren und Nutzungspotenziale für Räume außerhalb der Großstädte abzuleiten. Dafür werden (1) Fahrtdaten des Ridepooling-Dienstes CleverShuttle aus Berlin und München sowie Fahrtdaten der ESS-Anbieter Lime aus Hannover und Voi aus Ronnenberg räumlich und zeitlich ausgewertet und (2) Befragungen der Nutzenden durchgeführt und im Falle von ESS durch (3) Bedarfsanalysen und Fokusgruppen mit Stakeholdern ergänzt. Die zentrale Erkenntnis der Analysen dieser Dissertation ist, dass ESS und Ridepooling vor allem als Ergänzung zum ÖPNV genutzt werden. CleverShuttle-Nutzende sind häufiger junge Frauen und Männer mit unterdurchschnittlichem Einkommen, die seltener einen Führerschein besitzen als der Durchschnitt der Bevölkerung und in stärkerer Abhängigkeit zum ÖPNV stehen. Das Angebot wird primär für abendliche Freizeitaktivitäten genutzt. Die Alltagsmobilität von Ridepooling-Nutzenden ist jedoch durch andere Verkehrsmittel geprägt. Insgesamt ist deshalb von einem schwachen Substitutionseffekt auszugehen. Vielmehr schließt Ridepooling zeitliche oder räumliche Lücken im ÖPNV-Netz. ESS-Nutzende sind überwiegend jung, männlich und multimodal unterwegs, nutzen häufig den ÖPNV und besitzen oft ein entsprechendes Abonnement. Die Nutzung konzentriert sich auf den Stadtkern, wobei die Nachfragespitzen an Wochentagen nachmittags und am Wochenende abends liegen. ESS wird häufig auf der ersten und letzten Meile in Kombination mit dem ÖPNV für Freizeitwege und zum Pendeln genutzt. Die Nutzungsmuster im Stadt-Umland unterscheiden sich nicht drastisch von denen in Großstädten. Das Potenzial, den ÖPNV auf der ersten und letzten Meile sinnvoll zu ergänzen, scheint jedoch aufgrund mangelnder Mobilitätsalternativen und einer hohen Kombinationsrate noch ausgeprägter zu sein als in städtischen Lagen. Hier wird die Entwicklung von ESS jedoch bislang durch eine unzureichende Einbindung in die Raumplanung, eine defizitäre Radinfrastruktur sowie mangelnde Regulierung bzw. Kooperation zwischen Stakeholdern gehemmt. Neben der Evaluation des Einflusses regulatorischer Maßnahmen auf die Nutzung von Shared

Mobility sollte ein zentraler Schwerpunkt zukünftiger Forschungsarbeiten auf nachhaltigen Finanzierungsmodellen für Shared Mobility als Bestandteil des ÖPNV in suburbanen und ländlichen Räumen liegen.

VI Abstract

The digitalization of transport and the market establishment of shared mobility services offer new opportunities to create a multi-optional mobility system in which shared mobility could become an integral part of public transport. Despite their increasing presence in cities worldwide, a comprehensive understanding of the social and spatial dimensions of shared mobility remains lacking. The aim of this dissertation is to describe the user groups of e-scooter sharing (ESS) and ridepooling in Germany, to analyze their spatiotemporal usage patterns, to identify interactions with public transport, and to derive usage potentials for areas outside of major cities. To this end, (1) trip data from the ridepooling service CleverShuttle in Berlin and Munich, as well as trip data from the ESS providers Lime in Hanover and Voi in Ronnenberg, are spatially and temporally evaluated, and (2) surveys of users are conducted, supplemented in the case of ESS by (3) demand analyses and focus groups with stakeholders. The central finding of the analyses in this dissertation is that ESS and ridepooling are primarily used as a complement to public transport. CleverShuttle users are more frequently young women and men with below-average incomes who are less likely to hold a driver's license than the population average and exhibit a stronger dependence on public transport. The service is primarily used for evening leisure activities. However, as the daily mobility of ridepooling users is characterized by other modes of transport, a weak substitution effect is to be assumed. Rather, ridepooling fills temporal or spatial gaps in the public transport network. ESS users are predominantly young, male, and multimodal. They frequently use public transport and often possess a corresponding season ticket or subscription. Usage is concentrated in the city center, with demand peaking on weekday afternoons and weekend evenings. ESS is frequently used for the first and last mile in combination with public transport for leisure trips and commuting. Usage patterns in suburban areas in Ronnenberg do not differ drastically from those in major cities. However, the potential to supplement public transport on the first and last mile appears to be even more pronounced than in urban locations due to a lack of mobility alternatives and a high combination rate. Nevertheless, the development of ESS in these areas has so far been hindered by insufficient integration into spatial planning, deficient cycling infrastructure, and a lack of regulation or cooperation between stakeholders. In addition to evaluating the impact of regulatory measures on the use of shared mobility, a central focus of future research should be on sustainable financing models for shared mobility as part of public transport in suburban and rural areas.

1 Einleitung

Kommerzielle Angebote der **Shared Mobility** (geteilte Mobilität) haben sich in den letzten Jahren zu einem prägenden Bestandteil urbaner Mobilitätssysteme entwickelt. Diese innovativen Mobilitätsoptionen bieten Nutzenden bei Bedarf einen kurzfristigen Zugang zu einem Verkehrsmittel ihrer Wahl, wodurch die Notwendigkeit des privaten Fahrzeugbesitzes entfällt und für jeden Weg das am besten geeignete Verkehrsmittel ausgewählt werden kann (Cohen & Shaheen, 2018). Shared Mobility wird häufig auch im Zusammenhang mit dem Konzept **Mobility as a Service** (MaaS) diskutiert (Alyavina et al., 2022; Butler et al., 2021; Kriswardhana & Esztergár-Kiss, 2023). Während unter dem Begriff Shared Mobility in erster Linie die Angebotsseite verstanden wird, beschreibt Mobility as a Service die Bündelung und Integration aller geteilten Mobilitätsangebote, sowohl privatwirtschaftlicher Natur als auch Angebote des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV), in einer gemeinsamen digitalen Plattform. Diese ermöglicht den Zugang zu einer einfachen Buchung, Bezahlung und Verknüpfung der Angebote auf einem Weg (Jittrapirom et al., 2017). In einer breiteren Perspektive kann Shared Mobility als wichtiger Bestandteil einer „Sharing Economy“ verstanden werden. Diese ihrerseits stellt einen Gegentrend zum sozialen Wandel der Moderne dar, der sich als Megatrend der Individualisierung (Konsumgüter, Werte, Identitäten etc.) beschreiben lässt.

Die Formen von kommerziellen Angeboten der Shared Mobility in Deutschland lassen sich anhand der Art der Dienstleistung in zwei Kategorien aufteilen (siehe Abb. 1). **Produkt-Service-Systeme** (PSS) sind in erster Linie Geschäftsmodelle, die ein Produkt mit einer Dienstleistung verbinden (Mont, 2004). Im Falle von Shared Mobility werden Fahrzeuge wie z.B. Autos (Schaefers, 2013), Fahrräder oder Tretroller an Privatpersonen zur Kurzzeitmiete verliehen. Die Anbieter setzen für die Freischaltung der Fahrzeuge sowie für die Bezahlung auf eine digitale Abwicklung über Smartphone-Apps (Ruhrort, 2020). Bei dieser Form der Shared Mobility ist die Dienstleistung der Verleih des Fahrzeuges und die Person steuert das Fahrzeug des Anbieters selbst. Die populärsten Shared Mobility PSS in Deutschland sind **Carsharing** (CS), **Bikesharing** (BS) und **E-Scooter-Sharing** (ESS) und werden in einem free-floating (stationsunabhängigen), stationsbasierten oder in einem hybriden Modell betrieben.

Die zweite Form der Shared Mobility stellt der **Demand-Responsive-Transport** (DRT) dar, auch bekannt als bedarfsorientierter Verkehr oder On-Demand-Verkehr. Im Gegensatz zu PSS werden beim DRT die Fahrzeuge nicht vom Mietenden selbst gesteuert, sondern von einem Dienstleister. Die Dienstleistung ist demnach nicht der Verleih des Verkehrsmittels, sondern

die Beförderung mit dem Verkehrsmittel. Diese Transportdienste operieren bedarfsorientiert, mit dynamischem Routing, in der Regel ohne feste Haltestellen oder Fahrpläne und sind digital per Smartphone buchbar (Mageean & Nelson, 2003; Dauer et al., 2024). In den USA erlangten diese Bedarfsverkehre unter dem Begriff **Ridehailing** (RH) durch Anbieter wie Uber und Lyft große Popularität. Beim traditionellen Ridehailing können nicht-professionelle Fahrer:innen ihren Privatwagen nutzen, um Kundschaft von A nach B zu transportieren. Nutzende werden ohne Umweg und ohne den Zustieg weiterer Personen zu dem gewünschten Zielort gefahren. Die Anbieterfirmen nehmen hier die Rolle des digitalen Vermittlers ein. Zum Schutz des Taxigewerbes wurde Ridehailing in Deutschland rechtlich eingeschränkt. Im Gegensatz zum amerikanischen Modell von Uber müssen die Fahrer:innen in Deutschland einen Personenbeförderungsschein besitzen und es dürfen nur gewerblich zugelassene Fahrzeuge zur Personenbeförderung genutzt werden. Aufgrund der Einschränkungen des klassischen Ridehailing setzte sich in Deutschland zuerst eine angebotsnahe Sonderform durch, das **Ridepooling** (RP). Ridepooling-Angebote versprechen günstiger als Ridehailing-Angebote bzw. in Deutschland günstiger als das reguläre Taxi zu sein. Im Gegenzug können während der Fahrt weitere Fahrgäste zusteigen, sofern sich die Buchungsanfragen räumlich und zeitlich überschneiden und somit kein erheblicher Umweg entsteht. Die Angebote können auch als digitalisierter Nachfolger bisheriger, bedarfsorientierter ÖPNV-Sonderformen wie Rufbussen oder fahrplanbasierten (Anruf-)Sammeltaxis verstanden werden, die ab den 1980er Jahren noch ohne dynamisches Routing angeboten und analog gebucht wurden. Zur Förderung von Ridepooling-Diensten wurde 2021 durch die Reform des Personenbeförderungsgesetzes (§50 PBefG Gebündelter Bedarfsverkehr & §44 PBefG Linienbedarfsverkehr; BMJV, 2026) eine rechtliche Grundlage für das Angebot geschaffen.

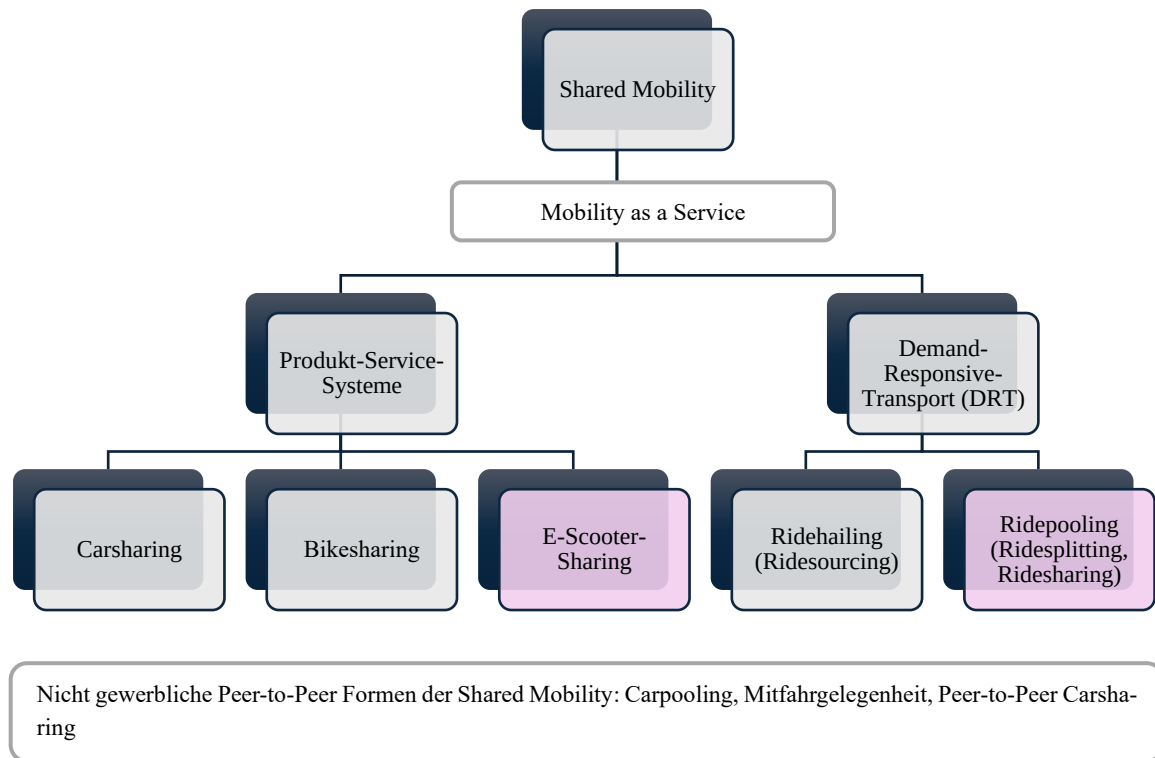


Abbildung 1: Hauptangebotsformen der Shared Mobility in Deutschland (eigene Darstellung nach FGSV, 2021; Machado et al., 2018; Roukouni & Almeida Correia, 2020)

Angebote der Shared Mobility in Deutschland haben sich in den letzten Jahren von Nischenangeboten zu einem wichtigen Bestandteil des städtischen Verkehrs entwickelt. Das Carsharing gilt als Vorreiter der kommerziellen Shared Mobility Angebote in Deutschland. Anfang der 1990er Jahre etablierte sich Carsharing mit stationären Modellen in deutschen Städten. Ab 2008 wurde der Betrieb durch die Einführung von free-floating (car2go & DriveNow) und hybriden (stadtmobil) Modellen noch flexibler gestaltet (Bundesverband Carsharing e.V., 2024). Mit dem Carsharing-Gesetz (CsgG; BMJV, 2017) erhielten die Kommunen schließlich 2017 rechtliche Instrumente zur aktiven Förderung der Dienste an die Hand wie z.B. die Möglichkeit, privilegierte Parkplätze auszuweisen. Bis zum Jahr 2025 wuchs der Carsharing-Markt in Deutschland auf 297 Anbieter in 1393 Gemeinden mit über 45 000 Fahrzeugen an (Bundesverband für Carsharing e.V., 2024). Der Grundstein des kommerziellen Bikesharing in Deutschland wurde 2001 durch den Start des Angebots Call a Bike (Deutsche Bahn AG) und 2004 durch das Angebot nextbike (Nextbike GmbH) gelegt. Das von der Stadt Hamburg ab 2009 finanzierte StadtRad (Deutsche Bahn AG) gilt als Vorreiter für das in der deutschen Bike-sharing-Branche etablierte Business-to-Government (B2G) Kooperationsmodell zwischen Kommunen und Anbietern (Agora Verkehrswende, 2018), bei dem die Unternehmen im

Auftrag von Kommunen bzw. kommunalen Verkehrsunternehmen Leihfahrräder zur Verfügung stellen. Laut einer Branchenbefragung aus dem September 2025 sind aktuell rund 115.000 Bikeshaaring-Räder (davon 57.000 E-Bikes und über 1.900 Lastenräder) in Deutschland im Einsatz (Zukunft Fahrrad e.V., 2025). E-Scooter-Sharing etablierte sich ab Juni 2019 durch das Inkrafttreten der Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung (eKFV; BMJV, 2019) und der daraus resultierenden Straßenzulassung der Tretroller in deutschen Großstädten. Die kurz nach Einführung durch die COVID-19 Pandemie verursachte, Krise der Branche hat sich mittlerweile gelegt. Die Anzahl an Fahrzeugen in deutschen Städten wuchs von 2022 zu 2023 um 9% auf etwa 210 000 registrierte Leih-Scooter (GDV, 2025). Das aus den USA bekannte Ridehailing-Modell konnte sich aufgrund des Schutzes des Taxi-Gewerbes zuerst nicht etablieren. Ab 2016 begannen Unternehmen wie CleverShuttle und später MOIA hingegen Ridepooling in Form eines Business-to-Consumer-Modells (B2C) anzubieten, bei dem Endkunden die Dienstleistung direkt vom Anbieter ohne Beteiligung der öffentlichen Hand beziehen. Kurz darauf traten Unternehmen wie z. B. ViaVan, Door2Door oder ioki in Kooperation mit Kommunen bzw. öffentlichen Verkehrsbetrieben (B2G) in den Markt ein, um On-Demand-Ridepooling als Ersatz oder Ergänzung zum traditionellen ÖPNV-Linienverkehr zu etablieren. Während Unternehmen wie CleverShuttle und MOIA erst nur mit einer Sondergenehmigung operieren durften, wurde der Branche durch die 2021 verabschiedete Reform des PBefG weiteres Wachstum auf über 80 On-Demand-Angebote in Deutschland ermöglicht (VDV, 2023). Eine Übersicht aller nationalen und internationalen aktiven Angebote bietet eine interaktive Kartendarstellung von Lukas Foljanty (Foljanty, 2025). Aufgrund der Einschränkung des klassischen Privatfahrer-Modells konzentrieren sich Ridehailing-Unternehmen wie Uber und Free Now (Lyft) in Deutschland hingegen auf die Vermittlung von lizenzierten Mietwagen- und Taxiunternehmen, anstatt auf Vermittlung von privaten Fahrer:innen oder den Betrieb eigener Fahrzeugflotten.

1.1 Problemstellung

Die Digitalisierung des Verkehrs und die Marktablierung der Angebote der Shared Mobility bieten neue Chancen, ein multioptionales Mobilitätssystem zu schaffen, in dem der Motorisierte Individualverkehr (MIV) zu einer Option unter vielen und Shared Mobility ein fester Bestandteil eines multimodalen Verkehrssystems werden könnte. Eine grundlegende These zu den Potenzialen von Shared Mobility in Deutschland ist, dass diese neuen Angebotsformen den klassischen ÖPNV ergänzen und Teil eines neuen multioptionalen Mobilitätssystems werden können, in dem der Besitz und die Nutzung des privaten Pkw an Bedeutung verliert und

multimodale sowie intermodale Mobilitätsmuster gefördert werden und somit an Bedeutung gewinnen (Groth & Kuhnimhof, 2021; Ruhrort et al., 2020). Shared Mobility wird häufig für ihr Potenzial gelobt, das städtische Mobilitätsangebot nachhaltig zu verbessern. Studien zeigen, dass diese Angebote das Potenzial haben, den privaten Fahrzeugbesitz zu reduzieren (CS: Becker et al., 2018; Cervero et al., 2007; Giesel & Nobis, 2016), zurückgelegte Fahrzeugkilometer zu verringern und somit Emissionen zu senken (CS: Kent, 2014; Migliore 2020) (RP: Zhu & Mo, 2022; Zwick et al., 2021), auf der ersten und letzten Meile in Kombination mit dem ÖPNV eingesetzt zu werden (CS: Ogata et al., 2022) (BS: Ji et al., 2018) (ESS: Li et al., 2024) und diesen bei Ausfall (CS: Tyndall, 2019) (BS: Younes et al., 2019) (ESS: Bergantino & Gardelli, 2024) bzw. zu Randzeiten oder in schlecht angebundenen Gebieten (CS: Becker et al., 2017a) (RH: Yang et al., 2022) ergänzen zu können.

Trotz ihrer zunehmenden Präsenz in Städten weltweit gibt es jedoch nach wie vor kein vollständiges Verständnis der sozialen und räumlichen Dimensionen von Shared Mobility. Zwar werden diese Dienste oft als flexible und nachhaltige Alternativen zum privaten Pkw beworben, ihre tatsächlichen sozialen und ökologischen Auswirkungen hängen allerdings stark davon ab, wer sie nutzt, wie häufig, wann und wo sie genutzt werden und wie die Wechselwirkungen zum bestehenden Verkehrssystem sind.

Die Fragestellungen bilden eine wesentliche Grundlage für die Bewertung der Rolle von Shared Mobility im Kontext eines nachhaltigen Verkehrssystems. Im Fokus stehen dabei sowohl die verkehrlichen Wirkungen im Sinne der Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung und verträglichen Abwicklung als auch die damit zusammenhängenden Zielsetzungen von Shared Mobility, darunter die Reduktion der Pkw-Abhängigkeit, die Senkung von Emissionen, die Integration in den ÖPNV sowie die Förderung sozialer Inklusion. Hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen besteht insbesondere Kritik, dass entgegen der ursprünglichen Zielsetzung, Wege des MIV zu ersetzen und den ÖPNV zu ergänzen, die Angebote häufig Wege des Umweltverbundes (Fuß- und Radverkehr sowie ÖPNV) ersetzen (CS: Becker et al., 2017b) (BS: Teixeira et al., 2021) (ESS: Gao et al., 2024) und in Einzelfällen sogar Verkehr induzieren (ESS: Christoforou et al., 2021) (RH: Henao & Marshall, 2019). Stadt- und Verkehrsplanung müssen deshalb evidenzbasierte regulatorische Rahmenbedingungen schaffen, anhand derer die Angebote optimal in bestehende ÖPNV-Systeme integriert werden können und zugleich sichergestellt werden kann, dass sie tatsächlich zu nachhaltigen und sozial gerechten Zielen beitragen.

Eine der zentralen Herausforderungen bei der Bewertung von Angeboten der Shared Mobility besteht darin, die tatsächlichen Nutzergruppen zu identifizieren. Bestätigen sich etwa erste Erkenntnisse, dass sich die Nutzergruppen der Shared Mobility vermehrt aus jüngeren, männlichen, einkommensstarken und höher gebildeten Bevölkerungsgruppen zusammensetzt (Liao & Correia, 2022; Mubiru & Westerholt, 2024) und Shared Mobility kaum sozial, wirtschaftlich oder verkehrlich benachteiligte Räume und Bevölkerungsgruppen erreicht (Aberle, 2020; Guan et al., 2024; Ursaki & Aultman-Hall, 2015), wirft das Zweifel an der Inklusivität der neuen Verkehrsmittel auf. Die Identifikation solcher sozialer Ungleichheiten ist notwendig, um gezielte Maßnahmen wie tarifliche Anpassungen oder bessere Gebietsabdeckung umzusetzen. Eine raumbezogene Analyse der Bewegungsmuster mit Shared Mobility lässt darüber hinaus die Identifikation von frequentierten Orten zu, die wiederum Schlussfolgerungen für die Planung und Priorisierung von Fahrradwegen und Parkzonen an oder auf Wegen zu ÖPNV-Haltestellen, Wohngebieten, Arbeitsplatzzentren und Points of Interests (POI) liefern kann. Für Betreiber sind diese Kenntnisse über Nutzungsmuster und die Interaktion mit dem öffentlichen Nahverkehr entscheidend, um die Flottenverteilung zu optimieren und Strategien für eine Ausweitung der Angebote zu entwickeln. So können z.B. zusätzliche Bedarfe an frequentierten Orten und zu Stoßzeiten erkannt oder unterversorgte Gebiete ermittelt werden.

Obwohl die meisten Anbieter bislang vor allem in deutschen Großstädten aktiv sind, werden der Shared Mobility auch Potenziale zur Nutzung und Verkehrsverlagerung im suburbanen und ländlichen Raum zugeschrieben (Gandomani et al., 2022; Gebhardt et al., 2022). Gerade in diesen Gebieten ist der ÖPNV aufgrund geringer Taktung, langer Umsteigezeiten und schlechter Erreichbarkeit oft keine konkurrenzfähige Alternative zum Auto. Hier könnten Shared Mobility Angebote den öffentlichen Verkehr ergänzen und den Zubringerverkehr flexibler gestalten. Allerdings fehlt gerade dort, wo Shared Mobility den ÖPNV stärken könnte, häufig das entsprechende Angebot. Um zu verstehen, unter welchen Bedingungen diese Dienste auch in diesen weniger verdichteten Räumen funktionieren, müssen potenzielle Nutzergruppen und räumliche Einflussfaktoren auf die Nachfrage identifiziert werden.

Die empirische Wissensbasis hinsichtlich dieser Fragen zur Nutzung von Shared Mobility variiert stark nach Angebotsform. Für die beiden langjährig etablierten Formen der Shared Mobility, Carsharing und Bikesharing, existiert bereits eine umfangreiche wissenschaftliche Literatur, die Erkenntnisse liefert zu

- Nutzergruppen (CS: Becker et al., 2017b; Martin et al., 2010; Münzel et al., 2019; Prieto et al., 2017) (BS: Buck et al., 2013; Hosford & Winters, 2018; Goodman & Cheshire, 2014; Koska et al., 2013; Martin & Shaheen, 2014)
- räumlichen und zeitlichen Nutzungsmustern (CS: Cervero, 2003; Hu et al., 2018; Schmöller et al., 2015; Sprei et al., 2019; Zu et al., 2025) (BS: Liu & Lin, 2019; Nickkar et al., 2019; Wang et al., 2020; Zhou & Li, 2015)
- Wechselwirkungen mit dem ÖPNV (CS: Ampudia-Renuncio et al., 2020; Becker et al., 2017b; Carrone et al., 2020) (BS: Leth et al., 2017; Jäppinen et al., 2013; Ji et al., 2018; Schimohr & Scheiner 2021)
- und Nutzung in suburbanen oder ländlichen Regionen (CS: Rodier & Harold, 2021; Rodier & Harold, 2022; Wappelhorst et al., 2014) (BS: Woodson et al., 2024).

Des Weiteren wurden bereits zahlreiche Metastudien zur Nutzung von Bikesharing (Chen et al., 2020; Fishman et al., 2013; Fishman, 2016; Ricci, 2015; Teixeira et al., 2021), als auch Carsharing (Amirnazmiafshar & Diana, 2022; Ferrero et al., 2018; Liao & Correia, 2022; Nansubuga & Kowalkowski, 2021) sowie Dissertationen mit dem Fokus auf Angebote in Deutschland (CS: Koss, 2002; Witzke, 2016) (BS: Rabenstein, 2015) verfasst, weshalb eine erneute empirische Untersuchung der Nutzung dieser beiden Angebote in dieser Dissertation nicht vorgenommen wird.

Im Gegensatz dazu besteht bei den zwei erst kürzlich in Deutschland etablierten Angeboten ESS und Ridepooling aufgrund ihrer Neuheit erheblicher Forschungsbedarf hinsichtlich der Nutzergruppen und deren Nutzungsmuster. Insbesondere für ESS ist kaum erforscht, wie räumliche Nutzungsmuster des Angebots in deutschen Städten, sowohl allgemein als auch als Teil intermodaler Wegeketten mit dem ÖPNV und in ÖPNV-untersorgten Gebieten aussehen. Darüber hinaus ist die (potenzielle) Nutzung von ESS in suburbanen oder ländlichen Räumen unerforscht, da die Dienste bislang nur in den Großstädten angeboten wurden. Bezüglich Ridepooling in Deutschland bestand die Wissensbasis zu Beginn des Dissertationsvorhabens (Zulassung 12/2020) vor allem auf ersten Befragungen von MOIA-Nutzenden in Ridepooling-Pilotprojekten in Hannover und Hamburg (Gilibert et al., 2019; Kistorz et al., 2021), die weiteren Forschungsbedarf zu Nutzergruppen und Nutzungszwecken aufzeigten. Eine detaillierte Aufbereitung zum Stand der Forschung für Ridepooling und ESS ist in den jeweiligen Artikeln in Kapitel 3 zu finden.

1.2 Beitrag der Dissertation

Das Ziel der Dissertation ist es, die Nutzergruppen von Ridepooling und E-Scooter-Sharing in deutschen Städten zu beschreiben, deren Nutzungsmuster räumlich und zeitlich zu analysieren, Wechselwirkungen mit dem ÖPNV zu identifizieren und Fahrtzwecke sowie Nutzungspotenziale für Räume außerhalb der Großstädte abzuleiten. Die übergreifenden Forschungsfragen lauten demnach:

- F1. Welche Personengruppen nutzen ESS? Welche Personengruppen nutzen Ridepooling?
- F2. Was sind die räumlichen und zeitlichen Nutzungsmuster der beiden Angebote und welche Wegezwecke lassen sich daraus ableiten?
- F3. Inwiefern interagieren die beiden Angebote mit dem klassischen ÖPNV?
- F4. Welche Nutzungspotenziale haben die Angebote in und außerhalb von urbanen Raumstrukturen?

Zur Beantwortung von F1, F2 und F3 werden (1) Fahrtdaten des Ridepooling-Dienstes CleverShuttle aus Berlin und München sowie Fahrtdaten der ESS-Anbieter Lime aus Hannover und Voi aus Ronnenberg räumlich und zeitlich ausgewertet und (2) im Fall von Ridepooling Befragungen der Nutzenden durchgeführt. Die Nutzungspotenziale (F4) ergeben sich aus der Frage, für welche Bevölkerungsgruppen und Einsatzbereiche die Angebote als Bestandteil des ÖPNV in unterschiedlichen Raumtypen geeignet sind, wobei räumliche und zeitliche Rahmenbedingungen sowie erforderliche regulatorische Anpassungen zu berücksichtigen sind. Hierfür sind die Identifikation der Nutzenden, ihrer Nutzungsmuster, die Wechselwirkungen zum ÖPNV sowie räumlicher Einflussfaktoren auf die Nachfrage essenziell. Da zwar Einflussfaktoren identifiziert, aber keine Schwellenwerte bezüglich raumstruktureller Anforderungen (z.B. minimal benötigte Bevölkerungsdichte) für die Nutzung der beiden Angebote ermittelt werden können, wird das Nutzungspotenzial hinsichtlich genereller raumstruktureller Unterschiede zwischen städtischen und ländlichen Lagen diskutiert und kein quantifiziertes Potenzial nach messbaren Raumtypologien (z.B. RegioStaR) berechnet. Eine empirische Analyse der Wirtschaftlichkeit der Angebote ist nicht Gegenstand der Dissertation. Für Ridepooling werden die Nutzungspotenziale in und außerhalb von Großstädten (F4) aus den Ergebnissen der ersten drei Forschungsfragen abgeleitet und unter Einbezug aktueller Studien aus Deutschland im Hinblick auf Nutzungsunterschiede in verschiedenen Raumstrukturen diskutiert. Bezüglich ESS konnte für F4 ein Reallabor in Ronnenberg (Gemeinde im Stadt-Umland der Region Hannover) durchgeführt werden, in dem erstmals die tatsächliche Nutzung von ESS

außerhalb deutscher Großstädte in einem Mixed-Methods-Approach inklusive Analyse der Fahrtdaten, Befragung der Nutzenden und Beteiligung der Stakeholder untersucht wurde.

Die Arbeit ist wie folgt strukturiert: In Kapitel 2 werden die theoretischen Grundlagen der durchgeführten Analysen erörtert. Kapitel 3 beinhaltet die im Zuge der Dissertation entstandenen Publikationen. In Kapitel 4 werden der Beitrag der Artikel zur Beantwortung der Forschungsfragen beschrieben, die Ergebnisse hinsichtlich der Rolle von Shared Mobility als Teil des ÖPNV aus sozialer, räumlicher und regulatorischer Perspektive diskutiert und Handlungsempfehlungen für die Praxis abgeleitet. Kapitel 5 umfasst eine abschließende Bewertung der verwendeten Methodik. Kapitel 6 bildet ein Fazit hinsichtlich des Beitrags der Dissertation für Forschung und Praxis.

1.3 Exkurs: Forschungsprojekt MoveMe

Die Dissertation ist im Zuge des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojektes „MoveMe – Die sozio-räumliche Transformation zu nachhaltigem Mobilitätsverhalten“ (07/2019 – 12/2024) an der Technischen Universität Dortmund entstanden. In MoveMe wurden die Wechselwirkung zwischen Raum und Mobilität mit dem Ziel untersucht, Ansatzpunkte und Strategien für eine sozio-räumliche Transformation hin zu nachhaltiger Mobilität in verschiedenen Raumtypen zu identifizieren. Ein besonderer Fokus lag dabei auf den aktuell schon sichtbaren Veränderungsdynamiken einer Digitalisierung der Mobilität und möglichen raumbezogenen Wirkungen von ausgewählten Schlüsselinnovationen digitalisierter Mobilität. Da zum Projektstart 2019 (und später zum Zeitpunkt der Zulassung des Promotionsvorhabens 12/2020), im Gegensatz zu etablierten Angeboten wie Carsharing und Bikesharing, bislang kaum belastbare Erkenntnisse zur Nutzung der neuen Angebote ESS und Ridepooling in Deutschland vorlagen, fokussierte sich die Analyse auf diese beiden Innovationen. Über das Projekt konnten Kooperationen mit der Region Hannover sowie dem Ridepooling-Unternehmen CleverShuttle und den ESS-Anbietern Lime und Voi abgeschlossen werden. Die von der Region Hannover bereitgestellten Struktur- und ÖPNV-Daten des Verkehrsmodells, die von den Unternehmen bereitgestellten, georeferenzierten Fahrtdaten, die in Kooperation mit CleverShuttle und Voi durchgeführten Befragungen sowie die in MoveMe organisierte Stakeholder-Beteiligung bilden die Datengrundlage dieser Dissertation. Eine ausführliche Beschreibung der Daten findet sich in den jeweiligen Forschungsartikeln. Da es sich um vertrauliche Daten handelt, dürfen sie gemäß der abgeschlossenen Datennutzungsverträge nicht als Anhang dieser Dissertation geteilt werden und wurden im Anschluss an die Auswertung und Publikation der Ergebnisse gelöscht.

2 Theoretische Grundlagen der raumbezogenen Analysen

In Kapitel 1.1 wurde bereits erläutert, welchen Mehrwert die Beantwortung der Forschungsfragen für die Praxis hat. Mit den formulierten Forschungsfragen einhergehend sind die grundlegenden Annahmen, dass soziodemographische Merkmale einer Person (Forschungsfrage F1), die Raumstruktur sowie die zeitliche Dimension (F2) Determinanten des Verkehrs sind und multimodales und intermodales Verkehrsverhalten (F3) beeinflussen. Die Annahmen in dieser Arbeit werden anhand von räumlichen Regressionsmodellen, die den Einfluss der Raumstruktur auf das Verkehrsaufkommen schätzen sowie durch deskriptive Analysen der zeitlichen Verteilung des Verkehrsaufkommens und der Charakteristika der Nutzenden methodisch überprüft. Vorbereitend auf die in Kapitel 3 dargestellten theoretischen Grundlagen der räumlichen Regressionsmodelle sowie der Determinanten des ESS- und Ridepooling-Verkehrs erfolgt in diesem Kapitel eine verkehrstheoretische Einordnung der raumbezogenen Analysen.

2.1 Aktivitätsbasierte Verkehrstheorie

Die Forschungsfragen orientieren sich an den grundlegenden Fragen der aktivitätsbasierten Verkehrsforschung: Wer nimmt wann, wo und mit welchem Verkehrsmittel welche Aktivitäten wahr? Obwohl in dieser Studie kein aktivitätsbasiertes Verkehrsmodell (Jones et al., 1983) auf Individual- oder Haushaltsebene geschätzt werden kann, werden die Ergebnisse zur räumlichen und zeitlichen Dimension des Verkehrsaufkommens im theoretischen Rahmen des aktivitätsbasierten Mobilitätsverständnisses interpretiert. Die Verkehrsnachfrage entsteht demnach aus dem Bedürfnis an Aktivitäten teilzunehmen, die räumlich und zeitlich verteilt sind. Innerhalb dieses Rahmens wird angenommen, dass Individuen ihr tägliches Leben um verpflichtende Aktivitäten (z.B. Arbeit) und freiwillige Aktivitäten (z.B. Freizeitaktivitäten) organisieren. Verkehr entsteht, um diese Aktivitäten miteinander zu verbinden, und wird daher durch die räumliche Verteilung der Aktivitätsorte, die zeitliche Planung und Durchführung der Aktivitäten sowie individuelle Rahmenbedingungen beeinflusst (Axhausen & Gärling, 1992; Bhat & Koppelman, 1999; Bowman & Ben-Akiva, 2001; Miller, 2023). Ein grundlegender Beitrag zur Theorie des aktivitätsbasierten Mobilitätsverhaltens ist das Konzept der Zeitgeographie (Hägerstrand, 1970), bei dem die menschliche Mobilität sowohl durch Raum als auch durch Zeit eingeschränkt ist (z.B. fester Arbeitszeitbeginn am Arbeitsstandort oder Öffnungszeiten des Einzelhandels). Während die aktivitätsbasierte Verkehrstheorie zur Interpretation

der Ergebnisse herangezogen wird, bildet der Zusammenhang zwischen Raumstruktur und Verkehr die Grundlage für die empirische Modellierung.

2.2 Verkehrsdeterminanten

Der Einfluss der Raumstruktur (im Verkehrskontext: die räumliche Verteilung und Qualität von Flächennutzungen, als Quelle und Ziele von Wegen; Holz-Rau & Scheiner, 2016) auf den Verkehr wurde in der Literatur umfassend unter dem Begriff „gebaute Umwelt“ (Cervero & Kockelman, 1997) untersucht. In diesen Studien wird der Verkehr anhand von Kenngrößen wie Wegehäufigkeiten (Verkehrsaufkommen), Wegelängen, Wededauer, Verkehrsmittelwahl oder zurückgelegten Fahrzeugkilometern operationalisiert. Frühe Studien identifizierten die sogenannten „3Ds“ als Kenngrößen des gebauten Umfelds: Dichte (z. B. Bevölkerungs- und Beschäftigungsdichte), Diversität (Nutzungsmischung) und Design (z. B. Blockgröße und Anzahl der Kreuzungen) (Cervero & Kockelman, 1997). Dieses Verständnis wurde später zu den „5Ds“ (*density, diversity, design, destination accessibility, distance to transit*) erweitert, indem die Erreichbarkeit von Zielen (z. B. Entfernung zur Innenstadt oder die Distanz zwischen Wohnort und dem nächsten Aktivitätsort) und die Entfernung zum ÖPNV ergänzt wurden (Ewing & Cervero, 2001; Ewing & Cervero, 2010). Neben raumstrukturellen Faktoren wird Verkehr auch durch individuelle Erklärungsgrößen beeinflusst: Soziodemographische Faktoren wie Erwerbstätigkeit, Alter, Geschlecht, Einkommen, Bildungsgrad, Haushaltsmerkmale und Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln, die Wohnstandortwahl, Einstellungen und Normen sowie einstellungsbezogene Mobilitätsstile (Scheiner, 2016). Die Literatur zum Einfluss der gebauten Umwelt (mit Kontrolle individueller Erklärungsgrößen) auf den Verkehr ist mittlerweile so umfangreich, dass mehrere umfassende Metastudien entstanden sind (Ewing & Cervero, 2001; Ewing & Cervero, 2010; Leck, 2006; Stevens, 2017). Die Kernaussagen lassen sich wie folgt zusammenfassen (für den Stand der Forschung explizit zu Determinanten des ESS- und Ridepooling-Verkehrs siehe Kapitel 3):

- Bevölkerungs- und Beschäftigungsdichte sind die wichtigsten raumbezogenen Prädiktoren für die meisten mobilitätsbezogenen Kennzahlen.
- Wegehäufigkeiten sind neben der gebauten Umwelt auch von wirtschaftlichen Merkmalen des jeweiligen Haushalts abhängig und in städtischen Gebieten aufgrund geringerer (zeitlicher und monetärer) Kosten pro Weg tendenziell höher.
- Ebenso lassen sich kürzere Wege vor allem in urbanen Gebieten mit höherer Dichte, größerer Nutzungsvielfalt und besserer Erreichbarkeit vorfinden.

- Der Anteil des öffentlichen Verkehrs am Gesamtaufkommen ist positiv mit höherer Dichte und Nutzungsmischung sowie insbesondere der Erreichbarkeit des ÖPNV assoziiert.
- Einflüsse der gebauten Umwelt auf den MIV fallen schwächer aus (z.B. aufgrund des Ausbaus der Verkehrsinfrastruktur, der steigenden Motorisierungsraten und der Spezialisierung sowie Digitalisierung des Arbeitsmarktes; Scheiner, 2016).
- Obwohl der Einbezug von soziodemographischen Faktoren, persönlichen Einstellungen und residenzieller Selbstselektion (Wohnstandortwahl) in Erklärungsmodelle die Effekte der 5D abschwächt, bleibt die Raumstruktur weiterhin ein maßgeblicher Erklärungsfaktor des Verkehrs.

Residenzielle Selbstselektion bezeichnet die Tendenz von Personen und Haushalten, Wohnstandorte entsprechend ihrer Mobilitätspräferenz zu wählen, was eine umgekehrte Richtung des Zusammenhangs zwischen gebauter Umwelt und Verkehr impliziert (Schimohr et al., 2023). Der Einbezug von Selbstselektion in die Erklärungsmodelle kann zwar Effekte der gebauten Umwelt abschwächen (Cao et al., 2009), die Effektstärke wird jedoch als gering bewertet (Ewing & Cervero, 2010), was in anbietergesteuerten Wohnungsmärkten umso stärker zutrifft. Die Kontrolle auf residenzielle Selbstselektion kann in bestimmten Fällen sogar Effekte der gebauten Umwelt wie Dichte oder Entfernung zur Innenstadt auf den Verkehr verstärken (Chatman, 2009). Als Erklärungsversuch wird herangezogen, dass Personen, die eigentlich bevorzugt in dichten Innenstadtlagen leben würden, aufgrund geringer Wohnungsverfügbarkeit oder finanzieller Restriktionen in Randlagen, suburbanen oder ländlichen Räumen wohnen (Stevens, 2017). Da die raumbezogenen Analysen dieser Dissertation auf Fahrtdaten basieren, kann der Effekt der Selbstselektion nicht explizit untersucht werden. Allerdings beziehen sich die Untersuchungsräume (Artikel 1 und 2) auf hochverdichtete innerstädtische Gebiete und die Angebote machen derzeit nur einen sehr geringen Anteil am gesamten Verkehrsaufkommen einer Person aus (infas et al., 2025). Vor diesem Hintergrund erscheint die Annahme, dass die Wahl eines innenstadtnahen Wohnstandorts maßgeblich durch die Verfügbarkeit von ESS oder Ridepooling beeinflusst wird, wenig plausibel (empirisch bestätigt in Projektteam STAWAL, 2024). Entsprechend ist der Einfluss der Selbstselektion in Innenstadtlagen als gering einzuschätzen. Beim Zuzug in ausgewiesene autoreduzierte Quartiere erweist sich die Verfügbarkeit von Shared Mobility Angeboten hingegen als Einflussgröße für die Wohnstandortwahl (Klein et al., 2024).

2.3 Multimodalität und Intermodalität

Multimodalität wird im Verkehrskontext als die Nutzung unterschiedlicher Verkehrsmittel bei der Durchführung von Wegen innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls (in der Regel innerhalb einer Woche) definiert, während Intermodalität die Nutzung unterschiedlicher Verkehrsmittel innerhalb eines Weges beschreibt (Nobis, 2015). Bezüglich raumstruktureller und soziodemographischer Einflüsse auf multimodales Mobilitätsverhalten zeigt die Metastudie von Huang et al. (2024), dass

- höhere Dichte, größere Nutzungsmischung, Verfügbarkeit von Fahrradinfrastruktur und bessere Erreichbarkeit von öffentlichen Verkehrsangeboten über mehrere empirische Untersuchungen hinweg positiv mit multimodalem Verhalten korrelieren,
- Frauen aufgrund vielfältigerer Mobilitätsmuster häufiger multimodal unterwegs sind als Männer und
- jüngere sowie ältere Menschen ein höheres Maß an Multimodalität als Menschen mittleren Alters zeigen, die aufgrund familiärer oder beruflicher Zwänge eher monomodal unterwegs sind.

So führen beispielsweise Lebensereignisse wie der Auszug der Kinder, der Austritt aus dem Arbeitsmarkt oder der Verlust der Verfügbarkeit eines privaten Autos zu einer Erhöhung der Multimodalität (Scheiner et al., 2016). Hinsichtlich der Motive des multimodalen Verhaltens wird in der Regel zwischen zwei Gruppen unterschieden. Zum einen sind es Nutzende, die mit den multimodalen Mobilitätsoptionen zufrieden sind und aktiv das geeignete Verkehrsmittel für jeden Weg auswählen. Zum anderen sind es Nutzende, die eigentlich ein monomodales Verhalten mit dem Auto bevorzugen würden, allerdings aufgrund von ökonomischen Zwängen oder fehlendem Autobesitz auf multimodale Optionen angewiesen sind (Delbosc & Nakanishi, 2017; Diana & Mokhtarian, 2009; Huang et al., 2024).

Die Basis intermodaler Wegeketten bildet in den meisten Fällen der ÖPNV (Oostendorp & Gebhardt, 2018). Die Nutzung einer Kombination verschiedener Verkehrsmittel erfolgt dabei vor allem bei Arbeits- und Freizeitwegen (Oostendorp & Gebhardt, 2018) und wird häufiger von jüngeren Frauen mit höherem Bildungsniveau praktiziert (Jarass & Oostendorp, 2017). Hohe Nutzungsmischung und geringe Distanzen zu ÖPNV-Haltestellen sind wichtige Einflussgrößen für intermodale Wege (Chen et al., 2021). Der Einfluss der gebauten Umwelt variiert allerdings räumlich: Während in städtischen Zentren das intermodale Verkehrsaufkommen am stärksten durch die Raumstruktur beeinflusst wird, gewinnen in suburbanen Räumen

soziodemographische Merkmale an Bedeutung (Lei et al., 2024). In ländlichen Gebieten hingegen sind die Erreichbarkeit bzw. Dichte der Businfrastruktur zentrale Prädiktoren für intermodale Wege (Lei et al., 2024).

2.4 Anwendung der theoretischen Grundlagen in der Dissertation

Die Kombination der Modellierung von raumstrukturellen Einflüssen auf den Verkehr mit einem aktivitätsbasierten Verkehrsverständnis bilden in dieser Arbeit die Grundlage für die Interpretationen der Ergebnisse. Dies ist gut am Beispiel von Fahrtzwecken zu verdeutlichen, die anhand der raum- und zeitlichen Analysen abgeleitet werden: Die Anzahl der ESS-Fahrten in einer Verkehrszelle wird signifikant von der Anzahl der Arbeitsplätze in dieser Zelle beeinflusst. Darüber hinaus zeigt die Analyse der zeitlichen Dimension, dass es unter der Woche ein erhöhtes ESS-Aufkommen zur morgendlichen Rush-Hour gibt (welches am Wochenende ausbleibt) und der Anteil der intermodalen Fahrten mit ESS zu dieser Zeit am höchsten ist. Während die Ergebnisse voneinander losgelöst keine Schlussfolgerung hinsichtlich des Wegezwecks zulassen, führt die kombinierte Interpretation der Ergebnisse in Bezug auf Aktivitäten zu der These, dass ESS in intermodalen Wegen mit dem ÖPNV zum Pendeln genutzt wird.

Sofern keine weitere Validierung erfolgt, darf diese These jedoch nicht als endgültiges Fazit bewertet werden, da die Analysen anhand von aggregierten Fahrtdaten durchgeführt werden und nicht anhand von Befragungsdaten in klassisch disaggregierten Aktivitätsmodellen. Auch wenn es in den durchgeführten Befragungen einzelne Items zu Motiven gibt, kann in der Arbeit kein Entscheidungsmodell für die Verkehrsmittelwahl geschätzt werden (zu Motiven der Verkehrsmittelwahl ESS & Ridepooling siehe Forschungsstand in Kapitel 3). Die notwendige Inklusion der erhobenen soziodemographischen Merkmale in die Regressionsmodelle ist nicht möglich, da es sich bei den Fahrtdaten und Befragungsdaten um zwei separate Datensätze ohne Referenzpunkt handelt. Somit ist es nicht möglich, eine Person einer bestimmten Fahrt zuzuordnen. Die durchgeführten Befragungen haben deshalb in der Dissertation einen ergänzenden Charakter, um soziodemographische Verkehrsdeterminanten zu erheben und orientieren sich in der Fragebogengenerierung an den Items der Erhebungsreihe Mobilität in Deutschland (MiD). Neben den klassischen soziodemographischen Variablen (F1) werden Nutzungshäufigkeiten (F2), multi- und intermodales Verhalten sowie Substitutionspraktiken (F3) erhoben. Individuelle Erklärungsgrößen wie Einstellungen und Normen wurden in den Befragungen bewusst ausgeklammert, um einen kurzen Fragebogen zu ermöglichen, der (im Falle Ridepooling) auch während der Fahrt ausgefüllt werden kann. Die Befragungsergebnisse können als Validierung der aktivitätsbezogenen Annahmen zu Wegezwecken herangezogen werden. Ähnlich wie die

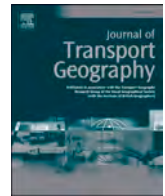
oben erläuterte Ausführung zu ESS, hier ein Beispiel für Ridepooling: Die Anzahl der Ridepooling-Fahrten in einer Verkehrszelle wird positiv von der Anzahl der gastronomischen POI in der Zelle beeinflusst. Gleichzeitig konzentriert sich die Nachfrage vor allem auf die Abendstunden. Daraus lässt sich die These ableiten, dass Ridepooling für Freizeitaktivitäten genutzt wird. Diese Annahme wird durch die Befragung bestätigt, in der Freizeit am häufigsten als Fahrtzweck genannt wird.

Neben der Beschreibung der aktuellen Nutzung von Shared Mobility (F1, F2, F3) sind die Erkenntnisse zum Einfluss der Raumstrukturen und Soziodemographie auf den Verkehr und multi- bzw. intermodale Mobilitätsmuster auch essenziell für die Beantwortung von F4. Um zu verstehen, unter welchen Bedingungen die Angebote auch in diesen weniger verdichteten Räumen funktionieren, müssen potenzielle Nutzergruppen und räumliche Einflussfaktoren auf die Nachfrage identifiziert werden.

3 Artikel

3.1 Artikel 1

Gödde, J., Ruhrort, L., Allert, V., Scheiner, J., 2023. User characteristics and spatial correlates of ride-pooling demand – Evidence from Berlin and Munich. *Journal of Transport Geography* 109, 103596. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103596>.



User characteristics and spatial correlates of ride-pooling demand – Evidence from Berlin and Munich

Jan Gödde^{a,*}, Lisa Ruhrort^b, Viktoria Allert^a, Joachim Scheiner^c

^a Technische Universität Dortmund, Department of Spatial Planning, Spatial Transformation in the Digital Age Group, 44227 Dortmund, Germany

^b Nürtingen-Geislingen University, 73312 Geislingen, Germany

^c Technische Universität Dortmund, Department of Spatial Planning, Urban Development Group, 44227 Dortmund, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:

Ride-sharing
Ride-splitting
Ride-pooling
On-demand mobility
Demand-responsive transport
Spatial regression

ABSTRACT

As ride-hailing services – such as Uber and Lyft – dominate the market for digitized on-demand mobility solutions, these cab-like services face strict regulations in Germany. Here, ride-pooling services have begun to establish themselves in multiple cities. Instead of transporting passengers individually, ride-pooling services try to bundle journeys with similar routes in real time. Since the launch of commercial ride-pooling services in Germany in 2016, CleverShuttle has been one of the most prominent providers. To get a better understanding of ride-pooling users and their travel behavior in an urban environment, this article shows empirical data from a survey of CleverShuttle users as well as a spatial analysis of CleverShuttle trips made during the year 2019 for the cities of Berlin and Munich. We perform spatial regressions to identify spatial correlates of ride-pooling demand. The analysis of both survey and trip data leads to complementary results. Ride-pooling users in Berlin and Munich tend to be young and low-income, with leisure activities in the evening being their primary purpose of travel, followed by commuting. An intermodal use of ride-pooling with rail transport can be assumed for long-distance travel with origins or destinations outside the city's boundaries, rather than for trips within the city centre. The results also suggest that ride-pooling offers a mobility solution complementary to public transport in times when public transport is inconvenient or not available.

1. Introduction

Recent years have seen a proliferation of new mobility services. Platform-based technology enables new flexible matching of supply and demand, which has been used to develop a broad range of services: short-term rental services such as car-sharing, bike-sharing or e-scooter-sharing, as well as ride-hailing services such as Uber and Lyft, but also ride-pooling services such as Via, Chariot or the German contenders under the names of MOIA or CleverShuttle. Ride-pooling service CleverShuttle, which will be the focus of this study, can be categorized as a mixture between “demand responsive transport services” (DRT) and shared taxis: The service aims to be cheaper in comparison to a regular taxi, but in exchange, other users can join in during the ride if the spatial and temporal components of the booking requests coincide. The cost is calculated from the length of the route and the number of seats booked. In comparison to a static taxi fare, which is calculated for just the length of the route, one can assume that especially single travelers would benefit from the lower prices when using the ride-pooling service

compared to a taxi. Unlike regular taxi services, CleverShuttle operates with a purely app-based instead of a call-based booking system. In contrast to services such as UberPool or LyftLine, German contenders MOIA and CleverShuttle are based on mandatory pooling: passengers cannot choose to ride on their own. In Germany in particular, the market for such services has seen a dynamic development in recent years. Beginning in 2016, private companies like CleverShuttle and later MOIA began to establish commercial ride-pooling services in the form of a business-to-consumer-model (B2C). Providers claimed to ‘fill the gap’ between public transport, taxi and private car by offering lower costs than taxis or cars, but also higher flexibility than public transport. At the same time, other contenders (e.g. ViaVan, Door2Door) entered the market in joint-ventures with municipal public transport providers to establish on-demand ride-pooling services as replacement or addition to traditional public transport (business-to-government-model, B2G). From the start, both business models were confronted with regulatory obstacles. While in 2019 CleverShuttle and MOIA were only able to operate with a special permit, the national government passed a reform

* Corresponding author.

E-mail address: jan.goedde@tu-dortmund.de (J. Gödde).

<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103596>

Received 18 July 2022; Received in revised form 21 December 2022; Accepted 21 April 2023

Available online 28 April 2023

0966-6923/© 2023 Elsevier Ltd. All rights reserved.

of the Passenger Transportation Act (*Personenbeförderungsgesetz*) in 2021 to enable further growth of ride-pooling services. The reform now provides the legal basis for the operation of ride-pooling services, both as integral parts of publicly funded public transport (B2G) and as commercial services (B2C). This greatly improved the conditions for the establishment of such services. Contrary to this, the COVID-19 pandemic had a strong negative impact on the market for commercial ride-pooling, which contributed to CleverShuttle withdrawing from the B2C-market. The company now focuses on the B2G-market, which began to grow substantially. The future role of ride-pooling services is highly contested, with critics pointing to potentially high operating costs, low efficiency and potentially negative sustainability effects (Burgdorf et al., 2019). Nonetheless, there are reasons to expect further market growth in Germany. Against this background, it is necessary to study the demand patterns, user characteristics, and user preferences of different types of ride-pooling services. To get a better understanding of ride-pooling users and their travel behavior in an urban environment, this article shows empirical evidence from a survey of CleverShuttle users as well as a spatial analysis of CleverShuttle trips made during the year 2019 for the cities of Berlin and Munich. While other studies often rely on either analysis of trip data or survey data, this combination of methods allows us to present a clearer picture of ride-pooling users and their movement patterns in the urban space. To complement previous research on ride-pooling services we will be focusing on the following research questions:

- (1) Who are CleverShuttle ride-pooling users?
- (2) For which purposes do people use CleverShuttle ride-pooling?
- (3) What are the spatial and temporal correlates of CleverShuttle ride-pooling demand?

1.1. General ride-pooling literature

There has been a substantial amount of research on the topic of newly emerging mobility systems such as demand-responsive transport services. As for non-pooled ride-hailing, an extensive literature review by Tirachini (2020) gives an overview of user characteristics and travel behavior. Regarding our research questions, Tirachini concludes that the services are disproportionately used by young, well-educated, and wealthier people on an occasional basis, with leisure being the main purpose of travel. There has also been several studies on the influence of the built environment on ride-hailing demand, which resort to (spatial) regression analysis of trip data. While in many studies built environment variables such as land use diversity, population, employment, or activity density are associated with higher demand (Ghaffar et al., 2020 for Chicago; Sabouri et al., 2020 for nationwide U.S.; Yu and Peng, 2019 for Austin), Yang et al. (2022) found a high market share of ride-hailing to be associated with areas of low population and transport facility densities in New York City. The use in areas with less public transport accessibility, combined with the low frequency of use might suggest a complementary effect of ride-hailing services. However, the magnitude of this type of use compared to the substitution of other modes is unknown (Tirachini, 2020). Studies show that ride-hailing services mostly substitute taxi, public transport and to a lesser extent car usage (de Souza Silva et al., 2018; Tang et al., 2020; Tirachini and Gomez-Lobo, 2020) while also inducing a significant amount of trips (Henao and Marshall, 2019). As for ride-pooling, most of the literature has been simulation studies, which examine the potential to reduce either vehicle kilometers traveled (VKT) or GHG emissions (Engelhardt et al., 2019; Tu et al., 2021; Zhu and Mo, 2022; Zwick et al., 2021b, 2021c). Critics see a risk of pooling services substituting taxis and public transport without achieving sufficient pooling quotas and thus potentially increasing VKT (Karl and Werner, 2020; Schaller, 2021). Also, there has been a number of studies, which contain reasons why people choose ride-pooling modes over other modes or ride-hailing modes with optional pooling (e.g. UberPool or LyftShare). Abouelela et al. (2022) investigated the factors

impacting the decision to use the pooled vehicle service scheme Jetty in Mexico by surveying their users. They found user sociodemographics and travel attitudes to be the main drivers to shift to pooled rides, with personal income being the most significant sociodemographic attribute. In their analysis, high income leads to more frequent use as well as a higher probability of mode shift from a car to Jetty. Frequent public transport users were less likely to shift from public transport or car trips to Jetty. In contrast, Spurlock et al. (2019) found in their survey of San Francisco Bay Area residents all income groups to be interested in adopting pooled ride-hailing options while only people with higher income were likely to adopt non-pooled ride-hailing. Hou et al. (2020) results of their spatiotemporal analysis of ride-hailing trips in Chicago indicate that trips during the night and trips from or to the airport were less likely to be shared trips while the cheaper tariff seemed to be a main factor influencing the willingness to pool. Dean and Kockelman (2021) also found trips with longer distances with consequently greater cost savings were more likely to be requested as shared rides for ride-hailing trips in Chicago. Shared trips were also more likely to be requested in areas with higher shares of young or unemployed residents and households without access to a car. As for factors negatively affecting the willingness to choose UberPool and LyftShare compared to their ride-hailing counterparts, the increased travel time and lack of privacy seem to be significant (Malik et al., 2021). The importance of cost as a driver of ride-pooling demand also reflects in findings by Krauss et al. (2022). In their stated preference survey about transportation choice of different shared transport services with 1445 respondents in Germany, they found the cost of travel to be the most important utility driver for ride-pooling services. Among the 237 participants of a conjoint analysis of German city-dwellers, König et al. (2018) also concluded the fare to be the most important attribute of ride-pooling services, especially for younger people.

1.2. Studies on ride-pooling user characteristics and spatial correlates of ride-pooling demand

In contrast to ride-hailing, there is only little literature with a focus on user profiles of ride-pooling users or analysis of the influence of the built environment on ride-pooling demand. In the following, we briefly summarise the results of previous studies relevant to our research questions. Weckström et al. (2018) conducted an ex-post survey & trip analysis on a ride-pooling pilot Kutsuplus in Helsinki, which operated from 2012 to 2015. The service was mainly used for recreational and work-related trips, almost equally by men and women of all ages. The highest concentration of origins and destinations was located mostly around business-related parts of the downtown area. In an analysis of non-pooled and pooled ride-hailing trips in the Greater Boston region, users who chose the pooled option were found to be younger, low-income and were less likely to own a car than non-pooled ride-hailing users (Gehrke et al., 2021). In another comparison of non-pooled and pooled trips in Chengdu, Li et al. (2019) found built environment variables like population density and a diverse land-use mix to have a positive effect on pooled trip generation. As for survey- or trip-based analyses of commercial ride-pooling in Germany, there are four studies that all focus on B2C ride-pooling service MOIA. Gilibert et al. (2019) conducted a case study on a pilot test program by MOIA in Hanover with 1211 registered MOIA users. Out of the respondents, most were employed, between the age of 30 and 45 with about two-thirds being male. About 96% of participants had a driving license and over 75% had access to a car. The main purpose of travel were leisure activities and rides to or from the airport. Users who did not have a driver's license were part of the main group of respondents that indicated using MOIA as a mode of transport to commute. Kistorz et al. (2021) conducted an online survey among users and non-users of MOIA in Hamburg. Similar to the previous study, the majority of users were between the ages of 30–49 and employed, with about 27% being 50 years of age or older. Leisure was also the most mentioned purpose of travel, followed by

work-related trips. Contrary to Hanover, the share of men and women was distributed almost equally. MOIA ride-pooling users displayed clear multimodal travel behavior while also having higher car ownership rates and car usage frequencies than the average population. Zwick et al. (2021a) used spatial regressions with MOIA trip data to examine spatial determinants of ride-pooling usage in Hamburg over the course of the COVID-19 pandemic. The results show a positive effect of the number of inhabitants, workplaces, gastronomic facilities, rail stops, and the airport on ride-pooling demand in 2019, during the time of the first lockdown in Germany in the spring of 2020 and post lockdown in the autumn of 2020. While the positive effect of the predictors were significant in all three models, the effect of gastronomic facilities and the airport reduced over time. Another set of pre-pandemic MOIA demand data from Hamburg and Hanover was analysed by Zwick and Axhausen (2022). They also confirm a positive influence of population, workplaces, gastronomy or cultural-related locations, and rail stops. Additionally to the positive impact of rail stops, the areas around the rail stations were less in demand, suggesting ride-pooling might be used in intermodal trip chains with public transport. The temporal distribution of trips over the course of the day showed two peaks for demand around 6 pm and midnight.

2. Methods

2.1. Data

We analyze two different sets of data to answer our research

questions. The first data set is a survey ($n = 1814$) conducted in cooperation with CleverShuttle during the period of 01.02.2020 to 15.03.2020 in Berlin and Munich. After booking their ride, users got a notification in their CleverShuttle smartphone app to participate in the survey. The survey was designed to be short, so people could answer the questions during their ride. Thus, the survey was available to everybody, who used CleverShuttle during that time. Judging by the number of bookings and total responses during that period, a very low return rate can be taken. The full questionnaire is available on request. The second set of data contains a sample of CleverShuttle trip data for the cities of Berlin and Munich as well as operational figures provided by CleverShuttle for temporal distribution based on all trips made with CleverShuttle in 2019 in each city. In 2019, CleverShuttle averaged about 1500 (Berlin) and 850 (Munich) transports per day, with the maximum fleet size being 110 and 73 vehicles respectively and almost half of all trips being shared by different parties (average share of pooled trips: Berlin 49%, Munich 46%). A trip counts as 'pooled' when at least two different booking requests are bundled together. It is likely that even the 51% non-pooled trips include some joint trips, e.g. when a booking request was made by a group of friends or a couple. To analyze the spatial distribution of the trip data in the two cities we use a randomized sample of 40,000 trips (20,000 per city) made in 2019. The raw data consists of the geographical coordinates of the origin and destination points of each trip.

To determine which spatial factors increase or decrease ride-pooling demand, we carry out a spatial regression model using the trip data. The dependent variable 'demand' is the sum of ride-pooling origins and

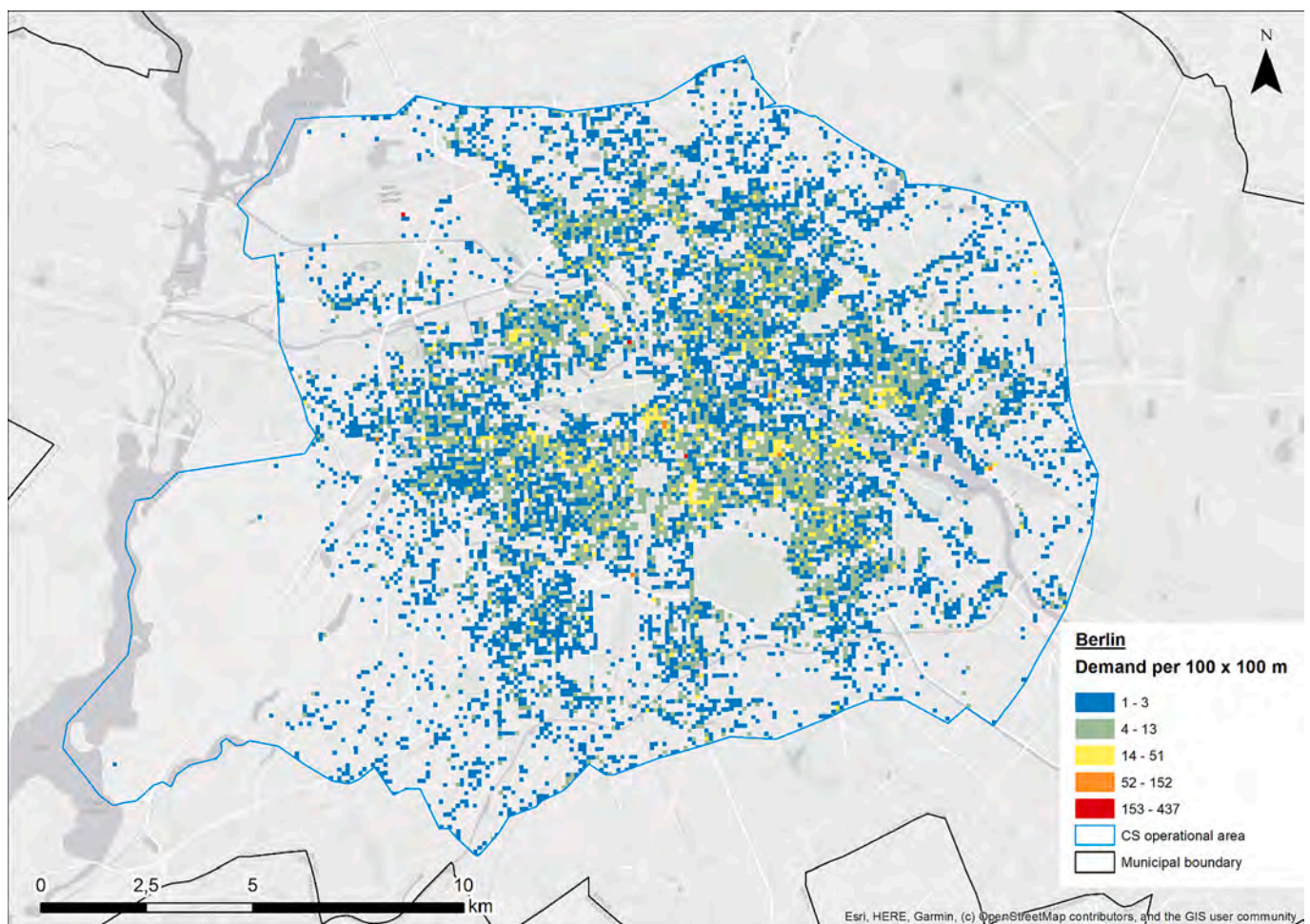


Fig. 1. Spatial distribution of CleverShuttle ride-pooling demand per 100 m × 100 m grid cell in Berlin, CS = CleverShuttle (map data: Esri, HERE, Garmin, OpenStreetMap contributors).

destinations within a 100 m × 100 m grid cell. The geographic scope extends across the operational area of CleverShuttle for each city (see Figs. 1 & 2). The total number of grid cells is $n = 30,940$ for Berlin and $n = 13,915$ for Munich. The base grid can be accessed through the Federal Agency for Cartography and Geodesy Germany (<https://gdz.bkg.bund.de>). We select explanatory variables based on previous spatial analysis on ride-pooling demand and data availability below the municipal level. Data from the most recent 2011 census is used for population counts per 100 m × 100 m grid cell and is obtained through <https://www.zensus2011.de>. We use data for points of interest, rail stops, and land use from OpenStreetMap (<https://download.geofabrik.de/>). The land use variables are calculated as the share of the corresponding land use type per grid cell. We select the four land use types which are largest by area (OSM tags: commercial, industrial, residential, retail) as well as spaces marked with the tag `recreation:ground` given the assumption of increased use of ride-pooling for recreation purposes. In the cities of Berlin and Munich, this tag mostly represents parks, public swimming pools, sporting facilities, playgrounds and squares used for cultural events. We categorize points of interest for 'gastronomy' as well as 'shopping facilities' and complement each category with relevant tags similar to the OSM tags used by Zwick et al. (2021a). OSM tags for gastronomy include `bar`, `biergarten`, `cafe`, `fast_food`, `food_court`, `nightclub`, `pub`, `restaurant`. OSM tags for shopping facilities include `beverages`, `clothes`, `department_store`, `furniture_shop`, `garden_centre`, `mall`, and `supermarket`. The variable 'rail stops' consists of OSM tags `railway_station`, `railway_halt`, and `tram_stops`. In the OSM database, `railway_station` denotes the actual station, `railway_halt` usually refers to railway stations where only passenger trains stop and `tram_stops` refers

to tram and light rail stations. Even though the points for each rail stop are correctly placed geographically, the stops in Berlin and Munich are not uniformly tagged and differ from the correct term. For the variable rail stops, we manually select all stops, which are accessed by passenger trains (ICE, IC, Regionalbahn, S-Bahn, U-Bahn or Straßenbahn). The airport is only considered for Berlin since the airport in Munich is not part of the CleverShuttle operational area. The used variables for the two different kinds of points of interest, rail stops, and airport are counts, aggregated per grid cell. Even though the airport is very large, there is only one entrance area where taxis and CleverShuttle may park temporarily. In our model, the airport is a point variable geographically set at the entrance area. Since we did not have access to data on the spatial distribution of jobs below the municipal level, we also add the number of purely commercially used houses per grid cell to include a job-related variable in the equation. This variable is extracted from the socio-economic dataset RWI-GEO-GRID (RWI, Microm, 2021). As the data for these buildings is only available on a 1000 m × 1000 m grid, we overlay this data with our 100 m × 100 m grid and assign the 1000 m values for each of the corresponding grid cells. Even though this means allocating the same value for each 100 squared grid cells, we argue that this is nevertheless a better solution than the alternative of only relying on the percentage of commercial land use as a job-related variable given its importance as trip origins and destinations. To avoid confusion with the variable for commercial land use, hereafter we refer to the number of commercial buildings as the variable named 'businesses'. Descriptively speaking, in Berlin and Munich high percentages of businesses are located in the central parts of the cities while high percentages of commercial land use per grid cell are usually found in large-scale

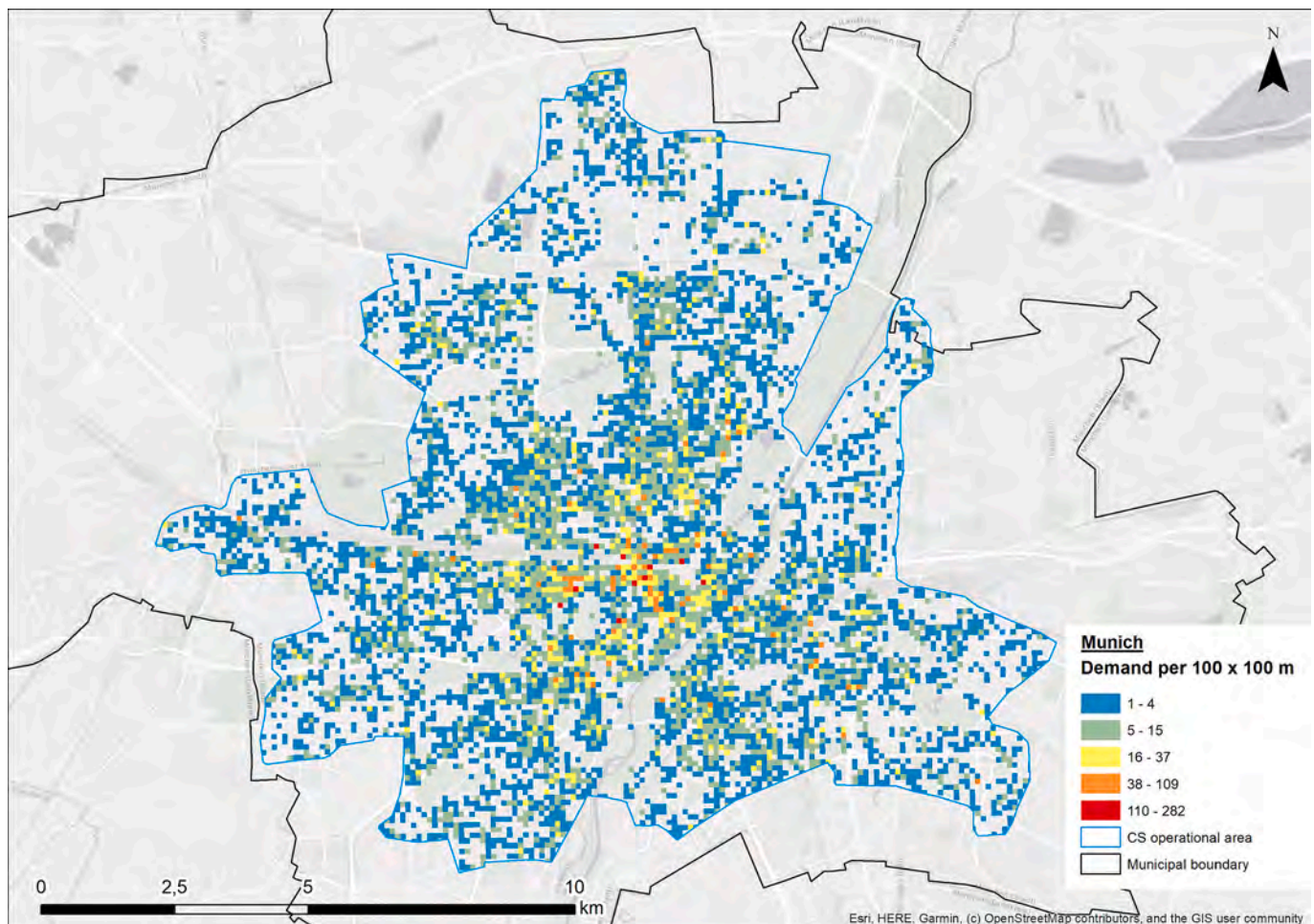


Fig. 2. Spatial distribution of CleverShuttle ride-pooling demand in Munich, CS = CleverShuttle (map data: Esri, HERE, Garmin, OpenStreetMap contributors).

commercial zones in the outskirts. (See Table 1 for the statistics of used variables.)

2.2. Modelling approach

Most regression models for count data use Poisson distribution or negative binomial distribution. Since our dependant variables display overdispersion, meaning variance exceeds mean value (var/mean Berlin: 17,8; var./mean Munich: 22,6), the assumption of the Poisson distribution of near equal mean and variance values is not met. Consequently, we start out with a negative binomial regression carried out by function `glm.nb` with the MASS package in R-4.1.2. Multicollinearity is accounted for by using variance inflation factors (VIF). The highest VIF values in our regression models of $VIF = 1,69$ for Berlin and $VIF = 1,46$ for Munich are well below the generally accepted maximum VIF values of 5 or 10 (James et al., 2013: 101).

The negative binomial regression model is non-spatial, it doesn't account for spatial dependence in the error term or the dependent variable. Since our data is spatially distributed we use Moran's I (Moran, 1950) to identify spatial autocorrelation. To characterize spatial dependences we construct a queen's contiguity weight matrix, which assigns weights to the neighbours of each grid cell. Either having a common edge or a common corner to that grid cell determines neighbours. Each grid cell can therefore have a maximum of eight neighbouring cells. We argue that a local contiguity matrix displays appropriate relations since we analyze a free-floating car service for which the origins or desired destinations of the user may be assumed to be in close proximity to the actual georeferenced origin or destination point of the CleverShuttle trip. Moran's I statistics and the contiguity matrix were calculated by using the functions `moran.test` and `poly2nb` in R-4.1.2 with the package `spdep`. The Moran's I test is significant ($p < 0.000$) for the residuals in both the regression model for Berlin and the model for Munich. Given the high share of grid cells with zero values for CleverShuttle demand, we also estimate a zero-inflated negative binomial model for each city, which also shows significant Moran's I statistics ($p < 0.000$). Therefore, we assume that a spatial regression model is more suitable for our data. Spatial autocorrelation can be considered in the model by either including spatial lags, spatial errors or both. To determine which spatial regression model fits our data we execute the Lagrange-Multiplier tests for spatial lag and spatial error dependencies (Anselin, 1988). Its results indicate a significant spatial dependence in the error terms (RLMerr $p < 0.000$) as well as spatial influence of predictors from adjacent grid cells (RLMlag $p < 0.000$) for both cities. Since the Lagrange-Multiplier tests are originally designed for linear models, we also execute the Lagrange-Multiplier tests for an OLS linear model with log-transformed data, with a similar outcome. Commonly used local spatial error models are the Spatial Error Model (SEM) and the Spatial Durbin Error Model (SDEM) (LeSage, 2014). The SEM assumes that at

least one variable is missing from our equation which also shows spatial dependence of its own. This results in spatially related clusters of high residuals, which can't be explained by our chosen predictors. The SDEM combines the SEM with a spatially lagged x model. It not only accounts for spatial dependence among the error terms but also the spatial influence of neighbouring independent variables. As the Lagrange-Multiplier tests showed significant spatial influence of neighbouring predictors as well as spatial errors, we continue with the Spatial Durbin Error Model (SDEM). Since the SDEM is a linear model and the count data follows a negative binomial distribution, we log-transform the dependent variable to approximate a linear distribution. We also log-transform the independent variables for consistency. For log-transformation, we use the term $\log(x + 1)$ to avoid dropping other cells with zero values. The SDEM formula expresses in comparison to an OLS linear regression model as follows:

$$\text{OLS} : y = X\beta + \varepsilon$$

$$\text{SDEM} : y = X\beta + Wx\theta + u \quad u = \lambda Wu + \varepsilon$$

where θ equals the coefficient of neighbouring predictors and u being the unexplained value, which not only consists of the unexplained stochastic error term ε but also of a function of the neighbours residual values, λ being the coefficient for the missing variable, W being the weight matrix. We use function `errorsarm` from package `spatialreg` in R-4.1.2 to run the SDEM. Finally, we compare the SDEM with a SEM and a SLX model by a maximum likelihood test, which confirms the best fit of the SDEM.

3. Results and discussion

In this section, we present the results from the survey that provide answers to our research questions (1) 'Who are CleverShuttle ride-pooling users' and (2) 'For which purposes do people use CleverShuttle ride-pooling?'. We discuss the findings in comparison to data for the average citizen in Berlin and Munich. We further report the results of the spatial regression model of ride-pooling trips and the operational statistic for temporal distribution provided by CleverShuttle to generate complementary answers to question (2) and answer question (3) 'What are the spatial and temporal correlates of CleverShuttle ride-pooling demand?'

3.1. Survey results

Table 2 shows the socio-demographic characteristics of CleverShuttle ride-pooling users. The gender distribution is almost identical in both cities. The age distribution shows that mostly younger people use the service. While only 21% of the users are 40 years or older, the age

Table 1

Descriptive statistics of variables used in negative binomial regression ($\log(x + 1)$ of variables used in spatial regression).

	Values per Grid Cell:	Berlin				Munich			
		Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
Demand	Count	0	437	1.29	4.79	0	282	2.68	7.78
Land use:	%								
Commercial		0	1	0.04	0.15	0	1	0.05	0.18
Industrial		0	1	0.02	0.13	0	1	0.03	0.16
Recreation ground		0	1	0.01	0.11	0	1	0.01	0.06
Residential		0	1	0.38	0.41	0	1	0.47	0.44
Retail		0	1	0.01	0.08	0	1	0.01	0.09
	Count								
Rail stops		0	4	0.02	0.18	0	3	0.02	0.14
Gastronomy		0	17	0.28	0.94	0	16	0.25	0.85
shopping facilities		0	17	0.08	0.46	0	17	0.09	0.50
Population		0	1121	63.65	97.41	0	987	73.43	92.07
Businesses		0	4340	567.88	677.63	0	5284	679.15	755.57
Airport		0	1	0.00	0.01				

Table 2

Sociodemographic characteristics of survey participants (general population profile is gathered from administrative statistics (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2022; Statistisches Amt München, 2022; VGRdL, 2021) and *Mobilität in Deutschland* (MiD 2017) (infas, DLR, IVT, infas 360, 2018)).

CleverShuttle users				Population (averages)	
	Total (n = 1814)	Berlin (n = 1166)	Munich (n = 648)	Berlin	Munich
Gender					
Male	52%	52%	51%	49%	49%
Female	47%	47%	48%	51%	51%
Diverse	1%	1%	1%		
Age					
< 16	1%	0%	1%	15%	14%
16–20	10%	8%	12%	3%	3%
20–24	17%	15%	19%	5%	6%
25–29	22%	21%	22%	7%	9%
30–34	18%	17%	19%	9%	10%
35–39	12%	15%	9%	8%	8%
40–44	8%	8%	7%	7%	7%
45–49	6%	6%	6%	6%	7%
50–54	3%	4%	2%	7%	7%
55–59	2%	3%	1%	7%	7%
60 ≤	2%	2%	2%	25%	22%
Personal monthly gross income € (n = 959) (n = 545)				Avg. personal monthly gross income € (2019)	
0	17%	18%	16%		
500–1000	16%	15%	17%		
1000–1500	13%	14%	12%		
1500–2000	20%	21%	19%		
2000–3000	21%	20%	21%		
3000–4000	8%	7%	9%	3.201 €	
4000 ≤	7%	7%	7%		4.186 €
Driver's license				MiD 2017 results:	
yes	67%	68%	65%	Berlin 77%	Munich 88%
no	34%	33%	35%	23%	12%
Car ownership in household					
Yes	61%	53%	69%	49%	56%
No	39%	47%	31%	51%	44%
Public transport subscription					
Yes	58%	60%	55%	48%	47%
No	43%	40%	45%	52%	53%

group under 30 accounts for about half of all users. Respondents are somewhat older in Berlin. The results for CleverShuttle ride-pooling users show a high proportion of users with below-average income. The lower average incomes of CleverShuttle users may partially be explained by the high share of younger users, many of whom may be students. Judging by the high share of users with below-average income, the inexpensive price might be a key factor for the decision to use CleverShuttle. However, CleverShuttle ride-pooling accounts for only a very small portion of urban traffic. Most CleverShuttle users continue to use other modes of transportation for the majority of their trips. 60% of respondents use the service either once a month or several times a month, but only 19% select CleverShuttle as the mean of transport on a weekly or daily bases. Rather, CleverShuttle might be perceived as an additional transportation alternative when the social, spatial, or temporal conditions of the planned trip do not permit the use of one's own car or public transportation or appear to be inconvenient. The result for share of users who own temporal public transport subscriptions is much higher than the average share for major cities in Germany. In contrast, the proportion of people with a driver's license is comparatively low. Also, when asked which means of transport they would have used for the trip if CleverShuttle wasn't available, over half of the respondents stated that they would have used public transportation. Although an above-average number of Clevershuttle users also have a car of their own in

the household, only about 10% of respondents said they would have driven a private car instead of CleverShuttle. One could argue that for a large number of trips within highly dense cities such as Berlin and Munich, one's own car is not always the fastest or cheapest means of transport. We also asked the respondents if they would describe their CleverShuttle ride-pooling usage as a supplement to public transport. About 75% of the surveyed users either fully or rather agree with the statement. These findings further support the assumption that a majority of CleverShuttle ride-pooling users frequently use public transport. It also explains why ride-pooling replaces only a small percentage of car trips. Table 3 also displays the purpose of the current trip. With 57%, the majority of all trips are made for recreational purposes, while around 26% are made for work and business purposes.

3.2. Temporal distribution of demand

Fig. 3 shows the average hourly distribution of CleverShuttle demand for 2019 in Berlin and Munich for weekdays and weekends respectively. The demand rises in the early evening and reaches its peak between 11 pm and 1 am. The highest demand for CleverShuttle ride-pooling occurs at late hours, when public transport availability is less frequent, which often results in long waiting times. It is noticeable that there is no peak in morning rush hour time. This could relate to the fact that travel times with CleverShuttle can vary due to detours for collecting other passengers. Customers who want to arrive on time for work in the morning might not want to risk being late. Setting the temporal distribution in the context of the survey results, it becomes clear once again that people use CleverShuttle primarily for leisure activities in the evening. This suggests that ride-pooling might offer a mobility solution complementary to public transport in these times when public transport is inconvenient.

3.3. Spatial regression results

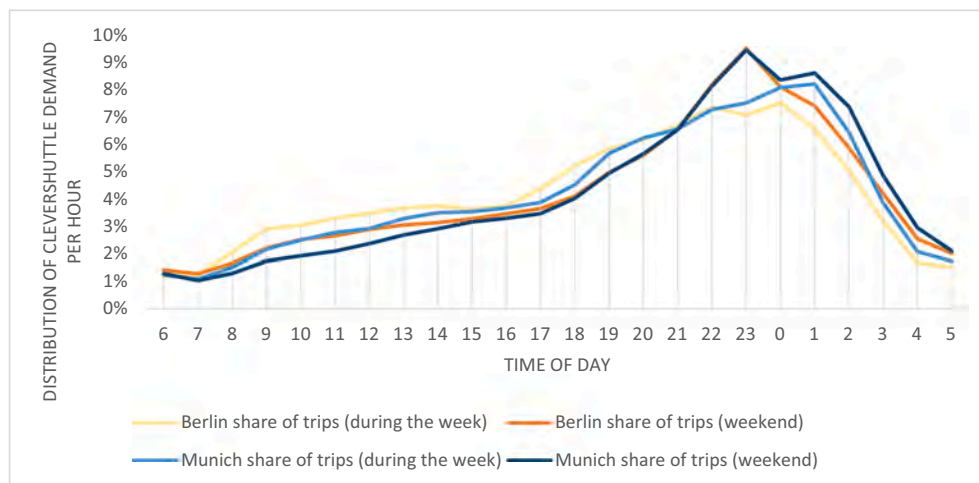
Table 4 shows the results for the Spatial Durbin Error Model for the cities of Berlin and Munich. The estimates assign to direct effects and indirect spillover effects to neighbouring cells, which are marked with the preface 'lag'. The estimates for direct effects show significance and the positive direction of relationship for the variables rail stops, gastronomy, shopping facilities, population, businesses, and the airport (of Berlin). We can assume that these factors have a positive effect on the demand for CleverShuttle ride-pooling, as long as they occur in the same grid cell. Regarding the categories for the share of land use per cell, only the coefficient for residential areas is significant in both cities. It also has a negative effect on CleverShuttle ride-pooling demand. This is a surprising result because one would assume that either the origin or the destination of the trip assigns to one's home. However, this could also be explained by the fact that we use the number of Clevershuttle trips per spatial unit as the dependent variable. The trips from or to one's home are most likely more evenly distributed in space. When examining the two job-related variables percentage of commercial land use and businesses, we see no significant effect for land use but positive direct and indirect effects for businesses. Supplementary to the results of the survey, we thus assume that in the cases where ride-pooling is used for commuting or business-related trips, the origins or destinations are spatially more likely to be located in the city centre with a density of purely commercially used estates and are less likely associated with business estates of larger scale outside of the downtown area. However, especially due to the significant indirect effect and the methodical inaccuracies of assigning the same value for each 100 squared grid cells for businesses, the results do not allow us to draw robust conclusions.

The airport stands out with a high coefficient compared to the other estimates. We must take into account that the airport variable consists of only one cell with a positive value in the entire data set of Berlin, which could distort the magnitude of the relationship, compared to other variables. However, descriptive analysis shows that the grid cell

Table 3

Usage patterns of survey participants.

How often do you travel with CleverShuttle?				How much do you agree with the following statement? I use CleverShuttle as a supplement to public transport"			
	Total	Berlin	Munich		Total	Berlin	Munich
This is my first time	9%	10%	8%	Do not agree at all	3%	3%	3%
Less than monthly	12%	14%	11%	Rather disagree	5%	5%	4%
Once a month	17%	17%	16%	Neither / neutral	17%	14%	19%
Several times a month	43%	41%	45%	Rather agree	26%	27%	26%
Several times a week	14%	14%	14%	Fully agree	49%	52%	47%
Daily / almost daily	5%	4%	6%				
What was the reason for your trip with CleverShuttle?				Which means of transport would you have used for this trip if CleverShuttle wasn't available?			
Purpose of trip	Total	Berlin	Munich		Total	Berlin	Munich
Not specified	1%	1%	1%	Private car (driver)	8%	9%	8%
Shopping or errands	8%	9%	7%	Private car (passenger)	2%	1%	2%
Commuting	17%	18%	15%	Public transport	55%	54%	57%
Business appointment	9%	9%	9%	Taxi	18%	17%	19%
Recreational	57%	54%	60%	Carsharing	4%	5%	3%
School / education	3%	3%	3%	Bike	2%	3%	2%
Miscellaneous	6%	6%	6%	Other	11%	12%	11%

**Fig. 3.** Temporal distribution of CleverShuttle ride-pooling demand in Berlin and Munich (yearly average 2019).

containing the airport has the largest sum of origins and destinations ($n = 437$) in the entire data set. The high estimate for the influence of the airport in Berlin could also be explained by the typical choice of transport for this type of destination. Since the airport is not directly connected to the rail system and also due to the elimination of long parking costs and convenience reasons, many people take the conventional taxi (cab) for the trip to the airport. Given that the CleverShuttle business model tries to be more affordable in comparison to a taxi, travelers might value CleverShuttle ride-pooling to be a cheaper alternative to the taxi or their own car and a more convenient alternative to the public transport system. Since the airport is only considered for Berlin, there also might be different socialization processes at work for starting to use CleverShuttle in the two cities. As airports are important ride-pooling trip attractors, people might get less used to ride-pooling if the airport in a city is not part of the service area, as in Munich. However, our data is not sufficient to answer this question. The positive correlation with rail stops could be an indication that CleverShuttle is used in intermodal trip chains with rail-based public transport. However, the data does not allow for a definitive conclusion. The results leave open two ways of interpretation. On the one hand, the estimates indicate that ride-pooling trips more often start or end in very close proximity to a rail stop (in the same $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ grid cell), which could mean that people change the mode of transport at these locations and use CleverShuttle in intermodal trip chains with rail transport. At least for Berlin, this explanation is supported by the significant negative indirect effect of the

rail stop variable, meaning rail stops have a negative effect on ride-pooling demand in neighbouring grid cells. In this case, the demand seems to be generated by the rail stop specifically. On the other hand, intermodal use of a ride-hailing, taxi, or in this case ride-pooling services is most conceivable in long-range travel rather than in short-range trips within the city center. In this case, the trip's origin or destination would be one of the major rail stations connected to the national rapid transit network to travel beyond the city's limits. Here, a similar explanation as for the airport case would be valid. In this interpretation, the positive correlation of rail stops is explained by the fact that CleverShuttle is used primarily in very central locations with high population density, where metropolitan cities like Berlin and Munich have a high density of rail and tram stops by nature.

The positive results for the points of interest match the findings of the survey and temporal distribution of demand. The majority of trips with CleverShuttle are made for leisure purposes. The positive influence of gastronomy such as cafes, bars, nightclubs, pubs, or restaurants is another indicator that CleverShuttle ride-pooling in Berlin and Munich is used mainly for recreational events in the evening. Additionally, gastronomy also has a significant positive indirect effect on ride-pooling demand. This could be because these facilities are often located in pedestrian zones or other inner-city locations that are not directly accessible by car. In addition, one can also argue with the density justification. A large number of gastronomic facilities in cities are geographically clustered in cultural districts. The estimates for the direct

Table 4
Spatial regression results for Berlin and Munich.

Spatial durbin error model	Berlin estimate	Munich estimate
Intercept	0.547	0.505
Commercial	0.036	0.081
Industrial	0.117	0.266
Recreation ground	0.217	−0.662
Residential	−0.199*	−0.139**
Retail	−0.115	0.023
Rail stops	0.291***	0.347**
Gastronomy	0.305***	0.452***
Shopping facilities	0.059**	0.113**
Population	0.054***	0.063***
Businesses	0.043**	0.055**
Airport	7.145***	
lag.Commercial	0.278*	0.264
lag.Industrial	0.246	0.184
lag.Recreation ground	1.952**	0.156
lag.Residential	−0.171*	0.089
lag.Retail	0.271	0.185
lag.Rail stops	−0.232**	0.183
lag.Gastronomy	0.248***	0.292***
lag.Shopping facilities	−0.066	−0.082
lag.Population	0.006	−0.001
lag.Business	0.038**	0.039**
lag.Airport	−0.505	

Significance indicator: * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$; *** = $p < 0.001$.

Berlin model: Log likelihood: −8088.706; Lambda λ : ***0.225.

Munich model: Log likelihood: −6440.504; Lambda λ : ***0.211.

or indirect influence of the share of recreation ground per grid cell do not allow a uniform conclusion for both cities. Since we see no significant effect in Munich, we can assume that CleverShuttle ride-pooling is not used for trips to recreational grounds like parks, public swimming pools, sporting facilities, or playgrounds in this city. On the contrary, in Berlin we find a significant comparatively strong indirect effect of recreational grounds on ride-pooling demand. A significant indirect effect is plausible in comparison to a non-significant direct effect, as these kinds of grounds are usually large-scale areas that rarely offer access for motorized vehicles within the same $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ cell, unless the grid cell only includes the outermost edge of the facility. While shopping facilities are significantly positively correlated to CleverShuttle demand in both cities, the share of retail land use per grid cell does not show any similar effect even though they are quite similar in nature. One explanation could be that given the compact size of the demand around the city centres, our model only includes retail stores in this very dense area. Due to the multi-story buildings, we see a high number of stores but a low percentage per grid cell since their area distributes horizontally. In general, a correlation makes sense in context of the survey results, which show that many users either do not own a car or otherwise frequently use public transportation. For purchases in department stores, clothing stores, or supermarkets, CleverShuttle might be a simple and convenient alternative. The spatial error variable lambda is statistically significant and moderately high in both cities. The unexplained variation in demand of CleverShuttle ride-pooling is positively correlated and shows spatial dependences in neighbours, as for example clustering. According to the results of previous research, omitted influential variables could be, among others, cars per inhabitant or more robust workplace-related variables. We were not able to include these in the model due to the lack of data availability below the municipal level.

4. Conclusions

4.1. Methods and limitations

This study uses survey and trip data to explore user characteristics as well as spatial and temporal correlates of ride-pooling service CleverShuttle in Berlin and Munich. We were not only able to analyze trip data but were also able to conduct a joint survey via the CleverShuttle

smartphone application. While other studies often rely on either trip data or survey data, this combined approach allows us to present a clearer picture of users and their movement patterns in the urban space. We resort to spatial regression analysis and confirm significant direct and indirect spillover effects (spatial lag) of the predictors on ride-pooling demand in Berlin and Munich. The spatial dependence of the residuals is also generated by an omitted variable, which itself displays spatial dependence (spatial error). The combination of methods lead to overlapping as well as complementary results, which allowed us to conclude robust answers to the research questions.

The limitations of the study concern both types of used data sets. As for the survey, the main restriction lies in the short time frame available for questioning. Since users had to fill out the questionnaire during their ride in the CleverShuttle vehicle, the scope of the survey was restricted to only a few questions. In addition, the survey cannot reflect a representative population of ride-pooling users. Regarding the spatial analysis of the trip data, the greatest limitation lies in the insufficient open-source data availability of different spatial determinants below the municipal level in Germany. Furthermore, the limited information for the available trip data did not allow for more in-depth spatiotemporal cross analysis, since the sample of trip data provided by CleverShuttle did not include the temporal dimension but only the spatial dimension of each trip. The operational figures provided by CleverShuttle for temporal distribution are based on all trips made with CleverShuttle in 2019 in each city. In addition, the independence of the two data sets did not allow us to assign trip data to individual respondents, which would allow for more in-depth person-related analyses. Since we use pre-pandemic CleverShuttle trip and survey data, we cannot fully estimate the influence of COVID-19 on different spatial determinants of ride-pooling demand. While the pandemic might have an effect on overall ride-pooling demand, the results from [Zwick et al. \(2021a\)](#) suggest that there are no major changes for the influence of spatial determinants.

4.2. Core takeaways

The results of the analysis show very similar results for Berlin and Munich. CleverShuttle ride-pooling users tend to be younger and less likely to possess a driver's license than the average population, with the majority of surveyed users being below the age of 30. They also have below-average income. While these results for socioeconomic characteristics differ from earlier findings on German ride-pooling service MOIA, they represent most of the indicators found to be relevant for choosing pooled ride-hailing options in case studies in other countries. The survey results indicate a supplementary use of ride-pooling to public transportation. This also manifests in the temporal distribution of demand for ride-pooling, which peaks around midnight when public transport is either not available or not convenient in a timely matter. Traditionally, the conventional taxi serves as the supplementary mode of transport during these late hours. Here, ride-pooling is therefore primarily a competitor to the taxi, not to public transport. This comparison to the taxi also applies to the route to the airport in Berlin, which is not spatially connected to public rail transport. Judging by the high share of users with below-average income, the inexpensive price seems to be one of the main motivations to use CleverShuttle over other modes, especially in the late hours of the day when ride-pooling is competing with a taxi instead of public transport. Even though [Zwick and Axhausen \(2022\)](#) show similar results for a positive direct and negative indirect effect of rail stops, we cannot say conclusively whether the service is used in intermodal trip chains with rail transport. Other spatial correlates that drive ride-pooling demand include various points of interest related to gastronomy like pubs, bars, cafes, nightclubs, and recreational grounds for Berlin. Combined with the survey results we conclude that the primary purpose of travel for ride-pooling in Berlin and Munich is recreational, with typical leisure activities in the evening being the main driver of demand. The survey results and spatial trip analysis show the service is used for commuting, but the lack of demand peaks during rush

hour suggests the magnitude of traffic is not as high as for recreational purposes. These findings are for the most part in line with previous research on ride-pooling, even though it is interesting to note that while MOIA and CleverShuttle sociodemographic and economic user characteristics differ, the trip purposes and spatial determinants of high ride-pooling demand seem to be similar.

4.3. Implications for further research

Since the data collection for this study, the ride-pooling market in Germany has undergone dynamic changes. While commercial B2C-ride-pooling was diminished in the context of COVID-19, the focus of market development has shifted to services being integrated into the public transport system. Companies such as IOKI, ViaVan or Door2Door, but also CleverShuttle are increasingly being commissioned by public transport providers to supplement or replace fixed-route public transport in times and areas of lower demand. On the one hand, the transport mandate provides private companies with a guaranteed income in smaller and less populated areas where they would otherwise not offer a service due to a lack of profitability. On the other hand, public transport gains flexibility and attractiveness by integrating the service into the public transport tariff system. Our results suggest that this integration makes sense: The majority of CleverShuttle users in our study are regular public transport users who use ride-pooling as a complementary service, particularly in times when public transport supply is patchy. Nonetheless, a number of key questions regarding the future role of ride-pooling services remain unanswered: in particular, which role these services should play in different spatial settings. In urban areas, ride-pooling could potentially be operated as a commercial service. In these areas, regulation will be necessary to minimize negative effects of competition with traditional public transport. Our results indicate increased demand for cases where public transport isn't spatially (airport) or temporally (night-time) adequately available. As this lack of availability is a concern for many suburban and rural areas, we see potential use for on-demand services in these areas. Here, on-demand ride-pooling has clear advantages over fixed-route services, but the costs of providing these services as part of public transport will be high. Further research should seek to establish a spatially sensitive framework for the systematic analysis of ride-pooling demand, to better understand the potential to establish such services as a supplement, replacement, or addition to traditional public transport. A promising starting point would lie in a systematic comparison of user profiles and spatial drivers of ride-pooling demand in urban, suburban, and rural areas, including the potential effects of different levels of integration into the public transport system. Germany could offer an interesting case study for this research, because of the increasing number of ride-pooling pilots and full-scale ride-pooling systems now being established in different municipalities.

CRediT authorship contribution statement

Jan Gödde: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Writing – original draft, Writing – review & editing, Visualization. **Lisa Ruhrort:** Writing – review & editing, Project administration. **Viktoria Allert:** Writing – review & editing, Data curation. **Joachim Scheiner:** Writing – review & editing, Supervision.

Declaration of Competing Interest

None.

Data availability

The data that has been used is confidential.

Acknowledgments

This research is supported by the German Ministry for Education and Research (BMBF), reference number 01UU1907A.

References

- Abouelela, M., Tirachini, A., Chaniotakis, E., Antoniou, C., 2022. Characterizing the adoption and frequency of use of a pooled rides service. *Transp. Res. Part C: Emerg. Technol.* 138, 103632 <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103632>.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2022. Statistischer Bericht A 1 3 - j / 20: Bevölkerung in Berlin 2020: Bevölkerungsentwicklung, Bevölkerungsstand, Lebenserwartung. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/a-1-3-j>. Accessed 13 July 2022.
- Anselin, L., 1988. Lagrange multiplier test diagnostics for spatial dependence and spatial heterogeneity. *Geogr. Anal.* 20 (1), 1–17. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1988.tb00159.x>.
- Burgdorf, C., Karl, A., Müller, M., Nakkash, N., Schaaffkamp, C., 2019. Perspektiven zur effizienten Nutzung von neuartigen Mobilitätsangeboten, p. 41. Accessed 11 July 2022.
- de Souza Silva, L.A., de Andrade, M.O., Alves Maia, M.L., 2018. How does the ride-hailing systems demand affect individual transport regulation? *Res. Transp. Econ.* 69, 600–606. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2018.06.010>.
- Dean, M.D., Kockelman, K.M., 2021. Spatial variation in shared ride-hail trip demand and factors contributing to sharing: lessons from Chicago. *J. Transp. Geogr.* 91, 102944 <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102944>.
- Engelhardt, R., Dandl, F., Bilali, A., Bogenberger, K., 2019. Quantifying the benefits of autonomous on-demand ride-pooling: a simulation study for Munich, Germany. In: 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), pp. 2992–2997. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8916955>.
- Gehrke, S.R., Huff, M.P., Reardon, T.G., 2021. Social and trip-level predictors of pooled ride-hailing service adoption in the greater Boston region. *Case Stud. Transp. Pol.* 9 (3), 1026–1034. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.05.004>.
- Ghaffar, A., Mitra, S., Hyland, M., 2020. Modeling determinants of ridesourcing usage: a census tract-level analysis of Chicago. *Transp. Res. Part C: Emerg. Technol.* 119, 102769 <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102769>.
- Gilbert, M., Ribas, I., Maslekar, N., Rosen, C., Siebeneich, A., 2019. Mapping of service deployment use cases and user requirements for an on-demand shared ride-hailing service: MOIA test service case study. *Case Stud. Transp. Pol.* 7 (3), 598–606. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.07.004>.
- Henao, A., Marshall, W.E., 2019. The impact of ride-hailing on vehicle miles traveled. *Transportation* 46 (6), 2173–2194. <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9923-2>.
- Hou, Y., Garikapati, V., Weigl, D., Henao, A., Moniot, M., Sperling, J., 2020. Factors influencing willingness to Pool in ride-hailing trips. *Transp. Res. Rec.* 2674 (5), 419–429. <https://doi.org/10.1177/0361198120915886>.
- infas, DLR, IVT, infas 360, 2018. Mobilität in Deutschland (im Auftrag des BMVI).
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R., 2013. An Introduction to Statistical Learning: With Applications in R, 8th ed. Springer, New York. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-7138-7>.
- Karl, A., Werner, J., 2020. Mehr Mobilität mit weniger Verkehr. *V+T* 12. <https://doi.org/10.373707/j.1868-7911.2020.12.08>.
- König, A., Bonus, T., Grippenkoven, J., 2018. Analyzing urban Residents' appraisal of Ridepooling service attributes with conjoint analysis. *Sustainability* 10 (10), 3711. <https://doi.org/10.3390/su10103711>.
- Kostorz, N., Fraedrich, E., Kagerbauer, M., 2021. Usage and user characteristics—insights from MOIA, Europe's largest ridepooling service. *Sustainability* 13 (2), 958. <https://doi.org/10.3390/su13020958>.
- Krauss, K., Krail, M., Axhausen, K.W., 2022. What drives the utility of shared transport services for urban travellers? A stated preference survey in German cities. *Travel Behav. Soc.* 26, 206–220. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2021.09.010>.
- LeSage, J.P., 2014. What Regional Scientists Need to Know about Spatial Econometrics. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2420725>.
- Li, W., Pu, Z., Li, Y., Ban, X., 2019. Characterization of ridesplitting based on observed data: a case study of Chengdu, China. *Transp. Res. Part C: Emerg. Technol.* 100, 330–353. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.01.030>.
- Malik, J., Alemi, F., Circella, G., 2021. Exploring the factors that affect the frequency of use of Ridehailing and the adoption of shared Ridehailing in California. *Transp. Res. Rec.* 2675 (5), 120–135. <https://doi.org/10.1177/0361198120985151>.
- Moran, P.A.P., 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* 37 (1/2), 17. <https://doi.org/10.2307/2332142>.
- RWI, Microm, 2021. RWI-GEO-GRID: Socio-economic data on grid level - Scientific Use File (wave11). RWI-GEO-GRID. Version 1. RWI - Leibniz Institute for Economic Research. Dataset. <https://doi.org/10.7807/microm:sufv11>.
- Sabouri, S., Park, K., Smith, A., Tian, G., Ewing, R., 2020. Exploring the influence of built environment on Uber demand. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 81, 102296. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102296>.
- Schaller, B., 2021. Can sharing a ride make for less traffic? Evidence from Uber and Lyft and implications for cities. *Transp. Policy* 102, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.12.015>.
- Spurlock, C.A., Sears, J., Wong-Parodi, G., Walker, V., Jin, L., Taylor, M., Duvall, A., Gopal, A., Todd, A., 2019. Describing the users: understanding adoption of and interest in shared, electrified, and automated transportation in the San Francisco Bay

- Area. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 71, 283–301. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.014>.
- Statistisches Amt München, 2022. Bevölkerung am 31.12.2021 nach Alter, Geschlecht und Migrationshintergrund. <https://stadt.muenchen.de/dam/jcr:fe9490e4-bd32-4957-953f-65b23f924d12/jt220104.pdf>. Accessed 13 July 2022.
- Tang, B.-J., Li, X.-Y., Yu, B., Wei, Y.-M., 2020. How app-based ride-hailing services influence travel behavior: an empirical study from China. *Int. J. Sustain. Transp.* 14 (7), 554–568. <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1584932>.
- Tirachini, A., 2020. Ride-hailing, travel behaviour and sustainable mobility: an international review. *Transportation* 47 (4), 2011–2047. <https://doi.org/10.1007/s11116-019-10070-2>.
- Tirachini, A., Gomez-Lobo, A., 2020. Does ride-hailing increase or decrease vehicle kilometers traveled (VKT)? A simulation approach for Santiago de Chile. *Int. J. Sustain. Transp.* 14 (3), 187–204. <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1539146>.
- Tu, M., Li, W., Orfila, O., Li, Y., Gruyer, D., 2021. Exploring nonlinear effects of the built environment on ridesplitting: evidence from Chengdu. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 93, 102776 <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102776>.
- VGRDL, 2021. Arbeitnehmerentgelt, Bruttolöhne und -gehälter in den kreisfreien Städten und Landkreisen der Bundesrepublik Deutschland 2000 bis 2019, Reihe 2, Kreisergebnisse Band 2. <https://www.statistikportal.de/de/vgrdl/ergebnisse-kreisebene/einkommen-kreise>. Accessed 13 July 2022.
- Weckström, C., Mladenović, M.N., Ullah, W., Nelson, J.D., Givoni, M., Bussman, S., 2018. User perspectives on emerging mobility services: ex post analysis of Kutsuplus pilot. *Res. Transp. Bus. Manag.* 27, 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.06.003>.
- Yang, H., Huo, J., Pan, R., Xie, K., Zhang, W., Luo, X., 2022. Exploring built environment factors that influence the market share of ridesourcing service. *Appl. Geogr.* 142, 102699 <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102699>.
- Yu, H., Peng, Z.-R., 2019. Exploring the spatial variation of ridesourcing demand and its relationship to built environment and socioeconomic factors with the geographically weighted Poisson regression. *J. Transp. Geogr.* 75, 147–163. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.01.004>.
- Zhu, P., Mo, H., 2022. The potential of ride-pooling in VKT reduction and its environmental implications. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 103, 103155 <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103155>.
- Zwick, F., Axhausen, K.W., 2022. Ride-pooling demand prediction: a spatiotemporal assessment in Germany. *J. Transp. Geogr.* 100, 103307 <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103307>.
- Zwick, F., Fraedrich, E., Axhausen, K.W., 2021a. Spatiotemporal Determinants of Ride-Pooling Usage in the Course of COVID-19 on the Example of MOIA (Preprint).
- Zwick, F., Kuehnle, N., Moeckel, R., Axhausen, K.W., 2021b. Agent-based simulation of city-wide autonomous ride-pooling and the impact on traffic noise. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 90, 102673 <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102673>.
- Zwick, F., Kuehnle, N., Moeckel, R., Axhausen, K.W., 2021c. Ride-pooling efficiency in large, medium-sized and small towns -simulation assessment in the Munich metropolitan region. *Procedia Comp. Sci.* 184, 662–667. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.083>.

3.2 Artikel 2

Gödde, J., Scheiner, J., 2025. Spatiotemporal patterns of shared-e-scooter-usage: Studying access, egress and complementary trips to transit. *European Transport Studies* 2, 100012. <https://doi.org/10.1016/j.ets.2025.100012>.



Spatiotemporal patterns of shared-e-scooter-usage: Studying access, egress and complementary trips to transit

Jan Gödde^{*}, Joachim Scheiner

TU Dortmund University, Department of Spatial Planning, Urban Development Group, August-Schmidt-Str. 6, Dortmund 44227, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:

E-scooter
Micro mobility
Shared mobility
Public transit
Spatial regression
Spatiotemporal analysis

ABSTRACT

The surge in popularity of e-scooter-sharing (ESS) in Germany has sparked discussions on the sustainability implications of ESS. A central concern revolves around the interaction between ESS and existing public transport modes, prompting questions about the extent to which ESS complements the current public transport infrastructure. In our study focused on Hanover, Germany, we perform multiple spatial regression analyses of 322,000 ESS trips, using origin-destination (OD) data to analyse usage patterns of ESS. Utilizing catchment areas of rail transit stations, we identify access, egress, and additional complementary trips associated with transit. 25 % of ESS trips were identified as access or egress trips to rail transit, highlighting a significant intermodal use with public transport. Furthermore, an additional 10 % of ESS trips occur in areas underserved by rail transit. The results indicate the potential role of ESS in bridging the last-mile gap and enhancing overall transit connectivity.

1. Introduction

Since receiving approval for road use in 2019, e-scooter sharing (ESS) has gained popularity across Germany, establishing its presence in almost every major city. The increase in demand started a discourse within the country on the sustainability impact of ESS in urban environments. ESS predominantly substitutes for walking or public transport (Bauer et al., 2022; Christoforou et al., 2021; Gao et al., 2024; Laa and Leth, 2020; Reck et al., 2022; Weschke et al., 2022), which raises the question of its overall contribution to sustainable mobility (Hollingsworth et al., 2019; Gao et al., 2024). Nevertheless, e-scooters may substitute a significant number of short car trips, resulting in substantial environmental advantages (Gebhardt et al., 2022) and potentially reduce a city's overall net emissions (Krauss et al., 2022). ESS can further improve urban mobility and promote intermodal behavior when used as a first- or last-mile transit solution (Yan et al., 2023). By facilitating its free-floating nature and extending accessibility to public transport stations beyond walking distance, ESS enhances flexibility and accessibility in last-mile travel. Investigating the interaction between transit and ESS also raises the question how ESS integration can have an additional complementary effect on public transport in areas where the spatial or temporal availability of public transport is insufficient.

The U.S. has a huge catalog of spatiotemporal analyses of ESS trip data, either origin and destination (OD) or vehicle availability data

(Abouelela et al., 2023; Bai and Jiao, 2020; Caspi et al., 2020; Espinoza et al., 2019; Hawa et al., 2021; Huo et al., 2021; Hosseinzadeh et al., 2021; Karimpour et al., 2023; Mathew et al., 2019; McKenzie, 2019; Merlin et al., 2021; Noland et al., 2019; Reck et al., 2021; Tuli et al., 2021; Tuli et al., 2023), trip studies with a focus on identifying ESS relations to public transit (Lu et al., 2024; Luo et al., 2021; Yan et al., 2021; Ziedan et al., 2021; Zuniga-Garcia et al., 2022) and then studies on spatiotemporal analyses of these transit related trips (Javadiansr et al., 2024; Ma et al., 2022; Yan et al., 2021a; Yin et al., 2024).

When comparing ESS usage and its implications for urban transport, one might initially suggest that European planners could simply adapt the knowledge generated from studies conducted in the United States. Yet, the disparity in urban amenities, transport infrastructure, and availability of public transport between the United States and Europe is substantial. U.S. cities typically feature expansive road networks designed to accommodate car traffic. Conversely, many European cities exhibit more compact urban layouts featuring pedestrian-friendly zones and well-defined city centers. Public transport systems in the United States display significant variation in accessibility and station density, rarely reaching the levels observed in their European counterparts as many European cities prioritize and encourage public transportation as a fundamental mode of urban mobility. That's why, when examining the dynamics of how ESS interacts with public transportation systems in Europe, policy efforts should be guided by studies of European cities,

^{*} Corresponding author.

E-mail address: jan.goedde@tu-dortmund.de (J. Gödde).

<https://doi.org/10.1016/j.ets.2025.100012>

Received 10 September 2024; Received in revised form 9 January 2025; Accepted 3 February 2025

Available online 14 February 2025

2950-2985/© 2025 The Author(s). Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

where higher levels of transit use and ESS integration are more likely. Although we can also expect higher public transport availability and use in Asia, previous studies on the interaction of ESS with public transport are limited to stated preference surveys (Baek et al., 2021; Cao et al., 2021; Eom et al., 2023; Hong et al., 2023; Lee et al., 2021) which do not necessarily reflect actual use. Though, studies on the interaction between bike-sharing systems and transit in China indicate a strong integration of micromobility with metro services (Guo and He, 2020; Guo et al., 2021; Yang et al., 2019; Zhou et al., 2023).

In Europe, analyses of ESS users, usage patterns, and interaction with public transport often rely on survey data (6t- bureau de recherche, 2019; Christoforou et al., 2021; Kazemzadeh and Sprei, 2024; Krauss et al., 2020; Krier et al., 2021; Laa and Leth, 2020; Nikiforiadis et al., 2023; Weschke et al., 2022). However, analysing trip data (such as OD data) presents numerous advantages over survey data when investigating usage patterns. While survey data often lack the temporal and spatial precision necessary for an in-depth analysis of travel patterns, GPS-recorded OD data provide information on trip characteristics with the additional benefit of generating large datasets. Even though the analysis of spatially aggregated data has the risk of ecological fallacy, aggregated OD data can thus provide a more accurate representation of average usage patterns.

Existing research on ESS trip data in European cities report on temporal dimensions of trips (Foissaud et al., 2022; Li et al., 2022), trip purposes and mode substitution (Wan and Bendavid, 2024), or evaluate ways of modeling trip data (Parishwad et al., 2024), but lack analyses of spatial determinants and effects on transit. Studies using trip data in Europe which focus on its relation to transit either focus on GHG emissions (Gao et al., 2024), transit disruptions (Bergantino and Gardelli, 2024; Weschke, 2023), or compare availability and travel times (Aarhaug et al., 2023; Psarrou et al., 2024), but do not evaluate spatial predictors of transit related trips. There are currently limited studies of ESS use in European cities, which evaluate ESS trip relations with the existing public transport system, and report on spatiotemporal characteristics of these transit related trips (Guo et al., 2023; Li et al., 2024; both for access and egress trips).

Examining the spatial and temporal dimensions of e-scooter use holds the potential to provide valuable insights for urban planners to get a better understanding of the implications of ESS use and facilitate adaptive strategies. These include adjustments to transportation infrastructure like dedicated parking zones and the integration of bike lanes. The alteration of infrastructure is particularly relevant for integrating e-scooter services into existing public transport systems as a potential feeder mode for transit.

We therefore identify the following research gaps for ESS studies in European cities:

- limited studies on spatial determinants of ESS use in Europe
- limited studies that define ESS relations to transit with trip data
- limited studies who combine these and report on spatiotemporal characteristics of transit related trips; no studies who extend this approach to underserved areas of transit

In this present study, we analyse over 300,000 ESS trips originating from the city of Hanover, Germany in 2022. We contribute to the literature by.

- studying spatiotemporal determinants of ESS use in Germany, using spatial regression analysis
- adapting existing methods of modeling ESS trip relations with public transit to identify access, egress, and complementary ESS trips to public transit.
- quantifying access, egress and complementary ESS trips to transit
- discovering spatiotemporal characteristics of access, egress, and complementary trips to transit in underserved areas

We believe our study gives valuable insights into the spatiotemporal dynamics of trips complementing public transport or connecting to transit in Europe, as city planners attempt to evaluate the potential of ESS as feeder services and explore the integration of flexible transport options, such as ESS, in their existing systems.

The remainder of the paper is structured as follows: Sections 1.1 and 1.2 present a literature review on ESS user characteristics, usage patterns and the interaction with public transport. Section 2 outlines the methods and data used in our study and gives a brief overview of the case study area of Hanover, Germany. Section 3 presents the results as well as discussion, and Section 4 provides conclusions and policy recommendations.

1.1. Insights into ESS user characteristics and spatiotemporal usage patterns

Currently, the literature on shared e-scooter usage consists primarily of two types of empirical studies. One common method involves using user surveys to analyse ESS users and their use patterns. Initial evaluations reveal a consistent overrepresentation of young, well-off, or full-time employed men among users in various cities (6-t (2019) for Lyon, Paris, and Marseille; Cao et al., 2021 for Singapore; Christoforou et al., 2021 for Paris; PBOT, 2019 for Portland; Kim et al., 2023 for Portland; SFMTA, 2019 for San Francisco; Laa and Leth, 2020 for Vienna; Kazemzadeh and Sprei, 2024 for Sweden; Krauss et al., 2020 and Weschke et al., 2022 for Germany). When considering intermodal use with public transportation, survey results from Los Angeles and Washington, D.C. reveal that women, individuals without a college degree, and older adults are less likely to combine ESS with public transit (Huang et al., 2024). Similarly, a stated preference survey conducted in Korea indicates that the willingness to choose ESS over walking for access or egress trips to transit decreases significantly with age (Eom et al., 2023). However, survey respondents in Dublin who favored using ESS as a first- or last-mile solution for public transport were predominantly young (under 35) and had prior experience with e-scooters (Oeschger et al., 2025). Because ESS providers operate mainly in inner cities, there is limited empirical evidence regarding their use in outskirts or less densely populated areas. Survey-based evidence in Germany suggests that commuting and leisure are among the most important trip purposes (Bauer et al., 2022; Krauss et al., 2020). Leisure (33 %) and commuting (22 %) were also the primary trip purposes in a study of an ESS trial in London (Wan and Bendavid, 2024). In France, 34 % of users say that they use ESS to commute most of the time or frequently (6t- bureau de recherche, 2019). A survey-based study in Vienna concludes that ESS trips more often serve as substitutes for other transport modes for work and educational purposes than for leisure or shopping purposes (Laa and Leth, 2020). In a multi-year cross-sectional study in Portland, Oregon, Kim et al. (2023) observe a shift in travel behaviour over time, from more novelty driven fun and recreational trips after implementation of the service to more versatile use cases including commutes to work or school.

Another widely used method of analysing ESS use is the spatiotemporal analysis of trip data, which typically consists of origin and destination data provided by ESS operators or vehicle availability data accessed through their Application Programming Interfaces (APIs). Currently, most research on spatial and temporal variations in ESS trip data are case studies conducted in the United States. McKenzie (2019) compared the usage patterns of bike-sharing and ESS services in Washington D.C., showing a mid-day peak in the temporal demand distribution for ESS. The spatial distribution of e-scooter trip origins showed that the majority of trips started on recreational or public land, followed by land categorized as office or commercial land, and in residential areas. Another study on ESS usage in Washington D.C. found a higher presence of e-scooters in areas with a higher density of population and points of interest (Hawa et al., 2021). While Espinoza et al. (2019) also found points of interest associated with recreation and food

to be frequent near ESS destinations in Atlanta, the results also show points of interest related to business as a driving factor for spatial clustering of ESS trips. They conclude that commuting could be a major purpose for travel next to recreational use, especially as a last-mile solution. [Huo et al. \(2021\)](#) analysed e-scooter usage in five U.S. cities. Their results show similar temporal distributions of ESS trips, with a single demand peak in the afternoon. In line with other studies, they find higher ridership in urban areas and in proximity to universities, with positive correlations with population, employment, and bus stop density. Another spatial analysis of trip data from five U.S. cities discovers ESS demand to be dependent on availability of biking infrastructure, gender, age, income, weather conditions, and accessibility to public transport ([Abouelela et al., 2023](#)). [Reck et al. \(2021\)](#) confirm a positive effect of population density, as well as the presence of bikeways and university campuses on shared e-scooter trip destination counts for Louisville. Their results also show a significantly positive but less substantial effect for bus stops ([Reck et al., 2021](#)). Two further studies on ESS patterns in Louisville add walkability and bikeability ([Hosseinazadeh et al., 2021](#)), as well as Walk Score, Transit Score, and Dining and Drinking Score (urban characteristics indicators by www.walkscore.com) ([Karimpour et al., 2023](#)) to the list of factors impacting ESS trip generation. Frequent ESS use in Austin, Texas also occurs in areas with accessible bike lanes and higher employment density ([Caspi et al., 2020](#)), and urban areas with comparable differences in altitude to the rest of the city ([Lu et al., 2024](#)). Furthermore, the findings verify the results of [Bai and Jiao \(2020\)](#), who found ESS in Austin to be used almost exclusively in the downtown area and near the university campus, while the temporal pattern showed Saturday as the busiest weekday. These results confirm the findings of other studies that show e-scooter ridership to be the highest over weekends compared to mid-weeks ([6t- bureau de recherche, 2019](#); [Mathew et al., 2019](#); [PBOT, 2019](#)). The distances travelled by e-scooters in urban transport are generally less than 3 km ([6t- bureau de recherche, 2019](#); [Aarhaug et al., 2023](#); [Bai Jiao, 2020](#); [Gao et al., 2024](#); [Noland, 2019](#); [Mathew et al., 2019](#); [McKenzie, 2019](#)). Regarding studies using spatiotemporal analysis of OD data in European cities (without specific focus on public transport relations), [Li et al. \(2022\)](#) investigated the temporal availability of ESS in 30 European cities, concluding that ESS is used predominantly in the afternoon, with increased trip frequency on Fridays and Saturdays and low ridership on Sundays. They did not further investigate spatial patterns. [Parishwad et al. \(2024\)](#) also confirm highest demand of ESS at around 4 pm to 7 pm in Gothenburg, Sweden, but also do not report on which spatial factors influence demand. [Foissaud et al. \(2022\)](#) conducted a descriptive analysis of spatiotemporal patterns in four European cities, adding waterfronts to the list of main attractors for ESS trips.

1.2. Insights into ESS relations with public transport

The extent to which ESS is used in conjunction with public transport varies on city-to-city bases, but is generally greater in Europe compared to the U.S. In Germany, 24 % of the surveyed users reported using ESS in conjunction with public transit ([Bauer et al., 2022](#)), while 19.5 % of surveyed users in Oslo, Sweden ([Aarhaug et al., 2023](#)), and only 15 % in France did respectively ([6t- bureau de recherche, 2019](#)). Lime's own evaluations report that one in five ESS trips worldwide connect to transit ([Lime, 2020](#)). [Zuniga-Garcia et al. \(2022\)](#) use a combined approach of a survey and a spatial analysis of ESS trip data to analyse interaction between ESS and bus transit usage in urban and university environments in Austin, Texas. 12 % of the respondents use ESS in conjunction with bus transit. Further studies on the relationship between ESS and bus transit conclude no significant competitive effect, and only a modest complementary effect of ESS with bus transit in Nashville ([Ziedan et al., 2021](#)). [Luo et al. \(2021\)](#) conclude that approximately every fifth ESS trip might compete with bus transit in the city center of Indianapolis, while about the same share of trips would complement bus transit if used in areas with low bus ridership. [Guo et al. \(2023\)](#) found ESS in Stockholm to have

a higher potential to complement public transport, whereas areas in Helsinki have higher potential for competitive ESS use. 12 % of trips are taken in conjunction with metrorail in a Washington D.C. sample pre Covid, while also showing that almost no ESS trips are taken outside the public transit service area ([Yan et al., 2021](#)). [Ma et al. \(2022\)](#) and [Merlin et al. \(2021\)](#) results also suggest metro stations to be major hotspots for ESS trip generation in Washington D.C. ESS trips in conjunction with public transport in Washington mostly occur in the evening between 4 to 7 pm for recreational purposes, with a small peak in usage in the morning for commuting ([Yin et al., 2024](#)). This strong relationship between transit stations and ESS is also evident in Chicago ([Tuli et al., 2021](#)) and Berlin ([Weschke, 2023](#)). For Chicago, the frequency of ESS trips to transit were influenced significantly by multimodal network density ([Javadiansr et al., 2024](#)), showcasing the need for multimodal infrastructure to improve public transport integration of ESS. In an analysis of ESS vehicle availability data in multiple cities in Europe, [Li et al. \(2024\)](#) estimated the integrated use of ESS with public transport to vary from 5.59 % to 51.40 %. For Asian cities, [Zhu et al. \(2020\)](#) found ESS to be frequently used for trip legs between metro stations and school buildings in Singapore. While ESS often substitutes for public transport ([Bauer et al., 2022](#); [Christoforou et al., 2021](#); [Gao et al., 2024](#); [Laa and Leth, 2020](#); [Reck et al., 2022](#); [Weschke et al., 2022](#)), [Bergantino and Gardelli \(2024\)](#) found ESS use and trip length in proximity to public transport stations to rise significantly up to 89 % during strike related public transport disruptions in Turin, Italy, highlighting both substitutive and complementary use. Conversely, more trips in proximity to public transport stations can also lead to higher metro ridership ([Yang and Ewing, 2024](#)). Considering the public transport disruptions during COVID-19, [Tuli et al. \(2023\)](#) findings indicate that e-scooters were used in conjunction with public transport prior to the pandemic. By contrast, they were increasingly employed as substitutes for public transport in 2020 during the pandemic. Research conducted in Washington D.C. by [Yan et al. \(2021\)](#) supports the notion of a complementary spatial relationship with transit during COVID restrictions. It can therefore be seen that competing use with public transport also has a complementary effect when the latter is unavailable. In France, e-scooters complement public transport during off-peak hours or in areas with limited transit options. However, they compete with public transport primarily on short journeys, where e-scooters are significantly faster ([Psarrou et al., 2024](#)). [Aarhaug et al. \(2023\)](#) also found that ESS trips are often twice as fast as similar routes by public transport. Although around 63 % of trips in Oslo are made parallel to the public transport network, public transport does not appear to be a viable alternative for these trips. Evidently, substitution for public transport is heavily dependent on access time, availability, and direct routes ([Cao et al., 2021](#) for Singapore; [Weschke et al., 2022](#) for Germany), is more often substituted by ESS users who are also public transport users ([Weschke et al., 2022](#)), and more likely utilized when alternative transportation modes are seen as unsatisfactory ([Lee et al., 2021](#); Korea). Willingness to use ESS in combination with public transport also is rooted in travel time savings based on survey in Greece ([Nikiforiadis et al., 2023](#)), and prior experience with ESS based on stated preference surveys in Korea ([Baek et al., 2021](#); [Hong et al., 2023](#)).

2. Methods

2.1. Research area and data

2.1.1. Research area Hanover

The city of Hanover is located in lower Saxony, Germany and has approximately 545,000 inhabitants. The area of the city extends over 204 km². Hanover serves as a central transportation hub for regional and national transit, particularly in Northern Germany. In addition to passenger traffic, Hanover and its surrounding communities have important distribution functions, particularly logistics ([Göbler, 2020](#)). While over 67,000 residents commute to other cities, as of 2022, approximately

180,000 people commute to the city (Region Hannover, 2023). Leibniz University Hannover attracts approximately 30,000 students (LUH, 2023). The city center is linked to surrounding communities through a radial rail network for regional transport. Within the communities of the region, Park and Ride and Bike and Ride systems as well as bus connections serve as modes for feeder traffic. Within the city of Hanover, the public transport system is well-developed with a dense light rail and bus system. We selected Hanover as our research area for several reasons. ESS has been available in Hanover since its approval for road use in July 2019, making it one of the first cities in Germany to offer this service. This early adoption means the city experienced one of the longest growth periods of ESS demand leading up to the 2022 data collection, minimizing the impact of novelty-driven rides and allowing for the observation of more diverse usage patterns. Furthermore, at the time of our study, Hanover had no transit restrictions or subsidies related to ESS, providing a unique opportunity to analyse unregulated interactions between ESS and public transit. Hanover is also characterized by high public transport demand, making it a relevant setting for studying integration with ESS. In recent years, the share of cycling and public transportation usage has increased. The proportion of trips made by different means of transport is 34 % by car, 20 % by public transport, 19 % by bicycle, and 27 % by walking (infas et al., 2018). These results are similar to those for many other major German cities of similar size. Another crucial factor was the availability of spatial data. While other early adopter cities were considered, prior research collaborations with Hanover provided access to detailed spatial infrastructure data below the municipal level, which is challenging to obtain in Germany. Four providers of ESS and one provider of bike sharing were active in Hanover during the data-collection period.

2.1.2. ESS data

We analyse trip data from ESS provider Lime. The data contain all

trips made with ESS in Hanover throughout the entire year of 2022. The available data include information on each trip's origin and destination coordinates, date, time, trip duration, and trip distance. To exclude improbable trips, we erased all trips with a trip length less than 100 m, as well as trips with origins or destinations far beyond the city's boundaries, e.g., in a different urban region. In addition, to filter out mistakenly recorded rearrangement trips by the operator, we erased trips with a mean driving speed exceeding 20 km/h, as this aligns with the legally prescribed maximum speed achievable through throttling. Following the data cleansing process, the dataset of all Lime ESS trips throughout 2022 consists of 322,309 trips (346,041 trips before cleansing).

2.1.3. Spatial data

Additional spatial data are used to determine which sociodemographic and built environment factors influence ESS demand and trips connected to transit. These variables are selected based on the results of previous studies and data availability. In addition to commonly used socio-demographic and land-use predictors, our analysis also includes a variable that highlights the temporal availability of bus connections per area to examine the complementary use of ESS with regard to bus transit. Most spatial data were obtained from the Hanover Region transport model TMHR (data provided by the administrative authority on request) and supplemented by OpenStreetMap (OSM) data (obtained via <https://download.geofabrik.de/>). The transport model contains information on demographics, built environment, and traffic data aggregated per spatial unit (Fig. 1). The TMHR also serves as the basis for the spatial analyses described in Section 2.3. All variables that were not originally part of the TMHR were calculated for each spatial unit (cells). Table 1 presents an overview of each variable used in the analysis, complemented by a brief description, the calculation unit, and the data source.

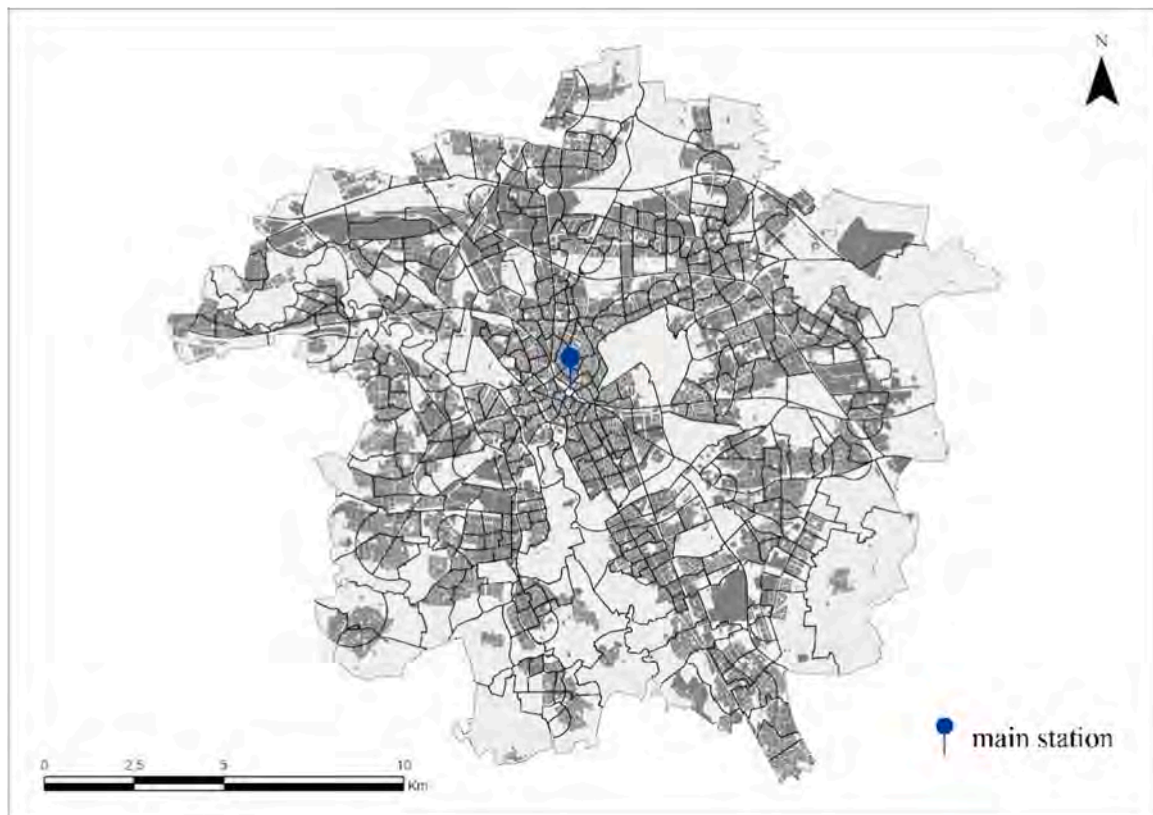


Fig. 1. The City of Hanover and adjacent areas split up into the spatial aggregation units (cells) of the Transport Model of the Hanover Region TMHR (background data: urban structure; ©TMHR).

Table 1

Description and data source of all variables used in the analysis.

Variable	Description	Unit per cell	Data source
ESS demand	ESS origins or destinations	Count	Lime
Population	Number of inhabitants	Count	TMHR
0–14 years	Share of inhabitants age 0 to 14 ...	%	TMHR
15–30 years			
31–50 years			
51–65 years			
66+ years			
Jobs	Number of registered jobs	Count	TMHR
Students	Number of registered students (high counts for cells with university buildings; no relation with inhabitants, acts like jobs)	Count	TMHR
Pupils	Number of registered pupils (high counts for cells with school buildings; no relation with inhabitants, acts like jobs)	Count	TMHR
Retail periodic	Factor used in traffic modeling for 'customer potential' calculated from customer reach and retail space; periodic for daily retail e.g. supermarket	Count	TMHR
Retail aperiodic	Aperiodic for irregularly used retail e.g. hardware store	Count	TMHR
Bus connection availability	Number of bus departures per day	Count	TMHR
Culture POI	Points of interest associated with culture, OSM tags: arts_centre, cinema, monument, museum, stadium, theatre, theme_park, zoo	Count	OSM
Gastronomy POI	Points of interest associated with gastronomy, OSM tags: restaurant, biergarten, pub, nightclub, cafe, bar, food_court, fast_food	Count	OSM
Green spaces	Area with OSM tags forest, grass, park	% of cell area	OSM
Recreation ground	Area with OSM tag recreation_ground, for Hanover typically includes sporting facilities, playgrounds and public swimming pools	% of cell area	OSM
Water	Area with OSM tag water, for Hanover typically includes lakes	% of cell area	OSM
Distance to city center	Euclidean distance of each cell to main station	Meters	

2.2. Modeling ESS relations to transit using origin and destination data

Studies using origin and destination data suggest that transit stations are a main attractor of ESS demand (Ma et al., 2022; Merlin et al., 2021; Tuli et al., 2021). Methods of linking trips to transit stations often revolve around using the station catchment area, typically spanning 300–400 m, which is equivalent to a convenient 5-minute walk. The basic assumption in categorizing trips according to catchment areas is that ESS trips with both origin and destination lying within the catchment radius may also be undertaken using public transport (competition). Trips with either the origin or destination falling outside the radius (access or egress) and journeys with both outside the radius are considered as complementing public transport. While access and egress trips can also be seen as complementary to public transport, in this study, 'complementary' refers specifically to trips originating and ending in areas with limited public transport accessibility. These areas are assumed to have relatively poor access to the city's transit network, as they fall beyond a reasonable walking distance (radius) to a transit station. In such cases, ESS trips play a complementary role by offering mobility solutions for underserved areas. This approach is also commonly used in research on other shared mobility services such as bike-sharing (Ma et al., 2018; Zhan et al., 2023). As for ESS, Ziedan et al. (2021) as well as Guo et al. (2023) used catchment areas of 0.1 miles (160 m) to classify ESS trips as either competing or complementary to

bus transit. Yan et al. (2021a) expand this concept by using catchment areas to categorize ESS trip relations into competing, connecting, and complementary ESS trips to transit, employing a 400 m catchment radius in Washington D.C. The present study also aims to categorize and examine access, egress, and complementary ESS trips. We deliberately exclude the analysis of competing trips, as we assert that classifying them based on catchment areas may produce inaccurate results. Following this method of using 300 m catchment areas, any trip starting and ending within a catchment area would be considered a competitor to rail transit. However, given the substantial overlap in catchment areas between ESS trips and densely located transit stops in the city center of Hanover, 48 % of ESS trips would be deemed competitors based on this measurement. While the substantial overlap leads us to assume a competing use for short trips in very central locations, e.g. tram journeys from the main station two stops further, we believe that a radius-based classification fails to capture the full complexity of the situation. Many trips labeled as competitors may not actually be in competition, considering the significant differences in travel times between the two services. For instance, when an e-scooter is used for a trip linking two different tram lines that are only linked with a very long detour, the traveler might not even consider using the tram due to prolonged trip durations associated with interchanging two lines. Conversely, it is highly unlikely that ESS is used as a competitor for tram journeys spanning multiple kilometers. A comprehensive assessment of competing use would require calculating public transit travel durations for identical routes of each ESS trip (e.g. Yan et al., 2021a). Unfortunately, we lack suitable public transport GTFS (General Transit Feed Specification) data for such calculations.

In the present study, we adopt and refine this classification approach to better suit European cities such as Hanover. Our modification involves using two catchment areas, measuring 50 m and 300 m around transit stations, to determine access, egress, and complementary ESS trips to transit. A radius of 50 m has been recognized as an effective way to identify trips connecting to public transport for ESS in European cities (Li et al., 2024) and for bike-sharing in Asian cities (Lin et al., 2018; Cheng et al., 2022). It's important to note that, in our study, 'transit' specifically refers to urban rail transport (tram/metro, light rail, suburban rail, and regional rail), with bus stations excluded due to the comprehensive coverage of bus stations in Hanover. If bus stops were included in the analysis, it would be impossible to identify transit relations based on OD data, because most origins or destinations lie within a bus stop catchment area. As a supplement, we include data on bus stop connectivity in our spatial analysis models to investigate additional complementary effects of ESS on bus transit.

As seen in Fig. 2, we identify a transit-connecting ESS trip based on whether the origin or destination falls within the 50 m radius of a rail station. As a station platform can extend over several hundred meters, we place the catchment area at the entrances to the platform or, in the case of underground stations, at the stairs leading down to the station. A station usually has two entrances and a maximum of four entrances, with the exception of the main station. If the ESS trip's origin lies within this catchment area, we classify the trip as 'transit-egress'; conversely, if the destination lies within the catchment area, we categorize it as 'transit-access'. The origin for access trips and the destination for egress trips are not subject to restrictions of maximum distance radii. Our rationale for selecting a comparatively small 50 m catchment area is rooted in the characteristics of our research area, where the density of transit stations and surrounding infrastructure is notably high. Existing research also indicates that users of free-floating mobility services, tend to ride as close as possible to their intended destination, resulting in more efficiency-driven patterns than station-based alternatives (Cheng et al., 2023). We tested various radii and reviewed each stop to minimize overlaps with other points of interest as much as possible. Although it is not possible to eliminate all overlaps entirely, a 50 m radius has proven to be small enough to reasonably assume that the trip destination is associated with the rail platform. This is largely because the overground

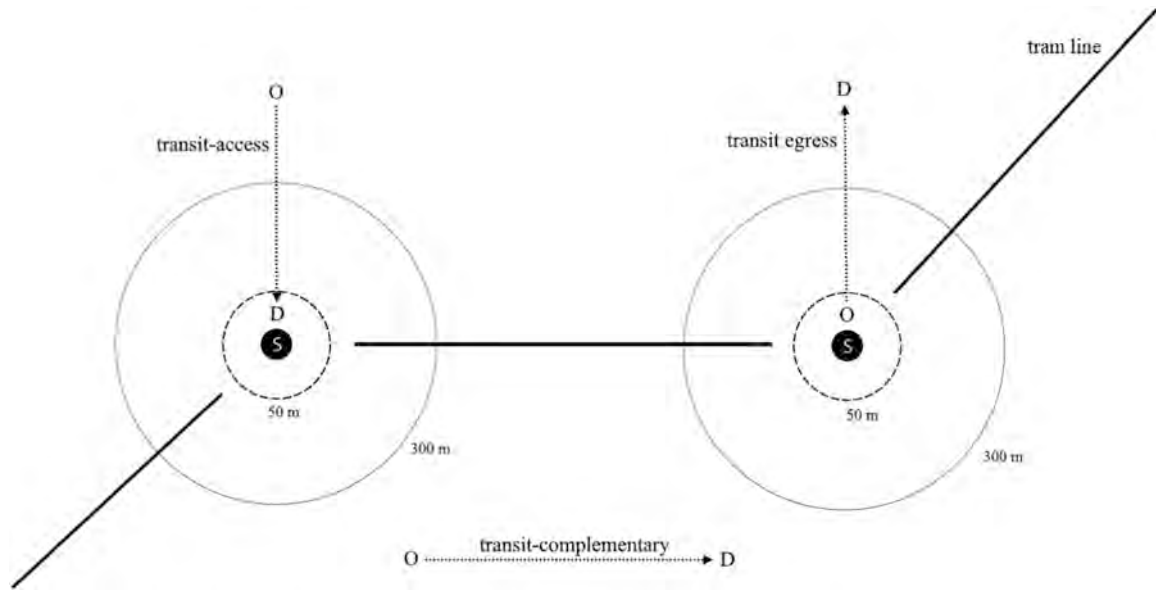


Fig. 2. Classification of transit-access, transit-egress and transit-complementary ESS trips using origin (O) and destination (D) data and transit station (S) catchment areas.

light rail in Hanover is typically routed between two lanes of car traffic and underground railways are routed below road infrastructure. Thus, for most platform entrances, these 50 m catchment areas mainly include traffic infrastructure rather than points of interest. Even if we cannot completely rule out overlap with other uses within the radius, we are confident to have reduced the radius enough to reflect the density of public transport stops and amenities in Hanover. Enlarging the catchment radius to 300 m or 400 m would pose challenges in accurately

classifying ESS trips as transit-connecting, given the presence of other desired destinations such as workplaces, grocery stores, or gastronomy within this expanded radius. It would be more likely to mistakenly classify trips as access trips to a train station, even when the true destination was the supermarket just 300 m next to that station. Due to the high density of rail stations in the inner city, where most trips occur, most trips would be falsely classified as access or egress trips.

To understand how ESS further complements public transit, we also

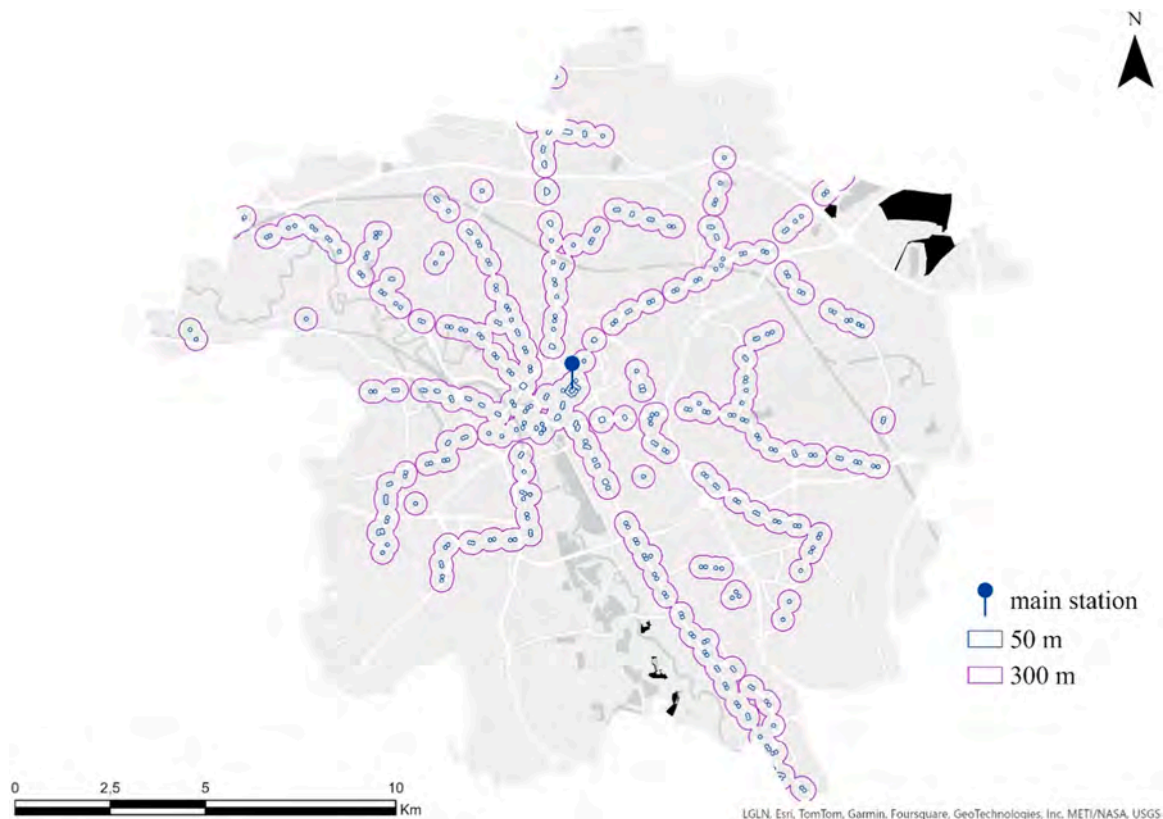


Fig. 3. 50 m (used for access/egress) and 300 m catchment areas around rail transit station entrances in Hanover.

Table 2
Descriptive statistics of all variables ($\log(x + 1)$ used in SDEM).

	Min	Max	Mean	SD
ESS origins (all)	0	10,543	633.14	1508.40
ESS destinations (all)	0	10,556	633.26	1460.43
ESS origins (access)	0	1394	74.21	180.84
ESS destinations (egress)	0	1606	83.82	195.64
ESS origins (compl.)	0	4182	63.44	253.23
ESS destinations (compl.)	0	3958	63.65	247.31
Population	0	8029	1333.56	1251.81
0 – 14 years	0	0.33	0.12	0.05
15 – 30 years	0	0.87	0.20	0.09
31 – 50 years	0	1	0.28	0.08
51 – 65 years	0	0.86	0.19	0.07
66 + years	0	0.68	0.18	0.09
Jobs	0	15,427	922.32	1334.22
Retail periodic	0	17,208	1565.02	2612.63
Retail aperiodic	0	49,213	799.51	3136.98
Students	0	13,498	87.17	766.43
Pupils	0	9782	192.87	642.24
Recreation ground	0	0.54	0.01	0.04
Green spaces	0	0.99	0.04	0.11
Water	0	0.52	0.01	0.03
Culture POI	0	6	0.14	0.54
Gastronomy POI	0	37	2.44	4.35
Bus connection availability	0	1514	155.40	200.31
Distance to city center	0	11,624	4698.86	2406.12

analyse areas where access to transit is limited. If the origin as well as the destination are more than 300 m away from a transit station, we classify the ESS trip as ‘transit-complementary’. We assume that these areas have comparatively worse access to the city transit network, as they lie outside a reasonable walking distance to a transit station. In this case, ESS trips have a complementary effect on rail transit, enhancing the mobility of residents. Since we cannot use bus stops in our classification, we include a variable called ‘bus connection availability’ in our models. Its purpose is to examine whether these (rail) *transit-complementary* trips also complement bus transit or rather compete with it. The spatial distribution of transit stations in Hanover is shown in Fig. 3, mapped with 50 m and 300 m catchment areas for each station entrance.

2.3. Spatiotemporal analysis methods

Our temporal analysis of trip data is descriptive, with an emphasis on highlighting when individuals use ESS, particularly for access and egress or to complement public rail transport. Therefore, we aggregate all trips per hour of the day throughout the entire year and outline the relative distribution of trips over the course of an average week. To provide a more nuanced characterization of each trip type in connection with rail transport, analyses and visualizations are conducted separately for each individual type.

To assess the impact of spatial factors on ESS use in relation to public transport, we conduct six spatial regression models¹ using RStudio. The sum of either origins or destinations per cell acts as the dependent variable for each model, with three different types of trips (all, connecting, or complementary). Given the overdispersion observed in the count data of origins and destinations per cell, we apply a logarithmic transformation to each dependent variable (and independent variables for uniformity). Before transformation, we add one to each value to circumvent the loss of cells with a value of zero. A description of all independent variables is shown in Table 1, descriptive statistics are presented in Table 2. In addition to the spatial predictors derived from the literature, we also compute a centrality index, which is equal to the Euclidean distance between each cell and the city center, which in

Hanover equals the main station. This index has been previously used in analyses of shared mobility patterns (Zwick and Axhausen, 2022). Its purpose is to counteract the uneven spatial distribution of e-scooters by the operator, which is often highly condensed in the city center, with the outskirts having little to no supply. Including this variable in the six spatial regression models also led to a better fit. At the start of the analysis, we conduct non-spatial Ordinary Least Squares (OLS) regression models and test for multicollinearity using variance inflation factors (VIF). The maximum estimated VIF of 2.79 indicates no significant concerns for collinearity within the predictors. Spatial dependencies are then modeled using a Queen’s contiguity matrix, chosen for its appropriateness in representing the movement patterns of a free-floating mobility service. This step results in predictors of adjacent cells being included in the regression analysis. Including adjacent cells aligns with the assumption that user origins or desired destinations are in close proximity to the georeferenced origin or destination points of an ESS trip. Given that even the smallest cells in the TMHR have a diameter of at least 150 m, it is unlikely that parameters beyond the adjacent cells would influence the analysed cell. We therefore refrain from using other weighting models for the inclusion of additional cells. To identify the spatial autocorrelation of OLS residuals, we use Moran’s *I* statistics (Moran, 1950), revealing significant spatial autocorrelation ($p < 0.001$). Consequently, various spatial regression models are evaluated for statistical fit using Lagrange-Multiplier statistics (Anselin, 1988) on the OLS regression models. Both the basic and the robust variants of the LM statistics are significant for spatial error and spatially lagged X, suggesting the Spatial Durbin Error Model (LeSage, 2014) as the best fit. As a final step of model validation, we run Spatial Durbin Error Models (SDEM), Spatial Error Models (SEM) and spatially lagged X Models (SLX) and compare SDEM with SEM, SLX and OLS by likelihood ratio tests, to see if SDEM should be restricted to either of them (LeSage and Pace, 2009). The results of the likelihood ratio tests confirm the SDEM to be the best fitting model. The formula for the SDEM is defined as

$$y = X\beta_1 + WX\beta_2 + u \quad u = \lambda W u + \varepsilon$$

where $X\beta_1$ equals the coefficient for independent variables in the analysed cell, $WX\beta_2$ denotes to the spatial weights matrix *W* of neighbouring indirect spillover effects $X\beta_2$, *u* denotes to the error term, consisting of the stochastic error ε and estimated coefficient λ for spatially lagged residuals (LeSage, 2014).

To visualize the spatial distribution of each trip type across Hanover, we use the Local Indicator of Spatial Association (LISA) (Anselin, 1995). Therefore, we calculate and map Anselin Local Moran’s *I* values for the respective dependent variables of the six different regression models in ArcGIS-Pro using the Cluster and Outlier Analysis tool. This method is used to identify statistically significant ($p < 0.05$) spatial clusters of high and low values as well as outliers. For visualization, a distinction is made between significant clusters with high values and clusters with low values. Outliers differ depending on whether a high value is mainly surrounded by low values or a low value is mainly surrounded by high values. This approach not only illustrates the spatial dependencies in the data but also highlights the distribution of ESS trips (dependent variables) within the city. Consequently, it helps to identify both highly frequented and less frequented areas.

3. Results and discussion

3.1. Identifying access, egress and complementary ESS trips

We begin by reporting the results of the modeling of transit-connecting and transit-complementary ESS trips. Table 3 shows the percentage of trips classified as either access, egress, or complementary.

One of four ESS trips serves the purpose of connecting to transit, either for access or egress. This proportion is similar to Li et al. (2024)

¹ * Initially, non-spatial negative-binomial and zero-inflated models were tested, but eventually rejected for spatial models due to significant spatial dependencies.

Table 3
Distribution of ESS trip type.

	all	access	egress	complementary
N=	322,309	37,743	42,636	32,349
% of total	100 %	12 %	13 %	10 %
mean distance km	1.57	1.53	1.54	1.7
mean driving speed	12 km/h	12 km/h	12 km/h	11 km/h

results of ESS integration in Central European cities and exceeds the findings of both survey-based and OD analyses conducted in the United States (Zuniga-Garcia, 2022; Yan et al., 2021). This result is particularly noticeable considering the use of a smaller catchment area of 50 m to identify ESS trips used in conjunction with transit stations compared to US studies. The percentage of trips categorized as egress may be even higher than those identified, as most ESS users consider a 200 m walk to an e-scooter as a reasonable distance for accessing the vehicle (Berg Wincent et al., 2023). By contrast, not all trips originating from a transit station necessarily constitute egress trips, as operators often strategically place more e-scooters at these locations. Consequently, individuals may walk from nearby locations to the station if these e-scooters are the nearest available in the area. Regarding trip distance, ESS trips for either transit access or egress are of similar length to the mean distance of all observed trips. The average trip distance for trips connecting to transit exceeding 1.5 km further supports the notion, that ESS holds the capability to extend accessibility to public transport stations beyond walking distance.

Approximately 10 % of all trips are independent of public transport in areas located at least 300 m from a transit stop. Here, ESS complements rail transit. This percentage is notably high when compared with the findings of Yan et al. (2021a) in their study conducted in Washington, where only 0.5 % of trips fall beyond the 400 m catchment area of transit stations. Yan et al. considered the catchment areas of metro as well as bus stations, resulting in an overall greater coverage of the city area, whereas our study exclusively considered rail stops for catchment areas. Thus, it provides a more accurate prediction of ESS complementing effects on rail transit specifically. The extent to which this complementary effect on rail transit is also evident for bus transit is discussed in Section 3.4. Yet, the percentage of trips in these areas with limited transit accessibility, particularly those situated well beyond the city center, is significantly influenced by the supply practices of the ESS provider. Providers typically avoid these areas, anticipating lower profitability due to reduced population density. Consequently, the share of trips categorized as transit-complementary may be diminished by the provider's behaviour. This share could potentially be increased if there were collaborative agreements between the city and the provider by explicitly directing the deployment of ESS to these underserved areas. It is worth noting that, in these areas without access to rail transit, ESS is frequently utilized for longer journeys with an average of 1.7 km. This suggests that ESS is not merely chosen as an alternative to walking but are likely to serve as a substitute for potentially insufficient public transportation options. Here, ESS could contribute considerable value to the overall public transport system in Hanover by offering mobility alternatives in areas with poor connectivity to public transport, achieving a more complementary effect, at least for rail transit. Nevertheless, the assessment of complementary potential should be contextualized in relation to the population, as the service has thus far attracted a specific demographic of young, predominantly male individuals, who thus overproportionally benefit from this complementary effect compared to the rest of the population.

3.2. Temporal characteristics of ESS trips

We examine the temporal distribution of demand, as reflected in the relative share of all trips per hour of the day for all trips made in Hanover in 2022 (Fig. 4). Evidently most trips occur in the afternoon. On

weekdays, there is a peak in demand at approximately 3 pm, accompanied by a smaller peak during the morning rush hour. On Fridays and Saturdays, the predominant demand shifts to a slightly later time. During these weekends, there is also an increased number of trips in the evening and at night. Notably, there is no morning rush hour peak on Saturdays and Sundays, suggesting that ESS is primarily used for commuting during morning hours. Additionally, the volume of journeys is lowest on Sundays.

We now examine how the proportion of individual trip types, transit-access, transit-egress, and transit-complementary varies over time in relation to all trips (Fig. 5). In the case of transit-access trips, there is a notable increase in their share, reaching up to 22% of all trips during the early morning hours, between 4 am and 7 am. This increase is less pronounced on weekends. Transit-egress trips exhibit a similar pattern to transit-access trips, maintaining a relatively consistent level during the day, with an increased peak per day. On weekdays, up to 25% of all trips between 9 pm and 2 am are made for transit egress. On Friday and Saturday nights, typical nights out, there is also an increased share of egress trips during the early morning hours. We conclude that ESS and rail transit are increasingly used in conjunction for commuting purposes in the morning, whereas during the late evening and night hours, ESS transit connections are more associated with leisure trips. Transit-complementary trips exhibit less distinct variations during the week than the other two types of trips. The proportion of all trips is notably high on Sundays. On Sunday afternoons, up to one in five trips occur outside the public transport catchment area. This increase may be attributed to the fact that more non-routine journeys occur on Sundays, reflecting differences in people's mobility behaviour compared to other days.

3.3. Spatial distribution of ESS trips

ESS demand is concentrated in the city center near the main station, with clusters of origins to the west and south, and clusters of destinations also to the eastern parts of the inner city. This concentration near the city center is not solely due to the anticipated higher demand in the downtown area, but is also likely based on the operator's distribution of the service. The service is unevenly distributed across the city, with the outskirts having minimal to no supply, as indicated by the low-low clusters at the edges of the city. In comparison to all trips, ESS trips accessing or egressing transit stations exhibit similar spatial variations near the city center, clustering around the main station, and extending to the west and east. Particularly in the western part of the inner city, there is an overlap of transit lines. Conversely, clustering for complementary ESS trips is observed in the northern and southern parts of the city center, areas not directly accessible by rail transit. .

3.4. Spatial characteristics of ESS trips

Table 4 shows the results of the Spatial Durbin Error Model for all trips, as well as the samples of connecting and complementary trips. For connecting trips, we only analyse either the area of origin for transit-access or the area of destination for transit-egress, as the counterpart is predetermined to be the transit station.

Including the distance to the city center in the regression models shows a significant negative effect on the number of ESS trips, implying that the further away from the main station, the fewer trips are made. This further supports the assumption of an unequal distribution of supply in the area. The models produce estimates for direct effects as well as lagged effects to adjacent cells, labeled 'lag'.

Examining all trips, sociodemographic factors show a significant increase in origins and destinations in areas with higher populations. Simultaneously, significantly more ESS trips are observed in regions with a greater proportion of individuals aged 15–30, while a significant negative impact is evident in areas with a higher percentage of individuals aged 50–65.

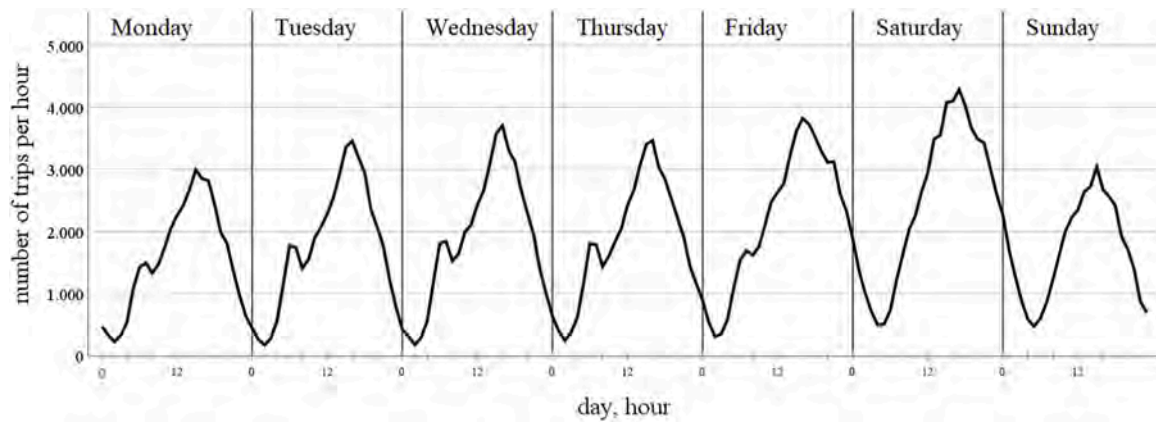


Fig. 4. Temporal distribution of all ESS trips in Hanover 2022.

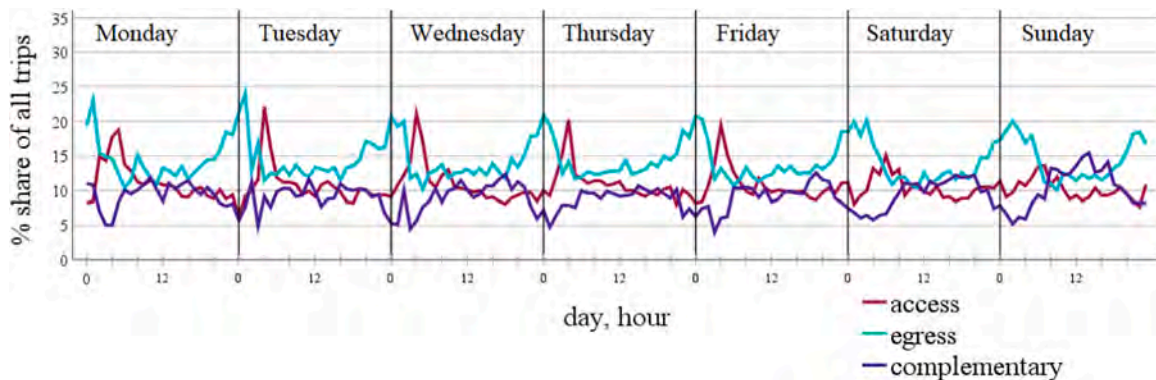


Fig. 5. Average share of access, egress and complementary ESS trips in Hanover.

Neither periodic nor aperiodic retail exhibit a significant influence on the demand for ESS, despite the presence of numerous stores in the city center where clustering was identified. These trips may serve other purposes such as commuting. Regarding the variable 'jobs', there are positive effects for both origins and destinations, and for destinations, there are also positive effects for the variable 'pupils'. Therefore, ESS in Hanover seems to be not only used for commuting to work but is also frequently utilized in districts with schools present. Furthermore, factors associated with leisure activities indicate heightened ESS usage in areas with a high concentration of gastronomy, such as bars, restaurants, cafés, pubs, or nightclubs, and a high percentage of waterfronts. Here, examining the spatial distribution of trips across the city reveals the 'Maschsee', Hanover's largest lake to be a primary attraction for ESS trips. In contrast, there is no significant influence on demand by other leisure-related factors, such as green spaces, recreational grounds, or points of interest related to culture. We observe a negative impact of the variable representing 'bus connection availability', although this is significant only for the lagged variant. Essentially, this implies that in the surrounding areas, where there are more opportunities to take a bus, indicating better bus service in the overall vicinity, the number of trips made with ESS decreases. Given the negative correlation in these areas, which are expected to be in the widely accessible downtown area, ESS likely does not compete with bus transit but rather with other modes such as walking, as suggested by previous studies.

When comparing the sample of transit-access and transit-egress trips to the entirety of trips, we observe that essentially the same significant influencing factors emerge. This indicates that ESS trips to work, school, or leisure activities increasingly involve rail transit. Notably, for transit-access trips, there is now a significantly positive and higher correlation coefficient in areas with a higher proportion of individuals aged 15–30, indicating an integration of ESS with public transit as an access or egress

mode of transportation for the younger demographic. The evident trend towards increased ESS-public transport synergy among younger urban populations aligns with the results of Germany's largest transport survey, suggesting that this demographic frequently utilizes public transport and holds public transport season tickets (infas et al., 2018).

In the case of transit-complementary trips, we observe a more pronounced impact of population size on the number of origins and destinations. This could be attributed to other variables such as 'jobs', 'pupils', or 'gastronomy' losing their significant influence. These factors are usually associated with locations integrated into transit through transport planning processes, or concentrated in highly central areas with overlapping catchment zones. In areas where ESS complements rail transit, the predominant trips involve densely populated residential areas and the nearby lake, which for the most part is not directly accessible per rail transit. The inclusion of 'bus connection availability' was intended to explore whether these transit-complementary effects extend not only to rail transit but also to bus transit. However, no significant effect is observed, indicating an absence of a complementary effect on bus transit. This effect would be evident if ESS was predominantly used in areas underserved by buses. Nevertheless, the provider's supply behaviour must be considered, as they are likely to allocate fewer resources in these areas due to lower anticipated profitability compared to central areas. When these results are combined with those for all trips, we can conclude that there is at least no competing effect with bus services.

4. Conclusion

4.1. Methods

In this study we investigate the spatiotemporal patterns of ESS usage

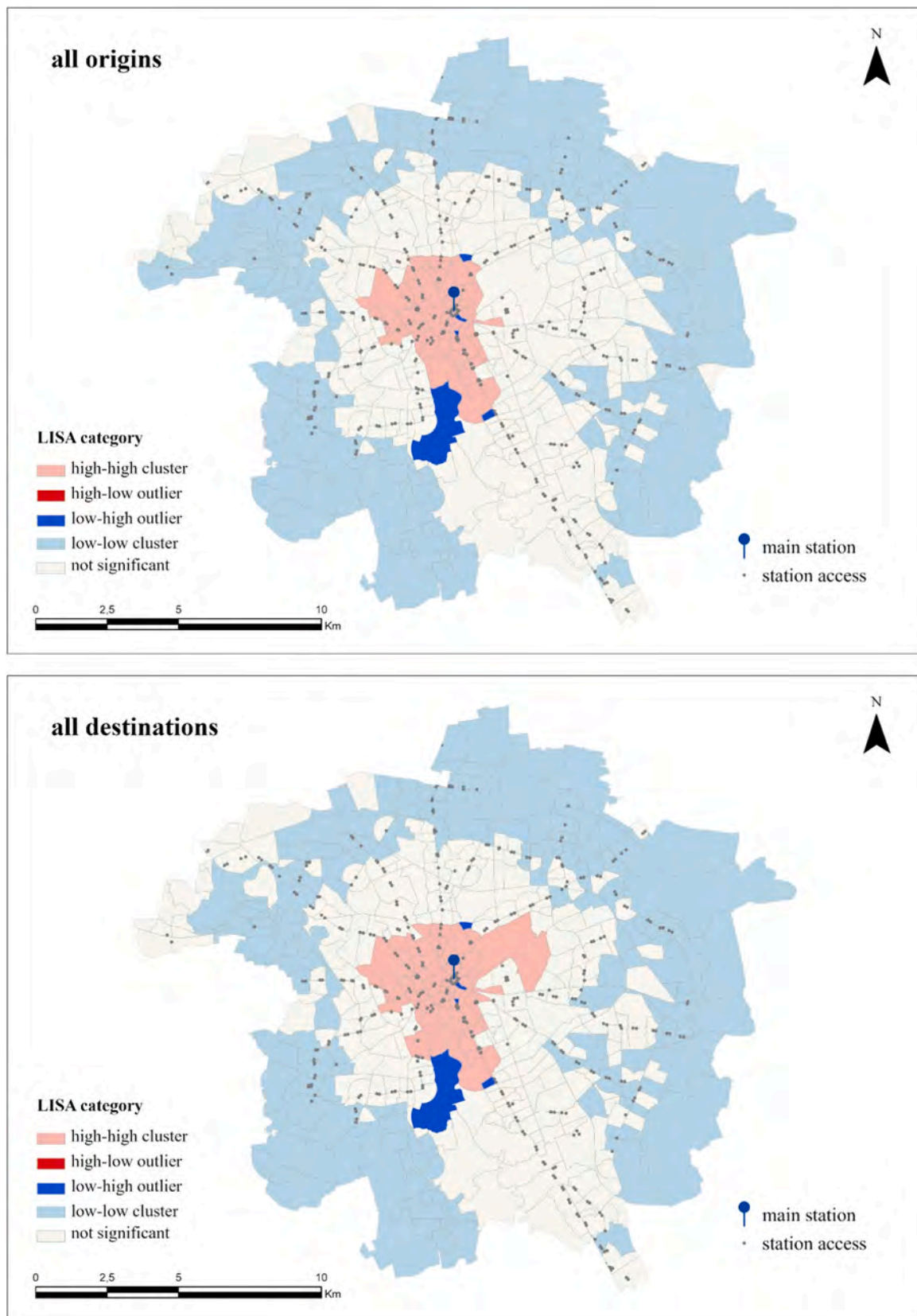


Fig. 6. Cluster and outlier analysis (LISA) of all, access, egress, and complementary trips (each map displays the spatial distribution of one dependent variable of the six regression models).

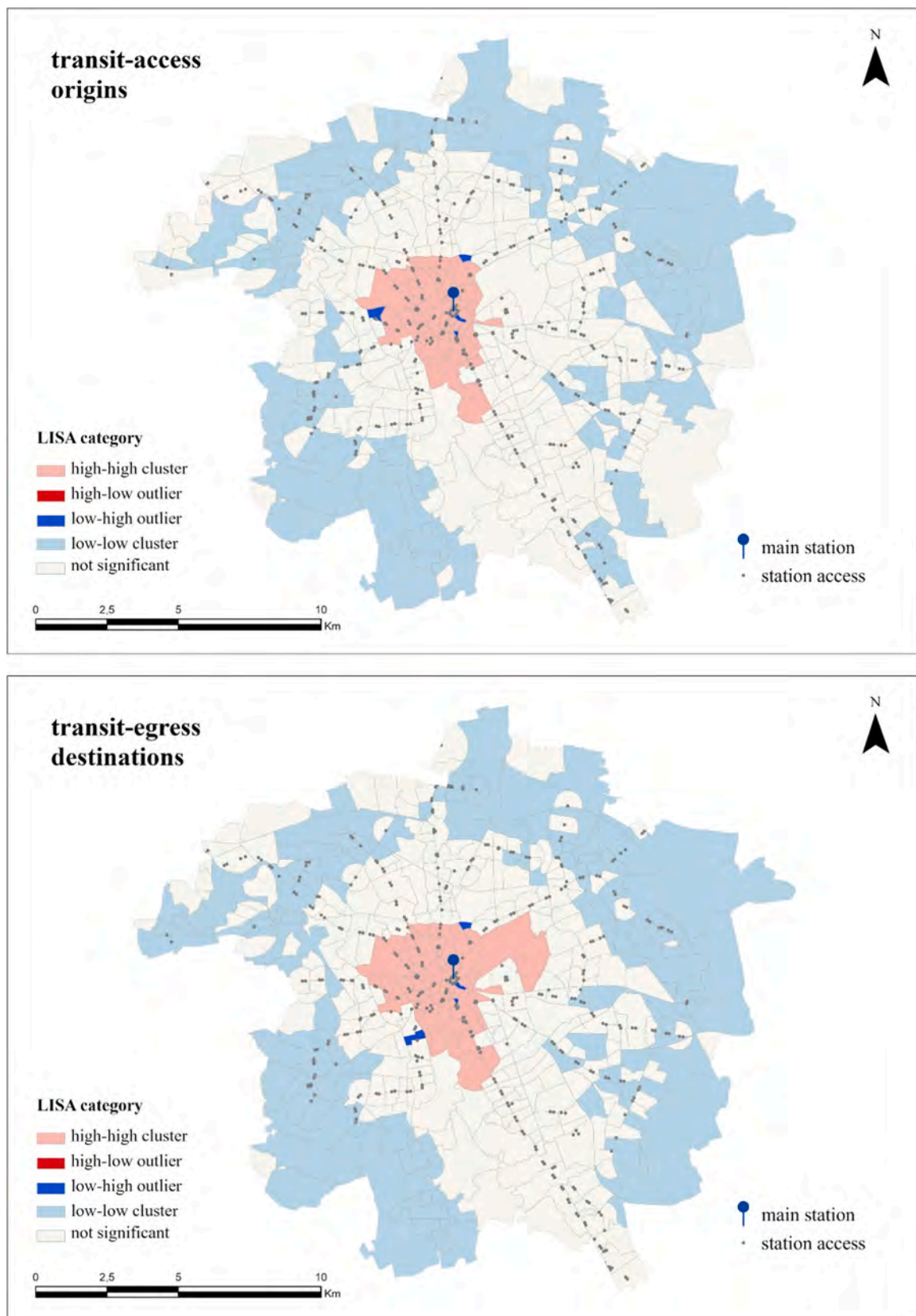


Fig. 6. (continued).

and its interaction with public transport in Germany, with the goal to identify and characterize access, egress, and complementary ESS trips to public transit. Therefore, we analysed a substantial dataset including

more than 320,000 trips conducted over one year to ensure robust results. Additionally, we used high-resolution data from Hanover's transport model, providing precise information on the

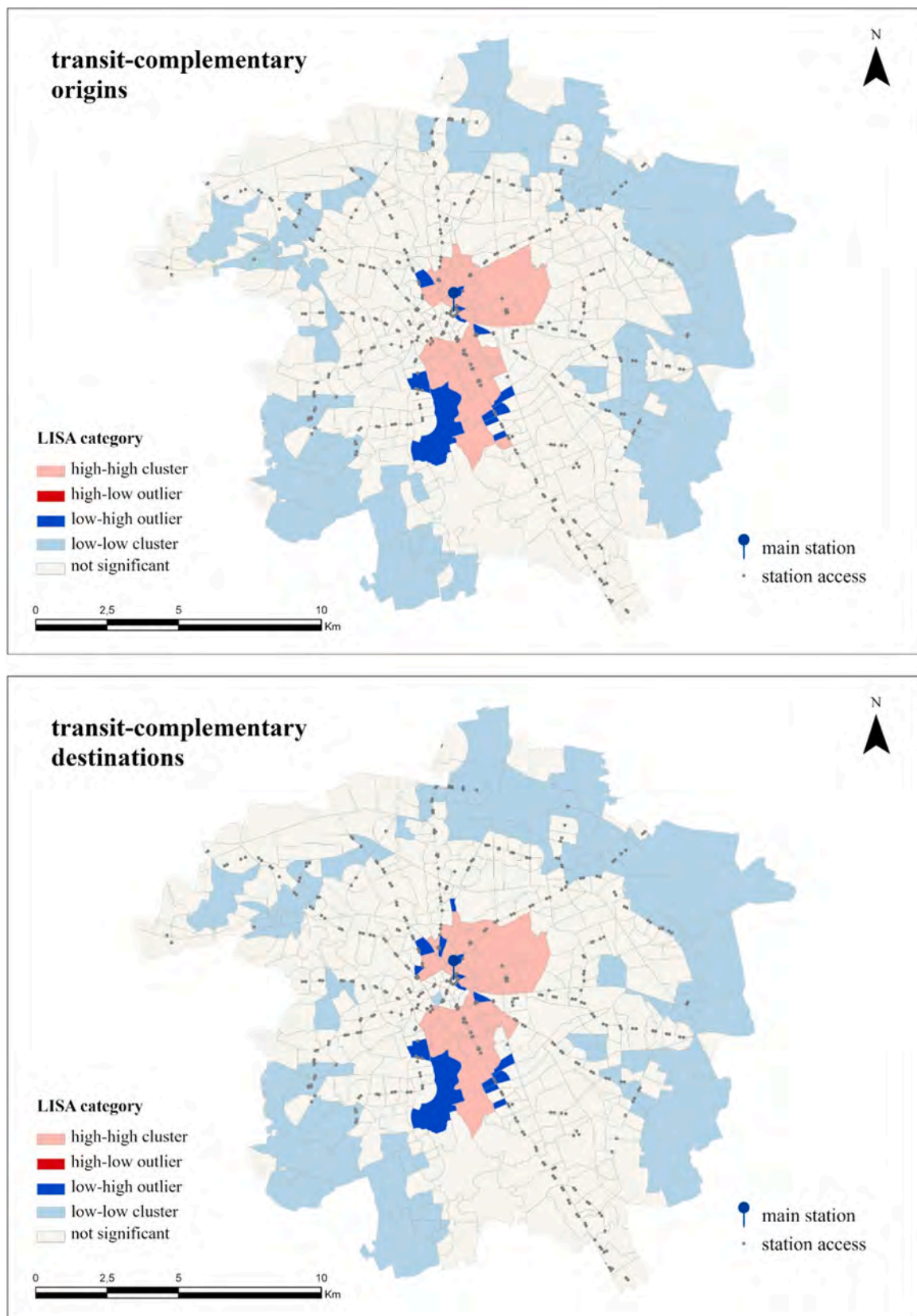


Fig. 6. (continued).

sociodemographic, built environment, and traffic variables. This approach is particularly valuable, as obtaining detailed data below the municipal level can be challenging in Germany. We adapted previous

methods of using transit station catchment areas to categorize the relationship between ESS trips and public transit and revised catchment radii for access, egress, and complementary trips to better fit our study

Table 4

Spatial regression results: Estimated coefficients for origins and destinations of all, transit-connecting, and transit-complementary trips.

	Origin (all)	Destination (all)	Origin (access)	Destination (egress)	Origin (compl.)	Destination (compl.)
(Intercept)	14.228***	12.846***	10.269***	10.312***	5.014*	5.844*
Population	0.196***	0.185***	0.112**	0.150***	0.222***	0.218***
Age 0–14	–2.328	–2.092	–2.092	–2.010	–6.179***	–6.359***
Age 15–30	1.269	1.861*	1.581*	1.640*	–0.230	0.313
Age 31–50	1.027	0.577	0.681	0.534	2.824**	1.969
Age 51–65	–2.422*	–2.221*	–1.810*	–1.770*	–0.530	–0.812
Age 66+	–0.648	–0.350	–0.915	–1.229	–2.486*	–2.163*
Jobs	0.192***	0.180***	0.129***	0.112**	0.040	0.035
Retail per.	0.012	0.033	0.0199	0.012	0.007	0.003
Retail aper.	0.003	–0.011	–0.025	0.000	–0.026	–0.027
Students	–0.003	0.014	0.006	0.017	–0.039	–0.037
Pupils	0.029	0.048**	0.029	0.031*	0.022	0.025
Recreation ground	0.324	0.531	–0.069	0.398	–1.666	–1.103
Green spaces	0.020	0.179	0.141	0.037	0.544	0.358
Water	4.320**	3.669*	3.656**	3.281*	4.683*	4.920*
Culture POI	0.019	–0.041	0.051	0.144	0.014	–0.087
Gastronomy POI	0.216**	0.235**	0.208***	0.172**	0.055	0.070
Bus connection availability	–0.025	–0.018	–0.016	0.025	0.030	0.034
Distance to city center	–0.710***	–0.645	–0.593***	–0.539***	–0.440*	–0.384
lag.Population	0.189	0.120	0.079	0.086	0.252	0.290*
lag.Age 0–14	–6.720	–5.829	–5.777	–3.097	–2.347	–2.974
lag.Age 15–30	0.872	1.388	1.402	0.519	3.385	1.941
lag.Age 31–50	–2.720	–0.896	–0.313	–1.515	2.653	2.860
lag.Age 51–65	–0.921	–1.711	–2.366	–1.509	–2.980	–2.823
lag.Age 66+	–0.585	–0.034	1.382	–1.056	0.506	–0.966
lag.Jobs	0.150	0.213	0.080	0.136	0.036	0.039
lag.Retail per.	0.008	0.088	0.071	0.075	–0.020	0.003
lag.Retail aper.	–0.101	–0.177**	–0.103	–0.091	–0.086	–0.161
lag.Students	0.064	0.057	0.040	0.050	0.032	0.032
lag.Pupils	0.024	0.032	0.034	0.045	–0.037	–0.056
lag.Recreation ground	0.356	0.465	–1.145	–1.045	–7.797	–7.179
lag.Green spaces	–1.294	–0.338	–0.003	–0.955	–0.504	–0.071
lag.Water	1.514	0.750	3.803	3.261	3.407	3.175
lag.Culture POI	0.071	0.122	0.091	0.057	–1.022	–1.099
lag.Gastronomy POI	0.300	0.300	0.286	0.273	–0.006	0.095
lag.Bus connection availability	–0.133*	–0.120*	–0.058	–0.074	0.084	0.117
lag.Distance to city center	–0.957***	–0.925***	–0.684***	–0.742***	–0.412	–0.509
Lambda λ	0.814***	0.806***	0.777***	0.773***	0.719***	0.712***
Log-likelihood for error model	–681.539	–674.018	–575.084	–586.147	–810.225	–816.005
Nagelkerke pseudo-R ² of SDEM (Adj. R ² of OLS)	0.893 (0.722)	0.889 (0.716)	0.884 (0.742)	0.882 (0.735)	0.647 (0.373)	0.638 (0.358)

Significance indicator: * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$; *** = $p < 0.001$.

area. The customization of catchment radii was beneficial for modeling ESS and public transit relationships and is recommended for future research. With regard to the mapping of spatial relationships, the LISA maps provide a distinct portrayal of highly frequented and less frequented areas for ESS in Hanover. Given the evident uneven distribution of ESS supply and the subsequent low-low clusters on the city's periphery, it can be asserted that the inclusion of the distance to the city center into the regression models generated improved and more precise results.

4.2. Trip characteristics

An integrated analysis of both temporal and spatial patterns reveals a high level of ESS use in densely populated areas of Hanover, characterized by a high share of individuals aged 15–30, numerous workplaces, gastronomic establishments, and proximity to the lake. We conclude that commuting trips predominantly occur during the morning and late afternoon rush hours, while trips to and from restaurants are more prevalent in the evening. Most weekday trips occur in the afternoon, with late night and evening usage peaking on Fridays and Saturdays, respectively. The results suggest a significant interaction between ESS usage and rail transit. On average, 25% of all ESS trips connect to rail transit, including both transit-access and transit-egress. Access trips contribute significantly to the total volume during the early morning hours, between 4 am and 7 pm, indicating a likely focus on commuting. In contrast, egress trips see increased usage between 9 pm and 2 am,

suggesting a preference for leisure trips during these hours. The average trip distance for trips connecting to transit exceeding 1.5 km further supports the notion, that ESS holds the capability to extend accessibility to public transport stations beyond walking distance. Approximately one in ten trips occurs in areas not covered by rail transport. Although this may imply a complementary role in providing mobility alternatives for underserved areas, there is no apparent complementary or competing effect with bus transport.

4.3. Planning for intermodal integration and promoting complementary use

The findings provide insights into the benefits of the ESS service in Hanover, and possibly in other German and European cities. Recommendations for action can be derived for both service providers and municipalities. The role of ESS in the context of a sustainable mobility transition is uncertain, with a critical perspective on providers predominantly deploying their e-scooters in city centers. Traditionally, these areas witness short-distance travel predominantly taken on foot, bicycle, or public transport, minimizing the potential for shifting trips from cars to e-scooters. To truly contribute to the modal shift, ESS must focus on facilitating the first and last mile, thereby enhancing access to public transport. The policy objective should not be solely to shift short car trips to ESS, but to encourage the combination of public transport and sharing services for longer journeys. Achieving a synergistic relationship between public transit and ESS requires an integrated system of

infrastructure and tariffs, benefiting users who already exhibit frequent public transport use. Initial steps could involve further promoting the existing combination of ESS and transit, which we have documented, by expanding the cycling infrastructure or providing designated parking spaces at hotspots and transit stations. This approach not only supports the integration of the service into existing infrastructure, but also addresses a prominent issue: the misuse of footpaths as parking spaces. Parking spaces at highly frequented junctions ensure accessibility of ESS. Additionally, they encourage riders to park their scooters in designated areas, reducing sidewalk obstruction and enhancing pedestrian safety. Furthermore, bike lanes enhance ESS rider safety by separating them from automobile traffic.

A challenge in remote areas or smaller cities lies in unifying the interests of market-driven expansion by ESS providers with the demand-driven service planning of the local authorities. Legally binding agreements with providers regarding service areas have already been discussed and implemented in multiple cities (Gössling, 2020), defining where ESS may or may not be offered. This measure could be instrumental in controlling the expansion of the complementary effect by distributing ESS in areas with limited access to public transit. Conversely, cities often impose fees on operators for providing their services within city limits. While increasing the number of scooters on the outskirts of a city per agreement could increase complementary use, operators may face financial challenges if they are unable to recover their costs in these areas, potentially leading them to exit the market. It is also essential to acknowledge that the current user base for the service is specific, and that the service may not serve as a suitable substitute for public transport or their own car for various segments of the population.

4.4. Limitations and further research

One of the most common issues in analysing aggregated data is the problem of potential ecological fallacies. This means that conclusions on individual observations that are rooted on aggregate observations may be false. For example, when ESS trips are overproportionally likely in areas with a high share of young people, this does not mean that young people overproportionally use ESS. Hence, the regression results should be interpreted with caution. Here, survey-based analysis might produce superior results, even with smaller samples compared to aggregated OD data. This risk is, however, less problematic for the purpose of categorizing trips into access, egress, and complementary types. Another limitation associated with using regression analysis of shared mobility trip data lies in the challenge of evaluating the extent to which the provider's supply distribution influences demand, likely favouring central areas and disadvantaging peripheral areas. Hence, it is not feasible to draw conclusions directly from the realized demand for supply needs. The inclusion of the distance to the city center as a variable attempts to address this unequal distribution within the model. Nevertheless, the extent to which the influence of explanatory variables may vary with respect to the redistribution patterns of the operator is difficult to quantify. Therefore, it would be valuable for future studies to explore the degree to which spatial and temporal distribution patterns predetermined by the provider affect actual demand using longitudinal data. To further analyse the interplay between ESS and urban form, panel data could also be beneficial for measuring the impact of changes in regulations or the built environment on ESS usage patterns, such as the implementation of prohibited zones or the development of bicycle infrastructure. Examining how bike lanes or parking facilities at public transport stops influence the interaction between ESS and public transport could provide valuable insights for the integration of ESS into existing public transit schemes. Lastly, this study is unable to provide precise information about trips competing with rail transit. While substitution effects and transit-competing trips have already been studied, analysing complementary trips can also benefit from insights into competing trips, particularly when the focus is not spatial complementarity, as in our case, but temporal complementarity. For instance, trips

may compete during the day but become complementary at night when public transport services are insufficient or not available. Future research could explore the use of dynamic station catchment areas, with radii that adjust throughout the day to reflect temporal variations in transit availability.

CRedit authorship contribution statement

Goedde Jan: Writing – review & editing, Writing – original draft, Visualization, Validation, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Scheiner Joachim:** Writing – review & editing, Supervision.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgement

This research is supported by the German Ministry for Education and Research (BMBF), reference number 01UU1907A. We would also like to thank Lime and the administration of the Region Hannover for providing data.

Data availability

The data that has been used is confidential.

References

- 6t- bureau de recherche, 2019. Uses and Users of Free-floating Electric Scooters in France. (<https://6-t.co/en/free-floating-escoters-france/>). Accessed 21 March 2021.
- Aarhaug, J., Fearnley, N., Johnsson, E., 2023. E-scooters and public transport – complement or competition? *Res. Transp. Econ.* 98, 101279.
- Aboulela, M., Chaniotakis, E., Antoniou, C., 2023. Understanding the landscape of shared-e-scooters in North America; spatiotemporal analysis and policy insights. *Transp. Res. Part A: Policy Pract.* 169, 103602.
- Anselin, L., 1988. Lagrange multiplier test diagnostics for spatial dependence and spatial heterogeneity. *Geogr. Anal.* 20, 1–17.
- Anselin, L., 1995. Local indicators of spatial association—LISA. *Geogr. Anal.* 27, 93–115.
- Back, K., Lee, H., Chung, J.-H., Kim, J., 2021. Electric scooter sharing: how do people value it as a last-mile transportation mode? *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 90, 102642.
- Bai, S., Jiao, J., 2020. Dockless E-scooter usage patterns and urban built Environments: a comparison study of Austin, TX, and Minneapolis, MN. *Travel Behav. Soc.* 20, 264–272.
- Bauer, U., Hertel M., Klein-Hitpaß, A., Reichow, V., Hardinghaus, M., Leschik, C., Cyganski, R., Oostendorp, R., 2022. E-Tretroller in Städten - Nutzung, Konflikte und kommunale Handlungsmöglichkeiten. Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin, 50 pp.
- Berg Wincent, B., Jenelius, E., Burghout, W., 2023. Access distance to e-scooters: analysis of app use and trip data in Stockholm. *J. Cycl. Micro Res.* 1, 100004.
- Bergantino, A.S., Gardelli, A., 2024. The contribution of e-scooters services to urban transport resilience. *J. Transp. Geogr.* 118, 103869.
- Cao, Z., Zhang, X., Chua, K., Yu, H., Zhao, J., 2021. E-scooter sharing to serve short-distance transit trips: a Singapore case. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 147, 177–196.
- Caspi, O., Smart, M.J., Noland, R.B., 2020. Spatial associations of dockless shared e-scooter usage. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 86, 102396.
- Cheng, L., Wang, K., De Vos, J., Huang, J., Witlox, F., 2022. Exploring non-linear built environment effects on the integration of free-floating bike-share and urban rail transport: a quantile regression approach. *Transp. Res. A* 162, 175–187 (ISSN: 09658564).
- Cheng, L., Huang, J., Jin, T., Chen, W., Li, A., Witlox, F., 2023. Comparison of station-based and free-floating bikeshare systems as feeder modes to the metro. *J. Transp. Geogr.* 107, 103545.
- Christoforou, Z., Bortoli, A. de, Gioldasis, C., Seidowsky, R., 2021. Who is using e-scooters and how? Evidence from Paris. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 92, 102708.
- Eom, J.K., Lee, K.-S., Lee, J., 2023. Exploring micromobility mode preferences for last-mile trips from subway stations. *J. Public Transp.* 25, 100054.
- Espinosa, W., Howard, M., Lane, J., van Hentenryck, P., 2019. Shared E-scooters: Business, Pleasure, or Transit? (<https://arxiv.org/pdf/1910.05807>).

- Foissaud, N., Gioldasis, C., Tamura, S., Christoforou, Z., Farhi, N., 2022. Free-floating e-scooter usage in urban areas: a spatiotemporal analysis. *J. Transp. Geogr.* 100, 103335.
- Gao, K., Jia, R., Liao, Y., Liu, Y., Najafi, A., Attard, M., 2024. Big-data-driven approach and scalable analysis on environmental sustainability of shared micromobility from trip to city level analysis. *Sustain. Cities Soc.* 115, 105803.
- Gebhardt, L., Ehrenberger, S., Wolf, C., Cyganski, R., 2022. Can shared E-scooters reduce CO₂ emissions by substituting car trips in Germany? *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 109, 103328.
- Göbler, T., 2020. *Region Hannover - ein funktionierendes Stadt-Umland-Modell*. Verlag der ARL - Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft, Hannover, Online-Ressource.
- Gössling, S., 2020. Integrating e-scooters in urban transportation: problems, policies, and the prospect of system change. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 79, 102230.
- Guo, Y., He, S.Y., 2020. Built environment effects on the integration of dockless bike-sharing and the metro. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 83, 102335.
- Guo, Y., Yang, L., Lu, Y., Zhao, R., 2021. Dockless bike-sharing as a feeder mode of metro commute? The role of the feeder-related built environment: analytical framework and empirical evidence. *Sustain. Cities Soc.* 65, 102594.
- Guo, Z., Liu, J., Zhao, P., Li, A., Liu, X., 2023. Spatiotemporal heterogeneity of the shared e-scooter-public transport relationships in Stockholm and Helsinki. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 122, 103880.
- Hawa, L., Cui, B., Sun, L., El-Geneidy, A., 2021. Scoot over: Determinants of shared electric scooter presence in Washington D.C. *Case Stud. Transp. Policy* 9, 418–430.
- Hollingsworth, J., Copeland, B., Johnson, J.X., 2019. Are e-scooters polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters. *Environ. Res. Lett.* 14, 84031.
- Hong, D., Jang, S., Lee, C., 2023. Investigation of shared micromobility preference for last-mile travel on shared parking lots in city center. *Travel Behav. Soc.* 30, 163–177.
- Hosseinzadeh, A., Algomaiah, M., Kluger, R., Li, Z., 2021. Spatial analysis of shared e-scooter trips. *J. Transp. Geogr.* 92, 103016.
- Huang, E., Yin, Z., Broadus, A., Yan, X., 2024. Shared e-scooters as a last-mile transit solution? Travel behavior insights from Los Angeles and Washington D.C. *Travel Behav. Soc.* 34, 100663.
- Huo, J., Yang, H., Li, C., Zheng, R., Yang, L., Wen, Y., 2021. Influence of the built environment on E-scooter sharing ridership: a tale of five cities. *J. Transp. Geogr.* 93, 103084.
- infas, D.L.R., IVT, infas 360, 2018. *Mobilität in Deutschland (im Auftrag des BMVI)*.
- Javadiansr, M., Davatgari, A., Rahimi, E., Mohammadi, M., Mohammadian, A., Auld, J., 2024. Coupling shared E-scooters and public transit: a spatial and temporal analysis. *Transp. Lett.* 16 (6), 581–598.
- Karimpour, A., Hosseinzadeh, A., Kluger, R., 2023. A data-driven approach to estimating dockless electric scooter service areas. *J. Transp. Geogr.* 109, 103579.
- Kazemzadeh, K., Sprei, F., 2024. The effect of shared e-scooter programs on modal shift: evidence from Sweden. *Sustain. Cities Soc.* 101, 105097.
- Kim, M., Puczkowskyj, N., MacArthur, J., Dill, J., 2023. Perspectives on e-scooters use: a multi-year cross-sectional approach to understanding e-scooter travel behavior in Portland, Oregon. *Transp. Res. Part A: Policy Pract.* 178, 103866.
- Krauss, K., Scherrer, A., Burghard, U., Schuler, J., Burger, A.M., Doll, C., 2020. *Sharing Economy in der Mobilität - Potenziale Nutzung und Akzeptanz geteilter Mobilitätsdienste in urbanen Räumen in Deutschland*. Fraunhofer ISI.
- Krauss, K., Doll, C., Thigpen, C., 2022. *The Net Sustainability Impact of Shared Micromobility in Six Global Cities*. (https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2022/the_net_sustainability_impact_of_shared_micromobility_in_six_global_cities.pdf).
- Krier, C., Chrétien, J., Lagadic, M., Louvet, N., 2021. How do shared dockless E-scooter services affect mobility practices in Paris? A survey-based estimation of modal shift. *Transp. Res. Rec.* 2675, 291–304.
- Laa, B., Leth, U., 2020. Survey of E-scooter users in Vienna: who they are and how they ride. *J. Transp. Geogr.* 89, 102874.
- Lee, H., Baek, K., Chung, J.-H., Kim, J., 2021. Factors affecting heterogeneity in willingness to use e-scooter sharing services. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 92, 102751.
- LeSage, J.P., 2014. *What Regional Scientists Need to Know About Spatial Econometrics*. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2420725>.
- LeSage, J.P., Pace, R.K., 2009. *Introduction to Spatial Econometrics*. Chapman and Hall/CRC.
- Li, A., Zhao, P., Liu, X., Mansourian, A., Axhausen, K.W., Qu, X., 2022. Comprehensive comparison of e-scooter sharing mobility: evidence from 30 European cities. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 105, 103229.
- Li, A., Gao, K., Zhao, P., Axhausen, K.W., 2024. Integrating shared e-scooters as the feeder to public transit: a comparative analysis of 124 European cities. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 160, 104496.
- Lime, 2020. *End of Year Report 2020*. (<https://www.li.me/pdf/eoy-report.pdf>).
- Lin, J.J., Zhao, P., Takada, K., Li, S., Yai, T., Chen, C.H., 2018. Built environment and public bike usage for metro access: a comparison of neighborhoods in Beijing, Taipei, and Tokyo. *Transp. Res. Part D* 63, 209–221.
- Lu, M., Traut, E.J., Ilgin Gulser, S., Hu, X., 2024. Analysis of spatial interactions among shared e-scooters, shared bikes, and public transit. *J. Intell. Transp. Syst.* 28 (4), 587–603.
- LUH, 2023. *Leibniz Universität Hannover in Zahlen*. (<https://www.uni-hannover.de/de/universitaet/profil/zahlen>).
- Luo, H., Zhang, Z., Gkritza, K., Cai, H., 2021. Are shared electric scooters competing with buses? a case study in Indianapolis. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 97, 102877.
- Ma, Q., Xin, Y., Yang, H., Xie, K., 2022. Connecting metros with shared electric scooters: comparisons with shared bikes and taxis. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 109, 103376.
- Ma, X., Ji, Y., Yang, M., Jin, Y., Tan, X., 2018. Understanding bikeshare mode as a feeder to metro by isolating metro-bikeshare transfers from smart card data. *Transp. Policy* 71, 57–69.
- Mathew, J.K., Liu, M., Seeder, S., Li, H., Bullock, D.M., 2019. Analysis of e-scooter trips and their temporal usage patterns. *ITE J.* 44–49.
- McKenzie, G., 2019. Spatiotemporal comparative analysis of scooter-share and bike-share usage patterns in Washington, D.C. *J. Transp. Geogr.* 78, 19–28.
- Merlin, L.A., Yan, X., Xu, Y., Zhao, X., 2021. A segment-level model of shared, electric scooter origins and destinations. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 92, 102709.
- Moran, P.A.P., 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* 37, 17.
- Nikiforiadis, A., Paschalidis, E., Stamatidis, N., Paloka, N., Tsekoura, E., Basbas, S., 2023. E-scooters and other mode trip chaining: preferences and attitudes of university students. *Transp. Res. Part A: Policy Pract.* 170, 103636.
- Noland, R.B., 2019. *Trip patterns and revenue of shared e-scooters in Louisville, Kentucky*. Transp. Find.
- Oeschger, G., Caulfield, B., Carroll, P., 2025. User characteristics and preferences for micromobility use in first- and last-mile journeys in Dublin, Ireland. *Travel Behav. Soc.* 38, 100926.
- Parishwad, O., Lillieblad, H., Najafi, A., 2024. *Shared e-scooter Usage Trends in a Swedish City: A Spatial Analysis*, in: *Smart Transportation Systems 2024. Proceedings of 7th KES-STS International Symposium. Proceedings of KES-STS International Symposium*. Springer Nature Singapore; Imprint Springer: Singapore, pp. 107–117.
- PBOT, 2019. *2018 E-Scooter Finding Report*. (<https://www.portland.gov/transportation/escooterpx/documents/2018-e-scooter-findings-report/download>).
- Psarrou, A.M.K., Christoforou, Z., Gioldasis, C., 2024. The ambivalent relationship of e-scooters and public transport: evidence from France. *Transp. Policy* 159, 215–229.
- Reck, D.J., Guidon, S., Axhausen, K.W., 2021. Modelling shared e-scooters: A spatial regression approach, 11 pp. Accessed 13 July 2021.
- Reck, D.J., Martin, H., Axhausen, K.W., 2022. Mode choice, substitution patterns and environmental impacts of shared and personal micro-mobility. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 102, 103134.
- Region Hannover, 2023. *Pendlerverflechtungen 2022*. (https://www.wirtschaftsfoerderung-hannover.de/de/Microsites/Trends_und_Fakten/2023/pendlerverflechtungen/index.php).
- SFMTA2019. *Powered Scooter Share Mid-Pilot Evaluation*. (https://www.sfmta.com/sites/default/files/reports-and-documents/2019/04/powered_scooter_share_mid-pilot_evaluation_final.pdf).
- Tuli, F.M., Mitra, S., Crews, M.B., 2021. Factors influencing the usage of shared E-scooters in Chicago. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 154, 164–185.
- Tuli, F.M., Nithila, A.N., Mitra, S., 2023. Uncovering the spatio-temporal impact of the COVID-19 pandemic on shared e-scooter usage: a spatial panel model. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 20, 100843.
- Wan, L., Bendavid, I., 2024. Inferring trip purposes and mode substitution effect of rental e-scooters in London. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 126, 104034.
- Weschke, J., 2023. Scooting when the metro arrives — estimating the impact of public transport stations on shared e-scooter demand. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 178, 103868.
- Weschke, J., Oostendorp, R., Hardinghaus, M., 2022. Mode shift, motivational reasons, and impact on emissions of shared e-scooter usage. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 112.
- Yan, X., Yang, W., Zhang, X., Xu, Y., Beijeri, I., Zhao, X., 2021. Do e-scooters fill mobility gaps and promote equity before and during COVID-19? A spatiotemporal analysis using open big data. (<https://arxiv.org/pdf/2103.09060>).
- Yan, X., Yang, W., Zhang, X., Xu, Y., Beijeri, I., Zhao, X., 2021a. A spatiotemporal analysis of e-scooters' relationships with transit and station-based bikeshare. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 101, 103088.
- Yan, X., Zhao, X., Broadus, A., Johnson, J., Srinivasan, S., 2023. Evaluating shared e-scooters' potential to enhance public transit and reduce driving. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 117, 103640.
- Yang, W., Ewing, R., 2024. Unlocking the role of shared dockless e-scooters bridging last-mile gaps: a quasi-experimental study of metro rail transit in Los Angeles. *Travel Behav. Soc.* 37, 100869.
- Yang, Y., Heppenstall, A., Turner, A., Comber, A., 2019. A spatiotemporal and graph-based analysis of dockless bike sharing patterns to understand urban flows over the last mile. *Comput. Environ. Urban Syst.* 77, 101361.
- Yin, Z., Rybarczyk, G., Zheng, A., Su, L., Sun, B., Yan, X., 2024. Shared micromobility as a first- and last-mile transit solution? Spatiotemporal insights from a novel dataset. *J. Transp. Geogr.* 114, 103778.
- Zhan, Z., Guo, Y., Noland, R.B., He, S.Y., Wang, Y., 2023. Analysis of links between dockless bikeshare and metro trips in Beijing. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 175, 103784.
- Zhou, X., Dong, Q., Huang, Z., Yin, G., Zhou, G., Liu, Y., 2023. The spatially varying effects of built environment characteristics on the integrated usage of dockless bike-sharing and public transport. *Sustain. Cities Soc.* 89, 104348.
- Zhu, R., Zhang, X., Kondor, D., Santi, P., Ratti, C., 2020. Understanding spatio-temporal heterogeneity of bike-sharing and scooter-sharing mobility. *Comput. Environ. Urban Syst.* 81, 101483.
- Ziedan, A., Darling, W., Brakewood, C., Erhardt, G., Watkins, K., 2021. The impacts of shared e-scooters on bus ridership. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 153, 20–34.
- Zuniga-Garcia, N., Tec, M., Scott, J.G., Machemehl, R.B., 2022. Evaluation of e-scooters as transit last-mile solution. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 139, 103660.
- Zwick, F., Axhausen, K.W., 2022. Ride-pooling demand prediction: a spatiotemporal assessment in Germany. *J. Transp. Geogr.* 100, 103307.

3.3 Artikel 3

Gödde, J., Scheiner, J., 2026. Evaluation of e-scooter sharing as a feeder mode for public transport in suburban communities in Germany – A mixed methods approach. *Case Studies on Transport Policy* 23, 101657. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101657>.



Evaluation of e-scooter sharing as a feeder mode for public transport in suburban communities in Germany – A mixed methods approach

Jan Gödde^{*} , Joachim Scheiner

TU Dortmund University, Department of Spatial Planning, Urban Development Group, August-Schmidt-Str. 6, 44227 Dortmund, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:

E-scooter
Micro mobility
Shared mobility
Public transit
Suburbia
Mixed methods

ABSTRACT

E-scooter-sharing is primarily offered in large cities, where e-scooters are frequently used as a feeder mode for public transport (first and last mile). Nevertheless, critics argue that these services may be redundant in well-connected urban areas and could offer greater value in suburban or peripheral regions, where first/last mile transport is often less flexible, the number of departures of feeder modes is lower and distances to stations are longer. This study evaluates the utilization potential of e-scooter-sharing and the challenges of implementing it in suburban communities in Germany by using a three-part mixed methods approach: we estimate demand through spatial analysis, engage stakeholders in focus groups to discuss implementation strategies, and analyze user behavior and movement patterns in a living lab, in which we test e-scooter-sharing in a suburban town over a two-month period. Results suggest utilization potential in intermodal commuting routes of young inhabitants, with insufficient cycling networks and financial difficulties being the main challenges of adoption. Cooperation between cities and providers is identified as the key to successful adaptation, for establishing parking regulations, and creating an integrated experience of public transport and e-scooter-sharing.

1. Introduction

In recent years, e-scooter-sharing (ESS) has seen remarkable growth in urban areas. Despite the interruption caused by the COVID-19 pandemic, the number of trips increased by 15 % between 2022 and 2023 to a total of 69 million trips in the US and Canada (NACTO, 2024). At the same time, the number of registered e-scooters by ESS providers in Germany increased by 9 % (while data for the number of trips is not available) (GDV, 2025). Once considered a niche product, ESS systems are now available in many metropolitan cities. Their compact design and flexible application make e-scooters a popular choice for short-distance travel. In Germany, the use of e-scooters was officially legalized in 2019 with the adoption of the Small Electric Vehicles Ordinance (*Elektrokleinstfahrzeugeverordnung eKFV*). Following legalization, several ESS providers established their presence in German cities. The characteristics of users and their movement patterns with ESS exhibit clear patterns. Predominantly young and male individuals (Badia and Jenelius, 2023; Christoforou et al., 2021; Gkavra and Susilo, 2025; Laa and Leth, 2020; SFMTA, 2019; Wang et al., 2023) use ESS for short-distance trips in inner cities (Bai and Jiao, 2020; Foissaud et al., 2022; Mathew et al., 2019; McKenzie, 2019; Noland, 2019), mostly for leisure activities and

commuting (6–t, 2019; Bauer et al., 2022; Krauss et al., 2020; Laa and Leth, 2020). However, the introduction of ESS in Germany was accompanied by discussions on its ecological impact as well as rising misuse. In many instances, ESS replaces more sustainable transportation modes, such as walking, cycling and public transport, rather than substituting car traffic (Aarhaug et al., 2025; Badia and Jenelius, 2023; Bauer et al., 2022; Christoforou et al., 2021; Fearnley and Veisten, 2025; Gao et al., 2024; Jayawardhena et al., 2025; Reck et al., 2022). This led to a debate about their overall benefit in urban settings (Hollingsworth et al., 2019; Krauss et al., 2022), also referring to the fact that the ESS user group lacks heterogeneity (6–t, 2019), which suggests a lack of inclusivity. While active travel modes like walking and cycling are often replaced by ESS, recent research indicates that the extent to which e-scooters replace other transport modes also depends on the prevailing use of private motorized vehicles, public transport, and active travel options like cycling and walking in each city (Fearnley and Veisten, 2025). This may indicate that suburban or rural areas, where cars make up a larger share of traffic, could potentially experience a higher replacement rate. Furthermore, e-scooters hold substantial potential as a mode for first and last mile transportation. ESS is frequently used as a last mile solution (Gödde and Scheiner, 2025; Li et al., 2024; Ma et al.,

^{*} Corresponding author.

E-mail address: jan.goedde@tu-dortmund.de (J. Gödde).

<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101657>

Received 4 November 2024; Received in revised form 13 October 2025; Accepted 11 November 2025

Available online 13 November 2025

2213-624X/© 2025 The Author(s). Published by Elsevier Ltd on behalf of World Conference on Transport Research Society. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

2022; Yan et al., 2021), bridging the gap between public transport stops and the user's final destinations or vice versa, thus complementing local transit systems (Jayawardhena et al., 2025; Krauss et al., 2024).

Particularly in suburban and rural areas, public transport is often not a competitive alternative to cars due to poor frequency, long transfer times, and reduced accessibility. To improve access to local public transport and consequently its attractiveness, new transport modes, such as ESS, could play a role and make the feeder mode more flexible. Yet, e-scooters are currently rarely provided in the outskirts of cities and suburban communities. Due to the limited availability of ESS in non-urban areas, research in suburban and rural regions has so far concentrated on the use of private e-scooters. Compared to users of shared e-scooters in urban environments, private e-scooter trips in non-urban areas demonstrate a greater potential to replace car trips (Dürhammer et al., 2025) and frequently serve as a first or last mile mode of transport in combination with public transit (Pobudzei et al., 2024). One reason for the lack of ESS supply in non-urban settings is the profit-driven nature of ESS providers, who focus on densely populated inner cities for higher returns. Additionally, cooperation between public transport authorities and ESS providers varies greatly from city to city, hindering the development of an integrated cross-regional system. Cooperation has recently improved as larger cities realized tenders for ESS services to which providers had to apply. These tenders include various regulations, such as fees, but also provision agreements for poorly connected districts. Regulation has become increasingly important as the rise in e-scooter usage has also brought challenges for urban planners. Unstructured parking practices, particularly the placement of e-scooters on sidewalks, have led to numerous complaints. Safety concerns emerged due to accidents and improper use, prompting discussions about regulation and control, which have led, in some cases, to outright bans in cities such as Paris (Schofield, 2023). In response, cities began to implement stricter regulations to better manage the parking and ESS use. Some cities introduced designated parking zones and ramped up enforcement measures to ensure that e-scooters were parked correctly. Additionally, geo-fencing has been employed by service providers to throttle speed, restrict parking in certain areas, and enhance compliance (Gössling, 2020). These measures aim to address the initial issues and improve the integration of ESS into urban transportation systems. However, the unregulated parking of e-scooters still presents significant obstacles for pedestrians and diminishes public acceptance (Teixeira et al., 2023).

To explore the potential use and integration of ESS in suburban areas

as a complementary service to public transport, a view that integrates different perspectives (e.g., user potential, user behaviour, and the supply perspective) is needed. The following analysis assesses the first/last mile use case for ESS in suburban communities in the Hanover Region, Germany, and identifies the measures needed to promote ESS use in less urbanized areas. The goal is to evaluate whether e-scooters can fulfil their potential as a feeder mode in suburban communities and determine how extensively the service can be integrated into public spaces in a manner that minimizes conflicts with other transport modes and pedestrians. The study therefore addresses the gap in the analysis of ESS usage outside major cities and investigates whether insights from previous research conducted in urban environments can be applied to suburban contexts.

2. Methods

The analysis is structured in three successive parts, applying a mixed methods approach (Fig. 1). (1) We begin by estimating the theoretical potential for use, derived from evidence of previous research on spatial influences on demand and subsequent transfer this knowledge to the study area using spatial structure analysis. (2) In the second part of our analysis, we hold focus groups with stakeholders that include transport planners from the research area, ESS providers, as well as planners from suburban communities, in which ESS has already been tested to evaluate the fit of ESS as a feeder mode for public transport, and discuss policy recommendations to promote ESS in suburban communities. (3) Finally, we supplement the theoretical knowledge generated in the first two parts of the analysis by creating practical knowledge in a living lab. We provide an ESS service in one suburban municipality for a limited period and evaluate its utilization. Each step of the analysis is further explained in the subsections 2.2, 2.3 and 2.4.

2.1. Study area

Approximately 1.15 million people reside in 21 municipalities within the Hanover Region. The state capital of Hanover is located at the region's center and has a population of approximately 548,000. The population of the region is concentrated in compact settlement areas along the railway lines, despite expansive municipal territories (Fig. 2). In particularly large municipalities like Neustadt am Rübenberge, there is an urban core with relatively low population in the surrounding areas. The Hanover Region is the intersection point for the north-south and

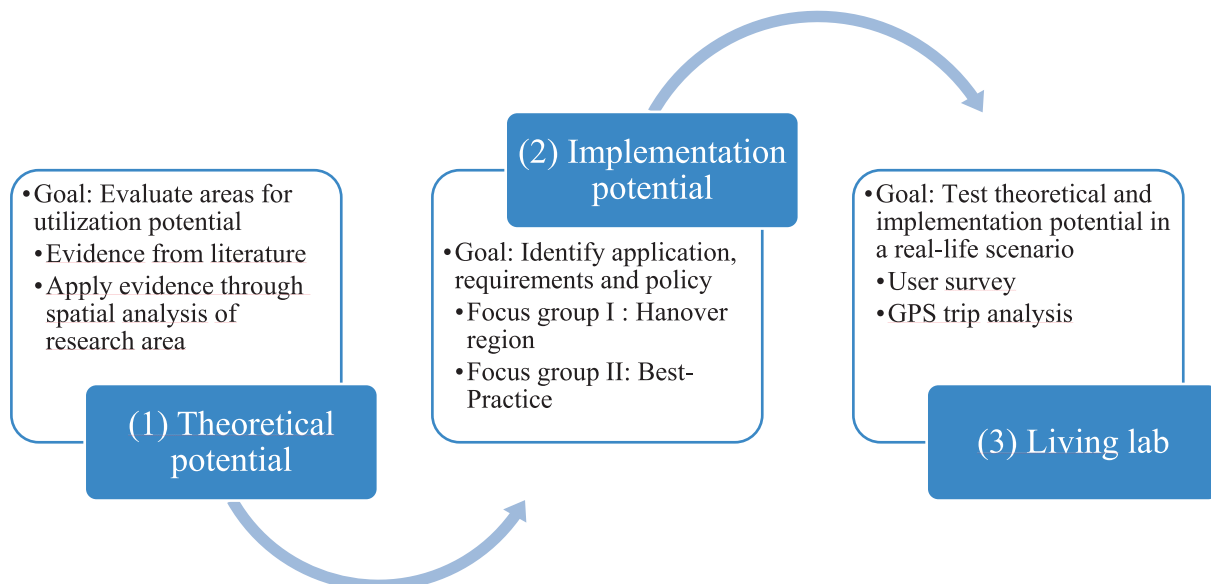


Fig. 1. Mixed methods design.

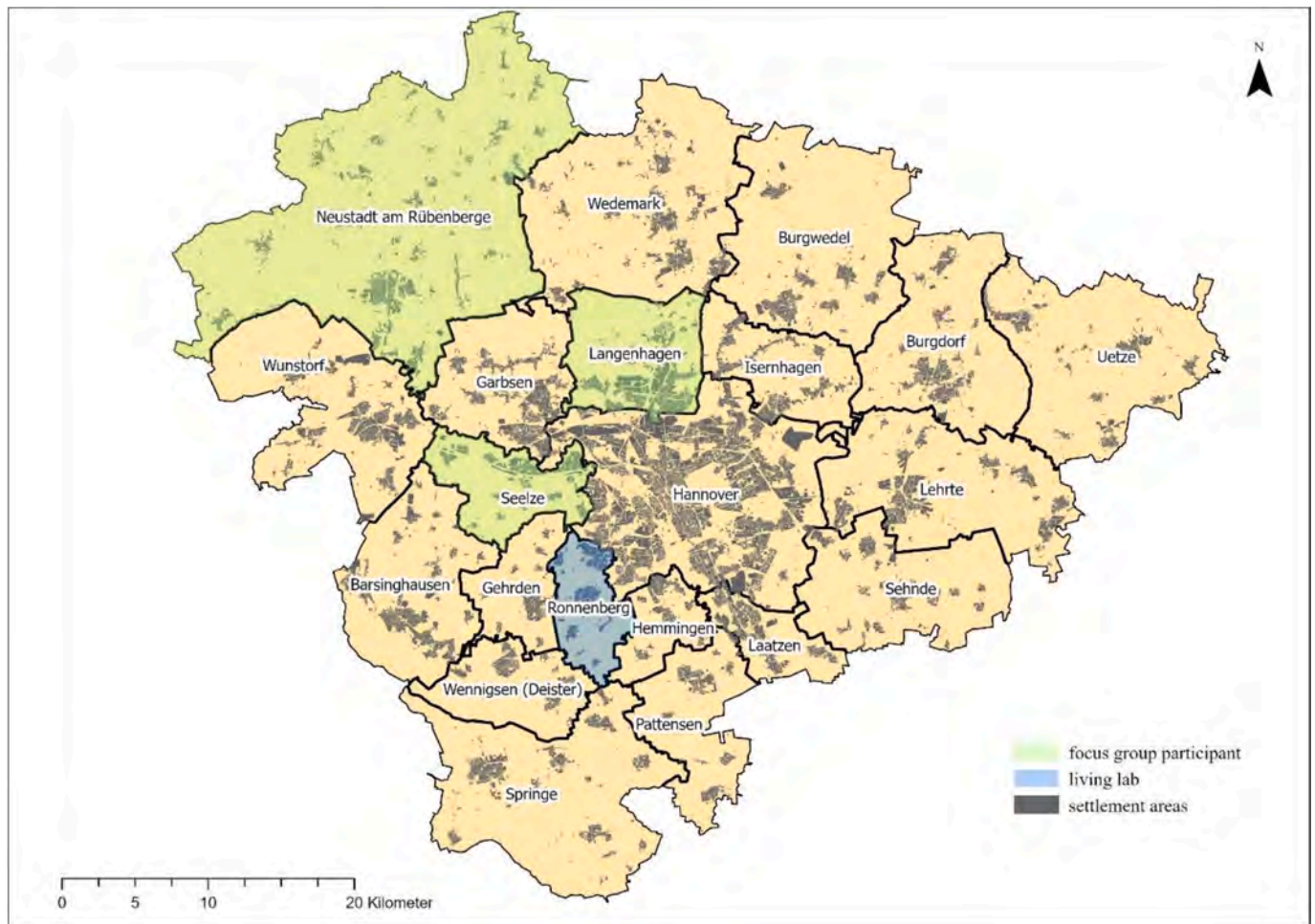


Fig. 2. 21 municipalities of the research area Hanover region.

east–west rail and road traffic routes in northern Germany. The city of Hanover is connected to the surrounding municipalities of the region via a radial rail network. While Hanover is defined as a metropolitan city and the centre of its region, the other 20 municipalities resemble smaller suburban cities with a range of 14,000 to 62,000 inhabitants.

Commuting patterns within the region vary, with the largest commuter flows moving from the surrounding municipalities into Hanover. In these suburban municipalities, feeder mode is supported by bus connections, as well as by Park & Ride and Bike & Ride in some cities. The use of transport in the 20 suburban municipalities varies greatly from its use in Hanover, with people relying far more on private cars than on public transport (Table 1).

2.2. Theoretical potential

The methodological approach for determining the theoretical potential is based on the spatial framework for planning station-based bike sharing systems proposed by Loidl et al. (2019). The approach uses geographic space as the basis for a combined analysis of multiple demand-predicting data layers to plan the location of bike sharing

Table 1

Use of transport / modal split for Hanover compared to the sum of all surrounding municipalities (based on residential population) (infas et al., 2018).

Municipalities	Car	Public transport	Bicycle	On foot
Hanover	36 %	19 %	19 %	26 %
All other	55 %	13 %	14 %	18 %

stations. To reflect spatial differences in these demand metrics, they mapped metrics at the highest resolution possible, in their case census districts. System metrics from literature are then overlaid and categorized into low, medium, and high values by the range of values (Loidl et al., 2019). This method enables quantitative, spatially detailed estimates of demand potential, either by single metrics or as aggregated scenarios. For our case study, we implement this approach by carrying out the proposed steps in sequence.

Step 1: Determining ESS demand metrics.

Based on evidence from the literature on the use of ESS, variables that most likely predict an increased use of ESS are derived. Although there are sometimes contradictory results in the individual studies and cities, in addition to the importance of public transport stations for ESS trip generation (Li et al., 2024; Ma et al., 2022; Tuli et al., 2021; Weschke, 2023; Yan et al., 2021; Zhu et al., 2020), there are certain factors that are associated with increased use of ESS across several studies:

1. Population: ESS is used more in areas that have a high population density (Gödde and Scheiner, 2025; Hawa et al., 2021; Huo et al., 2021; Jiao and Bai, 2020)
2. Youth: ESS is used by younger individuals below age 40 (6–t, 2019; Badia and Jenelius, 2023; Bauer et al., 2022; Christoforou et al., 2021; Gkavra and Susilo, 2025; Laa and Leth, 2020) or frequently used in areas with a high proportion of young inhabitants (Hosseinzadeh et al., 2021; Merlin et al., 2021)

3. Jobs: ESS is used more in areas that have a high density of jobs, employment (Caspi et al., 2020; Gödde and Scheiner, 2025; Huo et al., 2021), or businesses (Espinoza, 2019)
4. Students: ESS is often used by pupils and students (6–t, 2019), in areas with large student populations (Caspi et al., 2020) or areas associated with school and university buildings (Bai and Jiao 2020; Huo et al., 2021; Jiao and Bai, 2020; Reck et al., 2020)
5. Leisure: ESS is often used for leisure activities (Christoforou et al., 2021; Laa and Leth, 2020) and ESS trips correlate with points of interest associated with recreational activity (Espinoza, 2019; Gödde and Scheiner, 2025; Hawa et al., 2021)

Step 2: Operationalizing and mapping ESS demand metrics on our study area.

A GIS-based spatial analysis was conducted for the municipalities in the Hanover Region to identify areas with high theoretical potential for ESS use. Therefore, these five factors were projected onto the study region at the highest possible resolution, allowing for the identification of areas where these factors are more prevalent. The data basis and spatial resolution for determining the theoretical potential is spatial data from the Hanover Region transport model (data was provided on request). The transport model contains a variety of sociodemographic and infrastructural data for the spatial resolution of each administrative cell in the region (Fig. 3).

These most important factors derived from the literature are operationalized into the following variables based on the available data of the transport model.

- (1) Population density (inhabitants / area)
- (2) Proportion of 15–40-year-olds in the resident population (percentage)
- (3) Job density (jobs / area)
- (4) Student and pupil density (registered students and pupils / area)¹
- (5) Density of points of interest associated with leisure activities

The points of interest associated with leisure activities are not part of the transport model and were added from OpenStreetMap (OSM) data (accessed via <https://download.geofabrik.de/>) with the leisure tags available in the area: arts_centre, bar, biergarten, cafe, cinema, fast_food, food_court, monument, museum, nightclub, pub, restaurant, stadium, theatre, theme_park, and zoo.

Step 3: Classifying ESS demand metrics.

Each of these five variables was categorized into three potentials based on their frequency distribution: low = 1, medium = 2, high = 3. As the administrative cells differ not only in size but also greatly in their proportion of natural area, frequency distribution refers only to the settlement areas of each cell. As we aim to estimate the potential outside major cities, and Hanover has a highly differentiated sociodemographic and spatial structure compared to the other municipalities in the region, Hanover itself was excluded from the analysis. Therefore, the value ranges refer only to the 20 surrounding municipalities of the region. All individual potentials were then summed up per cell. Due to a lack of empirical findings on the importance of each individual factor in generating demand, the variables were not weighted. It is therefore not possible to identify a threshold value that indicates when a critical mass of potential is present. The higher the summarized value, the higher the utilization potential. The maximum potential value of 15 indicates that an area has high potential for all five impact factors. For a simpler graphical distinction of the potentials, the summed potentials were divided into three ordinal categories (1–5 = low, 6–10 = medium,

11–15 = high).

In order to highlight the areas relevant for ESS as feeder mode, OSM road network data was also used to determine catchment areas for all rail stops corresponding to a 10-minute cycle route, which approximates an ESS route in a last mile scenario. Areas outside these catchment areas are excluded from consideration of their potential as feeder mode but not excluded from analysis.

2.3. Implementation potential

In the second part of the analysis, the extent to which the theoretical potential can be realized in suburban municipalities of the region was discussed with relevant stakeholders using a focus group approach (Stewart and Shamdasani, 2014). Due to the strong structural differences between large cities and suburban municipalities in terms of operational density, quantity, and quality of public transport services and road infrastructure, the main goal of these focus groups was to evaluate required prerequisites and policy guidelines for implementing ESS in a suburban setting. For this purpose, two distinct focus groups were established. The first group consisted of transport planners from the Hanover region who possess local knowledge of their area but have not yet implemented an ESS service in their community. This focus group was primarily intended to provide a local perspective on the potential implementation of the service. The second focus group comprised ESS providers and transport planners with prior experience in managing ESS services. The main objective of this group was to draw on their expertise to identify best-practice measures for implementing the service in suburban areas. While questions by the moderator were tailored to each participant to reflect their specific role as either local planner, experienced planner or service provider, the main topics of discussion were the potential applications as feeder mode, the assessment of the utilization potential, current barriers and requirements as well as policy implications. The aim was for the stakeholders, including both local planners and service providers, to evaluate how the services could be implemented outside major cities and what conditions would support expansion into surrounding communities, considering necessary infrastructure and potential forms of cooperation. The focus groups were then transcribed via audio transcription software noScribe (Dröge, 2024) and analyzed through a hybrid coding approach that combines deductive and inductive coding measures (Mayring, 2015).

Focus group #1: local knowledge.

The first focus group was meant to involve local transport planners from municipalities in the Hanover region without an ESS service but with identified theoretical potential from the first part of our analysis. Prior to the analysis of theoretical potential for use we contacted all 20 municipalities of the region (Hanover being the 21st), asking if they were willing to participate in a research project on ESS, involving focus groups and a living lab. Most municipalities either declined or expressed significant uncertainty, citing limited personnel and time resources as well as the contentious media debate surrounding e-scooters, which could potentially cause tensions within the local population. Out of six willing participants, Langenhagen and Laatzen were excluded from the recruitment process for the first focus group, as ESS providers in Hanover already expanded the service to their territories. These two were considered for the second focus group for best-practice knowledge. To represent diverse structural conditions, transport planners from a more urbanized municipality, Seelze, and a more rural municipality, Neustadt am Rübenberge, were selected from the remaining four municipalities. The urban municipality of Seelze is located directly adjacent to Hanover to the west and has a population of approximately 34,000. Neustadt am Rübenberge is located in the north-west of Hanover, has the 10th largest administrative area in Germany, but only a population of around 45,000, resulting in a particularly low population density of 126 inhabitants per km² (for comparison: Seelze 643 per km²; Hanover 2683 per km²). A total of 10 decision-makers from politics and urban planning from the two municipalities took part in the discussion, which extended

¹ In the transport model, a pupil or student is registered geographically at their school or faculty building, hence there is no relation with inhabitants or percentage of 15–40-year-olds. E.g. High counts of pupils are found in cells with school buildings, instead of cells with a high share of <18 year old population

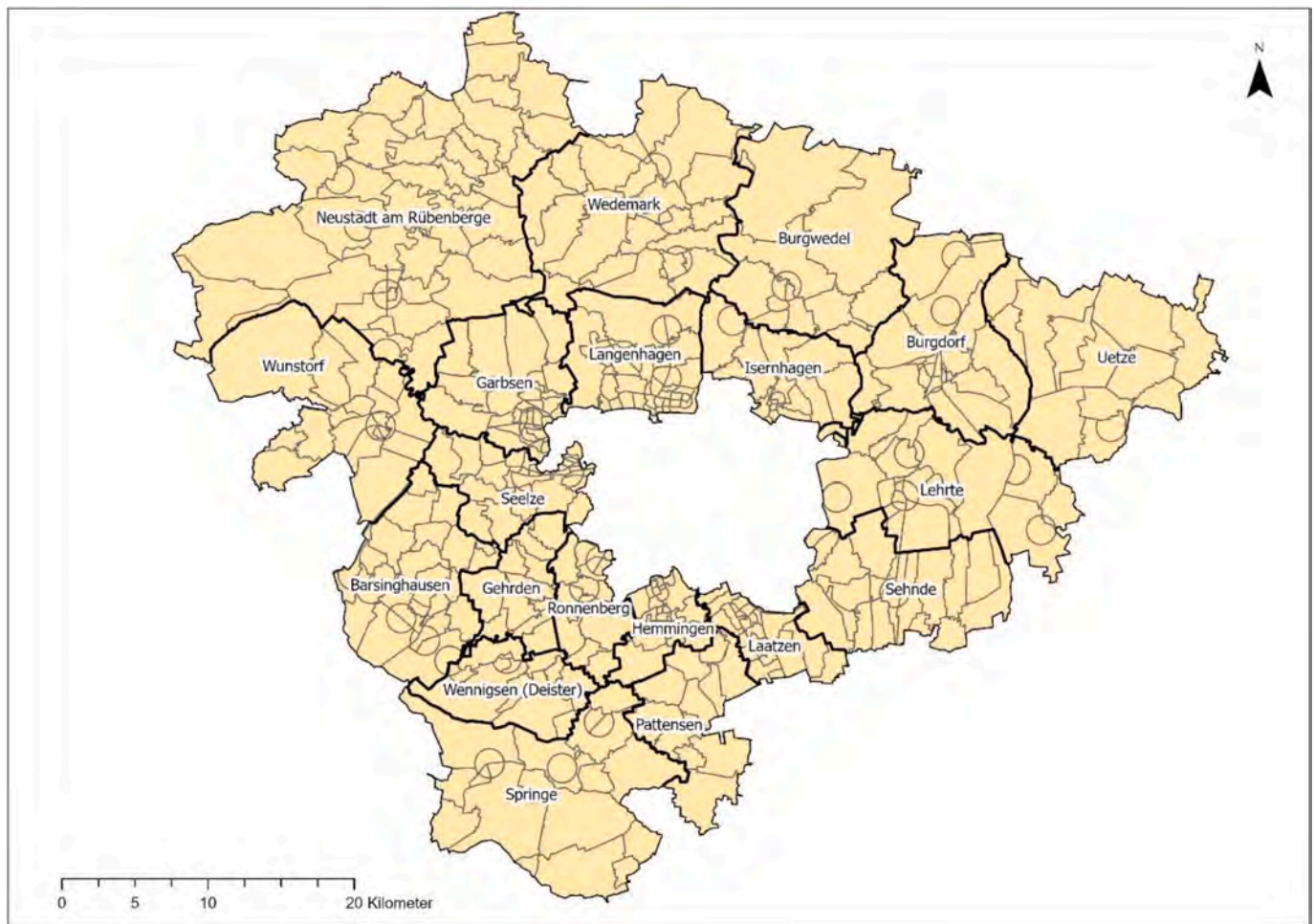


Fig. 3. Administrative cells of the transport model for the Hanover region (Hanover excluded).

over two sessions of 75 min each. The decision regarding which individuals would represent each municipality was ultimately made by the municipalities themselves. The selection was based on the understanding that the chosen individuals should be familiar with transport planning and transport policy within their municipality. Stakeholders were to evaluate how the services could be implemented inside their municipalities, focusing on user groups, determining operational areas and discussing local characteristics of the infrastructure, but also social attitudes towards ESS. To this end, each session began with a description of a scenario in which an ESS provider expands into the respective municipality, prompting the city to coordinate implementation.

Focus group #2: best-practice.

The goal of the second focus group was for stakeholders to evaluate how the services could be implemented outside major cities and what conditions would support expansion into surrounding communities, considering necessary infrastructure and potential forms of cooperation. Participants were supposed to give best-practice recommendations from their own experiences with ESS in suburban settings. Consequently, we reached out to representatives from suburban municipalities that were already in a partnership with an ESS service for an extended period and therefore had experience in implementing ESS in areas with more dispersed populations compared to large cities but also managing cooperation with ESS operators. Participants included the municipalities

of Langenhagen (56,000 inhabitants) in the Hanover region, which were already contacted previously and Troisdorf (78,000 inhabitants), a suburban municipality adjacent to Cologne, which was contacted as the ESS service in their community was, to our knowledge, the longest operating ESS service in a suburban municipality comparable to the Region Hanover, with approximately one year of service at the time. To gain insight into best practices from the perspective of the operators, we also invited ESS operators active in Hanover, two of whom confirmed participating in the focus group with one delegate. Additionally, a representative of the Hanover Region was invited. The Hanover Region is the administrative authority responsible for planning public transport in the area and oversees the planning of feeder services in all municipalities of the region. They were invited to provide their perspective on the possible role of the service as a first and last mile solution in combination with rail transport and discuss implementation strategies with the other participants.

2.4. Living lab

The final part of assessing the potential of ESS in suburban areas involved gathering practical experience by evaluating the service through a test phase. Unfortunately, due to organizational difficulties, neither of the two municipalities participating in the first focus group

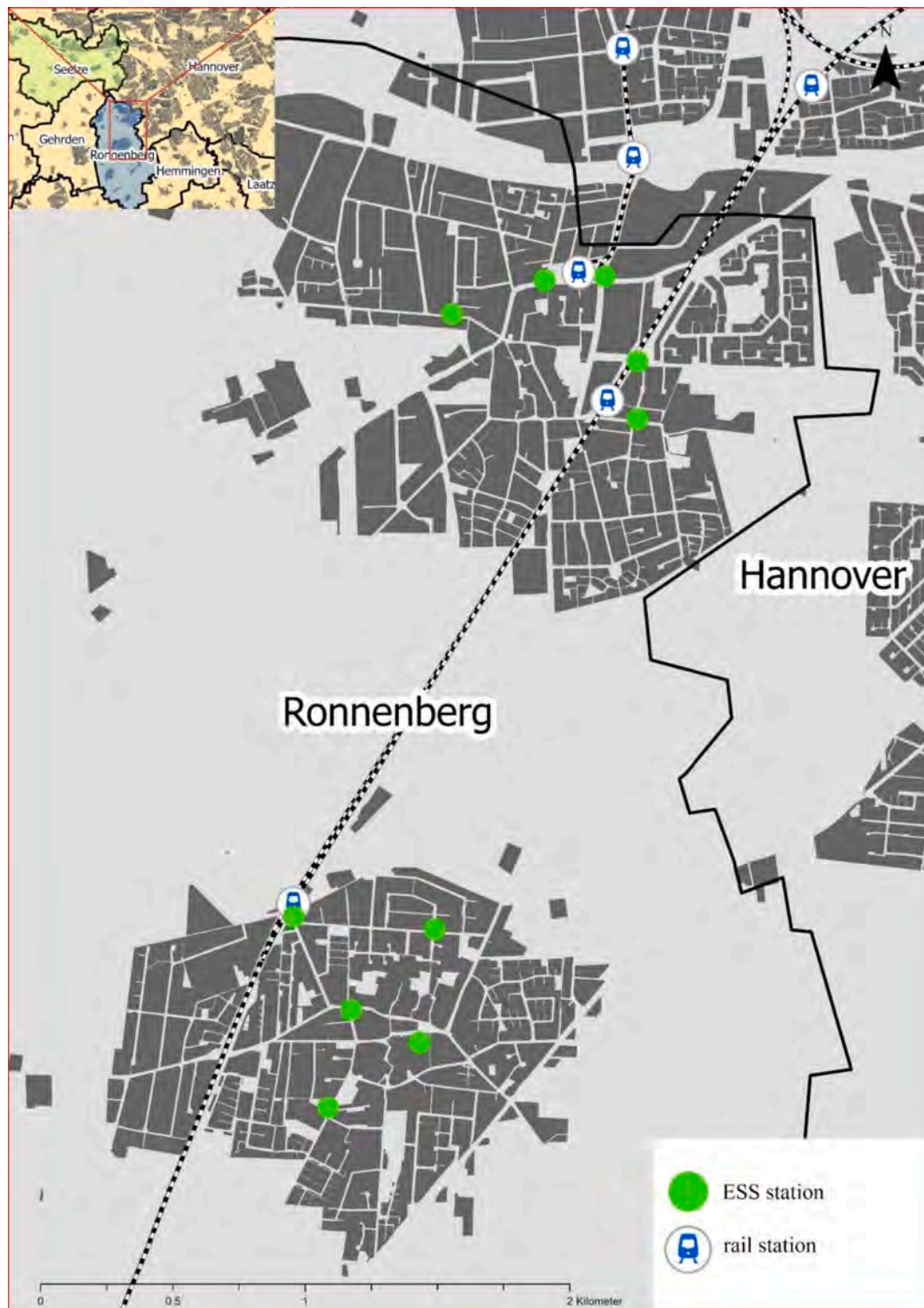


Fig. 4. Map of living lab – Ronnenberg settlement areas with ESS and rail stations.

were able to implement an ESS living lab. After looking for another municipality with an identified theoretical potential for use, the municipality of Ronnenberg, adjacent to Hannover, agreed to test the service for two months in collaboration with ESS provider VOI. Throughout the eight weeks of September and October 2023, 100 e-scooters were made

available in Ronnenberg daily, distributed across ten designated parking spaces (Fig. 4), and offered to residents according to the provider's current fares (0.49€ activation fee + 0.19€ per minute, with options for more cost-efficient daily and monthly subscriptions) and rental guidelines.

Although the e-scooters were initially provided at the designated ESS stations, they could be used throughout the municipality under a free-floating system, with geofencing excluding green spaces, pedestrian zones, and some private areas. The accompanying research aimed to evaluate the use of the service in a suburban context, particularly as a feeder service for local public transport. To this end, users ($n = 67$) were surveyed about their usage behavior. QR codes were attached to the e-scooters, allowing riders to participate in the survey, which could only be accessed by scanning the scooter and could not be completed multiple times from the same device. Additionally, the origins and destinations of all ESS trips in Ronnenberg over the two month ($n = 17,300$) were GPS-tracked and analyzed spatially and temporally to gain insights into user movement patterns and destinations.

3. Results

3.1. Theoretical potential

Fig. 5 illustrates the theoretical utilization potential for all administrative cells in the surrounding municipalities of the Hannover Region, resulting from summarizing the potential of each impact factor (see Appendix maps I-V for each individual potential). Notably, almost every municipality contains areas with high theoretical potential, typically in dense residential centers. Consistent with the planning practice of urban development along the railways, these areas are also served by cross-regional trains. When examining the factors individually, settlement

areas with a high job density (Appendix III) as well as students and pupils (Appendix IV) are typically located in proximity to railway stations. Consequently, there is significant potential to use ESS for commuting in conjunction with the train. On the other hand, recreational points of interest (Appendix V) are more evenly distributed in space across many municipalities, often located far from the local rail infrastructure. Therefore, combining different modes of transport for recreational activities may not be as practical in suburban communities, given the current patterns of short-distance trips with ESS. To assess the potential use as feeder mode, the accessibility by e-scooter to each train stop was calculated. Fig. 6 shows the accessibility of the stops in a typical first or last mile scenario with a ten-minute journey time. The findings reveal that approximately 80 % of the Hanover region's population can reach a station of the regional rail network by e-scooter (or bicycle). This indicates a high potential for using these services as feeder mode.

Fig. 6 also presents the theoretical utilization potential highlighted for these last mile catchment areas. Compared to the overall theoretical potential shown in Fig. 5, it is evident that many areas outside the catchment radius of the stops – those not considered for last mile potential – generally have low utilization potential regardless. Conversely, most areas with high theoretical potential also describe areas in which rail transport can be easily accessed with an e-scooter.

3.2. Implementation potential

In both focus groups local planners, expert planners and ESS

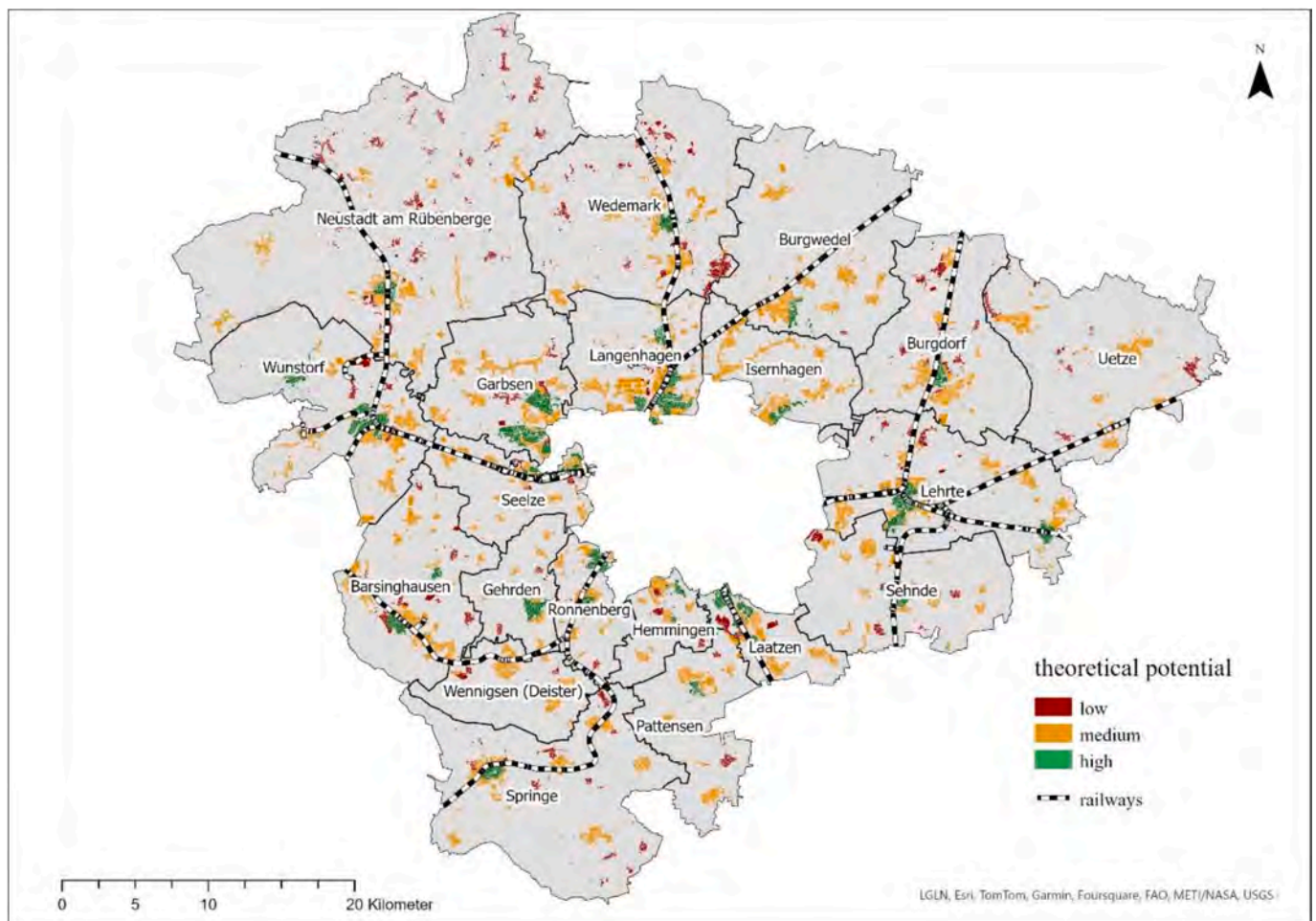


Fig. 5. Summarized theoretical potential for the settlement areas of the Hanover region.

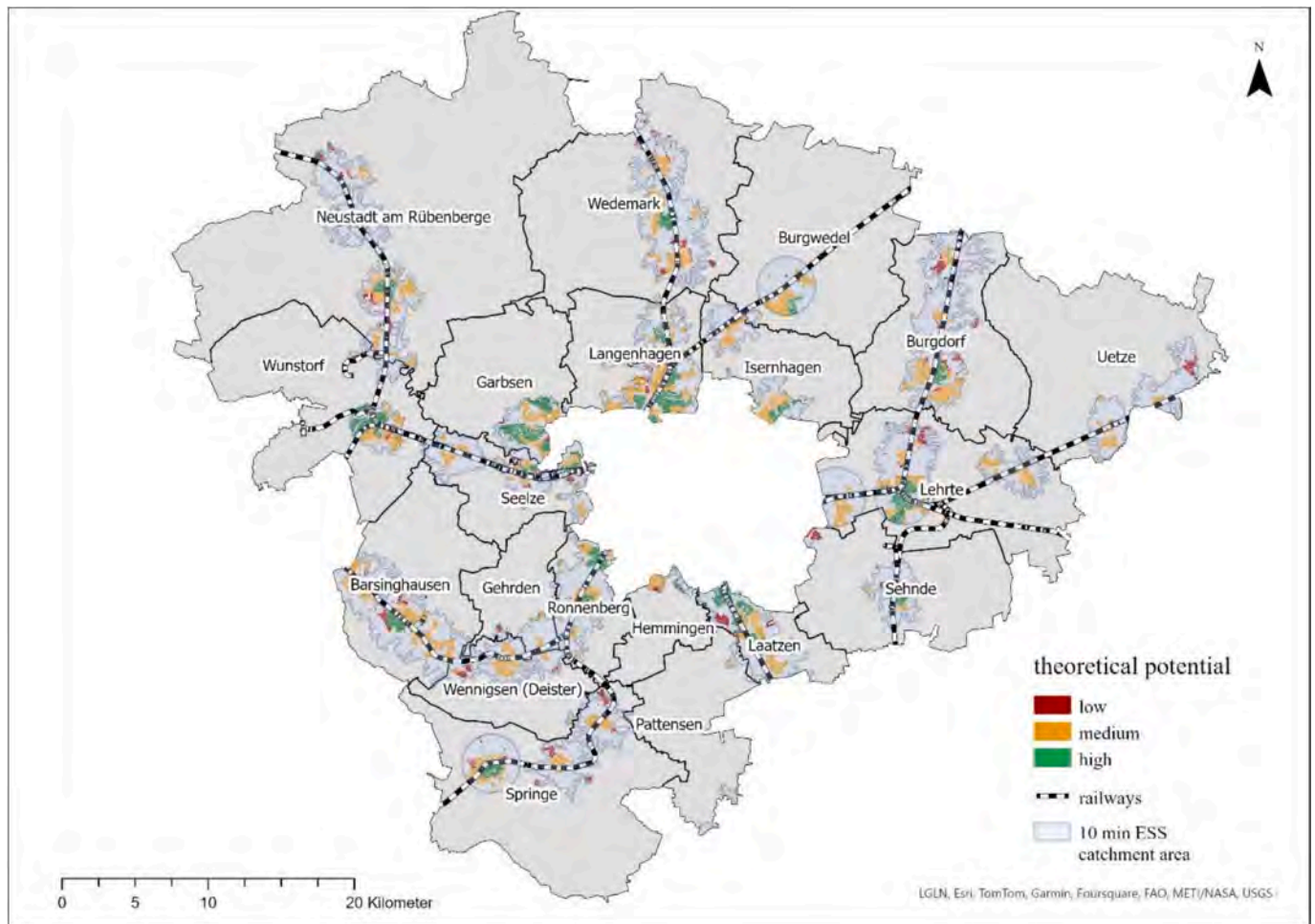


Fig. 6. Determining service areas for the purpose of first/last mile use to rail stations.

providers discussed the feasibility of implementing ESS in surrounding communities and the necessary conditions for success. Through a hybrid coding approach (Mayring, 2015), we identified five topics that were repeatedly addressed across both groups: users, areas of application, challenges, requirements, and policy. For each point, we report on the perspectives of inexperienced planners, experienced planners, and providers.

Users and areas of application

Regarding the potential of ESS, the first focus group of planners without experience in ESS provision emphasized that ESS might be particularly useful for a younger demographic. By examining maps of the theoretical potential for their municipalities, they identified routes to and from schools and trainee facilities as key areas for ESS. Although many public transport users currently walk to and from the station, participants suggested that some might give up their cars if an alternative like ESS were available. They expressed support for an ESS service but anticipated negative reactions from citizens if the service was not well-regulated or poorly integrated with public transport. On the topic of public acceptance, another concern raised was that a bike-sharing system would be more widely accepted than ESS, as the latter is often discussed controversial in the media.

In the second focus group, representatives from the two municipalities discussed current ESS usage in their communities. Reports

indicated that ESS is used not only in the inner cities but also in more remote parts of the municipalities. Many e-scooters are parked on the outskirts of the service area, suggesting a demand for travel beyond the operational areas. Providers emphasized the importance of transport data analysis to alter services to spatial demand. According to the providers, municipal partners usually rate the impact of the service better than expected. However, the representative from the Hanover region noted that many regional municipalities have large areas that are difficult to cover with the average travel distance of ESS trips that is currently observed in the cities. She suggested that ESS could rather serve as a feeder service for regional public transport routes in areas close to the train stations. The region also anticipates significant development in public transport fares over the next few years, which might include the integration of various sharing services.

Requirements for intermodal use: fares and cooperation agreements.

For ESS to be effective for intermodal use with local public transport, both planners with and without ESS experience believe it is essential that the service is usable in combination with a valid train or bus ticket at no extra charge. They also suggest easing the onboarding process for newcomers, perhaps through driving schools or trial events. Another key requirement mentioned is a standardized digital interface to simplify the use and integration of different modes of transport. Providers noted that these services can work in smaller municipalities if integrated into the

public transport system as part of a larger network, to commute between a regional center and its surrounding areas. Here, contracts facilitate cooperation between local authorities or transport companies and private providers, helping to ensure that the service is well-designed. One provider highlighted the success of the bike-sharing business in Germany, which operates on a contract basis in most cities, guaranteeing integration into the public transport fares, allowing usage with a season ticket at no extra charge. In this regard, local authorities mentioned they lack the funds to award such contracts and would need to secure appropriate funding first. But even without formal contracts, successful cooperation is possible. One city representative with ESS experience emphasized the importance of good communication with the provider, which has led to positive outcomes without legislative regulation. For example, issues with parking violations improved significantly after the municipality worked with the provider to design operating and

restricted zones and distributed fines for misuse. The other municipality with an ESS service also reported positive developments after introducing regular planning sessions involving both planners and providers, in which regulatory issues are addressed and implemented.

A challenge in suburban municipalities: road infrastructure, free-floating vs. station-based.

Both focus groups identified inadequate cycling infrastructure, especially outside city centers, as a significant obstacle in suburban municipalities. Municipal planners noted that their efforts are often hindered because the planning authority for state and federal roads within their municipality lies with the state or the federal government. Providers also highlighted the lack of cycling infrastructure on rural roads as a major barrier to expanding ESS nationwide beyond major cities. In Germany, e-scooters can only be used on cycle paths or roads, not footpaths, making their use on rural roads with a speed limit of 100

Table 2

User survey results (n = 67).

Gender		What was the reason for your last trip with ESS?	
male	70 %		
female	28 %	commuting or business appointment	18 %
diverse	2 %	school, training or university	13 %
		shopping or errands	27 %
Age		leisure	34 %
< 18	22 %	other	8 %
18—30	54 %		
31—40	9 %	Which means of transport would you have used for this trip if ESS wasn't available?	
41—67	15 %		
		private car	13 %
Highest level of education		train	2 %
university degree	25 %	bus	15 %
higher education entrance qualification	21 %	bicycle	11 %
general certificate of secondary school	36 %	on foot	43 %
secondary modern school	9 %	none	13 %
not yet graduated	9 %	other	3 %
Driver's license		Have you used any other means of transportation besides the e-scooter during your trip?	
yes	57 %		
no	43 %	private car	8 %
			train 24 %
Public transport subscription		bus	18 %
yes	63 %	bicycle	4 %
no	37 %	no	46 %
How often do you use the following means of transportation?			
	ESS	Bike-Sharing	Car-Sharing
			Bicycle
			Car
			Train
			Bus
			Trips exclusively on foot
(almost) daily	33 %	3 %	3 %
			25 %
1—3 days per week	25 %	4 %	6 %
			25 %
			28 %
1—3 days per month	17 %	8 %	3 %
			23 %
			24 %
less than monthly	22 %	9 %	10 %
			18 %
			12 %
(almost) never	3 %	76 %	78 %
			15 %
			20 %
			23 %
			12 %
			24 %
			10 %

km/h inconceivable. This type of road is the most commonly used for connecting settlements in suburban and rural municipalities and thus would be part of most trips between remotely located settlement areas to the rail station.

Another key issue discussed was the operating system in dispersed populated areas. Due to a lack of experience, planners in the first focus group could not provide a definitive opinion but leaned towards

implementing a station-based system to prevent parking issues. However, there was disagreement among planners within the second group. Providers favoured a hybrid model combining a free-floating approach with station hubs. They suggested building parking spaces or stations at busy destinations, such as public transport stops, which can reduce incorrect parking by using geofencing to create restricted zones around designated parking areas. This guides users to park in designated spots

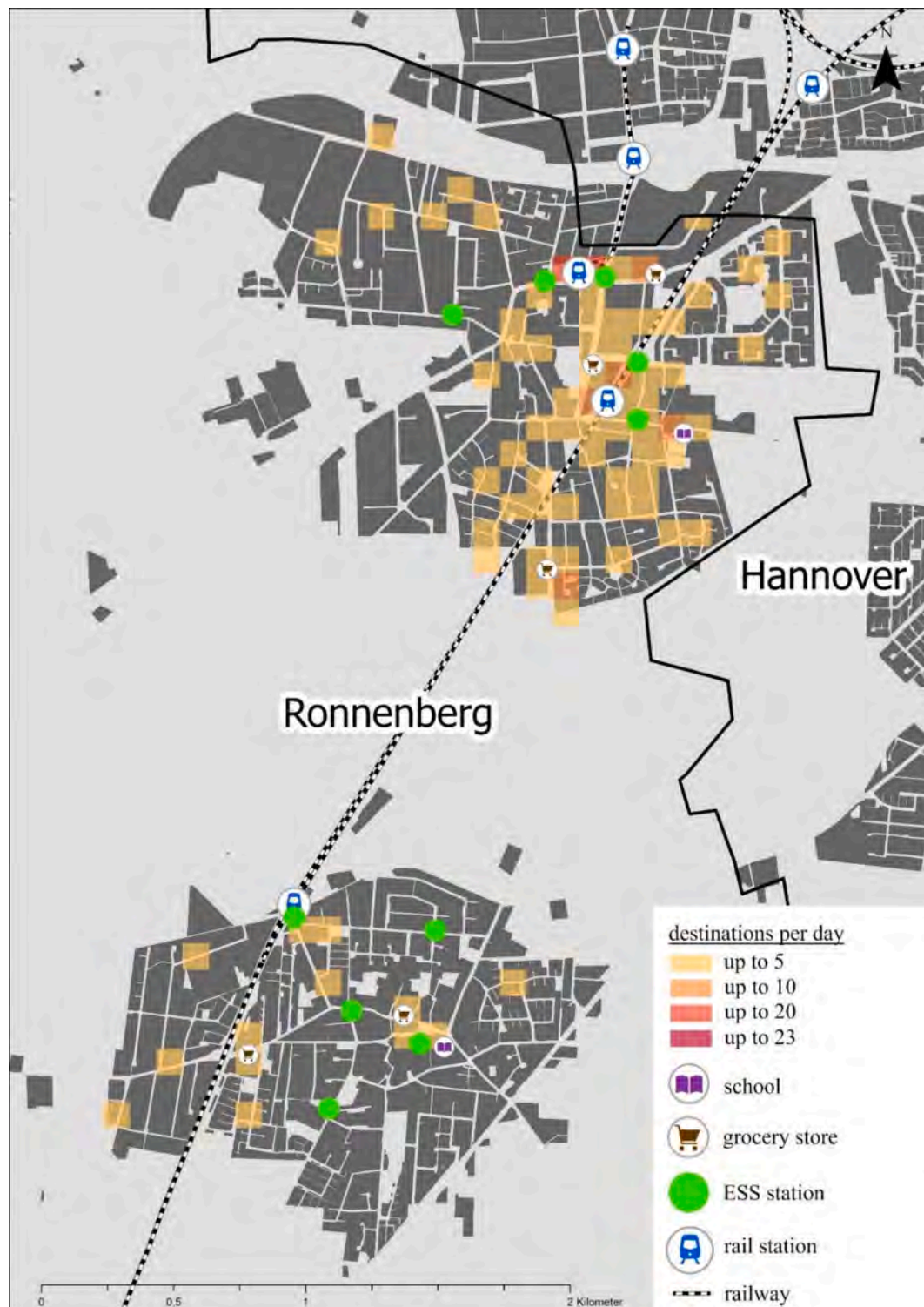


Fig. 7. Daily Destinations with ESS per 100x100m in Ronnenberg.

and helps manage footpath obstruction. Providers stressed the importance of creating appropriate parking areas in public spaces and suggested that local authorities consider redesignating car parking spaces. Stations also ensure the availability of scooters for commuters who need reliable access. In areas with lower travel demand, the free-floating system can remain, offering flexibility, which is a primary reason users choose the service according to the providers. Providers also called for cooperation from local authorities, particularly in planning stations and restricted zones. Parking spaces at public transport stops were uniformly seen as essential for using ESS for the first and last mile of commutes.

3.3. Living lab

User characteristics and behavior.

During the 8-week living lab in Ronnenberg, a sample of ESS users ($n = 67$) were surveyed about their usage behavior. Table 2 presents the descriptive statistics of the survey responses. The data reveals that the majority of users are young males, with 76 % of respondents being under 30 years old. The service is used frequently, with approximately 58 % of respondents using it daily or 1–3 days per week. Based on the number of all trips recorded during the study period and the average number of trips per surveyed user, we estimate the number of users to be around 640 (assuming 3 trips for the response options 1–3 per week and 1–3 per month) to 750 (assuming only 1 trip for both response options). The sample of 67 people therefore represents an estimated 8.9 % – 9.5 % of the user population. These users show multimodal behavior, often traveling by foot, bike, car, and public transport several times a week. In

contrast, car and bike sharing are rarely used. There is also no bike sharing service in Ronnenberg. When asked about the purpose of their most recent ESS trip, about a third of respondents cited leisure activities, another third used it for commuting, and roughly 27 % for shopping or errands. Regarding intermodal use, 42 % combined the e-scooter with a bus or train on their last journey, while 46 % made monomodal journeys. If the e-scooter service had not been available for their last trip, 43 % of respondents would have walked, 15 % would have taken the bus, 13 % would have used a car, and 11 % would have taken a bicycle. Additionally, 13 % of the most recent journeys were induced trips that would not have been made otherwise.

Spatial patterns.

The trip data indicates that a total of 17,300 scooter trips were made during the project period, averaging 290 trips per day, with an average trip length of 1.4 km. The most frequented destinations are located at the train stations (Fig. 7), while the rest of cells with 10 or more daily trips contain various grocery stores, and schools. The remaining trips are spread throughout the residential area. No significant concentration of trips is observed at bus stops in the urban area, except for those at the train stations. One out of three trips starts or ends at one of the train stations in Ronnenberg.

Analyses of parking behavior revealed that many designated parking spaces need to be adjusted to better align with user's mobility patterns. Heat maps of parked scooters indicate that many ESS users avoid parking spaces if they are too far from their desired destination. For instance, the parking station at the main station (Fig. 8) was frequently used in compliance with regulations due to its proximity to the platform. In contrast, the two parking stations 50 m and 100 m from the tram

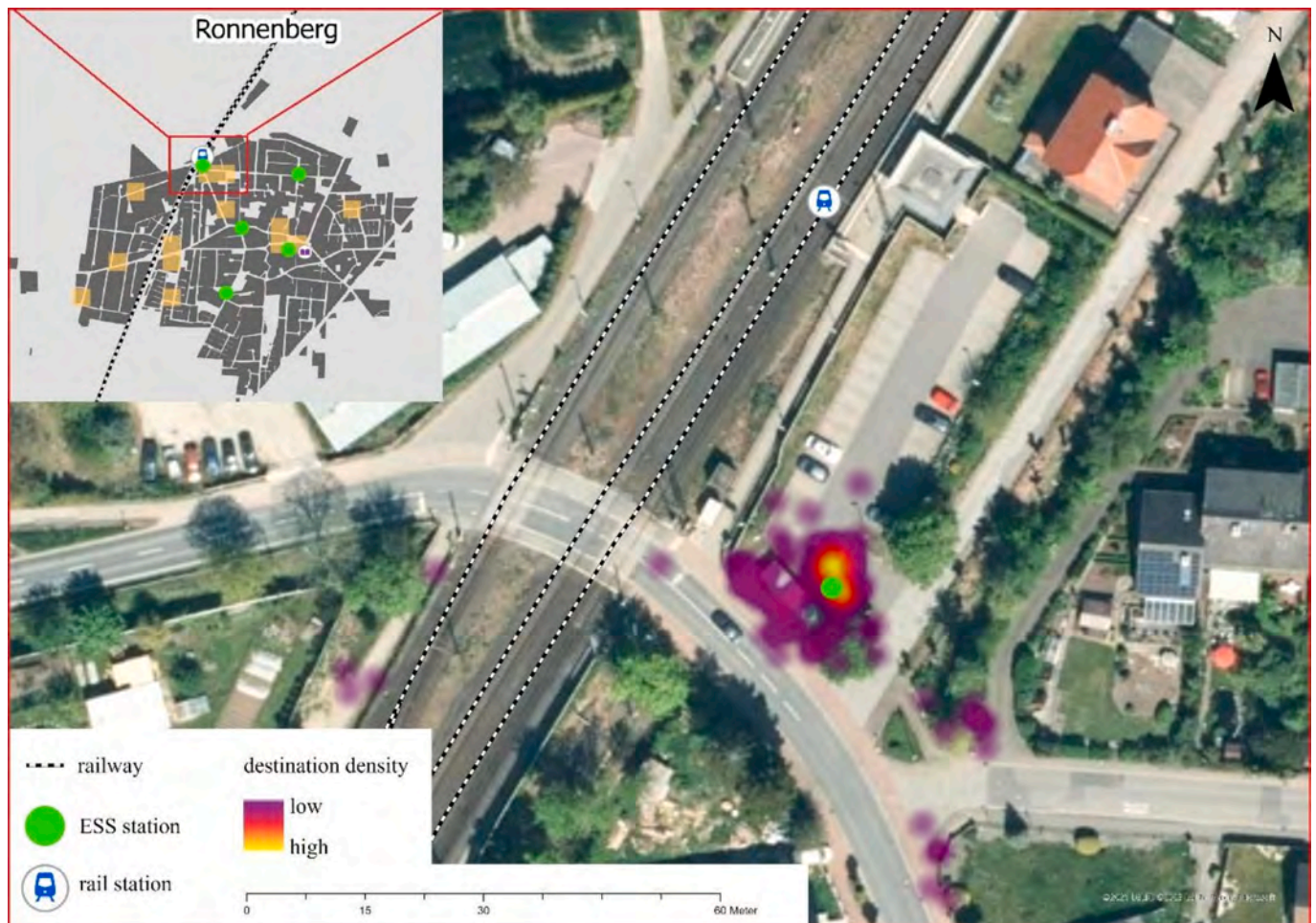


Fig. 8. Example of a parking space used in accordance with regulations (imagery data © 2021 LGLN, © 2023 LGLN, Maxar, Microsoft).



Fig. 9. Example of a parking space not used in accordance with regulations (imagery data © 2021 LGLN, © 2023 LGLN, Maxar, Microsoft).

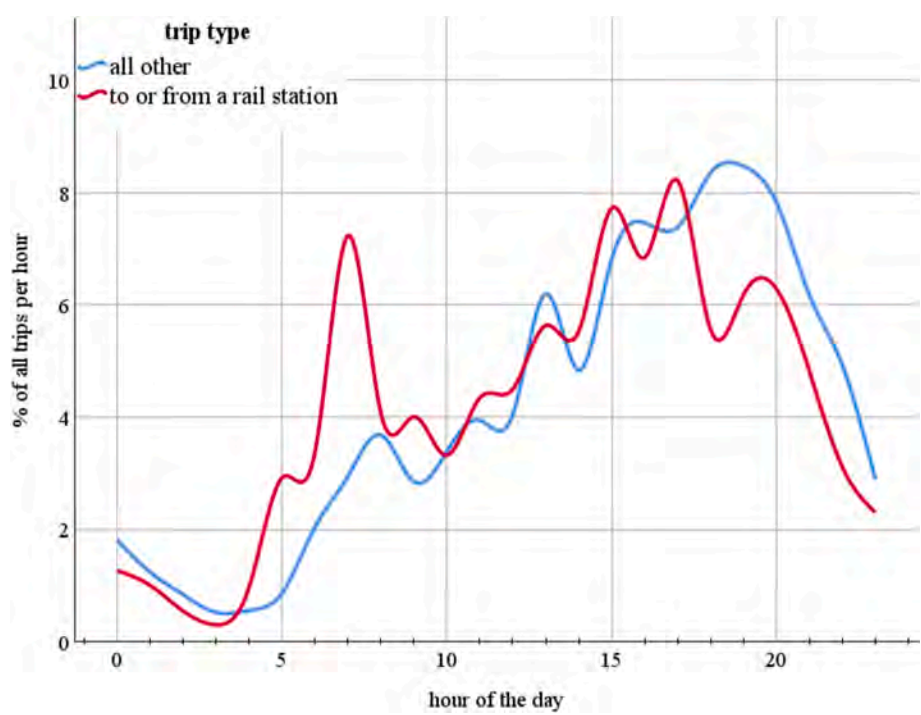


Fig. 10. Temporal distribution of ESS trips per hour.

station (Fig. 9) were largely ignored. Instead, a concentration of scooters can be seen parked directly at the edge of the platform, as users ride as close to their destination as possible. This behavior resulted in cluttered sidewalks at the station entrance. For the eight weeks of testing, no geofencing was used to enforce designated parking but was recommended to be used in the future after reviewing the results.

Temporal patterns.

Fig. 10 illustrates the temporal distribution of all ESS trips per hour, showing the average demand throughout the day. Trips marked in red are those with either their origin or destination at one of the train stops, indicating a likely combination of ESS with train travel. All other journeys are shown in blue. The data reveals that most trips, regardless of type, occur in the afternoon. Demand peaks in the late afternoon for intermodal trips and in the early evening for all other trips. Notably, intermodal journeys also show a demand peak between 6 and 8 in the morning, suggesting that the ESS service in Ronnenberg is frequently used in conjunction with train commuting.

4. Discussion

When considering the results of all three steps of analysis, the potential of ESS in suburban municipalities lies in its use as a feeder mode to/from regional rail in intermodal trips. In the Hanover region study area, a significant portion of the population could have access to the regional transit network, if supplied by ESS as a feeder mode. While structural data indicate potential use in the core areas of individual municipalities, stakeholder experiences also suggest usability in more remote areas. Both stakeholder focus groups and the living lab usage data suggest that these services are viable if established with a specific purpose. The service appears particularly attractive for commuting trips used by young people who already commute between municipalities with public transport. The results of the survey and trip data indicate that the user group in suburban areas does not differ significantly from those identified in previous studies conducted in major cities. Comparable to urban environments (Gkavira and Susilo, 2025), the service is primarily used by young men. In addition to trip purposes and destinations related to leisure and commuting (Bauer et al., 2022 for Germany; Gödde and Scheiner, 2025 for Hanover), the living lab revealed that ESS was also increasingly utilized to purchase groceries in suburban areas. Similar to large cities, active travel modes are most frequently replaced (Fearnley and Veisten, 2025; Jayawardhena et al., 2025). However, there is no indication of competition with rail transport in suburban areas, which ESS competes with in urban areas on short trips where ESS is faster than urban rail (Psarrou et al., 2024). In the suburban research area, ESS, like private e-scooters (Pobudzei et al., 2024), is frequently used in combination with rail services. In contrast, a higher rate of car trip replacement with private e-scooters in non-urban areas (Dürhammer et al., 2025) was not observed for shared e-scooters. This is likely due to the fact that nearly half of the respondents did not hold a driver's license and demonstrated highly multimodal travel patterns. Combining ESS with train services could add significant value for young commuters, especially in smaller or sparsely populated municipalities where current feeder services are inflexible and public transport stops are hard to reach due to long distances. To fully exploit this potential, many municipalities need to expand their currently inadequate or unsafe cycling infrastructure and integrate ESS into their public transport fare system, factors which have not only been named a necessity by experts in our focus groups but have shown to impact the willingness to use ESS (Anke et al., 2023; Hong et al., 2023; Nikiforiadis et al., 2023). With regard to parking behavior and regulation, trip data from the living lab corroborates previous findings, indicating that ESS parking stations at highly frequented locations can reduce parking congestion (Berg

Wincent et al., 2025), and that the proximity of ESS parking to public transport stations is crucial for encouraging intermodal trips (Johnsson et al., 2025). However, local authorities often face constraints in terms of finances, staff, and legislation, which makes the improvement of cycling infrastructure outside the core areas, in particular, seem unrealistic. Also, cooperation between profit-oriented ESS providers and demand-driven public transport planning in dispersed populated areas remains a challenge. Due to a lack of economic viability, privately operating ESS providers have rarely made their services available in these areas. A cooperative or contractual relationship between public transport providers and ESS providers seems essential for expanding these services. Establishing these systems within the Hanover region does not seem practical until these necessary conditions are met. Assuming conditions were in place, the monocentric structure of the Hanover region would be well-suited for extending ESS to suburban areas, where it could serve as a feeder service for local public transport, supported by appropriate contractual agreements. The transferability of these results to suburban communities elsewhere in Germany or Europe is not straightforward. The potential for suburban communities lies primarily in the first and last mile, especially for young commuters like pupils, students or trainees. Therefore, the service is most effective in areas with numerous cross-regional commuter relationships and a cross-regional bus or rail network, as in the Hanover region. In similar agglomeration areas with well-defined workplaces or training centers for young people, establishing ESS could be beneficial. Local circumstances must be considered, such as which municipalities and locations have inadequate or inflexible feeder modes for trains, as the willingness to use ESS as a feeder mode is dependent on travel-time saving compared to other modes (Hong et al., 2023; Nikiforiadis et al., 2023). To ensure greater potential for mode replacement, cities should also evaluate the proportion of commutes that are made by private cars despite available rail connections. Yet, for ESS to contribute significantly to a modal shift outside major cities, policy should not be solely concerned for ESS to substitute car trips, but to promote intermodal behavior by linking ESS and public transport for longer journeys. Initially, these services will primarily be used by young people who already frequently use public transport. Whether ESS will significantly encourage people to switch from private cars remains questionable, especially in the absence of restrictive measures for car use. Additionally, it is important to note that this analysis focuses on the service's benefits and does not consider ecological issues. ESS should also be critically examined because the services are not yet inclusive enough and do not offer suitable mobility for a huge part of the population. Therefore, ESS cannot be the only solution for improving mobility in suburban areas or the only alternative for feeder mode. Instead, a variety of interlinked services is needed to offer people in suburban and rural areas a more flexible and better mix of public transport solutions.

5. Conclusion

ESS in suburban municipalities – complementing public transport as feeder mode.

The three analysis steps 1. Theoretical potential, 2. Implementation potential, and 3. Living lab offer complementary findings for the use of ESS in suburban communities and its potential as feeder mode to cross-regional rail, including insights into necessary infrastructural and regulatory requirements. The study therefore combines quantitative and qualitative analysis of ESS data from suburban areas in a unique approach while the three components have previously only been applied separately, and only in highly urban environments. As our study of suburban areas in the Hanover region presents a similar profile of ESS user groups as to previous studies in major cities, namely, young,

multimodal men (living lab), there are notable differences in trip patterns. Interestingly, intra-municipal trips with ESS in suburban areas appear less likely to be leisure trips, as POIs associated with leisure are less accessible (theoretical potential) and are more often trips to grocery stores (living lab), which is less common in urban settings. Leisure and commuting trips appear to be increasingly taken as intermodal trips in combination with public transport (theoretical potential & living lab). The combination of ESS and public transport, already observed in large cities, is even more pronounced in suburban areas. 42 % of respondents reported combining their most recent ESS trip with public transport and the highest concentration of trips was observed to and from train stations during peak commuting hours (living lab). This is primarily because trains are the main mode of transport for longer distances in the suburban area of the Hanover region, especially for individuals without a car or driver's license. Train commuting frequently extends beyond municipal boundaries. Thus, ESS can be an important part of the mobility landscape in suburban municipalities as a feeder mode for young adults by ensuring that train stations are accessible to the majority of the population (theoretical potential), even though it currently is not a desired mode of transport for the majority of the population (implementation potential & living lab). In municipalities within agglomeration areas that offer strong cross-regional public transport networks and established commuting relationships, ESS offers a flexible and efficient solution for the first and last mile of a journey. For ESS to be effective, municipalities and providers suggest integration into the public transport system. This integration includes having ESS stations with regulated parking conveniently located at public transport hubs and ensuring that ESS usage is covered by an integrated fare system (implementation potential). Moreover, the success of ESS in suburban areas depends heavily on the development of safer cycling networks, which are non-existent or in a much worse condition compared to urban environments in Germany (implementation potential). By investing in improved cycling infrastructure, municipalities can create a more scooter-friendly environment that encourages people to adopt micro-mobility alternatives.

Policy recommendations.

For ESS to be implemented efficiently within a transportation system, it must be integrated into a broader mobility strategy. It should be planned from the outset as a component of the overall mobility system. In suburban municipalities, we recommend designing ESS as a dedicated feeder service to connect train stations and residential areas or key regional destinations such as schools, universities, workplaces, and sports facilities, with rental stations at these highly frequented locations. ESS may not appeal to all population groups and should be rather viewed as a flexible supplement to existing feeder services. To implement the service as a long-time measure, it is crucial to first embed it into planning documents. This ensures the generation of necessary funding and the execution of required measures like the analysis and improvement of bike lanes. For this inclusion in formal plans, direct communication with responsible higher-level administrative units such as regional, state, and federal governments is needed, which is also essential for the expansion of cycling infrastructure. After these fundamental documentations are established – defining a clear operational goal for the service, securing funding, and expanding cycling infrastructure – cooperation with private ESS providers can be more effective through the tendering of transportation contracts. This approach benefits users by integrating the service into public transport and provides operators with a stable income. In large cities, private operators are increasingly subject to special operational fees. A reduction or elimination of these fees in cooperation agreements for dispersed, economically less profitable areas could incentivize the expansion of ESS services. Effective planning and regulation of the service, in consultation with providers, are crucial for integrating ESS into public spaces in a manner that addresses current public complaints and minimizes conflicts with pedestrians. To effectively tackle immediate problems like

scattered parking, creating designated parking stations at highly frequented locations and establishing restricted zones near these areas using geo-fencing to encourage regulated parking will reduce conflicts with other modes of transportation. At the same time, a free-floating system can be maintained in many areas. For establishing parking zones, it is advisable to repurpose existing car parking spaces rather than using sidewalk areas. In practice, this requires the service to be incorporated into planning documents as a key element of the transport system as mentioned above. Otherwise, the legal basis for reallocating parking spaces might be missing and public resistance can be expected. Though, unlike the high parking demand in large cities, many suburban communities have excess parking spaces. Reallocating a single car parking space can accommodate up to ten e-scooters. Finally, successful implementation relies on an exchange between the local knowledge of planners and the expertise of providers in efficiently executing these plans.

Limitations and future research.

Predicting transport demand is challenging, especially when critical usage thresholds cannot be accurately modeled. In this study, the theoretical potential is based on indicators that may be skewed by the operator's choice of supply areas, as operators often position their services where they anticipate the highest demand or profit. However, these areas do not necessarily align with areas where the service is most needed. While it is possible to discuss demand levels required for profitability with the operators, their responses can be biased. Such biases, and their interpretation, represent a limitation in focus group data analysis. To address this, combining focus group insights with other methods, such as real-life usage data from living labs, can enhance interpretation and validity. Another limitation of this study is the relatively small sample size of living lab participants. While our estimates suggest that the collected data reflects a substantial share of all ESS users within the living lab municipality itself, it may not necessarily be representative of the overall population of ESS users in suburban areas. Future studies should consider extended test periods with improved service integration such as public transport-inclusive rates and stricter parking regulation. In this context, collaboration between public transportation providers and private mobility services could be further explored to develop models and agreements that benefit both parties: the public gains access to a wider range of mobility options, while providers secure economically efficient cooperation frameworks. Here, approaches that include research on business economics would be beneficial. Additionally, given the consensus on the necessity of cycling infrastructure for micromobility, exploring how expanding safe cycling networks in suburban or rural areas might affect shared mobility demand and usage would be valuable.

CRedit authorship contribution statement

Jan Gödde: Writing – review & editing, Writing – original draft, Visualization, Validation, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Joachim Scheiner:** Writing – review & editing, Supervision.

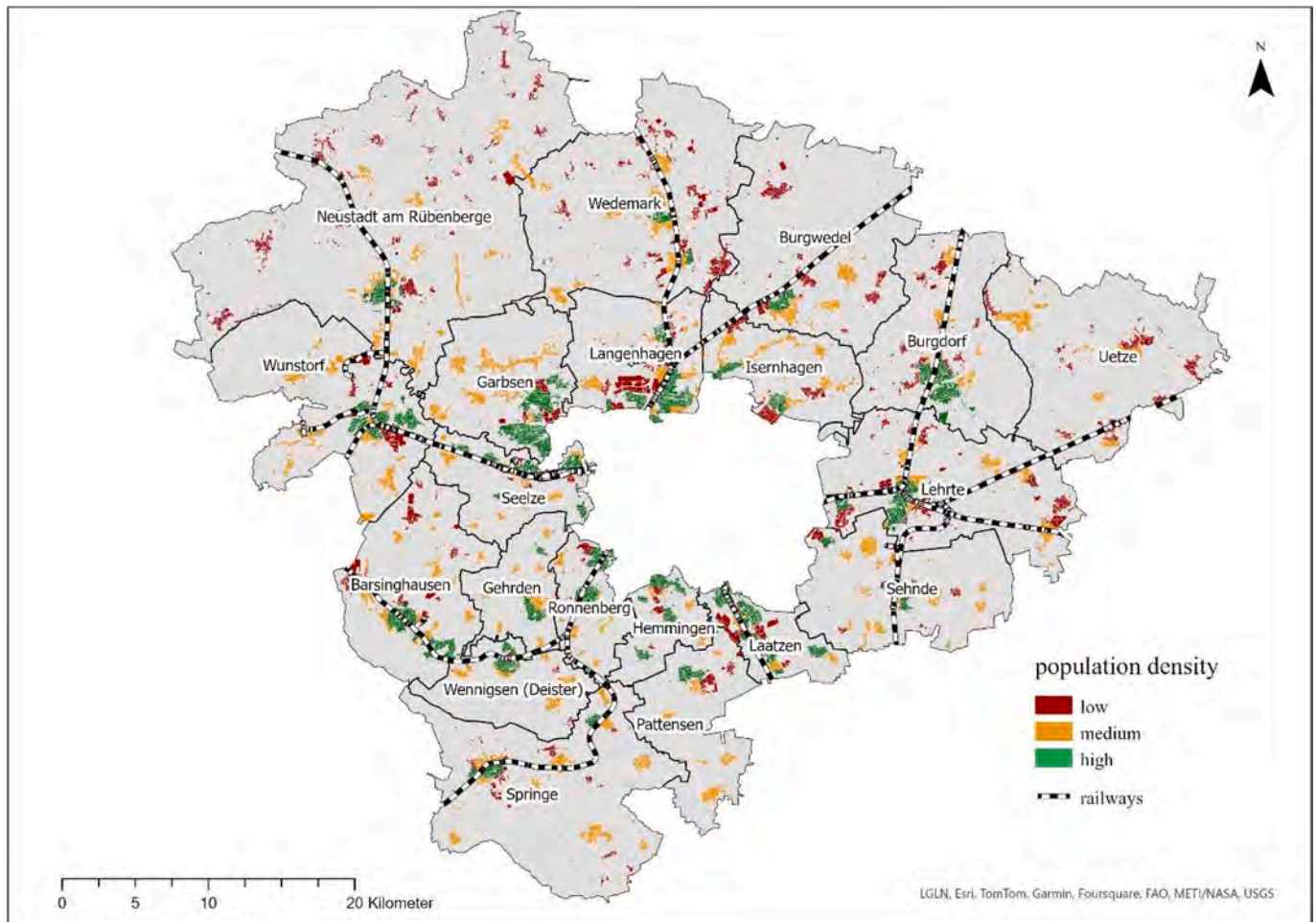
Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

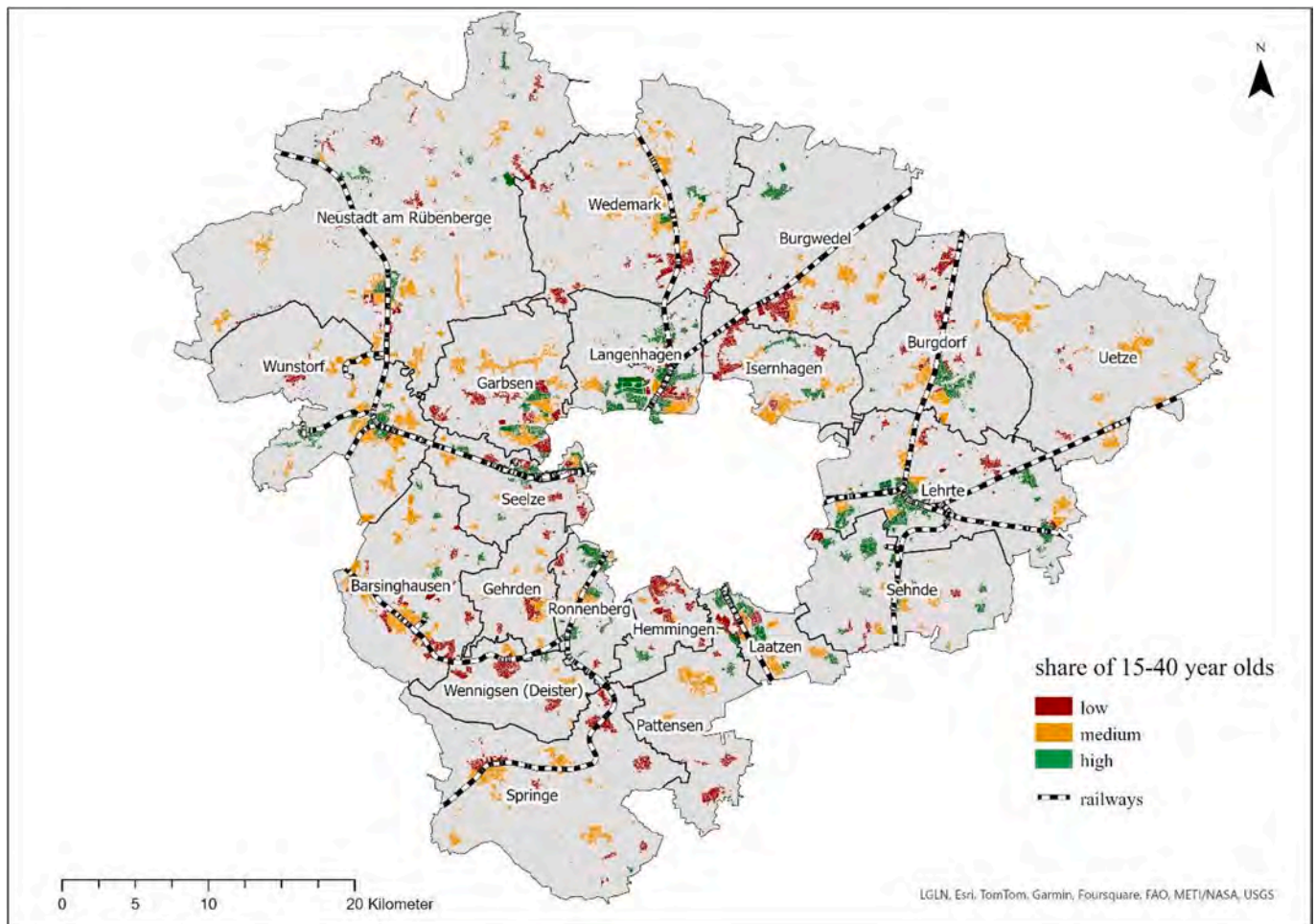
Acknowledgement

This research is supported by the German Ministry for Education and Research (BMBF), reference number 01UU1907A. We would also like to thank VOI and the administration of the Region Hannover for providing data.

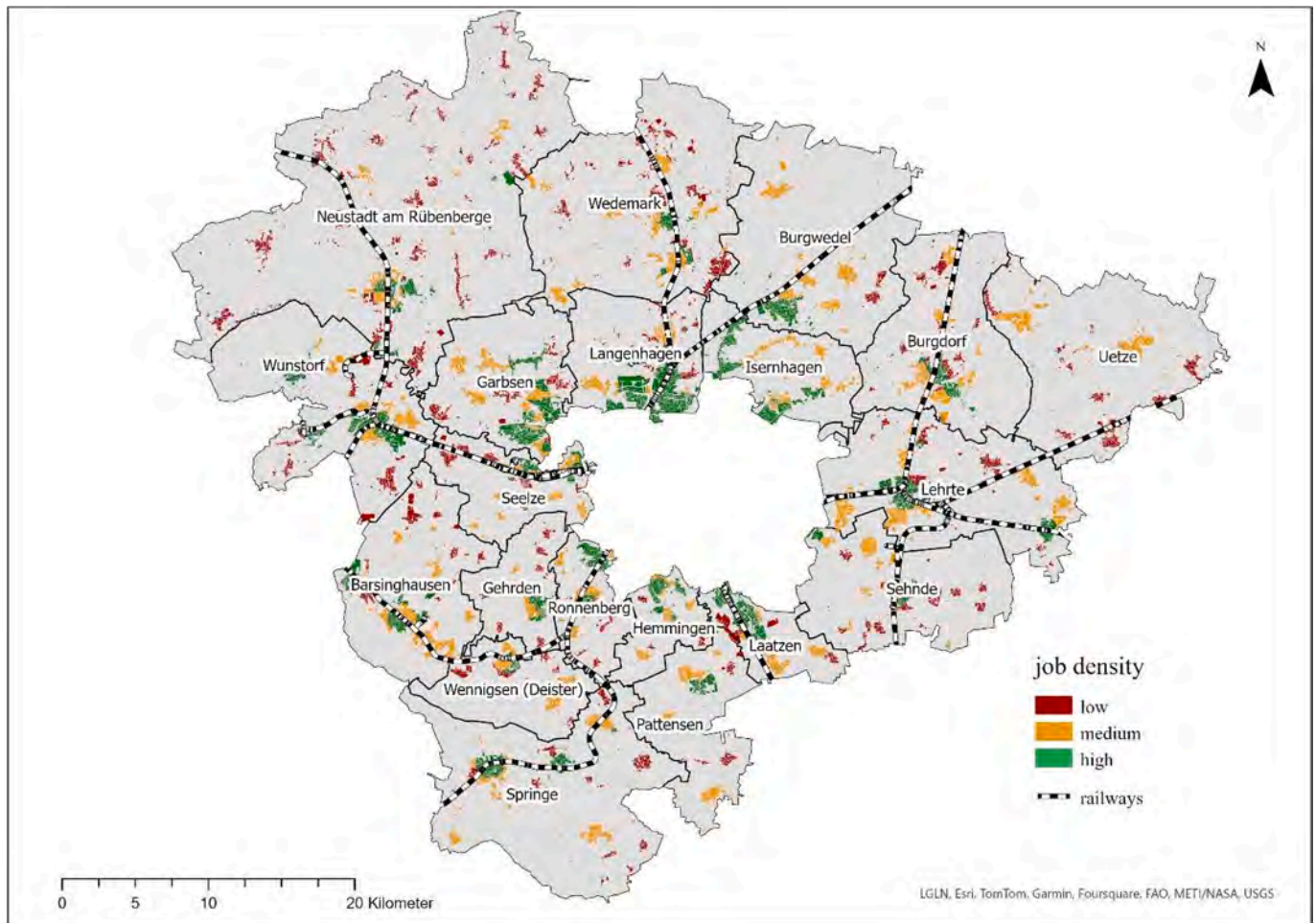
Appendix I. . Theoretical potential population density



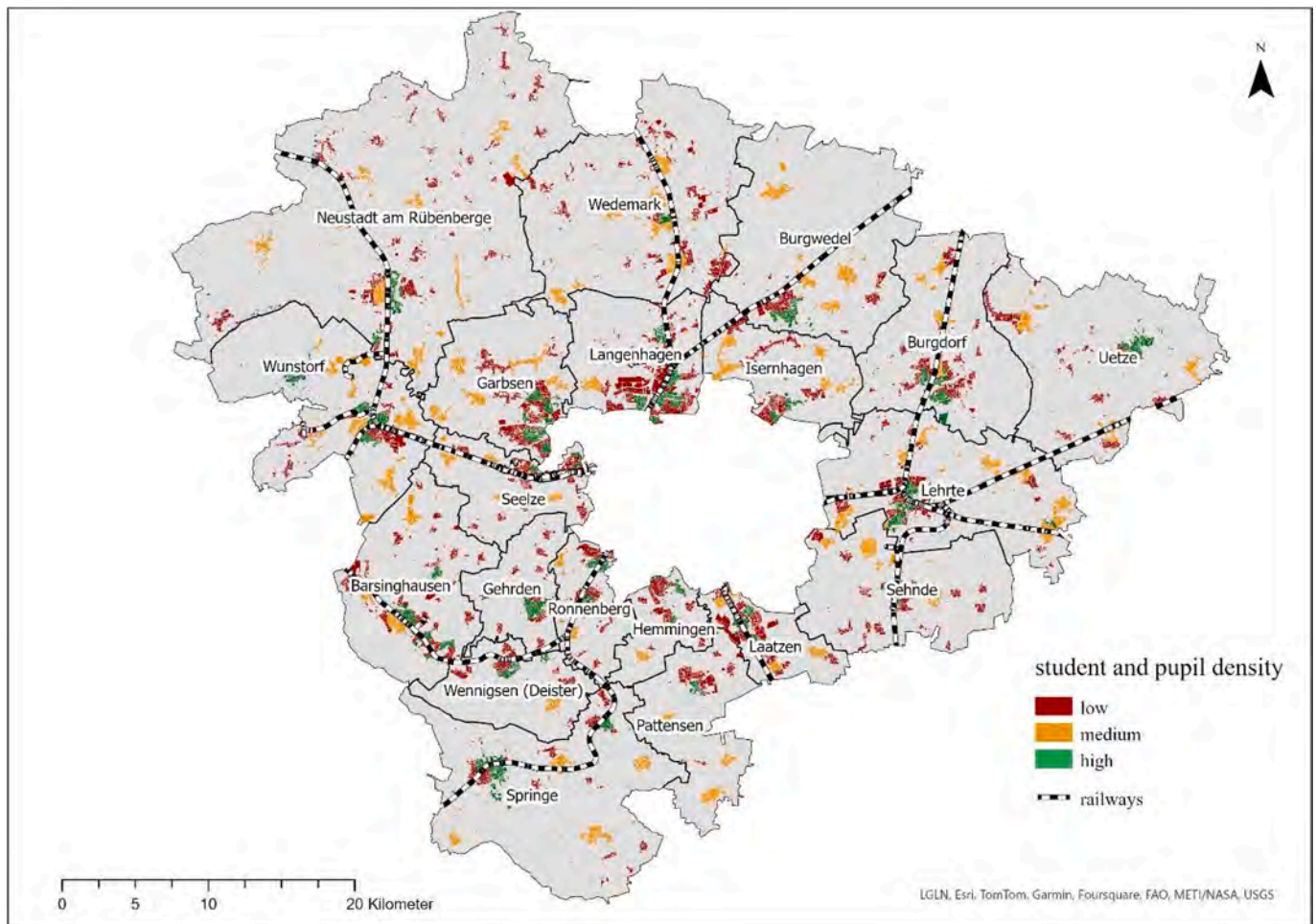
Appendix II. . Theoretical potential share of inhabitants aged 15–40



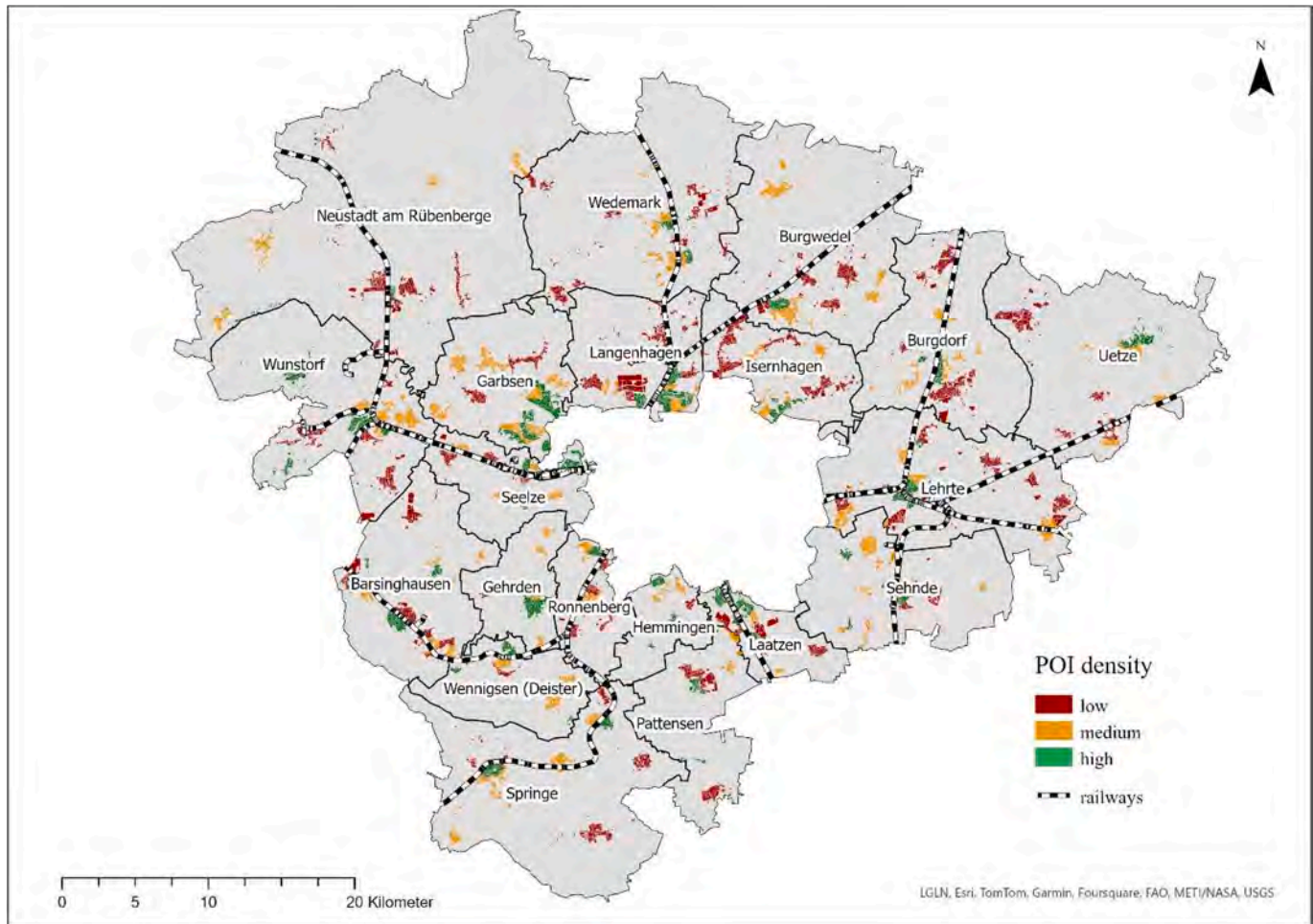
Appendix III. . Theoretical potential job density



Appendix IV. . Theoretical potential students and pupils



Appendix V. . Theoretical potential points of interest



References

- 6-t bureau de recherche, 2019. Uses and Users of Free-floating Electric Scooters in France. <https://www.6-t.co/article/trottinettes-freefloating>.
- Aarhaug, J., Egner, L.E., Fearnley, N., 2025. Does e-scooter ownership matter? a comparison of usage patterns and mode replacement effects of shared vs. personal e-scooters. *Res. Transp. Econ.* 113, 101626. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2025.101626>.
- Anke, J., Ringhand, M., Petzoldt, T., Gehlert, T., 2023. Micro-mobility and road safety: why do e-scooter riders use the sidewalk? evidence from a German field study. *Eur. Transp. Res. Rev.* 15, 29. <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00607-z>.
- Bai, S., Jiao, J., 2020. Dockless E-scooter usage patterns and urban built Environments: a comparison study of Austin, TX, and Minneapolis, MN. *Travel Behav. Soc.* 20, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2020.04.005>.
- Badia, H., Jenelius, E., 2023. Shared e-scooter micromobility: Review of use patterns, perceptions and environmental impacts. *Transp. Res.* 43 (5), 811–837. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2171500>.
- Bauer, U., Hertel, M., Klein-Hitpaß, A., Reichow, V., Hardinghaus, M., Leschik, C., Cyganski, R., Oostendorp, R., 2022. E-Tretroller in Städten - Nutzung, Konflikte und kommunale Handlungsmöglichkeiten, 50. Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin. <https://repository.difu.de/jspui/handle/difu/583706>.
- Berg Wincent, B., Jenelius, E., Burghout, W., 2025. Shared e-scooter parking regulation: Effects on rider attitudes, perceptions, and use. *Transp. Res. A Policy Pract.* 199, 104527. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2025.104527>.
- Caspi, O., Smart, M.J., Noland, R.B., 2020. Spatial associations of dockless shared e-scooter usage. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 86, 102396. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102396>.
- Christoforou, Z., de Bortoli, A., Gioldasis, C., Seidowsky, R., 2021. Who is using e-scooters and how? evidence from Paris. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 92, 102708. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102708>.
- Dröge, K., 2024. noScribe. AI-powered Audio Transcription (Version 0.5) [Computer software]. <https://github.com/kaixxx/noScribe>.
- Dürhammer, T., Juschten, M., Schilder, J., Hössinger, R., 2025. Evidence on e-scooter ownership and use in non-urban areas. *Travel Behav. Soc.* 41. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2025.101088>.
- Espinoza, W., Howard, M., Lane, J., van Hentenryck, P., 2019. Shared E-scooters: Business, Pleasure, or Transit? doi:10.48550/arXiv.1910.05807.
- Fearnley, N., Veisten, K., 2025. What proportions of different transport modes do e-scooters replace? a meta-analysis. *Journal of Cycling and Micromobility Research* 5, 100082. <https://doi.org/10.1016/j.jcmr.2025.100082>.
- Foissaud, N., Gioldasis, C., Tamura, S., Christoforou, Z., Farhi, N., 2022. Free-floating e-scooter usage in urban areas: a spatiotemporal analysis. *J. Transp. Geogr.* 100, 103335. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103335>.
- Gao, K., Jia, R., Liao, Y., Liu, Y., Najafi, A., Attard, M., 2024. Big-data-driven approach and scalable analysis on environmental sustainability of shared micromobility from trip to city level analysis. *Sustain. Cities Soc.* 115, 105803. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105803>.
- GDV, 2025. E-Scooter setzen sich auf Deutschlands Straßen durch. <https://www.gdv.de/gdv/medien/medieninformationen/e-scooter-setzen-sich-auf-deutschlands-strasse-n-durch-185626>.
- Gkavra, R., Susilo, Y.O., 2025. Understanding the e-scooter user puzzle: a systematic literature review. *Transp. Res.* <https://doi.org/10.1080/01441647.2025.2545221>.
- Gödde, J., Scheiner, J., 2025. Spatiotemporal patterns of shared-e-scooter-usage: Studying access, egress and complementary trips to transit. *European Transport Studies* 2, 100012. <https://doi.org/10.1016/j.ets.2025.100012>.
- Gössling, S., 2020. Integrating e-scooters in urban transportation: Problems, policies, and the prospect of system change. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 79, 102230. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102230>.
- Hawa, L., Cui, B., Sun, L., El-Geneidy, A., 2021. Scoot over: Determinants of shared electric scooter presence in Washington D.C. *Case Studies on Transport Policy* 9, 418–430. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.01.003>.
- Hollingsworth, J., Copeland, B., Johnson, J.X., 2019. Are e-scooters polluters? the environmental impacts of shared dockless electric scooters. *Environ. Res. Lett.* 14, 84031. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2da8>.

- Hong, D., Jang, S., Lee, C., 2023. Investigation of shared micromobility preference for last-mile travel on shared parking lots in city center. *Travel Behav. Soc.* 30, 163–177. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.09.002>.
- Hosseinzadeh, A., Algomaiah, M., Kluger, R., Li, Z., 2021. Spatial analysis of shared e-scooter trips. *J. Transp. Geogr.* 92, 103016. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103016>.
- Huo, J., Yang, H., Li, C., Zheng, R., Yang, L., Wen, Y., 2021. Influence of the built environment on E-scooter sharing ridership: a tale of five cities. *J. Transp. Geogr.* 93, 103084. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103084>.
- infas, DLR, IVT, infas 360, 2018. Mobilität in Deutschland. Bonn and Berlin.
- Jayawardhena, M., Delbosc, A., Currie, G., Rose, G., 2025. When do shared e-scooters complement or compete with public transport? a mixed-method review and comparison with bike sharing. *Journal of Cycling and Micromobility Research* 3, 100057. <https://doi.org/10.1016/j.jcmr.2025.100057>.
- Jiao, J., Bai, S., 2020. Understanding the shared E-scooter travels in Austin, TX. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9 (2), 135. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020135>.
- Johnsson, C., Camporeale, R., Zhao, C., 2025. E-scooter parking behavior before and after regulatory changes in Sweden: a hotspot analysis. *Transp. Res. Procedia* 86, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.04.002>.
- Krauss, K., Scherrer, A., Burghard, U., Schuler, J., Burger, A.M., Doll, C., 2020. Sharing Economy in der Mobilität - Potenzielle Nutzung und Akzeptanz geteilter Mobilitätsdienste in urbanen Räumen in Deutschland. Fraunhofer ISI. <https://doi.org/10.24406/publica-fhg-300171>.
- Krauss, K., Doll, C., Thigpen, C., 2022. The Net Sustainability Impact of Shared Micromobility in Six Global Cities. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2022/the_net_sustainability_impact_of_shared_micromobility_in_six_global_cities.pdf.
- Krauss, K., Gnann, T., Burgert, T., Axhausen, K.W., 2024. Faster, greener, scooter? an assessment of shared e-scooter usage based on real-world driving data. *Transp. Res. A Policy Pract.* 181, 103997. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.103997>.
- Laa, B., Leth, U., 2020. Survey of E-scooter users in Vienna: who they are and how they ride. *J. Transp. Geogr.* 89, 102874. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102874>.
- Li, A., Gao, K., Zhao, P., Axhausen, K.W., 2024. Integrating shared e-scooters as the feeder to public transit: a comparative analysis of 124 European cities. *Transp. Res. Part C Emerging Technol.* 160, 104496. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104496>.
- Loidl, M., Witzmann-Müller, U., Zigel, B., 2019. A spatial framework for Planning station-based bike sharing systems. *Eur. Transp. Res. Rev.* 11, 9. <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0347-7>.
- Ma, Q., Xin, Y., Yang, H., Xie, K., 2022. Connecting metros with shared electric scooters: Comparisons with shared bikes and taxis. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 109, 103376. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103376>.
- Mathew, J.K., Liu, M., Seeder, S., Li, H., Bullock, D.M., 2019. Analysis of e-scooter trips and their temporal usage patterns. *ITE Journal* 44–49.
- Mayring, P., 2015. Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken (12., überarb. Aufl.). Beltz, Weinheim.
- McKenzie, G., 2019. Spatiotemporal comparative analysis of scooter-share and bike-share usage patterns in Washington, D.C. *J. Transp. Geogr.* 78, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.05.007>.
- Merlin, L.A., Yan, X., Xu, Y., Zhao, X., 2021. A segment-level model of shared, electric scooter origins and destinations. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 92, 102709. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102709>.
- NACTO, 2024. Shared Micromobility in the U.S. and Canada: 2023. https://nacto.org/wp-content/uploads/Shared-micro-in-2023-snapshot_FINAL_July22-2024.pdf.
- Nikiforiadis, A., Paschalidis, E., Stamatiadis, N., Paloka, N., Tsekoura, E., Basbas, S., 2023. E-scooters and other mode trip chaining: preferences and attitudes of university students. *Transp. Res. A Policy Pract.* 170, 103636. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103636>.
- R.B. Noland, 2019. Trip patterns and revenue of shared e-scooters in Louisville, Kentucky. *Transport Findings*. April. .
- Pobudzei, M., Huemer, A.K., Hoffmann, S., 2024. Uncovering Micromobility patterns in Non-Urban Landscapes: Insights from the MORE Sharing System. 2024 Forum for innovative Sustainable Transportation Systems (FISTS). Riverside, CA, USA 2024, 1–8. <https://doi.org/10.1109/FISTS60717.2024.10485609>.
- Psarrou, A.M.K., Christoforou, Z., Gioldasis, C., 2024. The ambivalent relationship of e-scooters and public transport: evidence from France. *Transp. Policy* 159, 215–229. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.10.023>.
- Reck, D. J., Guidon, S., Axhausen, K. W., 2020. Modelling shared e-scooters in Louisville, Kentucky: A spatial regression approach. In: Paper presented at the 9th Symposium of the European Association for Research in Transportation (hEART 2020) February 3–4.
- Reck, D.J., Martin, H., Axhausen, K.W., 2022. Mode choice, substitution patterns and environmental impacts of shared and personal micro-mobility. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 102, 103134. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103134>.
- San Francisco Municipal Transportation Agency (SFMTA), 2019. Powered Scooter Share Mid-Pilot Evaluation. https://www.sfmta.com/sites/default/files/reports-and-documents/2019/04/powered_scooter_share_mid-pilot_evaluation_final.pdf.
- Schofield, H., 2023. Paris says au revoir to rental e-scooters. <https://www.bbc.com/news/world-europe-66682673>.
- Stewart, D.W., Shamdasani, P.N., 2014. Focus groups: Theory and practice. Sage, Newbury Park, CA.
- Teixeira, J.F., Diogo, V., Bernát, A., Łukasiewicz, A., Vaiciukynaitė, E., Sanna, V.S., 2023. Barriers to Bike and E-Scooter Sharing Usage: an Analysis of Non-users from five European Capital Cities. *Case Studies on Transport Policy* 13, 101045. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101045>.
- Tuli, F.M., Mitra, S., Crews, M.B., 2021. Factors influencing the usage of shared E-scooters in Chicago. *Transp. Res. A Policy Pract.* 154, 164–185. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.10.008>.
- Wang, K., Qian, X., Fitch, D.T., Lee, Y., Malik, J., Circella, G., 2023. What travel modes do shared e-scooters displace? a review of recent research findings. *Transp. Res.* 43 (1), 5–31. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.2015639>.
- Weschke, J., 2023. Scooting when the metro arrives — estimating the impact of public transport stations on shared e-scooter demand. *Transp. Res. A Policy Pract.* 178, 103868. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103868>.
- Yan, X., Yang, W., Zhang, X., Xu, Y., Bejleri, I., Zhao, X., 2021. A spatiotemporal analysis of e-scooters' relationships with transit and station-based bikeshare. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 101, 103088. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103088>.
- Zhu, R., Zhang, X., Kondor, D., Santi, P., Ratti, C., 2020. Understanding spatio-temporal heterogeneity of bike-sharing and scooter-sharing mobility. *Comput. Environ. Urban Syst.* 81, 101483. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbysys.2020.101483>.

4 Diskussion & Schlussfolgerungen

Obwohl die Artikel jeweils unterschiedliche Forschungsfragen und Analyseschwerpunkte verfolgen, liefern alle drei einen Beitrag zur Beantwortung der vier übergreifenden Forschungsfragen. Im folgenden Kapitel werden die Kernerkenntnisse zusammengefasst, mit denen die einzelnen Artikel zur Beantwortung der zentralen Forschungsfragen beitragen (Kapitel 4.1). Um Redundanzen zu minimieren, erfolgt keine erneute Diskussion einzelner Ergebnisse. Stattdessen werden die Ergebnisse und Handlungsempfehlungen mit aktuellen Beispielen aus Deutschland verknüpft und vor dem Hintergrund des in der Problemstellung eingeleiteten Querschnittsthemas - der Rolle von Shared Mobility als Bestandteil eines multioptionalen ÖPNV - diskutiert. Dabei erfolgt die Betrachtung der Angebote und Formulierung von Handlungsempfehlungen aus sozialer (4.2) und räumlicher (4.3) Perspektive und bietet somit eine abschließende Bewertung der Nutzungspotenziale (Forschungsfrage F4).

4.1 Beitrag der Artikel zur Beantwortung der Forschungsfragen

4.1.1 Artikel 1

Artikel 1 „*User characteristics and spatial correlates of ride-pooling demand – Evidence from Berlin and Munich*“ liefert Erkenntnisse über die Nutzergruppen sowie der räumlichen und zeitlichen Nutzungsmuster in deutschen Städten. Mit Ausnahme einzelner MOIA-bezogener Untersuchungen (Gilibert et al., 2019; Kostorz et al., 2021) lagen zum Zeitpunkt der Datenerhebung keine Ergebnisse zu Nutzergruppen und Bewegungsmustern in deutschen Städten vor. Die Studie leistet somit einen grundlegenden Beitrag zur empirischen Ridepooling-Forschung in Deutschland. Die Analyse von sowohl Befragungs- als auch Fahrtdaten liefert dabei komplementäre Ergebnisse hinsichtlich der Forschungsfragen. Die Nutzergruppe (**F1**) setzt sich vermehrt aus jüngeren Menschen und Personen mit unterdurchschnittlichen Einkommen zusammen. Die Genderverteilung ist in beiden untersuchten Städten Berlin und München ausgewogen und Nutzende haben seltener einen Führerschein, verfügen dafür aber häufiger über eine ÖPNV-Zeitkarte als der Bevölkerungsdurchschnitt. Die Kombination der räumlichen und zeitlichen Nutzungsmuster aus den Fahrtdaten mit den Erkenntnissen der Befragung (**F2**) lässt auf eine primäre Nutzung des Angebots für abendliche Freizeitaktivitäten (in typischen Ausgevierteln mit Gastronomie) schließen. Das Verkehrsaufkommen clustert sich vor allem auf verdichtete Innenstadtgebiete und insbesondere berufliche Wege mit Ridepooling finden eher im Innenstadtzentrum als in Randlagen statt. Hinsicht der Frage zu den Wechselwirkungen mit dem ÖPNV (**F3**) zeigt sich, dass über die Hälfte aller Ridepooling-Wege den ÖPNV ersetzen.

Allerdings ist von einem schwachen Substitutionseffekt auszugehen, da die Alltagsmobilität der Nutzenden durch andere Verkehrsmittel geprägt ist. Die Mehrheit der Befragten betrachtet Ridepooling als ergänzendes Angebot zum ÖPNV und nutzt dieses überwiegend auf wöchentlicher oder monatlicher Basis. Ridepooling fungiert somit vielmehr als Ergänzung des ÖPNV für Bevölkerungsgruppen, die sowieso schon viel den ÖPNV nutzen. Diese Annahme eines dominierenden Ergänzungseffekts wird auch durch die Fahrtdaten gestützt. Ridepooling wird vor allem zu Randzeiten des ÖPNV sowie für Ziele genutzt, die mit dem ÖPNV nur eingeschränkt erreichbar sind und deshalb häufig mit dem Taxi erledigt werden (Flughafen Berlin als meist frequentierter Ort). Zudem deutet die vermehrte Nutzung für Fahrten von und zu Bahnstationen sowie zum Flughafen in Berlin auf eine intermodale Nutzung hin. Artikel 1 liefert somit folgende Hinweise zur Bewertung des Nutzungspotenzials von Ridepooling (**F4**): Bevölkerungs- und Arbeitsplatzdichte sowie Einkaufsmöglichkeiten und Freizeit-POI wirken sich positiv auf das Verkehrsaufkommen von Ridepooling aus und ÖPNV-Haltestellen sind häufig genutzte Start- und Zielorte. Die Nutzergruppe setzt sich insbesondere aus jüngeren, ÖPNV-nutzenden Menschen mit geringeren Einkommen zusammen. Fasst man die Ergebnisse zu Nutzenden, raum-zeitlichen Nutzungsmustern und ÖPNV-Interaktion zusammen, lässt sich auf ein Nutzungspotenzial als ergänzendes Verkehrsmittel zum ÖPNV schließen. Das Potenzial, den ÖPNV (räumlich und zeitlich) sinnvoll zu ergänzen, scheint dabei in strukturell schlechter angebundenen Gebieten wie Stadtrandlagen bzw. in suburbanen oder ländlichen Räumen größer als in verdichteten Innenstadtlagen mit kurzen Wegen und einer Vielzahl an alternativen Verkehrsangeboten (weiterführende Diskussion zu F4 in Kapitel 4.2 und 4.3).

4.1.2 Artikel 2

In **Artikel 2** „*Spatiotemporal patterns of shared-e-scooter-usage: Studying access, egress and complementary trips to transit*“ werden räumliche und zeitliche Nutzungsmuster von ESS-Fahrten analysiert und deren Beziehung zum ÖPNV modelliert. Durch die Zusammenarbeit mit Lime konnten erstmals verifizierte Fahrtdaten aus Deutschland ausgewertet werden, die über die öffentlich zugänglichen Informationen zur Fahrzeugverfügbarkeit hinausgehen. Auf Basis eines umfangreichen Datensatzes von über 300.000 Fahrten und einer methodischen Weiterentwicklung der Modellierung von Beziehungen zwischen ESS-Fahrten und dem ÖPNV leistet die Arbeit einen wichtigen empirischen und methodischen Beitrag zum Verständnis räumlicher und zeitlicher Beziehungen zwischen ESS und dem ÖPNV in Deutschland. Die Modellierung und Analyse von intermodalen Wegeketten und ÖPNV-ergänzenden Fahrten in unterversorgten Gebieten liefern darüber hinaus Erkenntnisse über potenzielle

Anwendungsfälle jenseits der Großstädte. Hinsichtlich der Nutzergruppe von ESS (**F1**) können nur bedingt Aussagen getätigt werden, da in dieser Studie keine ergänzende Befragung durchgeführt wurde. Ein hoher Anteil von jüngeren Menschen (15-30 Jahre alt) an der Bevölkerung einer Verkehrszelle wirkt sich allerdings positiv auf das ESS-Aufkommen aus, während ein hoher Anteil von Menschen über 50 Jahren eine negative Wirkung erzeugt. Zudem sind Schulen frequentierte Zielorte von ESS-Fahrten und somit Schüler:innen potenziell Teil der Nutzergruppe. Bezüglich der Beantwortung der räumlichen und zeitlichen Nutzungsmuster (**F2**) und der Interaktion mit dem ÖPNV (**F3**) liefert der Artikel eine kombinierte Analyse. Prinzipiell sind ESS-Fahrten eher im Stadtkern als am Stadtrand vorzufinden (auch begründet durch die ungleiche Verteilung der Roller durch den Anbieter). Insgesamt werden 25% aller Fahrten als intermodale Wege in Kombination mit dem Schienenverkehr und 10% aller Fahrten als ÖPNV-ergänzende Wege in schlecht angebundenen Gebieten identifiziert. Diese ÖPNV-ergänzenden Fahrten sind im Durchschnitt länger (1,70 km) als intermodale Fahrten (1,54 km). Es gibt weder einen signifikanten Ergänzungseffekt noch eine erkennbare Konkurrenz zum Busverkehr. Während unter der Woche die meisten Fahrten am Nachmittag getätigt werden, verschiebt sich die Nachfragespitze am Freitag und Samstag in die Abendstunden. Gleichzeitig bleibt der morgendliche Rush-Hour-Peak am Wochenende aber aus. Kombiniert man die identifizierten raumstrukturellen Einflüsse mit der zeitlichen Verteilung der intermodalen Wege lässt sich demnach schlussfolgern, dass ESS zum Pendeln vor allem morgens früh auf der ersten Meile und spätabends vermehrt auf der letzten Meile von Freizeitaktivitäten nach Hause genutzt wird. Artikel 2 liefert folgende Hinweise zur Bewertung des Nutzungspotenzials von ESS (**F4**): Orte der Freizeitaktivität (Gastronomie, Maschsee / Erholung) sowie Arbeitsplatzstandorte und Schulen sind signifikante Determinanten für das Verkehrsaufkommen von ESS. Darüber hinaus spielt die Bevölkerungsdichte eine wichtige Rolle für die Nachfrage an ESS, insbesondere in Abwesenheit anderer Determinanten (Freizeit, Arbeitsplätze, Schulen) in ÖPNV-unversorgten Gebieten. Dies ist speziell für die Bewertung des Nutzungspotenzials von ESS außerhalb von Großstädten von Bedeutung, wo häufig geringere raumstrukturelle Dichten und weniger Aktivitätsorte vorzufinden sind. Die regelmäßige Verknüpfung von ESS mit dem Schienenverkehr weist zudem auf das Potenzial hin, den in Stadtrandalagen sowie in suburbanen und ländlichen Räumen häufig unattraktiven Zubringerverkehr zu flexibilisieren und Erreichbarkeiten der ÖPNV-Haltestellen über die Fußläufigkeit hinaus zu erhöhen.

4.1.3 Artikel 3

Während sich Artikel 2 mit der Nutzung von ESS in Hannover beschäftigt, konzentrieren sich die Analysen in **Artikel 3** „*Evaluation of e-scooter sharing as a feeder mode for public transport in suburban communities in Germany – A mixed methods approach*“ auf die Nutzung von ESS im suburbanen Raum der Region Hannover. In der Studie konnten erstmalig ESS-Nutzungsdaten aus dem Stadt-Umland ausgewertet und mit Informationen zu Nutzenden und Perspektiven von Stakeholdern verknüpft werden. Der Artikel liefert somit einen entscheidenden Beitrag zur Bewertung des Nutzungspotenzial von ESS jenseits deutscher Großstädte und knüpft direkt an die Ergebnisse des zweiten Artikels an. Dabei werden die zuvor identifizierten räumlichen Einflussfaktoren in die Bewertung des theoretischen Nutzungspotenzials integriert. Zentraler Forschungsgegenstand für alle 3 Analyseschritte (*theoretical potential*, *implementation potential*, *living lab*) ist außerdem die in Artikel 2 dokumentierte regelmäßige Verknüpfung von ESS mit dem ÖPNV. Die Nutzergruppe (**F1**) setzt sich (ähnlich wie in urbanen Gebieten) vermehrt aus jüngeren Männern zusammen, die multimodale Mobilitätsmuster aufzeigen und regelmäßig den ÖPNV nutzen. Für **F2** lässt sich festhalten, dass frequentierte Orte vor allem die Bahnhöfe, Lebensmittelgeschäfte und Schulgebäude sind. Die begleitende Befragung der Nutzenden ergab eine ausgeglichene Verteilung der Wegezwecke Arbeit/Ausbildung, Freizeit und Einkäufe/Erledigungen. Die Nachfrage ist am Nachmittag am höchsten und eine morgendliche Nachfragespitze ist nur für die Wege von und zu den Bahnhöfen zu verzeichnen. Dies lässt auf eine kombinierte Nutzung von ESS und ÖPNV für Wege zur Arbeit bzw. Ausbildungsstätte oder Schule schließen. Rund ein Drittel aller Fahrten starten oder enden an den beiden Bahnhöfen des Schienenverkehrs und 42% der Befragten gaben an, ESS auf ihrer letzten Fahrt mit dem ÖPNV kombiniert zu haben. Hinsichtlich der Interaktion mit dem ÖPNV (**F3**) ist in Ronnenberg somit von einer noch höheren Kombinationsrate von ESS und ÖPNV als in Hannover auszugehen. Während Erkenntnisse zu den ersten drei Forschungsfragen aus dem dritten Analyseschritt (*living lab*) generiert wurden, lässt die kombinierte Betrachtung der Ergebnisse mit den vorgelagerten raumbezogenen Analysen zum *theoretical potential* und dem Austausch mit den Stakeholdern (*implementation potential*) Schlussfolgerungen für das Nutzungspotenzial (**F4**) in suburbanen Räumen zu. Hinsichtlich der Zusammensetzung der Nutzergruppe und die räumlichen und zeitlichen Bewegungsmuster lassen sich keine immensen Unterschiede zu den Ergebnissen aus Hannover oder anderen Großstädten erkennen (Ausnahme: erhöhtes Aufkommen an Lebensmittelgeschäften und vermehrte Angabe des Fahrtzwecks Einkauf in Ronnenberg). Das Potenzial den ÖPNV auf der ersten und letzten Meile sinnvoll zu ergänzen, scheint jedoch aufgrund mangelnder Mobilitätsangebote

und der im Reallabor dokumentierten hohen Kombinationsrate noch ausgeprägter zu sein als in städtischen Lagen. Auch wenn diese Übertragbarkeit der Ergebnisse nicht auf alle Siedlungsformen innerhalb suburbaner oder ländlicher Gebiete angenommen werden kann, gilt sie zumindest für Stadt-Umland-Gemeinden mit ähnlichen räumlichen Strukturen wie Ronnenberg, die Teil eines regionalen Pendlernetzwerks sind und sich entlang der Schiene verdichten. Nach dieser Planungspraxis sind frequentierte Aktivitätsorte der ESS-Nutzenden wie Arbeitsstätten oder Schulen oft im größeren Einzugsbereich der Bahnhöfe vorzufinden und somit nicht zwingend zu Fuß, aber mit ESS gut erreichbar. Auf Grundlage der Ergebnisse der Studien aus Hannover und Ronnenberg lässt sich schlussfolgern, dass ESS das Potenzial hat, den ÖPNV in unterschiedlichen Raumtypen insbesondere als Alternative zum traditionellen Zubringerverkehr zu ergänzen.

4.2 Shared Mobility für alle? Zwischen Anspruch und Wirklichkeit

Eine zentrale Erkenntnis der Analysen dieser Dissertation ist, dass ESS und Ridepooling vor allem als Ergänzung zum ÖPNV genutzt werden. Damit Shared Mobility als Teil des ÖPNV fungieren kann, muss sie auch dessen Anspruch der Daseinsvorsorge gerecht werden und für eine breite Masse der Bevölkerung zugänglich sein. Der ÖPNV hat die Aufgabe, der Bevölkerung soziale Teilhabe zu ermöglichen (z.B. die Erreichbarkeit von Arbeitsplätzen, Freizeitaktivitäten oder Versorgungseinrichtungen), ohne dabei zwangsweise ein Auto besitzen zu müssen. Dies betrifft insbesondere vulnerable Gruppen wie Frauen, Kinder, älteren Personen, Menschen mit Mobilitätseinschränkungen oder Personen mit geringeren Einkommen und geringerer Verfügbarkeit von Mobilitätsoptionen. Die soziale Teilhabe dieser Bevölkerungsgruppen wird allerdings häufig aufgrund von fehlender Erschwinglichkeit, unzureichender Erreichbarkeiten, fehlendem Zugang zu Verkehrsmitteln oder zeitlichen Restriktionen eingeschränkt. In der Forschungsliteratur wird dieses Phänomen vielfach unter dem Begriff Mobilitätsarmut bzw. *transport poverty* diskutiert (Dorantes & Murauskaite-Bull, 2023; Lucas, 2004; Lucas et al., 2016; Mattioli et al., 2017). Auch die Analyse von Nutzenden der Shared Mobility zeigt, dass diese Angebote nicht in gleichem Maße von allen Bevölkerungsschichten angenommen oder oft nur da angeboten werden, wo die Bevölkerung bereits durch bestehende Verkehrssysteme ausreichend gut versorgt ist. Neueste Ergebnisse der Erhebung Mobilität in Deutschland 2023 (MiD 2023) (infas et al., 2025) bestätigen ein starkes Gefälle bei der Nutzungshäufigkeit von Shared Mobility von Metropolen zum kleinstädtischen Raum und von jüngerer zur älteren Bevölkerung. Die Ergebnisse dieser Dissertation zu den soziodemographischen Merkmalen

der Nutzenden und der räumlichen Verfügbarkeit der Angebote lassen diesbezüglich neue Schlussfolgerungen zu.

4.2.1 Status Quo

CleverShuttle-Nutzende sind häufiger junge Frauen und Männer mit unterdurchschnittlichem Einkommen, die seltener einen Führerschein besitzen als der Durchschnitt der Bevölkerung und in stärkerer Abhängigkeit zum ÖPNV stehen. Diese Ergebnisse stimmen mit Studien zu Diensten überein, die sowohl (nicht gepooltes) Ridehailing als auch Ridepooling als Option anbieten. Pooling-Dienste werden tendenziell von jüngeren Personen, einkommensschwächeren Bevölkerungsgruppen sowie Menschen ohne Zugang zu einem eigenen Pkw bevorzugt (Gehrke et al., 2021). Entsprechend zeigt sich beim Ridepooling-Angebot MOBIshuttle in Dresden, dass die Nutzenden eine geringe Pkw-Verfügbarkeit aufweisen (Dresdner Verkehrsbetriebe AG, 2024). Auch das von der öffentlichen Hand (B2G) beauftragte Ridepooling-Angebot Sprinti in den Umlandgemeinden der Region Hannover wird vermehrt von einkommensschwachen Bevölkerungsgruppen mit niedriger Pkw-Verfügbarkeit sowie von Personen mit Mobilitätseinschränkungen genutzt (Bensler et al., 2025). Ridepooling besitzt also nachweisbar das Potenzial, vulnerable Gruppen in unterschiedlichen Raumtypen anzusprechen. Gleichzeitig verdeutlichen Unterschiede zwischen den Anbietern, wie sehr Angebotsmodelle die Inklusivität beeinflussen. Einer der europaweit größten B2C-Anbieter MOIA bietet in Hamburg zwar eine Kooperation mit dem öffentlichen Nahverkehr an (1 € Rabatt pro Fahrt für Inhaber einer ÖPNV-Zeitkarte), positioniert sich jedoch als Premiumprodukt und ist daher teurer als eine vergleichbare Fahrt mit dem ÖPNV (Kuehnel et al., 2025a). MOIA weist eine heterogene Nutzergruppe hinsichtlich Alter und einer Mehrzahl an erwerbstätigen Nutzenden vor, die über ein hohes Einkommen verfügen (Kostorz et al., 2021) und grenzt sich somit insbesondere im Erschwinglichkeit-Aspekt von anderen Angeboten ab. In ähnlicher Weise wie bei MOIA ist die Nutzergruppe von SBB Flex in Stuttgart überwiegend durch einkommensstärkere Bevölkerungsschichten geprägt, auch wenn das Angebot Vergünstigungen für ÖPNV-Nutzende vorsieht. Demgegenüber weisen tariflich vollständig integrierte und damit kostengünstigere Angebote wie MyShuttle in Karlsruhe Nutzende mit einem ausgeglicheneren Einkommensniveau auf (Ertin et al., 2024). Neben dem Normalbetrieb stellt MOIA allerdings auch spezielle Angebote und Fahrzeuge für Menschen mit Behinderungen bereit, die nachweislich die soziale Teilhabe von mobilitätseingeschränkten Personen erhöhen (Kuehnel et al., 2025b).

Die ESS-Nutzenden in Ronnenberg sind überwiegend jung, männlich und multimodal unterwegs, nutzen häufig den ÖPNV und besitzen oft ein entsprechendes Abonnement. Dies

entspricht Ergebnissen bisheriger Forschung zu Nutzenden von ESS in Großstädten, auch wenn sich Ergebnisse zum Einkommen von Stadt zu Stadt differenzieren (Gkavra & Susilo, 2024). Neueste Erkenntnisse bezüglich der Nutzung in Deutschland aus der MiD 2023 bestätigen das Ergebnis einer überwiegend jungen, männlichen, multimodal agierenden Nutzergruppe mit überdurchschnittlich häufigerer Erwerbstätigkeit, hohem Bildungsabschluss und hohem ökonomischen Status (infas et al., 2025). Die soziodemographischen Merkmale entsprechen im Wesentlichen denen der Bikesharing-Nutzenden (infas et al., 2025; Teixeira et al., 2021) und denen des stationslosen Carsharing (Becker et al., 2017b; infas et al., 2025). Während Ridepooling also durchaus auch vulnerable Personengruppen anspricht, bleiben viele dieser Bevölkerungsgruppen in der Nutzung von ESS (sowie BS und CS) unterrepräsentiert (Guan et al., 2024). Der Vergleich zwischen Nutzenden von ESS, Ridepooling und dem ÖPNV verdeutlicht allerdings, dass beide Angebote unter bestimmten Rahmenbedingungen einen Mehrwert für eine breite Bevölkerungsschicht erbringen könnten. Der ÖPNV bedient in der Regel ein deutlich ausgeglicheneres soziodemographisches Spektrum an Nutzenden, darunter auch Haushalte mit geringem Einkommen, älteren Menschen, Frauen und Personen mit Mobilitätseinschränkungen (infas et al., 2025). Gleichzeitig gibt es aber auch beim ÖPNV ein starkes Gefälle der Angebotsqualität zwischen städtischen zu ländlichen Lagen (infas et al., 2025) sowie zwischen Wohnstandorten einkommensstärkerer zu einkommensschwächerer Bevölkerung (Aberle et al., 2022). Die Ergebnisse dieser Dissertation zeigen, dass ESS- und Ridepooling-Nutzende oft eine ÖPNV-Zeitkarte besitzen und der ÖPNV ihre Alltagsmobilität prägt. ESS (und teilweise auch Ridepooling) dienen somit vor allem privilegierten Nutzenden des ÖPNV als ergänzende Mobilitätsoption, während vulnerable Gruppen an ÖPNV-Nutzenden darin (noch) keine Alternative sehen. Diese Überschneidung der Nutzergruppen von ÖPNV und Shared Mobility lässt auf ungenutzte Potenziale schließen, die durch den Abbau bestehender Zugangshürden realisiert werden könnten.

4.2.2 Barrieren

Eine zentrale Zugangsbarriere ist die Erschwinglichkeit der Angebote. Diesbezüglich hat sich das Preisniveau als entscheidender Faktor gegen die Verkehrsmittelwahl von ESS (Bieliński & Ważna, 2020) und für die Wahl von Ridepooling (Krauss et al., 2022) erwiesen, was wiederum den hohen Anteil von einkommensstärkeren Nutzenden bei ESS und einkommensschwächeren Nutzenden beim Ridepooling erklären kann. Die Bedeutung der Erschwinglichkeit wird zudem durch neue Erkenntnisse zu MOIA unterstrichen. Dort führten finanzielle Rabatte bei MOIA-Fahrten für Inhaber von ÖPNV-Zeitkarten zu einer deutlichen Steigerung der

Nachfrage (Schlenther et al., 2025). Neben der Preisgestaltung werden vulnerablen Gruppen auch durch digitale Barrieren exkludiert. Der Zugang über Apps setzt digitale Kompetenzen voraus, wodurch vor allem ältere Menschen, Menschen mit Behinderungen und Personen mit begrenzten Sprachkenntnissen deutlich seltener Apps für Mobilitätsangebote nutzen (Boyko, 2026). Auch das Fahrzeugdesign beeinflusst, wer die Angebote nutzen kann bzw. nutzen möchte. Insbesondere ältere Menschen und Frauen haben bei ESS Sicherheitsbedenken hinsichtlich Unfällen und beim Fahren auf gleicher Fahrbahn mit dem MIV (Teixeira et al., 2023). Zudem sind E-Scooter nicht bzw. weniger für gemeinsame Fahrten mit Kindern oder für Menschen mit Behinderungen geeignet (Guan et al., 2024). Während diese Zugangsbeschränkungen beim Ridepooling keine Rolle spielen, werden insbesondere Frauen durch Sorge vor Überfällen oder Belästigungen durch andere Mitfahrende von der Nutzung abgehalten (Lee et al., 2024).

Eine wesentliche Barriere hinsichtlich der Nutzung von Shared Mobility stellt die räumliche Verfügbarkeit da. Angebote von ESS und Ridepooling konzentrieren sich meist auf dichte, zentrale Stadtgebiete, während weniger dicht besiedelte Stadtteile und Siedlungsgebiete mit einem höheren Anteil an sozial oder verkehrlich benachteiligten Bevölkerungsgruppen nur selten versorgt werden (Aberle, 2020; Guan et al., 2024). Auch in den Untersuchungsgebieten dieser Dissertation Hannover (ESS), Berlin und München (RP) beschränken sich die Bediengebiete vor allem auf die verdichteten Innenstädte. Das durchgeführte Reallabor in Ronnenberg und das Ridepooling-Angebot Sprinti in der Region Hannover (Bensler et al., 2025) zeigen aber auch, dass die Bevölkerung im Stadt-Umland von den Angeboten profitieren kann.

4.2.3 Handlungsempfehlungen

Das Ziel von Anbietern als auch der öffentlichen Hand sollte es sein, diese Barrieren und Ungleichheiten zu verringern und somit die Inklusivität der Angebote zu erhöhen. Diesbezüglich scheint die Anpassung von Preisstrategien besonders wirkungsvoll. Die Integration von Shared Mobility in ÖPNV-Zeitkarten kann die Zusatzkosten für regelmäßige ÖPNV-Nutzende senken und so die ergänzende Beziehung zwischen den Angeboten stärken. Dresdens MOBIsuttle kann hier als Beispiel für eine Preisgestaltung zur Förderung der ÖPNV-ergänzenden Nutzung herangezogen werden. Während Ridepooling-Fahrten auf Strecken, die mit dem ÖPNV kompetitiv sind, mit einem Aufpreis versehen werden, werden Strecken ohne ÖPNV-Alternative zum Standard-ÖPNV-Tarif angeboten (Dresdner Verkehrsbetriebe AG, 2024). Subventionierte Preise für einkommensschwache Gruppen stellen einen weiteren vielversprechenden Ansatz dar, der heute schon für viele Bikeshaaring-Systeme in Deutschland genutzt wird. So können

z.B. Studierende der TU Dortmund und der weiteren Universitäten in der Metropolregion Ruhr jeden Tag mit dem MetropolradRuhr 60 Minuten kostenlos fahren und im Anschluss vergünstigt weitere Minuten beziehen (MetropolradRuhr, o.J.).

Um digitale Barrieren abzubauen, müssen der Zugang und die Benutzung von digitalen Plattformen und Smartphone-Apps erleichtert werden. Hier können z.B. mehrsprachige App-Oberflächen oder telefonische Buchungsmöglichkeiten (wie sie etwa bei Sprinti in der Region Hannover oder Fips in Mannheim angeboten werden) die Angebote für digital unerfahrene Personen zugänglicher gestalten. Hinsichtlich des Fahrzeugdesigns könnten bei E-Scootern bald Fahrzeugmodelle mit Sitz, breiteren Reifen und verbesserter Beleuchtung Sicherheitsbedenken entgegenwirken. E-Scooter-Modelle mit Sitz werden bereits bei ESS-Anbietern in den USA getestet und zeigen ein breiteres Interesse von älteren Menschen, Frauen und mobilitätseingeschränkten Personen als die bisherigen Modelle (Lime, 2023). In Deutschland wird durch die eKFV-Novelle außerdem eine Blinkerpflicht für E-Scooter und die Einführung von fahrdynamischen Sicherheitsprüfungen ab 2027 festgelegt (BMV, 2026). Für Ridepooling-Fahrzeuge könnten inklusive Ausstattungen wie Kindersitze, zusätzlicher Stauraum für Kinderwagen oder Spezialfahrzeuge für den Transport von mobilitätseingeschränkten Personen (Beispiel MOIA) die Nutzergruppe weiter diversifizieren und Notfallknöpfe oder digitale Meldesysteme die wahrgenommene Sicherheit erhöhen.

In Anbetracht der ungleichen Verteilung der Angebote im Raum können Städte und Kommunen eine Mindestflotte in unterversorgten Stadtteilen vorschreiben. Dies kann entweder innerhalb öffentlicher Ausschreibungen von B2G-Modellen festgelegt werden oder durch räumlich differenzierte Sondernutzungsgebühren für ESS initiiert werden (z.B. abnehmende Gebühren von Stadtkern zu Stadtrand). Die Novellierung der eKFV schafft hier Kommunen eine klare Rechtsgrundlage bezüglich ESS. Für stationsunabhängig vermietete Sharing-Elektrokleinfahrzeuge und -Fahrräder wird nun ausdrücklich festgehalten, dass deren Bereitstellung im öffentlichen Straßenraum nicht als erlaubtes Parken im Sinne der Straßenverkehrsordnung gilt. Dadurch erhalten Städte und Gemeinden die Möglichkeit, das Abstellen dieser Fahrzeuge im Rahmen von Sondernutzungsvereinbarungen eigenständig zu regeln (BMV, 2026). Bislang war die rechtliche Einordnung dieser Praxis umstritten, weshalb die Entwicklung des Angebots in Deutschland bislang nur bedingt von Städten und Kommunen reguliert werden konnte. Darüber hinaus können Investitionen in die eigene Radinfrastruktur den Zugang zum ESS verbessern sowie mögliche Sicherheitsbedenken beim Fahren auf gemeinsamer Fahrbahn mit dem MIV reduzieren. Dabei sollte auf ein hybrides Modell für ESS mit stationslosem Betrieb und

ausgewiesenen Parkflächen an neuralgischen Punkten gesetzt werden (siehe Artikel 3). Prinzipiell verbessern stationslose Mikromobilitätsangebote die Erreichbarkeit von schlecht angebundenen Gebieten in größerem Maße als stationsgebundene Systeme (Qian et al., 2020). Stationen mit ausgewiesenen Parkflächen an frequentierten Orten wie Bahnhöfen können wiederum die Probleme von stationslosen Modellen wie z.B. das Parken auf Gehwegen reduzieren und so Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmenden vorbeugen (Berg Wincent et al., 2025). Der gezielte Einsatz von Ridepooling als Ergänzung des ÖPNV in unterversorgten Räumen kann durch Genehmigungspflichten gemäß §44 PBefG Linienbedarfsverkehr (Betriebs-, Beförderungs- und Tarifpflicht) festgelegt werden (siehe auch Kapitel 4.3.3).

Die Ergebnisse dieser Dissertation zeigen, dass die untersuchten Angebote aufgrund ihrer ÖPNV-affinen und sich multimodal verhaltenden Nutzenden ein großes Potenzial haben, den ÖPNV sinnvoll zu ergänzen. Dabei erreicht Ridepooling in Deutschland aktuell deutlich mehr Bevölkerungsschichten als ESS (sowohl aus sozialer als auch räumlicher Perspektive). Das liegt auch daran, dass Ridepooling-Angebote inzwischen durch öffentliche Verkehrsbetriebe und Kommunen in unterschiedlichen Raumstrukturen etabliert (B2G) und somit die marktwirtschaftlichen Interessen der Unternehmen, mit denen der bedarfsgesteuerten Angebotsplanung des ÖPNV vereint wurden. Selbst B2C-Betriebe wie MOIA sind mittlerweile als eigenwirtschaftlicher Linienbedarfsverkehr (§44 PBefG) zugelassen und somit in den Hamburger ÖPNV teilintegriert. ESS wird hingegen vielerorts weiterhin in reinen B2C-Modellen angeboten und nur bedingt durch Vereinbarungen zwischen Städten und Anbietern reguliert. Eine bloße Ausweitung des ESS-Angebots dürfte für sich genommen nicht ausreichen, um die Zugänglichkeit in benachteiligten Räumen zu verbessern (Su et al., 2024). Stakeholder sehen diesbezüglich Maßnahmen wie etwa der Ausbau der Fahrradinfrastruktur, ein ausgeglichenes Flottenmanagement und die Integration in den ÖPNV für die Verbreitung der Angebote als notwendig an (Artikel 3). Die Überarbeitung der eKfV eröffnet hier zukünftig neue Möglichkeiten, das Angebot als Ergänzung zum ÖPNV zu regulieren und den Zugang für vulnerable Gruppen zu verbessern.

4.3 Ergänzung des ÖPNV in und außerhalb von urbanen Raumstrukturen

Die Ergebnisse dieser Dissertation belegen, dass Ridepooling und ESS vor allem als Ergänzung zum ÖPNV dienen. Sie werden überwiegend von Personen genutzt, die bereits häufig den ÖPNV nutzen oder aufgrund fehlendem Führerschein- oder Pkw-Besitz auf öffentliche Verkehrsmittel angewiesen sind. Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass Shared Mobility

häufig für Wege genutzt wird, die ansonsten mit dem Umweltverbund zurückgelegt worden wären. Dennoch sprechen die niedrigen Nutzungsraten und der überwiegend gelegentliche Einsatz von ESS und Ridepooling dafür, dass diese Angebote eher eine ergänzende als eine substituierende Rolle im Verkehrssystem einnehmen. Dies bestätigt auch die aktuelle MiD 2023, die den Anteil von Shared Mobility am Modal Split auf weniger als 1% beziffert (infas et al., 2025). Zur finalen Bewertung des Nutzungspotenzials (F4) werden im Folgenden die Ergebnisse im Zusammenhang mit aktuellen Studien zur Nutzung in Deutschland und Studien zum Entscheidungsverhalten bei der Verkehrsmittelwahl diskutiert und daraus Aussagen zum Potenzial einer ÖPNV-Ergänzung in und außerhalb urbaner Räume abgeleitet.

4.3.1 E-Scooter-Sharing und Ridepooling in Großstädten

Für Ridepooling zeigen die Dissertationsergebnisse aus Berlin und München eine ÖPNV-ergänzende Nutzung während der Randzeiten des ÖPNV oder für Wege zu Aktivitätsorten, die mit dem ÖPNV räumlich nicht erreichbar sind. Eine aktuelle MOIA-Studie aus Hamburg bestätigt zum einen die eher gelegentliche Nutzung des Angebots und zum anderen den Einsatz für Wege, für die es keine kompetitive ÖPNV-Verbindungen gibt (Kuehnel et al., 2025a). Dieser Ergänzungseffekt von MOIA-Ridepooling zeigt sich in einem noch größeren Maße bei Ausfällen des ÖPNV, indem vorübergehend nicht verfügbare Verbindungen durch MOIA-Fahrten ersetzt werden (Pfeil et al., 2025). Ähnliche Mobilitätsverhalten werden auch in der Evaluierungsstudie zum MOBishuttle in Dresden beobachtet, wo für rund 75% aller absolvierten MOBishuttle-Fahrten keine räumlich oder zeitlich konkurrenzfähige ÖPNV-Verbindung verfügbar ist (Dresdner Verkehrsbetriebe AG, 2024). Die Dissertationsergebnisse für CleverShuttle aus Berlin und München verdeutlichen außerdem, dass Bahnhöfe häufig als Start- oder Zielorte von Ridepooling-Fahrten fungieren und somit von einer intermodalen Nutzung in Wegeketten mit dem überregionalen Schienenverkehr ausgegangen werden kann. Die Annahme einer intermodalen Nutzung im städtischen Raum wird durch MOIA-Ergebnisse aus Hamburg gestützt (Schlenthher et al., 2025). Während Ridepooling den ÖPNV in Städten primär räumlich und zeitlich ergänzt, stellt diese intermodale Nutzung für ESS den dominierenden komplementären Effekt dar. Sowohl die Analysen aus Artikel 2 und 3 als auch die aufgeführten Forschungsliteratur identifizieren ESS als typische Mobilitätsoption für die erste bzw. letzte Meile. Zusätzlich zur intermodalen Nutzung zeigt ESS außerdem eine ergänzende Wirkung in städtischen Räumen ohne Zugang zum Schienenverkehr (Artikel 2) oder zu Zeiten mit eingeschränkt verfügbarem ÖPNV-Angebot, wie z.B. während der COVID-19-Pandemie in 2020 (Gödde & Scheiner, 2024). Auf Grundlage der Artikel 1 und 2 lässt sich demnach

schlussfolgern, dass beide Dienste trotz Substitutionstendenzen im urbanen Raum vor allem als Ergänzung zum ÖPNV genutzt werden. Typische Verkehrsdeterminanten wie eine hohe Einwohnerzahl sowie die Anzahl an Arbeitsstätten oder Freizeitangeboten steigern dabei zusätzlich die Nachfrage pro räumlicher Einheit.

4.3.2 E-Scooter-Sharing und Ridepooling außerhalb der Großstädte

Es stellt sich jedoch die Frage, inwiefern diese Erkenntnisse auf nicht-städtische Kontexte übertragbar sind, in denen Nachfragedeterminanten weniger stark ausgeprägt sind, aber zugleich eine höhere Angebotsqualität im ÖPNV benötigt wird. Suburbane und ländliche Gebiete unterscheiden sich zu städtischen Räumen durch geringere Bevölkerungs- und Siedlungsdichten (BBSR, 2023). Die Flächennutzung ist in der Regel weniger durchmischt und Aktivitätsorte sind räumlich stärker verteilt, was zu durchschnittlich längeren Wegen und Reisezeiten führt. Zudem verschlechtert sich das Angebot des öffentlichen Verkehrs von Stadt zu Land, indem die Dichte der Haltestellen, die Taktfrequenz der Verbindungen sowie die Erreichbarkeit von Ober- und Mittelzentren mit dem ÖPNV abnimmt (Pütz et al., 2018). Gleichzeitig gilt die Erreichbarkeit des öffentlichen Verkehrs als ein wesentlicher Faktor für dessen Nutzung. Entsprechend zeigen Ergebnisse der MiD 2023 (infas et al., 2025), dass der Anteil des MIV am Modal Split entlang des Stadt-Land-Gradienten steigt, während der Anteil des öffentlichen Verkehrs sinkt. Mit zunehmender Ländlichkeit wächst auch die Abhängigkeit von der Verfügbarkeit privater Pkw, was insbesondere für vulnerable Bevölkerungsgruppen eine Herausforderung darstellt und durch den demografischen Wandel noch verschärft wird. Vor diesem Hintergrund sollte der ÖPNV als Bestandteil der Daseinsvorsorge eine entsprechende Qualität gewährleisten. Innerhalb der Gesellschaft wird er jedoch überwiegend als unzuverlässig wahrgenommen. Aus Sicht der Bevölkerung sind schlechte Anbindungen, lange Reisezeiten und eine geringe Zuverlässigkeit die zentralen Probleme des ÖPNV (infas et al., 2025). Neue Mobilitätsalternativen der Shared Mobility könnten diese Defizite des ÖPNV adressieren.

So wird ESS trotz eines bislang begrenzten Angebots bereits in weniger gut angebundenen Stadtteilen als ergänzendes Verkehrsmittel genutzt (10% aller Wege; Artikel 2). Im suburbanen Raum wird ESS zudem häufig mit dem Schienenverkehr kombiniert, wenn kein adäquater Zubringerverkehr vorhanden ist (Artikel 3). Die Annahme, dass das Nutzungspotenzial von ESS dort besonders hoch ist, wo der ÖPNV unzuverlässig oder aufgrund langer Reisezeiten unattraktiv ist, wird auch durch Studien zu den Motiven der Verkehrsmittelwahl von ESS gestützt. Viele Menschen kombinieren demnach ESS mit dem ÖPNV, um auf den Zubringerwegen Zeit zu sparen (Nikiforiadis et al., 2023). ESS wird vor allem dann als Alternative genutzt,

wenn andere Verkehrsmittel schwer erreichbar bzw. nur eingeschränkt verfügbar sind oder Direktverbindungen fehlen (Cao et al., 2021; Weschke et al., 2022). Eine Verlagerung zu ESS erfolgt dabei insbesondere dann, wenn bestehende Angebote als unzureichend wahrgenommen werden (Lee et al., 2021). Die höheren Durchschnittsdistanzen von ESS-Fahrten in ÖPNV-unterversorgten Gebieten in Hannover (Artikel 2) validieren diese Interpretation zusätzlich. ESS erscheint in solchen Kontexten nicht nur als Ersatz für den Fußverkehr zu dienen, sondern eher als Reaktion auf ein unzureichendes Angebot im ÖPNV. Neben den strukturellen Barrieren hängt die Nutzungsbereitschaft von ESS allerdings auch von der vorherigen Nutzungserfahrung ab (Baek et al., 2021; Hong et al., 2023), was zunächst auf Adoptionsschwierigkeiten bei Expansion der Angebote in periphere Regionen schließen lässt. Durch die Stakeholder-Beteiligung (Artikel 3) konnten notwendige Maßnahmen für die Förderung der Nutzung von ESS bzw. dem Abbau der Barrieren außerhalb urbaner Zentren aufgezeigt werden. Dazu zählen insbesondere die Aufnahme von Shared Mobility in formelle Planungsdokumente, der Ausbau der Radinfrastruktur und die infrastrukturelle sowie tarifliche Integration in den ÖPNV auf Grundlage von B2G-Modellen. Während belastbare Erkenntnisse zur Wirksamkeit dieser Maßnahmen für ESS bislang noch begrenzt sind, zeigen Ergebnisse zu vergleichbaren Mikromobilitätsangeboten wie dem Bikesharing zumindest einen positiven Einfluss von gut ausgebauter Radinfrastruktur auf das Verkehrsaufkommen (Teixeira et al., 2021) und die deutschlandweite Verbreitung von Ridepooling und Bikesharing in öffentlich finanzierten Projekten den positiven Einfluss von B2G-Modellen.

Wenn man die räumlichen und zeitlichen Ergänzungseffekte von Ridepooling in städtischen Gebieten betrachtet, lässt sich ein erhebliches Potenzial für die Ergänzung des ÖPNV in weniger gut erschlossenen Stadtteilen ableiten. In suburbanen und ländlichen Räumen könnte dieses Potenzial sogar größer sein, da dort weniger Mobilitätsalternativen zur Verfügung stehen. Ridepooling kann hier Qualitätsmängel des ÖPNV wie etwa schlechte Anbindungen, lange Reisezeiten und eine geringe Zuverlässigkeit adressieren. Seit der Datenerhebung für Artikel 1 hat sich das Angebot an On-Demand-Ridepooling in Deutschland im Rahmen von B2G-Modellen deutlich über die Großstädte hinaus ausgeweitet. Im Gegensatz zu ESS können für die Diskussion des Potenzials außerhalb urbaner Raumstrukturen daher auch andere Nutzungsanalysen in suburbanen oder ländlichen Räumen herangezogen werden. Eine Analyse der Betriebsformen von 33 Ridepooling-Angeboten in Deutschland (Schneider et al., 2024) zeigt, dass Ridepooling in ländlichen Räumen typischerweise auf eine Grundversorgung ausgerichtet ist. Diese Angebote verkehren während der regulären ÖPNV-Betriebszeiten und

nutzen ÖPNV-basierte Tarifsysteme. In urbanen Gebieten variieren die Tarife hingegen zwischen ÖPNV-basierten und distanzbasierten Modellen und die Betriebszeiten konzentrieren sich auf die Abend- und Nachtstunden (Schneider et al., 2024). Eine Evaluation von fünf Systemen in Baden-Württemberg (Ertin et al., 2024) kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, dass ländliche Angebote vor allem Lücken im bestehenden ÖPNV-Netz schließen. Im ländlichen Freudenstadt werden bis zu 42 % der Fahrten intermodal zurückgelegt, am häufigsten in Kombination mit dem Schienenverkehr (Ertin et al., 2024). Die Hauptzwecke der Fahrten (Freizeit und Berufspendeln) entsprechen denen in urbanen Gebieten. Nutzende der Angebote fips am Stadtrand von Mannheim und Mobil[er]leben in Freudenstadt berichten jedoch auch von Arztbesuchen als häufigen Fahrtzweck. Dies verdeutlicht die Relevanz von Ridepooling als Daseinsvorsorge in weniger gut angebundenen Regionen. Obwohl Gelegenheitsnutzung sowohl in urbanen als auch in ländlichen Kontexten dominiert (Ertin et al., 2024), zeigen Daten aus ländlichen Gemeinden im Umland von Hamburg vergleichsweise hohe Anteile täglicher und wöchentlicher Nutzung, wenn alternative ÖPNV-Angebote fehlen (Diebold, 2023). Diese Ergebnisse untermauern die ursprüngliche Schlussfolgerung aus Artikel 1, dass das Potenzial zur Ergänzung des ÖPNV in suburbanen und ländlichen Gebieten mit eingeschränktem und wenig flexiblem ÖPNV-Zugang größer ist, da die Angebote hier einen größeren Nutzen haben als in gut vernetzten Innenstadtlagen. Für diese Arbeit liegen keine Daten zur wirtschaftlichen Tragfähigkeit in den verschiedenen räumlichen Kontexten vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass eine öffentliche Förderung notwendig sein wird, da der ÖPNV im ländlichen Raum ohnehin von Finanzierungsschwierigkeiten geprägt ist.

4.3.3 Schlussfolgerungen bezüglich der Nutzungspotenziale

Zusammenfassend lässt sich für Forschungsfrage F4 schlussfolgern, dass Ridepooling in urbanen Gebieten insbesondere zu Randzeiten des ÖPNV als ergänzender Service wirksam ist. Die durch die PBefG-Novelle eingeführten Genehmigungspflichten (Betriebs-, Beförderungs- und Tarifpflicht gemäß §44 PBefG Zulassung als Teil des ÖPNV; Regelung der Rückkehrpflicht, räumliche und zeitliche Beschränkungen, Bündelungsquote und Sozialstandards durch die Genehmigungsbehörde gemäß §50 PBefG Zulassung ohne ÖPNV-Integration) bieten regulatorische Instrumente, um potenzielle Konkurrenznutzung mit dem klassischen ÖPNV und dem Taxigewerbe in städtischen Bediengengebieten entgegenzuwirken. Öffentlich gefördertes Ridepooling sollte sich in urbanen Kontexten auf die Ergänzung des ÖPNV in den Nachtstunden und auf die Anbindung stark frequentierter, nicht ans Liniennetz angebundener Aktivitätssorte konzentrieren. In suburbanen und ländlichen Gebieten zeigen die On-Demand-Dienste

ein erhebliches Potenzial zur Ergänzung des ÖPNV, wie auch die bundesweiten Integrations-trends im Rahmen von B2G-Modellen bestätigen. In diesen Lagen können Ridepooling-Angebote als gezielte Zubringer für übergeordnete Verkehrssysteme (insbesondere für den Schienenverkehr) fungieren oder in sehr dünn besiedelten Gebieten durch dichte Netze digitaler Haltestellen oder stationslosem Betrieb eine Grundversorgung sicherstellen.

Auch ESS bietet das Potenzial, die Qualität des ÖPNV in und außerhalb urbaner Zentren zu verbessern und wird sowohl in Städten als auch außerhalb urbaner Gebiete (Reallabor Ronnenberg) häufig in Kombination mit dem Schienenverkehr genutzt. Die Ergebnisse aus Artikel 3 sprechen dafür, ESS außerhalb der Großstädte als gezielten Zubringer zwischen Bahnhöfen und wichtigen regionalen Aktivitätsorten wie Schulen, Universitäten oder Arbeitsplätzen für eine junge Zielgruppe zu etablieren. Trotz diesem Nutzungspotenzial im Stadt-Umland wird die Entwicklung außerhalb der Großstädte bislang durch eine unzureichende Einbindung in die Raumplanung und eine lückenhafte Radinfrastruktur gebremst. Die Ausweitung in weniger rentable Gebiete wird außerdem durch das Fehlen formaler Beförderungsaufträge und Kooperationsstrukturen zwischen Kommunen und Anbietern erschwert. Durch die Etablierung von B2G-Modellen mit Beförderungsauftrag und Tarifintegration könnten Mindestumsätze für private Betreiber gesichert und gleichzeitig die Flexibilität und Attraktivität des Angebots als Bestandteil des ÖPNV erhöht werden. Der tatsächliche Einsatz von B2G für ESS in Deutschland bleibt allerdings aufgrund aktueller Debatten um Missbrauch und Verbote fraglich. Deshalb sollte der Einsatz von ESS im öffentlichen Raum zumindest durch Sondernutzungsvereinbarungen geregelt werden. Die Regulierung ist besonders für die Nutzung in Städten relevant, in denen bereits eine Vielzahl von Mobilitätsalternativen zur Verfügung stehen und deshalb Kannibalisierungstendenzen in Bezug auf den Umweltverbund wahrscheinlich sind. Hier können Sondernutzungsvereinbarungen so gestaltet werden, dass eine räumliche Verteilung des Angebots bis hin zu den Außenbezirken gewährleistet wird und Park- bzw. Verbotszonen eingerichtet werden. In diesem Kontext sollten gemeinsam mit den Anbietern Konzepte für klar definierte Einsatzgebiete und Abstellflächen entwickelt werden, um Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern zu reduzieren und gleichzeitig die Flexibilität von ESS nicht übermäßig einzuschränken.

5 Reflektion der Methodik

Die in dieser Dissertation gewählten methodischen Ansätze zur Überprüfung der ersten drei Forschungsfragen begründen sich durch die in der Forschungsliteratur bewährten Verfahren zur Analyse von Nutzenden der Shared Mobility, ihrer raum-zeitlichen Nutzungsmuster sowie der Wechselwirkungen zum ÖPNV. Innerhalb der Aufbereitung der Forschungsliteratur in Artikel 1 und 2 wird diesbezüglich nach Studien differenziert, die deskriptive Auswertungen sowie Regressionsanalysen mit Fahrtdaten ausführen und Studien, die Ergebnisse auf Grundlage von Befragungen erzielen. Der Beitrag dieser Dissertation geht über die inhaltlichen Erkenntnisgewinne hinaus und umfasst eine Weiterentwicklung der Modellierung von Zusammenhängen zwischen ESS-Fahrten und dem ÖPNV (Artikel 2). Darüber hinaus wird ein Ansatz eingeführt, der raumbezogene Nachfrageschätzung, Stakeholder-Beteiligung und Reallabor-Methoden kombiniert, um Nutzungspotenziale der Angebote in neu zu erschließenden Gebieten zu bewerten. Während diese drei Komponenten bislang nur separat und in urbanen Räumen angewandt wurden, sind sie in dieser Arbeit vereint und auf suburbane Räume in der Region Hannover übertragen. Die Beschreibung der Vorgehensweise und einzelne, studienbezogene Limitationen finden sich in den jeweiligen Artikeln in Kapitel 3. Im Folgenden werden die zentralen, studienübergreifenden Limitationen der Daten und angewandten Methoden zusammengefasst und auf Grundlage dieser Erkenntnisse alternative Ansätze zur Daten- und Methoden-anwendung für Forschung und Praxis vorgeschlagen.

5.1 Daten

Die zentrale Datengrundlage der räumlichen und zeitlichen Analysen dieser Dissertation bilden die Datensätze der Ridepooling- und ESS-Anbieter CleverShuttle, Lime und Voi. Sie ermöglichen einen umfassenden Zugang zu raum-zeitlichen Informationen von Start- und Zielpunkten. Es ist keine alternative Erhebungsmethode ersichtlich, die in einem vergleichbaren Umfang (40.000 Ridepooling-Fahrten in Artikel 1 sowie 322.000 & 17.000 ESS-Fahrten in Artikel 2 und 3) eine entsprechend umfassende Datengrundlage zur Analyse der Nutzungsmuster generieren könnte. Im Vergleich zur Erhebung von Fahrtdaten durch Befragungen (z.B. Wegetagebücher) erlauben die Datensätze somit eine belastbare Analyse von Nutzungsmustern und zeitlichen Dynamiken mit dem Vorteil, mit geringem Erhebungsaufwand eine sehr große Anzahl an Fahrten zu analysieren. Diese Art der Datenerhebung ist bezüglich der Analyse von Verkehrsmittelnutzung eine Besonderheit, da bei Shared Mobility automatisch alle Fahrten räumlich und zeitlich erfasst werden. Bei privaten Verkehrsmitteln oder im ÖPNV

werden Einzelfahrten dagegen nicht oder nur mit ausdrücklicher Zustimmung der Nutzenden aufgezeichnet. Allerdings lassen durch Sensorik erhobene Daten allein keine direkten Rückschlüsse auf Fahrtzwecke oder soziodemographische Merkmale der Nutzenden zu. Die anschließende räumliche Aggregation der Fahrtdaten kann zudem zu ökologischen Fehlschlüssen in den Analysen führen. Um diese Einschränkungen zu kompensieren, werden zusätzlich zu der Analyse von Fahrtdaten ergänzende Befragungen durchgeführt. In den Artikeln 1 und 3 werden durch diese Verknüpfung von Fahrtdatenanalysen und Befragungsergebnissen komplementäre Erkenntnisse hinsichtlich der Fahrtzwecke und den Wechselwirkungen mit dem ÖPNV gewonnen. Während die Fahrtdaten vor allem Aufschluss über beobachtbare Nutzungsmuster geben, liefern die Umfrageergebnisse Informationen zu soziodemographischen Merkmalen und zum Mobilitätsverhalten. Für zukünftige Forschungsvorhaben im Bereich Shared Mobility erscheint es besonders vielversprechend, Fahrtdaten und Befragung auf Einzelfahrtsebene miteinander zu verknüpfen. Vorausgesetzt hierfür ist eine enge Kooperation mit den Anbietern der Shared Mobility, etwa durch die Integration kurzer In-App-Befragungen unmittelbar nach Fahrtende, um soziodemografische Merkmale und Fahrtmotive einzelnen Fahrten zuordnen zu können. Im deutschen Kontext eröffnet der kürzlich veröffentlichte Datensatz MiD 2023 Möglichkeiten für kombinierte Analysen von Fahrtinformationen und soziodemographischen Merkmalen. Im Vergleich zu früheren Erhebungen umfasst die MiD 2023 erstmals deutschlandweite Daten zu ESS und On-Demand-Verkehren. Es handelt es sich hierbei nicht um sensorisch erfasste Fahrtdaten, sondern um im Rahmen von Befragungen erhobene Wege. Aufgrund ihres bundesweiten Erhebungsumfangs bietet die MiD dennoch eine äußerst umfangreiche Datengrundlage für die Analyse von Nutzenden und Nutzungsmustern der Angebote. Sofern Angebote des ESS und Ridepooling in Deutschland weiter expandieren und somit eine größere Anzahl an Nutzenden in suburbanen und ländlichen Räumen befragt werden können, könnte die MiD in Zukunft auch für räumlich differenzierte Nutzungsanalysen (F4) herangezogen werden.

Hinsichtlich der Qualität der genutzten Daten innerhalb dieser Dissertation stellte die teilweise mangelnde Verfügbarkeit von Daten unterhalb der Gemeindeebene über die drei Artikel hinweg eine Einschränkung der Analyse räumlicher Nachfragedeterminanten dar. Obwohl die Datenqualität von OpenStreetMap (OSM) in den letzten Jahren deutlich gestiegen ist, bestehen insbesondere außerhalb von Großstädten weiterhin Inkonsistenzen hinsichtlich der räumlichen Abdeckung als auch in der Aktualisierung der Daten. Der Zugang zu detaillierten Strukturdaten aus dem Verkehrsmodell für die Region Hannover trägt deshalb maßgeblich zur

Qualitätssteigerung der Analysen zu ESS in Hannover (Artikel 2) und der Ermittlung des theoretischen Nutzungspotenzials in der Region Hannover (Artikel 3) bei. Eine weitere Herausforderung stellt weiterhin die Beschaffung von Fahrtdaten der Anbieter dar. Während Anbieter über offene Schnittstellen zunehmend Daten zur Fahrzeugverfügbarkeit bereitstellen, erfordern diese Datensätze jedoch eine umfangreiche Aufbereitung. Im Gegensatz dazu sind referenzierte Start-Ziel-Daten von tatsächlich durchgeführten Fahrten (Buchungen) zuverlässiger und benötigen weniger komplexe Datenbereinigungsverfahren, die sich vor allem auf die Bereinigung geographischer, Distanz- oder Geschwindigkeitsausreißer beschränken. Die Analysen dieser Dissertation basieren dank der engen Kooperation mit den Anbietern somit im Vergleich zu einem großen Teil der ESS-Forschungsliteratur auf einer hohen Datenqualität. Beim Ridepooling stellt hier insbesondere MOIA eine prominente Ausnahme da, die regelmäßig Daten für Forschungszwecke zur Verfügung stellen bzw. eigene Analysen veröffentlichen. Die direkte Zusammenarbeit mit den Anbietern ermöglichte darüber hinaus die Integration der Nutzerbefragung in die CleverShuttle-App sowie die gezielte Verteilung von QR-Codes für die Online-Befragung an Voi-Rollern in Ronnenberg. Eine ursprünglich geplante Integration einer Befragung in die Lime-App in Hannover für Artikel 2 konnte aufgrund von Differenzen hinsichtlich der Datenveröffentlichung nicht umgesetzt werden. Um dennoch Aussagen über potenzielle Nutzergruppen treffen zu können, wurden stellvertretend Proxy-Variablen wie die Anzahl der Schüler:innen, Studierenden sowie die Altersstruktur der Bevölkerung in die räumlichen Regressionsmodelle integriert. Somit konnten (in Kombination mit den beobachteten raum-zeitlichen Nutzungsmustern und unter Einbeziehung der bestehenden Literatur zu Nutzenden) trotz ausbleibender Befragung Schlussfolgerungen zur Zusammensetzung der Nutzergruppe des Angebots in Hannover abgeleitet werden.

Zukünftig könnten vertragliche Vereinbarungen zwischen Kommunen und Anbietern eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung des Datenzugangs spielen. Eine verpflichtende Übermittlung von Fahrtdaten würde sowohl Forschung als auch Verwaltung zugutekommen und das Monitoring der Nachfrage, des Mobilitätsverhaltens sowie der Auswirkung von regulatorischen Maßnahmen (z. B. Gebühren, Parkregelungen, zusätzliche Stationen) ermöglichen. Darüber hinaus könnte ein vertraglich geregelter Zugang zu Trajektoriedaten die Möglichkeiten zur Untersuchung der Infrastrukturnutzung erweitern und Planenden als datengestützte Entscheidungsgrundlage zur Anpassung der Infrastruktur (z.B. in der Planung von Radwegen) dienen.

5.2 Modellierung

Die in den Studien angewandten quantitativen Modellierungsverfahren wie räumliche Regressionsmodelle (Artikel 1 und 2), die Modellierung des Ergänzungseffektes zum ÖPNV (Artikel 2) sowie räumliche Potenzialanalysen (Artikel 3) basieren jeweils auf den methodischen Grundlagen vorheriger Studien zur Nutzung von Shared Mobility. Zur Sicherstellung der Reproduzierbarkeit der Methoden ist das jeweilige methodische Vorgehen in den Artikeln schrittweise dokumentiert. Der Vergleich verschiedenster Modelle hat ergeben, dass räumliche Regressionsmodelle für die Analyse aggregierter Fahrtdaten aufgrund der Kontrolle auf räumliche Abhängigkeiten und Autokorrelationen klassischen Modellen ohne Raumbezug vorzuziehen sind.

Die größte studienübergreifende Limitation bei der Analyse des Verkehrsaufkommens von Shared Mobility anhand von Fahrtdaten besteht darin, dass die Anbieter ihre Fahrzeugflotten vor allem in den zentralen Innenstadtgebieten bereitstellen und Außenbezirke aufgrund geringerer Profitabilität nicht oder nur unzureichend versorgen. Dadurch entstehen Nachfragemuster, die das tatsächliche Interesse in den Randgebieten nicht vollständig abbilden, da dort schlicht weniger Fahrzeuge verfügbar sind. Das erfasste Verkehrsaufkommen spiegelt daher nicht unbedingt das tatsächliche Potenzial oder den Bedarf in allen Stadtteilen wider. In Artikel 2 wird durch die Berücksichtigung der Entfernung zum Stadtzentrum die Modellgüte verbessert und der Einfluss der ungleichen Flottenverteilung reduziert. Eine entsprechende Einbindung dieser Variable könnte auch die Ridepooling-Modelle in Artikel 1 potenziell optimieren. Allerdings sind die Unterschiede in der Flottenverteilung zwischen zentralen und peripheren Bereichen beim Ridepooling (Artikel 1) weniger stark ausgeprägt als beim ESS (Artikel 2), bei dem eine deutliche Konzentration von kurzen Fahrten im Innenstadtbereich zu beobachten ist. Daher würde der Gesamteinfluss dieser Kontrollvariable auf die Modellgüte im Fall des Ridepooling vermutlich geringer ausgefallen. Zukünftige Studien könnten mithilfe von Längsschnittdaten untersuchen, inwieweit die vom Anbieter festgelegten räumlichen und zeitlichen Verteilungsmuster die tatsächliche Nachfrage beeinflussen. Längsschnittstudien könnten darüber hinaus für die Analyse des Einflusses von regulatorischen Maßnahmen wie z.B. Tarifintegration oder bauliche Maßnahmen herangezogen werden. Die Datenerhebungen dieser Dissertation für Ridepooling (Berlin & München) und ESS (Hannover und Ronnenberg) fanden zeitlich vor regulatorischen Eingriffen gemäß der Novellierung des PBefG sowie vor der Anwendung von Sondernutzungsvereinbarungen statt. Somit bietet die Dissertation Ergebnisse zum ursprünglichen, maßgeblich unregulierten Status Quo und kann für zukünftige

Nutzungsanalysen in einem regulierten Setting als Referenzpunkt herangezogen werden. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird eine Modellierung nach Vorbild dieser Arbeit empfohlen. Städten und Kommunen ist darüber hinaus zu empfehlen die Fahrtdaten mit ihren eigenen Verkehrsmodelldaten zu verschneiden, anhand der Regressionsmodelle die Nutzungsmuster in ihrer Stadt zu evaluieren und daraus neue Nutzungspotenziale zu ermitteln. So wird z.B. die in dieser Dissertation angewandte Methodik zur Modellierung von raumstrukturellen Einflüssen aktuell in der Behörde für Verkehr und Mobilitätswende Hamburg nachgenutzt und (durch das direkte Mitwirken des Autors) für die Bedarfsermittlung und Ausschreibung neuer Sharing-Standorte für Mikromobilität angewandt.

5.3 Nutzungspotenziale

Die Nutzungspotenziale (F4) ergeben sich aus der Frage, für welche Bevölkerungsgruppen und Einsatzbereiche die Angebote als Bestandteil des ÖPNV in unterschiedlichen Raumtypen geeignet sind, wobei räumliche, zeitliche und erforderliche regulatorische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen sind. In urbanen Räumen mit Zugang zu den Angeboten der Shared Mobility stellen Analysen der tatsächlichen Fahrten und Befragungen der Nutzenden den Forschungsstandard dar. Zur Bewertung des Nutzungspotenzials in bislang unerschlossenen Gebieten können aber auch alternative Methoden herangezogen werden, sofern tatsächliche Nutzungsdaten nicht vorliegen. So bieten z.B. Stated-Preference-Befragungen einen Ansatz, mögliche Nutzungsmuster der Bevölkerung auf Grundlage hypothetischer Szenarien vorherzusagen. Außerhalb urbaner Raumstrukturen, in denen das Mobilitätsverhalten stark habitualisiert ist, erfassen solche hypothetischen Bewertungen Anpassungsprozesse jedoch oft nur unzureichend.

In dieser Dissertation wird zur Überprüfung von F4 für ESS ein methodischer Ansatz gewählt, der drei Methoden (raumbezogene Bedarfsschätzung, Stakeholder-Beteiligung durch Fokusgruppen, Fahrtdatenanalyse und Befragung im Reallabor) miteinander kombiniert. Das Vorgehen orientiert sich an der Methodik von Loidl et al. (2019) zur räumlichen Potenzialanalyse und Planung von Bikesharing-Stationen. Es werden die dort angewandten Vorgehensweisen zur raumbezogenen Bedarfsschätzung und Stakeholder-Beteiligung übernommen und mit einem Reallabor ergänzt. Im Reallabor wiederum werden Nutzende und raum-zeitliche Nutzungsmuster hinsichtlich der ersten drei Forschungsfragen untersucht. Methodisch handelt es sich bei dem Reallabor um ein interventionsbasiertes, quasi-experimentelles Design, in dem aktiv ein neues Angebot geschaffen und dessen Nutzung in einer realen Umgebung untersucht. Deshalb ist dieses Vorgehen einem Stated-Preference-Ansatz vorzuziehen, auch wenn

mögliche Verzerrungen durch den Neuheitswert des Angebots und Early-Adopter-Dynamiken auftreten können. Dies kann insbesondere für ESS angenommen werden, da die Nutzungsbereitschaft von der Erfahrung mit dem Angebot abhängig ist (Baek et al., 2021; Hong et al., 2023). Durch die Kombination des Reallabors mit einer räumlichen Bedarfsschätzung (*theoretical potential*) und der Einbindung relevanter Akteure (*implementation potential*) liefert dieser Ansatz im Gegensatz zu einer Befragung zu hypothetischen Präferenzen jedoch ein umfassenderes Bild zum Nutzungspotenzial inklusive Erkenntnissen bezüglich regulatorischer bzw. infrastruktureller Anforderungen und möglichen Adoptionsbarrieren.

Der methodische Ansatz zur Untersuchung des Nutzungspotenzials in bislang unerschlossenen Gebieten ist maßgeblich davon abhängig, inwieweit Mobilitätsanbieter bereit sind, Daten bereitzustellen und inwieweit die Anbieter und Kommunen für die Einführung bzw. räumliche Ausweitung der Angebote offen sind. Während die Kooperation mit den Anbietern im Bereich ESS erfolgreich umgesetzt werden konnte, musste eine geplante Ridepooling-Studie in der Region Hannover (Sprinti), die im Rahmen des Forschungsprojekts MoveMe vorgesehen war, aufgrund von pandemiebedingten Verzögerungen und vertraglichen Beschränkungen entfallen. Die zunehmende Verbreitung von B2G-Ridepooling in suburbanen und ländlichen Regionen Deutschlands hat allerdings dazu geführt, dass im Laufe der Dissertation empirische Studien zur tatsächlichen Nutzung dieser Angebote in unterschiedlichen Raumtypen verfasst wurden. Diese externen Forschungsergebnisse konnten für die Bewertung des Nutzungspotenzials herangezogen werden. Die Befunde neuester Ridepooling-Forschung in Deutschland (siehe Kapitel 4) bestätigen die in der Dissertation gezogenen Schlussfolgerungen zur ÖPNV-ergänzenden Funktion von Ridepooling.

Alle drei Artikel liefern Ergebnisse in einem unregulierten Status Quo und können deshalb für zukünftige Nutzungsanalysen unter regulierten Bedingungen als Referenzpunkte herangezogen werden. Zukünftige Forschungsvorhaben zur potenziellen Nutzung in bislang unerschlossenen Räumen sollten den Ansatz um Betriebskostenanalysen erweitern. Da die Wirtschaftlichkeit von Shared Mobility sowohl von Anbietern als auch von Kommunen als zentrale Herausforderung betrachtet wird, ist insbesondere vor dem Hintergrund struktureller Finanzierungsprobleme des ÖPNV in bevölkerungsschwachen Regionen eine differenzierte Kosten-Nutzen-Analyse erforderlich.

Hinsichtlich der Übertragbarkeit der Methodik und Ergebnisse stellt sich ein differenziertes Bild für die beiden Angebote dar. Die Ergebnisse aus Fahrtdatenanalysen und

Befragungsstudien zu Ridepooling deuten auf konsistente ÖPNV-komplementäre Nutzungsmuster in und außerhalb urbaner Räume hin, weshalb die Ergebnisse aus Artikel 1 zumindest für Deutschland übertragbar sind. Auch die Forschungsliteratur zu ESS liefert über viele Studien hinweg ähnliche Befunde zur Nutzung von ESS in Großstädten. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Übertragbarkeit der Ergebnisse dieser Dissertation zumindest für urbane Räume plausibel. Dagegen hängt die Übertragbarkeit der Ergebnisse zu ESS aus Ronnenberg auf andere nicht-urbane Räume stärker von den jeweiligen raumstrukturellen Gegebenheiten (Siedlungsstruktur, Radinfrastruktur, ÖPNV-System) und regulatorischen Rahmenbedingungen (Integrationsgrad in Planungsdokumente und den ÖPNV) ab. Für Räume, die mit der Region Hannover vergleichbar sind und wo eine starke Vernetzung der Kommunen über den ÖPNV ermöglicht wird, kann von einer Übertragbarkeit ausgegangen werden.

6 Fazit

Die Dissertation liefert auf Basis von Auswertungen von Fahrtdaten des ESS und Ridepooling sowie ergänzender Befragungen grundlegende Erkenntnisse zu den Nutzergruppen und Nutzungsmustern der Angebote sowie den Wechselwirkungen mit dem ÖPNV in Deutschland. Dabei werden sowohl urbane Räume (Artikel 1 und 2) als auch Räume abseits der Großstädte (Artikel 3 und Rahmentext, Kapitel 4) betrachtet, um die jeweiligen Nutzungspotenziale räumlich differenziert bewerten zu können. Die im Zuge dieser Arbeit veröffentlichten Artikel zählen hinsichtlich ihres Analyseschwerpunktes mit zu den ersten empirischen Untersuchungen zu Ridepooling und ESS in Deutschland. Während Artikel 1 einen der ersten Beiträge zu Nutzenden und Nutzungsmustern von Ridepooling in Deutschland leistet, liefert Artikel 2 wichtige methodische und empirische Erkenntnisse zum Verständnis der räumlichen und zeitlichen Beziehungen zwischen ESS und dem ÖPNV. Artikel 3 ergänzt diese Perspektive durch die Analyse der Nutzung und Bewertung von ESS-Nutzungspotenzialen im Stadt-Umland.

Methodisch knüpft die Dissertation an bestehende Ansätze zur Analyse von Nutzenden und Nutzungsmustern im Bereich Shared Mobility an. Dazu werden gängige Verfahren der räumlichen und zeitlichen Fahrtdatenanalyse mit Befragungen der Nutzenden miteinander verbunden. Dieser kombinierte Analyseansatz hat sich als gewinnbringend erwiesen, um die jeweiligen Limitationen der einzelnen Ansätze zu kompensieren und valide Schlussfolgerungen hinsichtlich der Nutzungsmuster und Fahrtzwecke treffen zu können. Darüber hinaus leistet die Arbeit einen methodischen Beitrag zur Modellierung der komplementären Beziehungen von ESS und dem ÖPNV sowie zur Bewertung von Nutzungspotenzialen in bislang (durch Shared Mobility) kaum erschlossenen Räumen. Die gewonnenen Erkenntnisse zur Methodik dienen dabei nicht nur als Grundlage für zukünftige Forschungsvorhaben, sondern bieten auch einen unmittelbaren praktischen Nutzen für kommunale Bedarfs- und Nutzungsanalysen in Hinblick auf die Modellierung von Verkehrsaufkommen sowie der Ausgestaltung von Datennutzungsvereinbarungen mit den Anbietern der Shared Mobility. Abschließend werden praxisrelevante Handlungsempfehlungen für die Implementierung der Angebote abseits der Großstädte, für Maßnahmen zur Erhöhung der Inklusivität und Zugänglichkeit der Angebote sowie für die Schaffung regulatorischer Rahmenbedingungen zur Stärkung des ÖPNV-Ergänzungseffekts formuliert.

Obwohl der Anteil von Shared Mobility am Gesamtverkehrsaufkommen derzeit noch gering ist, weisen die Ergebnisse auf ein Nutzungspotenzial für breitere Bevölkerungsschichten hin,

sofern entsprechende regulatorische Rahmenbedingungen geschaffen und Zugangshürden abgebaut werden. Aktuell erreicht Ridepooling eine diversere Nutzergruppe als andere Angebote der Shared Mobility und fungiert in Großstädten bereits als wichtige ÖPNV-Ergänzung für jene Zeiten und Wege, für die keine kompetitive ÖPNV-Verbindung zur Verfügung steht. Im Stadt-Umland sowie in ländlichen Lagen übernimmt Ridepooling in diesem Zusammenhang eine noch wichtigere Rolle hinsichtlich der Daseinsvorsorge, da die Qualitätsdefizite des ÖPNV hier oft ausgeprägter sind als im urbanen Raum. Diese Entwicklung ist maßgeblich auf die zunehmende Integration von Ridepooling in kommunale Planungsstrukturen durch B2G-Modelle zurückzuführen. Ein solches Auftragsverhältnis vereint die marktwirtschaftlichen Interessen privater Dienstleister mit dem Anspruch der bedarfsgesteuerten Angebotsplanung des ÖPNV.

ESS wird sowohl in urbanen als auch außerhalb urbaner Gebiete häufig in Kombination mit dem Schienenverkehr genutzt und bietet das Potenzial Zubringerwege zu flexibilisieren. Die Planung und Regulierung von ESS sollten dementsprechend so gestaltet werden, dass der Einsatz der Roller auf der ersten und letzten Meile gefördert wird. Das politische Ziel sollte hierbei nicht allein in der direkten Verkehrsverlagerung kurzer Autofahrten bestehen, sondern in der konsequenten Förderung von multi- und intermodalem Verkehrsverhalten für längere Strecken. Hierfür ist ein integriertes System aus Infrastruktur und Tarifen erforderlich, das sowohl die Alltagsmobilität für auf den ÖPNV angewiesene Personen flexibler gestaltet als auch Anreize für Personen mit monomodalen Verhaltensmustern im MIV schafft. Dies kann entweder innerhalb öffentlicher Ausschreibungen von B2G-Modellen oder durch Sondernutzungsvereinbarungen mit den Anbietern geregelt werden. Eine alleinige Flexibilisierung und Qualitätsverbesserung des öffentlichen Verkehrsangebots werden für signifikante Verkehrsverlagerungseffekte jedoch nicht ausreichen. Vielmehr bedarf es begleitender Push-Maßnahmen, welche die monomodale Nutzung des MIV weniger attraktiv machen.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Shared Mobility bereits heute dazu beiträgt, den ÖPNV räumlich und zeitlich dort zu ergänzen, wo das herkömmliche Angebot Defizite aufweist. Diese Erkenntnis sollte künftig als Maßstab für die Bewertung und den Einsatz solcher Dienste dienen, anstatt sie ausschließlich anhand direkter Verlagerungseffekte zu beurteilen. Zur Förderung von Multimodalität muss Shared Mobility von Politik und Planenden als integraler Bestandteil eines multioptionalen ÖPNV verstanden werden. Die Novellierungen des PBefG sowie der eKfV markieren erste Schritte zur Verwirklichung dieser Integration, wenngleich insbesondere in bevölkerungsschwachen Gebieten infrastrukturelle und wirtschaftliche

Herausforderungen für Shared Mobility bestehen bleiben. Neben der Evaluation des Einflusses regulatorischer Maßnahmen auf die Nutzung von Shared Mobility sollte ein zentraler Schwerpunkt zukünftiger Forschungsarbeiten auf nachhaltigen Finanzierungsmodellen für Shared Mobility als Bestandteil des ÖPNV in suburbanen und ländlichen Räumen liegen. Studien könnten hier die Effizienz verschiedener B2G-Ausschreibungskriterien evaluieren und untersuchen, unter welchen institutionellen und ökonomischen Rahmenbedingungen eine Integration von Shared Mobility in den ÖPNV sowohl für Kommunen als auch für private Anbieter finanziell tragfähig ist.

Literaturverzeichnis

- Aberle, C., 2020. Who Benefits from Mobility as a Service? A GIS-Based Investigation of the Population Served by Four Ride-Pooling Schemes in Hamburg, Germany. *KN Journal of Cartography and Geographic Information* 70, 25–33. <https://doi.org/10.1007/s42489-020-00041-4>.
- Aberle, C., Daubitz, S., Gertz, C., Schwedes, O., 2022. Mobilitätsbezogene soziale Exklusion in Großstädten: empirische Bestandsaufnahme und Strategieentwicklung für Berlin und Hamburg. *Journal für Mobilität und Verkehr* 14, 18–27. <https://doi.org/10.15480/882.4558>.
- Agora Verkehrswende, 2018. Bikesharing im Wandel – Handlungsempfehlungen für deutsche Städte und Gemeinden zum Umgang mit stationslosen Systemen. https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Stationslose_Bikesharing_Systeme/Agora_Verkehrswende_Bikesharing_WEB.pdf. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Alyavina, E., Nikitas, A., Njoya, E. T., 2022. Mobility as a service (MaaS): A thematic map of challenges and opportunities. *Research in Transportation Business & Management* 43, 100783. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100783>.
- Amirnazmiafshar, E., Diana, M., 2022. A review of the socio-demographic characteristics affecting the demand for different car-sharing operational schemes. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 14, 100616. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100616>.
- Ampudia-Renuncio, M., Guirao, B., Molina-Sánchez, R., Engel de Álvarez, C., 2020. Understanding the spatial distribution of free-floating carsharing in cities: Analysis of the new Madrid experience through a web-based platform. *Cities* 98, 102593. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102593>.
- Axhausen, K. W., Gärling, T., 1992. Activity-based approaches to travel analysis: conceptual frameworks, models, and research problems. *Transport Reviews* 12 (4), 323–341. <https://doi.org/10.1080/01441649208716826>.
- Baek, K., Lee, H., Chung, J.-H., Kim, J., 2021. Electric scooter sharing: How do people value it as a last-mile transportation mode? *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 90, 102642. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102642>.
- Becker, H., Ciari, F., Axhausen, K. W., 2017a. Modeling free-floating car-sharing use in Switzerland: A spatial regression and conditional logit approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 81, 286–299. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.06.008>.
- Becker, H., Ciari, F., Axhausen, K. W., 2017b. Comparing car-sharing schemes in Switzerland: User groups and usage patterns. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 97, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.01.004>.

- Becker, H., Ciari, F., Axhausen, K. W., 2018. Measuring the car ownership impact of free-floating car-sharing – A case study in Basel, Switzerland. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 65, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.08.003>.
- Bensler, A., Lohaus, J., Ruhrort, L., 2025. Endlich wieder zum Kaffeeklatsch in die Stadt – Potenziale eines On-Demand-Verkehrs für soziale Teilhabe und Gesundheit. *Nahverkehrs-Tage 2025*, 13–35. <https://doi.org/10.17170/kobra-2025072811320>.
- Berg Wincent, B., Jenelius, E., Burghout, W., 2025. Shared e-scooter parking regulation: Effects on rider attitudes, perceptions, and use. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 199, 104527. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2025.104527>.
- Bergantino, A. S., Gardelli, A., 2024. The contribution of e-scooters services to urban transport resilience. *Journal of Transport Geography* 118, 103869. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.103869>.
- Bhat, C. R., Koppelman, F. S., 1999. A retrospective and prospective survey of time-use research. *Transportation* 26 (2), 119–139. <https://doi.org/10.1023/A:1005196331393>.
- Bieliński, T., Ważna, A., 2020. Electric Scooter Sharing and Bike Sharing User Behaviour and Characteristics. *Sustainability* 12 (22), 9640. <https://doi.org/10.3390/su12229640>.
- Bowman, J., Ben-Akiva, M., 2001. Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 35 (1), 1–28. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(99\)00043-9](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(99)00043-9).
- Boyko, D., 2026. Digital access to mobility: socio-spatial inequalities in public transport app use. Dissertation. Institutionelles Repositorium der Leibniz Universität Hannover. <https://doi.org/10.15488/20335>.
- Buck, D., Buehler, R., Happ, P., Rawls, B., Chung, P., Borecki, N., 2013. Are Bikeshare Users Different from Regular Cyclists? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2387 (1), 112–119. <https://doi.org/10.3141/2387-13>.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), 2023. Die Abgrenzung des ländlichen Raums – ein (un)mögliches Unterfangen? BBSR-Online-Publikation 18/2023. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-18-2023-dl.pdf>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Bundesministerium für Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV), 2017. Gesetz zur Bevorrechtigung des Carsharing. <https://www.gesetze-im-internet.de/csgg/>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Bundesministerium für Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV), 2019. Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr. <https://www.gesetze-im-internet.de/pbefg/>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.

- Bundesministerium für Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV), 2026. Personenbeförderungsgesetz (PBefG). <https://www.gesetze-im-internet.de/pbefg/>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Bundesministerium für Verkehr (BMV), 2026. Novelle der Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung - Fragen und Antworten. <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/elektrokleinstfahrzeuge-verordnung-faq-novelle.html>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Bundesverband für Carsharing e.V., 2024. Die Geschichte des Carsharing in Deutschland. [https://www.carsharing.de/sites/default/files/download/2024-09/Geschichte des Carsharing%2C Stand 2024.pdf](https://www.carsharing.de/sites/default/files/download/2024-09/Geschichte%20des%20Carsharing%20Stand%202024.pdf). Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Butler, L., Yigitcanlar, T., Paz, A., 2021. Barriers and risks of Mobility-as-a-Service (MaaS) adoption in cities: A systematic review of the literature. *Cities* 109, 103036. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103036>.
- Cao, X., Mokhtarian, P. L., Handy, S. L., 2009. Examining the Impacts of Residential Self-Selection on Travel Behaviour: A Focus on Empirical Findings. *Transport Reviews* 29 (3), 359–395. <https://doi.org/10.1080/01441640802539195>.
- Cao, Z., Zhang, X., Chua, K., Yu, H., Zhao, J., 2021. E-scooter sharing to serve short- distance transit trips: a Singapore case. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 147, 177–196. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.03.004>.
- Carrone, A. P., Hoening, V. M., Jensen, A. F., Mabit, S. E., Rich, J., 2020. Understanding car sharing preferences and mode substitution patterns: A stated preference experiment. *Transport Policy* 98, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.03.010>.
- Cervero, R., 2003. City CarShare: First-Year Travel Demand Impacts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1839 (1), 159–166. <https://doi.org/10.3141/1839-18>.
- Cervero, R., Golub, A., Nee, B., 2007. City CarShare. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1992 (1), 70–80. <https://doi.org/10.3141/1992-09>.
- Cervero, R., Kockelman, K., 1997. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2 (3), 199–219. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6).
- Chatman, D. G., 2009. Residential Choice, the Built Environment, and Nonwork Travel: Evidence Using New Data and Methods. *Environ Plan A* 41 (5), 1072–1089. <https://doi.org/10.1068/a4114>.
- Chen, E., Ye, Z., Wu, H., 2021. Nonlinear effects of built environment on intermodal transit trips considering spatial heterogeneity. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 90, 102677. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102677>.

- Chen, Z., van Lierop, D., Ettema, D., 2020. Dockless bike-sharing systems: what are the implications? *Transport Reviews* 40 (3), 333–353. <https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1710306>.
- Christoforou, Z., Bortoli, A. de, Gioldasis, C., Seidowsky, R., 2021. Who is using e-scooters and how? Evidence from Paris. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 92, 102708. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102708>.
- Cohen, A., Shaheen, S., 2018. Planning for Shared Mobility. <https://doi.org/10.7922/G2NV9GDD>.
- Dauer, A., Dias, T. G., Sousa, J. P. de, Prata, B. d. A., 2024. Configurations and features of demand responsive transports. *Transportation Research Procedia* 78, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.02.010>.
- Delbosc, A., Nakanishi, H., 2017. A life course perspective on the travel of Australian millennials. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 104, 319–336. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.03.014>.
- Diana, M., Mokhtarian, P. L., 2009. Desire to change one's multimodality and its relationship to the use of different transport means. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 12 (2), 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2008.09.001>.
- Diebold, T., 2023. Wer nutzt die On-Demand Angebote des ÖPNV? Symposium „Erfahrungen und Chancen von On-Demand Angeboten im ÖPNV“ der TU Hamburg. <https://doi.org/10.15480/882.8918>.
- Dorantes, L. M., Murauskaite-Bull, I., 2023. Revisiting transport poverty in Europe through a systematic review. *Transportation Research Procedia* 72, 3861–3868. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.497>.
- Dresdner Verkehrsbetriebe AG, 2024. Projektbericht MOBIshuttle: Flexible Mobilität für ein lebenswertes Dresden. <https://www.dvb.de/-/media/files/download/mobishuttle-projektbericht.pdf>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Ertin, D., Esser, K., Brune, K. L., Fiedler, J., Gibbels, B., Würth, V., 2024. Begleitforschung zur Förderung von On-Demand-Verkehren. https://www.zukunftsnetzwerk-oepnv.de/fileadmin/user_upload/Text-Dateien/On-Demand_Verkehre/Endbericht_On-Demand-Verkehr.pdf. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Ewing, R., Cervero, R., 2001. Travel and the Built Environment: A Synthesis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1780 (1), 87–114. <https://doi.org/10.3141/1780-10>.
- Ewing, R., Cervero, R., 2010. Travel and the Built Environment. *Journal of the American Planning Association* 76 (3), 265–294. <https://doi.org/10.1080/01944361003766766>.

- Ferrero, F., Perboli, G., Rosano, M., Vesco, A., 2018. Car-sharing services: An annotated review. *Sustainable Cities and Society* 37, 501–518. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.020>.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 2021. Multi- und Intermodalität: Hinweise zur Umsetzung und Wirkung von Maßnahmen - Teilpapier 1: Definitionen. https://www.fgsv.de/fileadmin/Gremien/AK_128/Teilpapier_1_Definitionen.pdf. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Fishman, E., 2016. Bikeshare: A Review of Recent Literature. *Transport Reviews* 36 (1), 92–113. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1033036>.
- Fishman, E., Washington, S., Haworth, N., 2013. Bike Share: A Synthesis of the Literature. *Transport Reviews* 33 (2), 148–165. <https://doi.org/10.1080/01441647.2013.775612>.
- Foljanty, L., 2025. On-Demand Transit Market Report: Midyear 2025. <https://lukas-foljanty.medium.com/on-demand-transit-market-report-midyear-2025-9255ac28e295>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Gandomani, R., Mohamed, M., Amiri, A., Razavi, S., 2022. System Optimization of Shared Mobility in Suburban Contexts. *Sustainability* 14 (2), 876. <https://doi.org/10.3390/su14020876>.
- Gao, K., Jia, R., Liao, Y., Liu, Y., Najafi, A., Attard, M., 2024. Big-data-driven approach and scalable analysis on environmental sustainability of shared micromobility from trip to city level analysis. *Sustainable Cities and Society* 115, 105803. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105803>.
- Gebhardt, L., Ehrenberger, S., Wolf, C., Cyganski, R., 2022. Can shared E-scooters reduce CO2 emissions by substituting car trips in Germany? *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 109, 103328. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103328>.
- Gehrke, S. R., Huff, M. P., Reardon, T. G., 2021. Social and trip-level predictors of pooled ride-hailing service adoption in the Greater Boston region. *Case Studies on Transport Policy* 9 (3), 1026–1034. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.05.004>.
- Gesamtverband der Versicherer (GDV), 2025. E-Scooter setzen sich auf Deutschlands Straßen durch. <https://www.gdv.de/gdv/medien/medieninformationen/e-scooter-setzen-sich-auf-deutschlands-strassen-durch-185626>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Giesel, F., Nobis, C., 2016. The Impact of Carsharing on Car Ownership in German Cities. *Transportation Research Procedia* 19, 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.082>.
- Gilibert, M., Ribas, I., Maslekar, N., Rosen, C., Siebeneich, A., 2019. Mapping of service deployment use cases and user requirements for an on-demand shared ride-hailing service: MOIA test service case study. *Case Studies on Transport Policy* 7 (3), 598–606. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.07.004>.

- Gkavra, R., Susilo, Y. O., 2026. Understanding the e-scooter user puzzle: a systematic literature review. *Transport Reviews* 46 (1), 52–76. <https://doi.org/10.1080/01441647.2025.2545221>.
- Gödde, J., Scheiner, J., 2024. Temporal patterns and spatial determinants of e-scooter usage during and after the COVID-19 pandemic in Hanover, Germany. 17th International Conference on Travel Behaviour Research July 14 - 18, 2024. Vienna, Austria. https://www.researchgate.net/publication/400344995_Temporal_patterns_and_spatial_determinants_of_e-scooter_usage_during_and_after_the_COVID-19_pandemic_in_Hanover_Germany. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Goodman, A., Cheshire, J., 2014. Inequalities in the London bicycle sharing system revisited: impacts of extending the scheme to poorer areas but then doubling prices. *Journal of Transport Geography* 41, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.04.004>.
- Groth, S., Kuhnimhof, T., 2021. Multimodality in Transportation. In: *International Encyclopedia of Transportation*. Elsevier, pp. 118–126. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10414-2>.
- Guan, X., van Lierop, D., An, Z., Heinen, E., Ettema, D., 2024. Shared micro-mobility and transport equity: A case study of three European countries. *Cities* 153, 105298. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105298>.
- Hägerstraand, T., 1970. What about people in regional science?. *Papers in Regional Science* 24 (1), 7–21. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1970.tb01464.x>.
- Henao, A., Marshall, W. E., 2019. The impact of ride-hailing on vehicle miles traveled. *Transportation* 46 (6), 2173–2194. <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9923-2>.
- Holz-Rau, C., Scheiner, J., 2016. Raum und Verkehr – ein Feld komplexer Wirkungsbeziehungen. Können Interventionen in die gebaute Umwelt klimawirksame Verkehrsemissionen wirklich senken? *Raumforschung und Raumordnung* 74 (5). <https://doi.org/10.1007/s13147-016-0421-8>.
- Hong, D., Jang, S., Lee, C., 2023. Investigation of shared micromobility preference for last-mile travel on shared parking lots in city center. *Travel Behaviour and Society* 30, 163–177. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.09.002>.
- Hosford, K., Winters, M., 2018. Who Are Public Bicycle Share Programs Serving? An Evaluation of the Equity of Spatial Access to Bicycle Share Service Areas in Canadian Cities. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2672 (36), 42–50. <https://doi.org/10.1177/0361198118783107>.
- Hu, S., Chen, P., Lin, H., Xie, C., Chen, X., 2018. Promoting carsharing attractiveness and efficiency: An exploratory analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 65, 229–243. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.08.015>.

- Huang, Y., Ma, L., Vos, J. de, 2024. Travel behaviour and multimodality: a conceptual framework and critical review of research. *Transport Reviews* 44 (3), 709–730. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2300088>.
- infas, DLR, IVT, infas 360, 2025. Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr. https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2023_Ergebnisbericht.pdf. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Jäppinen, S., Toivonen, T., Salonen, M., 2013. Modelling the potential effect of shared bicycles on public transport travel times in Greater Helsinki: An open data approach. *Applied Geography* 43, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.05.010>.
- Jarass, J., Oostendorp, R., 2017. Intermodal, urban, mobil – Charakterisierung intermodaler Wege und Nutzer am Beispiel Berlin. *Raumforschung und Raumordnung* 75 (4). <https://doi.org/10.1007/s13147-017-0478-z>.
- Ji, Y., Ma, X., Yang, M., Jin, Y., Gao, L., 2018. Exploring Spatially Varying Influences on Metro-Bikeshare Transfer: A Geographically Weighted Poisson Regression Approach. *Sustainability* 10 (5), 1526. <https://doi.org/10.3390/su10051526>.
- Jittrapirom, P., Caiati, V., Feneri, A.-M., Ebrahimigharehbaghi, S., González, M. J. A., Narayan, J., 2017. Mobility as a Service: A Critical Review of Definitions, Assessments of Schemes, and Key Challenges. *UP* 2 (2), 13–25. <https://doi.org/10.17645/up.v2i2.931>.
- Jones, P. M., Dix, M. C., Heggie, I., 1983. *Understanding travel behaviour*. Aldershot: Gower.
- Kent, J. L., 2014. Carsharing as active transport: What are the potential health benefits? *Journal of Transport & Health* 1 (1), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2013.07.003>.
- Klein, M., Klinger, T., Lanzendorf, M., 2024. Residential self-selection and the relative importance of travel considerations in the residential choice of a car-reduced neighbourhood. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 190, 104266. <https://doi.org/10.1016/j.tr.2024.104266>.
- Koska, T., Böhler-Baedeker, S., Hinzmann, A., Bracher, T., Hertel, M., Reichel, D., 2013. Öffentliche Fahrradverleihsysteme - innovative Mobilität in Städten: Ergebnisse der Evaluation der Modellprojekte. *BMVBS-Online-Publikation* 29/2013. <https://d-nb.info/104781272X/34>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Koss, R., 2002. *Car-Sharing als Beitrag zur Lösung der verkehrs- und umweltpolitischen Krise?* Dissertation, Verlag für Wissenschaft und Forschung: Berlin. <https://d-nb.info/963650076>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Kostorz, N., Fraedrich, E., Kagerbauer, M., 2021. Usage and User Characteristics—Insights from MOIA, Europe’s Largest Ridepooling Service. *Sustainability* 13 (2), 958. <https://doi.org/10.3390/su13020958>.

- Krauss, K., Krail, M., Axhausen, K. W., 2022. What drives the utility of shared transport services for urban travellers? A stated preference survey in German cities. *Travel Behaviour and Society* 26, 206–220. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2021.09.010>.
- Kriswardhana, W., Esztergár-Kiss, D., 2023. A systematic literature review of Mobility as a Service: Examining the socio-technical factors in MaaS adoption and bundling packages. *Travel Behaviour and Society* 31, 232–243. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.12.007>.
- Kuehnel, N., Pfeil, L., Zwick, F., 2025a. The Role of On-Demand Ridepooling in Urban Public Transport: Insights from Rider Feedback and Counterfactuals. Pre-Print. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35766.15689/1>.
- Kuehnel, N., Zwick, F., Kuhlen, T.-E., 2025b. Revealed demand patterns of people with disabilities in on-demand ridepooling. *EJTIR* 25 (2). <https://doi.org/10.59490/ejtir.2025.25.2.7742>.
- Leck, E., 2006. The Impact of Urban Form on Travel Behavior: A Meta-Analysis. *Berkeley Planning Journal* 19 (1). <https://doi.org/10.5070/BP319111488>.
- Lee, H., Baek, K., Chung, J.-H., Kim, J., 2021. Factors affecting heterogeneity in willingness to use e-scooter sharing services. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 92, 102751. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102751>.
- Lee, J., Mao, R., Pervez, A., 2024. Perceived risk of crime on driverless public bus and ridepooling services in China. *Travel Behaviour and Society* 35, 100730. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.100730>.
- Lei, J., He, M., Shi, Z., He, M., Liu, Y., Qian, Q., Qian, H., 2024. How does the built environment affect intermodal transit demand across different spatiotemporal contexts? *Journal of Transport Geography* 121, 104033. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.104033>.
- Leth, U., Shibayama, T., Brezina, T., 2017. Competition or Supplement? Tracing the Relationship of Public Transport and Bike-Sharing in Vienna. *GI_Forum 2017* 1, 137–151. https://doi.org/10.1553/giscience2017_02_s137.
- Li, A., Gao, K., Zhao, P., Axhausen, K. W., 2024. Integrating shared e-scooters as the feeder to public transit: A comparative analysis of 124 European cities. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 160, 104496. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104496>.
- Liao, F., Correia, G., 2022. Electric carsharing and micromobility: A literature review on their usage pattern, demand, and potential impacts. *International Journal of Sustainable Transportation* 16 (3), 269–286. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1861394>.
- Lime, 2024. You're going to want to sit down for this : Introducing the Gen4 Seated e-scooter. <https://www.li.me/blog/youre-going-to-want-to-sit-down-for-this-new-gen4-seated-e-scooter>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.

- Liu, H.-C., Lin, J.-J., 2019. Associations of built environments with spatiotemporal patterns of public bicycle use. *Journal of Transport Geography* 74, 299–312. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.12.010>.
- Loidl, M., Witzmann-Müller, U., Zagel, B., 2019. A spatial framework for Planning station-based bike sharing systems. *European Transport Research Review*. 11, 9. <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0347-7>.
- Lucas, K., 2004. *Running on Empty: Transport, Social Exclusion and Environmental Justice*. Bristol University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1t89876>.
- Lucas, K., Mattioli, G., Verlinghieri, E., Guzman, A., 2016. Transport poverty and its adverse social consequences. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport* 169 (6), 353–365. <https://doi.org/10.1680/jtran.15.00073>.
- Lucas, K., Mattioli, G., Verlinghieri, E., Guzman, A., 2016. Transport poverty and its adverse social consequences. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport* 169 (6), 353–365. <https://doi.org/10.1680/jtran.15.00073>.
- Machado, C. A. S., Salles Hue, N. P. M. de, Berssaneti, F. T., Quintanilha, J. A., 2018. An Overview of Shared Mobility. *Sustainability* 10 (12), 4342. <https://doi.org/10.3390/su10124342>.
- Mageean, J., Nelson, J. D., 2003. The evaluation of demand responsive transport services in Europe. *Journal of Transport Geography* 11 (4), 255–270. [https://doi.org/10.1016/S0966-6923\(03\)00026-7](https://doi.org/10.1016/S0966-6923(03)00026-7).
- Martin, E., Shaheen, S. A., Lidicker, J., 2010. Impact of Carsharing on Household Vehicle Holdings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2143 (1), 150–158. <https://doi.org/10.3141/2143-19>.
- Martin, E. W., Shaheen, S. A., 2014. Evaluating public transit modal shift dynamics in response to bikesharing: a tale of two U.S. cities. *Journal of Transport Geography* 41, 315–324. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.06.026>.
- Mattioli, G., Lucas, K., Marsden, G., 2017. Transport poverty and fuel poverty in the UK: From analogy to comparison. *Transport Policy* 59, 93–105. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.07.007>.
- MetropolradRuhr, o.J.. Campusbike für Studierende im Ruhrgebiet. <https://www.metropolrad-ruhr.de/de/campusbike/>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Migliore, M., D’Orso, G., Caminiti, D., 2020. The environmental benefits of carsharing: the case study of Palermo. *Transportation Research Procedia* 48, 2127–2139. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.271>.
- Miller, E., 2023. The current state of activity-based travel demand modelling and some possible next steps. *Transport Reviews* 43 (4), 565–570. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2198458>.

- Mont, O., 2004. Institutionalisation of sustainable consumption patterns based on shared use. *Ecological Economics* 50 (1-2), 135–153. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.03.030>.
- Mubiru, I., Westerholt, R., 2024. A scoping review on the conceptualisation and impacts of new mobility services. *European Transport Research Review* 16 (1), 12. <https://doi.org/10.1186/s12544-024-00633-5>.
- Münzel, K., Piscicelli, L., Boon, W., Frenken, K., 2019. Different business models – different users? Uncovering the motives and characteristics of business-to-consumer and peer-to-peer carsharing adopters in The Netherlands. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 73, 276–306. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.07.001>.
- Nansubuga, B., Kowalkowski, C., 2021. Carsharing: a systematic literature review and research agenda. *Journal of Service Management* 32 (6), 55–91. <https://doi.org/10.1108/JOSM-10-2020-0344>.
- Nickkar, A., Banerjee, S., Chavis, C., Bhuyan, I. A., Barnes, P., 2019. A spatial-temporal gender and land use analysis of bikeshare ridership: The case study of Baltimore City. *City, Culture and Society* 18, 100291. <https://doi.org/10.1016/j.ccs.2019.100291>.
- Nikiforiadis, A., Paschalidis, E., Stamatiadis, N., Paloka, N., Tsekoura, E., Basbas, S., 2023. E-scooters and other mode trip chaining: preferences and attitudes of university students. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 170, 103636. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103636>.
- Nobis, C., 2015. Multimodale Vielfalt – Quantitative Analyse multimodalen Verkehrshandelns. Dissertation. <https://doi.org/10.18452/17194>.
- Ogata, R., Schmöcker, J.-D., Nakamura, T., Kuwahara, M., 2022. On the potential of carsharing to attract regular trips of private car and public transport users in metropolitan areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 163, 386–404. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.07.003>.
- Oostendorp, R., Gebhardt, L., 2018. Combining means of transport as a users' strategy to optimize traveling in an urban context: empirical results on intermodal travel behavior from a survey in Berlin. *Journal of Transport Geography* 71, 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.07.006>.
- Pfeil, L., Zwick, F., Simoni, M. D., 2025. Impact of exogenous events on the demand for on-demand ridepooling in Hamburg. *Case Studies on Transport Policy* 22, 101572. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101572>.
- Pütz, T., Schönfelder, S., Eberle, J., 2018. Verkehrsbild Deutschland. BBSR-Analysen KOMPAKT, 04/2018. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2018/ak-08-2018-dl.pdf>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.

- Prieto, M., Baltas, G., Stan, V., 2017. Car sharing adoption intention in urban areas: What are the key sociodemographic drivers? *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 101, 218–227. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.05.012>.
- Projektteam STAWAL, Bauer, U., Frank, S., Gerwinat, V., Huber, O., Lohaus, J., Scheiner, J., Katja, S., Stein, T., Wismer, A., 2024. Stadtstruktur, Wohnstandortwahl und Alltagsmobilität: Neue Befunde für die Stadt- und Verkehrsentwicklung. <https://doi.org/10.34744/v8jz-yv89>.
- Qian, X., Jaller, M., Niemeier, D., 2020. Enhancing equitable service level: Which can address better, dockless or dock-based Bikeshare systems? *Journal of Transport Geography* 86, 102784. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102784>.
- Rabenstein, B., 2015. Öffentliche Fahrradverleihsysteme – Wirkungen und Potenziale. Dissertation, Veröffentlichungen aus dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, Heft 54. Stuttgart. <http://doi.org/10.18419/opus-8837>.
- Ricci, M., 2015. Bike sharing: A review of evidence on impacts and processes of implementation and operation. *Research in Transportation Business & Management* 15, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.03.003>.
- Rodier, C., Harold, B., 2022. Rural Electric Vehicle Carsharing is Improving Household Mobility and Reducing Reliance on Personal Vehicles. UC Office of the President: University of California Institute of Transportation Studies. <http://doi.org/10.7922/G2H993HF>.
- Rodier, C., Harold, B., 2021. Electric Vehicle Carsharing is Helping to Fill Transit Gaps and Improve Mobility in Rural California. UC Office of the President: University of California Institute of Transportation Studies. <http://doi.org/10.7922/G2TB156B>.
- Roukouni, A., Almeida Correia, G. H. de, 2020. Evaluation Methods for the Impacts of Shared Mobility: Classification and Critical Review. *Sustainability* 12 (24), 10504. <https://doi.org/10.3390/su122410504>.
- Ruhrort, L., 2020. Reassessing the Role of Shared Mobility Services in a Transport Transition: Can They Contribute the Rise of an Alternative Socio-Technical Regime of Mobility? *Sustainability* 12 (19), 8253. <https://doi.org/10.3390/su12198253>.
- Ruhrort, L., Levin-Keitel, M., Allert, V., Gödde, J., Krasilnikova, N., 2020. Potentiale für nachhaltige Mobilität in der Region Hannover. <http://doi.org/10.17877/DE290R-22168>.
- Schaefer, T., 2013. Exploring carsharing usage motives: A hierarchical means-end chain analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 47, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.10.024>.
- Scheiner, J., 2016. Verkehrsgenese-forschung: Wie entsteht Verkehr? In: Schwedes, O., Canzler, W., Knie, A. (Eds.), *Handbuch Verkehrspolitik*. Springer Fachmedien Wiesbaden: Wiesbaden, 679–700. https://doi.org/10.1007/978-3-658-04693-4_30.

- Scheiner, J., Chatterjee, K., Heinen, E., 2016. Key events and multimodality: A life course approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 91, 148–165. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.028>.
- Schimohr, K., Heinen, E., Scheiner, J., 2023. Travel-based residential dissonance as a motivation for relocation: An analysis of movers in Germany. *Travel Behaviour and Society* 33, 100639. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.100639>.
- Schimohr, K., Scheiner, J., 2021. Spatial and temporal analysis of bike-sharing use in Cologne taking into account a public transit disruption. *Journal of Transport Geography* 92, 103017. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103017>.
- Schlenther, T., Volotskiy, T., Leich, G., Zwick, F., Kuehnel, N., Smirnov, J., Nagel, K., 2025. Ridepooling and Public Transit: How Pricing Schemes Reveal the Tradeoff between Intermodality and On-Demand Efficiency. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2679 (11), 207–220. <https://doi.org/10.1177/03611981251346769>.
- Schmöller, S., Weikl, S., Müller, J., Bogenberger, K., 2015. Empirical analysis of free-floating carsharing usage: The Munich and Berlin case. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 56, 34–51. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.03.008>.
- Schneider, P., Koska, T., Schäfer-Sparenberg, C., 2024. On-Demand-Ridepooling als Beitrag zu Mobilitätswende und Daseinsvorsorge: Erkenntnisse zum Status quo in Deutschland und Entwurf einer Systemtypologie. Wuppertal Paper Nr. 202. Wuppertal Institut. <https://doi.org/10.48506/opus-8611>.
- Sprei, F., Habibi, S., Englund, C., Pettersson, S., Voronov, A., Wedlin, J., 2019. Free-floating car-sharing electrification and mode displacement: Travel time and usage patterns from 12 cities in Europe and the United States. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 71, 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.12.018>.
- Stevens, M. R., 2017. Does Compact Development Make People Drive Less? *Journal of the American Planning Association* 83 (1), 7–18. <https://doi.org/10.1080/01944363.2016.1240044>.
- Su, L., Yan, X., Zhao, X., 2024. Spatial equity of micromobility systems: A comparison of shared E-scooters and docked bikeshare in Washington DC. *Transport Policy* 145, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.10.008>.
- Teixeira, J. F., Silva, C., Moura e Sá, F., 2021. Empirical evidence on the impacts of bikesharing: a literature review. *Transport Reviews* 41 (3), 329–351. <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1841328>.
- Teixeira, J. F., Diogo, V., Bernát, A., Lukasiewicz, A., Vaiciukynaite, E., Sanna, V. S., 2023. Barriers to bike and e-scooter sharing usage: An analysis of non-users from five European capital cities. *Case Studies on Transport Policy* 13, 101045. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101045>.

- Tyndall, J., 2019. Free-floating carsharing and extemporaneous public transit substitution. *Research in Transportation Economics* 74, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.ret-rec.2019.01.005>.
- Ursaki, J., Aultman-Hall, L., 2015. Quantifying the Equity of Bikeshare Access in U.S. Cities. *Transportation Research Center Report* 15-011. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/36739/dot_36739_DS1.pdf. Zuletzt geprüft am 03.06.2026.
- Verkehrsverband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), 2023. Bedarfsverkehr per App kann Bus und Bahn ergänzen. <https://www.vdv.de/ondemandumfrage22.aspx>. (Zuletzt geprüft am 06.03.2026)
- Wang, K., Chen, Y.-J., 2020. Joint analysis of the impacts of built environment on bikeshare station capacity and trip attractions. *Journal of Transport Geography* 82, 102603. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102603>.
- Wappelhorst, S., Sauer, M., Hinkeldein, D., Bocherding, A., Glaß, T., 2014. Potential of Electric Carsharing in Urban and Rural Areas. *Transportation Research Procedia* 4, 374–386. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.11.028>.
- Weschke, J., Oostendorp, R., Hardinghaus, M., 2022. Mode shift, motivational reasons, and impact on emissions of shared e-scooter usage. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 112, 103468. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103468>.
- Witzke, S., 2016. Carsharing und die Gesellschaft von Morgen: Ein umweltbewusster Umgang mit Automobilität?, 1st ed. Springer Fachmedien Wiesbaden: Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-11841-9>.
- Woodson, C., Ashqar, H. I., Almannaa, M., Elhenawy, M., Buehler, R., 2024. Factors influencing bikeshare service and usage in a rural college town: A case study of Montgomery County, VA. *International Journal of Sustainable Transportation* 18 (4), 291–300. <https://doi.org/10.1080/15568318.2023.2295865>.
- Yang, H., Huo, J., Pan, R., Xie, K., Zhang, W., Luo, X., 2022. Exploring built environment factors that influence the market share of ridesourcing service. *Applied Geography* 142, 102699. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102699>.
- Younes, H., Nasri, A., Baiocchi, G., Zhang, L., 2019. How transit service closures influence bikesharing demand; lessons learned from SafeTrack project in Washington, D.C. metropolitan area. *Journal of Transport Geography* 76, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.03.004>.
- Zhou, Z. X., Li, J., 2015. The impact of terrestrial ecosystems on carbon assimilation and oxygen production in the Guanzhong-Tianshui economic region of China. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy* 115B (1), 1–10. <https://doi.org/10.1353/bae.2015.0021>.

- Zhu, P., Mo, H., 2022. The potential of ride-pooling in VKT reduction and its environmental implications. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 103, 103155. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103155>.
- Zu, J., Cao, Z., Zhang, X., 2025. Carsharing usage and station-level factors: A tale of ten Chinese cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 139, 104586. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104586>.
- Zukunft Fahrrad e.V., 2025. Erstmals Marktzahlen für Bikeshaing und Fahrradabos in Deutschland. <https://zukunft-fahrrad.org/marktzahlen-fuer-bikeshaing-und-fahrradabos/>. Zuletzt geprüft am 06.03.2026.
- Zwick, F., Kuehnelt, N., Moeckel, R., Axhausen, K. W., 2021. Agent-based simulation of city-wide autonomous ride-pooling and the impact on traffic noise. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 90, 102673. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102673>.

Anhang

Anhang A1 – Artikel 1: Befragung der CleverShuttle-Nutzenden

Die Umfrage wurde zusammen mit dem Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB) konzipiert und in Kooperation mit CleverShuttle in die CleverShuttle-App integriert.

1. Bist du...?

- weiblich
- männlich
- divers

2. Wie alt bist du?

- <16
- 16-20
- 21-24
- 25-29
- 30-34
- 35-39
- 40-44
- 45-49
- 50-54
- 55-59
- 60=<

3. Besitzt du einen Führerschein?

- Ja
- Nein

4. Besitzt du oder jemand in deinem Haushalt ein Auto?

- Ja
- Nein

5. Besitzt du ein Abonnement für den ÖPNV (z. B. VBB-Umweltkarte, Schüler-, Azubi- oder Semesterticket)?

- Ja
- Nein

6. Wie häufig fährst du mit CleverShuttle?

- Heute das erste Mal
- Seltener als monatlich
- Einmal im Monat
- Mehrmals im Monat

- Mehrmals pro Woche
- Täglich oder fast täglich

7. Was war der Anlass für deine letzte Fahrt mit CleverShuttle? Gefahren bin ich...

- Für Einkäufe, Erledigungen (Arztbesuch etc.)
- Vom oder zum Arbeitsplatz
- Vom oder zum geschäftlichen Termin
- Zu Freizeitwecken
- Zur Schule, Ausbildung oder Studium
- Sonstiges
- Keine Angabe

8. Welches Verkehrsmittel hättest du stattdessen genutzt, wenn es CleverShuttle nicht geben würde?

- Andere Fahrdienste
- Carsharing
- Fahrrad
- Privates Auto (Fahrer)
- Privates Auto (Mitfahrer)
- Ridepooling
- Roller
- ÖPNV
- Taxi

*Andere Fahrdienste, Ridepooling und Roller wurden für den Artikel unter Sonstige zusammengefasst

9. Wie sehr stimmst du folgender Aussage zu? „Ich nutze CleverShuttle als Ergänzung zum ÖPNV“

- Stimme voll und ganz zu
- Stimme eher zu
- Weder noch
- Stimme eher nicht zu
- Stimme überhaupt nicht zu

10. Wie viel Einkommen (brutto) steht dir monatlich zur Verfügung?

- 0-500
- 500-1000
- 1500-2000
- 2000-3000
- 3000-4000
- 4000 und mehr

Anhang A2 – Artikel 3: Befragung der Nutzenden während des Reallabors

Die Befragung lief über die LimeSurvey-Plattform der TU-Dortmund. Der entsprechende Zugangslink wurde über QR-Codes auf Hangtags (siehe unten) verteilt, die von Voi mit Auslieferung der E-Scooter an alle Roller gehängt wurden. Jedes Endgerät konnte nur einmal an der Umfrage teilnehmen.



LimeSurvey-Text:

Bei der folgenden Befragung handelt es sich um eine Studie, die vom Forschungsprojekt MoveMe der Technischen Universität Dortmund in Kooperation mit der Stadt Ronnenberg durchgeführt wird. Anhand dieser Studie wird untersucht, wie E-Scooter außerhalb der Großstädte verträglich genutzt werden können.

Der Fragebogen dauert insgesamt etwa 3-5 Minuten.

Bitte beachten Sie, dass die Teilnahme an dieser Studie freiwillig ist. Alle erhobenen Daten werden alleinig von der TU Dortmund zu wissenschaftlichen Zwecken verwendet und

gespeichert. Rückschlüsse auf Ihre Person sind nichtmöglich. Bei Rückfragen kontaktieren Sie uns gerne per Mail.

1. Sie sind...? *Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- weiblich
- männlich
- divers

2. Wie alt sind Sie? *Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

3. In welchem Stadtgebiet begann Ihre letzte E-Scooter-Fahrt? *Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ronnenberg
- Hannover
- Sonstiges _____

4. Zu welchem Zweck haben Sie Ihren letzten Weg mit dem E-Scooter unternommen? *Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- vom / zum Arbeitsplatz oder geschäftlicher Termin
- von / zur Schule, Ausbildung oder Studium
- für Einkäufe, Erledigungen
- Freizeit
- Sonstiges

*Erfolgt auf dem Weg mit dem E-Scooter zu Ihrem Ziel der Umstieg zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln (z.B. der Umstieg von E-Scooter in Bus oder Bahn), bleibt es weiterhin derselbe Weg.

5. Haben Sie neben dem E-Scooter im Verlauf dieses Weges noch ein weiteres Verkehrsmittel genutzt? *Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- nein
- Pkw (Auto)
- Bus
- Bahn
- Fahrrad
- Sonstiges _____

*beispielsweise wenn Sie mit dem E-Scooter zum Bahnhof fahren, um dort in die Bahn oder den Bus umzusteigen.

6. Wie hätten Sie Ihren letzten Weg mit dem E-Scooter zurückgelegt, wenn es vor Ort kein E-Scooter-Sharing gegeben hätte? *Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- gar nicht
- zu Fuß
- Fahrrad
- Bus
- Bahn
- Pkw
- Sonstiges _____

7. Was ist Ihr höchster Bildungsabschluss? *Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- (noch) kein Abschluss
- Haupt-/Förder-/Volksschulabschluss
- Realschulabschluss
- Abitur
- Hochschulabschluss

8. Besitzen Sie aktuell eine Zeitkarte für den öffentlichen Nahverkehr (ÖPNV, Bus, Bahn)? *Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ja, ein Deutschlandticket
- ja, eine GVH-Zeitkarte (z.B. Monatskarte, Semesterticket...)
- nein

*Der Großraum-Verkehr Hannover (GVH) ist der Tarif- und Verkehrsverbund für den ÖPNV in der Region Hannover. Wenn Sie sowohl ein Deutschlandticket als auch eine GVH-spezifische Zeitkarte haben, wählen Sie das Deutschlandticket als Antwort.

9. Besitzen Sie einen Führerschein? *Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein

10. Wie stark stimmen Sie den folgenden Aussagen zu? *Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus

a) Es sollte mehr feste Abstellplätze für E-Scooter geben.

Stimme voll und ganz zu – Stimme zu – Weder noch – Stimme nicht zu – Stimme überhaupt nicht zu

b) Ich würde häufiger E-Scooter-Sharing nutzen, wenn ich die Roller mit meinem Deutschlandticket oder GVH-Ticket ohne Aufpreis ausleihen könnte.

Stimme voll und ganz zu – Stimme zu – Weder noch – Stimme nicht zu – Stimme überhaupt nicht zu

c) Ich nutze E-Scooterselten, da eine sichere Radinfrastruktur (Radwege) fehlt.

Stimme voll und ganz zu – Stimme zu – Weder noch – Stimme nicht zu – Stimme überhaupt nicht zu

d) Ich bin durch das von der Stadt Ronnenberg & TU Dortmund beworbene Reallabor auf das E-Scooter Angebot in Ronnenberg aufmerksam geworden.

Stimme voll und ganz zu – Stimme zu – Weder noch – Stimme nicht zu – Stimme überhaupt nicht zu

11. Bitte geben Sie an, wie häufig Sie in der Regel folgende Verkehrsmittel nutzen.

	Täglich bzw. fast täglich	1-3 Tage pro Woche	1-3 Tage pro Monat	Seltener als monatlich	Nie bzw. fast nie
E-Scooter-Sharing					
Bike-Sharing					
Car-Sharing					
Eigenes Fahrrad					
Pkw (Fahrer*in oder Mitfahrer*in)					
Bus					
Bahn					
Wege ausschließlich zu Fuß					

Anhang A3 - Artikel 3: Moderationsleitfaden für die Fokusgruppen

Fokusgruppe 1 – Region Hannover

1. Begrüßung und Vorstellungsrunde
2. Szenarienbeschreibung – E-Scooter-Anbieter will in Ihre Gemeinde expandieren
(Hilfsmittel: Kartenmaterial, Nadeln zum Verorten, Moderationskarten zur Beschriftung)
 - a. Nutzende und Bedarfe innerhalb der Gemeinden
 - i. Welche Zielgruppe würde das Angebot nutzen? (Nutzende)
 - ii. Für welche Wege würden diese Personen das Angebot nutzen?
 - iii. Wo in Ihren Gemeinden vermuten Sie potenzielle Verbindungen / frequentierte Orte und Routen? / Alternativ: Welche Orte in Ihren Gemeinden sind frequentierte Orte? Bsp.: Große Arbeitgeber, frequentierte Freizeit-POIs etc.)
 - iv. Welche Mobilitätsangebote sind aktuell in den Gemeinden verfügbar?
 - v. Welche Orte in den Gemeinden sind aktuell nur schlecht zu Fuß oder dem ÖPNV zu erreichen?
 - vi. Könnte E-Scooter-Sharing ihrer Meinung nach (auch mit Berücksichtigung der vermeintlichen Zielgruppe) für diese Bedarfe/Verbindungen eine geeignete Mobilitätsalternative sein? Wenn ja/nein, warum?
 - b. E-Scooter-Sharing als Teil des ÖPNV
 - i. Welche Maßnahmen müssten aus ihrer Sicht für eine Integration des Angebotes in den ÖPNV? Mögliche Integrationsthemen:
 1. Wie müssten Planungswerke auf regionaler und kommunaler Eben angepasst werden, um E-Scooter-Sharing in den kommunalen ÖPNV zu integrieren?
 2. Welche infrastrukturellen Maßnahmen (z.B. Parkflächen, Ausleihstationen) müssten für eine ÖPNV-Integration getätigt werden?
 3. Wie sollte eine tarifliche Integration gestaltet werden?
 4. Wie sollte eine digitale Integration (Apps) gestaltet werden?
 - ii. Welches dieser angesprochenen Themen sehen sie als wichtigstes Kriterium für eine erfolgreiche Integration der Angebote?

- iii. Wie bewerten Sie das Nutzungspotenzial des Angebots in einem Szenario mit und einem Szenario ohne ÖPNV-Integration?
- c. Herausforderungen der kommunalen Planung
 - i. Sofern noch nicht genannt - Gibt es aus Ihrer Sicht weitere Herausforderungen/Barrieren, die einer Expansion von ESS in Ihre Gemeinden hindern würden? Bei Unklarheiten -> Beispiele wie unzureichende Radwege und Finanzierungsfrage nennen.
- 3. Feedbackrunde
- 4. Verabschiedung

Fokusgruppe 2 – Best Practice

- 1. Begrüßung und Vorstellungsrunde
- 2. Aktuelle Nutzung
 - a. @ Gemeinden: Wie werden die Angebote in Gemeinden außerhalb der Großstädte angenommen? Und welche Erfahrungen haben Sie bisher als Gemeinde damit?
 - b. @ Gemeinden: Können Sie Aussagen dazu treffen, welche Zielgruppen die Angebote in Ihren Gemeinden für welche Zwecke nutzen? Wo (räumlich) sehen sie eine frequentierte Nutzung?
 - c. @ Anbieter: Wie unterscheidet sich der Betrieb zwischen Stadt und Land? Können Sie in Ihren Daten unterschiedliche Nutzungsmuster (Einsatzzwecke, ÖPNV-Interaktion) zwischen Stadt und Land ausmachen?
 - d. @ Anbieter: Wie wichtig sind die Umlandgemeinden für das Geschäftsmodell der Anbieter?
 - e. @ Region Hannover: Welche Rolle spielen die Angebote bisher für die Verkehrsentwicklung im Stadt-Umland? Im VEP der Region spielen Mobilitätsstationen eine prominente Rolle. Soll es dort auch E-Scooter- und Bikesharing geben?
- 3. Erkenntnisgewinne für zukünftige Planung von ESS außerhalb der Großstädte – ESS als Teil des ÖPNV
 - a. @ Alle: Was sind die Anforderungen für den erfolgreichen Betrieb von ESS außerhalb der Großstädte?
 - b. @ Alle: Wie bewerten Sie in diesem Kontext mögliche Barrieren wie z.B. geringere Wirtschaftlichkeit und Qualität der Radinfrastruktur? Welche weitere

Herausforderungen sehen Sie beim Betrieb der Angebote außerhalb der Großstädte?

- c. @ Gemeinden & Region Hannover: Sind Ausschreibung (B2G-Modelle) denkbar?
- d. @ Anbieter: Sind B2G-Modelle für die Expansion in ländliche Gebiete unverzichtbar?
- e. @ Gemeinden & Region: Kann Regulierung (z.B. kombinierte Ausschreibungen) Stadt- und Umland-Angebote verknüpfen? Was sind die Vor- und Nachteile? Welche Erfahrungen gibt es damit bisher?
- f. @ Gemeinden & Anbieter: Was wird in den aktuellen Kooperationsvereinbarung zwischen den Kommunen und Anbietern geregelt? (Flotte, Sperrgebiete Daten, Tarife...?)
- g. @ Alle: Wie können ESS in Zukunft am besten in den ÖPNV integriert werden? Welche Erfahrungen haben Sie damit bereits gemacht?
 - i. Planungswerke
 - ii. Infrastruktur
 - iii. Tarife & Apps
- h. @ Alle: Welche Rolle spielt eine Integration in das öffentliche Verkehrsangebot gerade im Umland? Was sind hier die nächsten Schritte?

4. Verabschiedung