



Schlussbericht zum Vorhaben

# Mobility4iCity

FH-Impuls 2016 I: Mobilität und Stadtraum

Das Projekt „Mobility4iCity“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Fördermaßnahme „FH-Impuls: Starke Fachhochschulen – Impuls für die Region“ unter dem Förderkennzeichen 13FH91051A gefördert und vom Projektträger VDI Technologiezentrum GmbH für das BMBF betreut.

Stuttgart, September 2023

Ein Projekt der

**Hochschule  
für Technik  
Stuttgart**

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



FORSCHUNG AN  
FACHHOCHSCHULEN



## Beteiligte

### Hochschule für Technik Stuttgart

Bäumer, Thomas  
Coors, Volker  
Dastageeri, Habiburrahman  
Gaspers, Lutz  
Heller, Michael  
Huber, Stephanie  
Müller, Patrick  
Ort, Jan-Timo  
Planing, Patrick  
Ruff, Andreas  
Schneider, Martin  
Silberer, Jan  
Simon-Philipp, Christina  
Zeitler, Berndt

### Kooperationspartnerinnen

Bundesverband Kalksandstein Industrie e.V.  
Landeshauptstadt Stuttgart  
Mercedes-Benz AG  
Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg  
M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH  
Stadtwerke Stuttgart GmbH



## Schlussbericht

# Mobility4iCity

FH-Impuls 2016 I: Mobilität und Stadtraum

Projektlaufzeit	01.06.2021 - 31.03.2023
Förderkennzeichen	13FH9I05IA
Fördersumme BMBF	294.617,80 €
Drittmittel gesamt	72.000 €
Stichworte	Stadtentwicklung, Intelligente Stadt, nachhaltige Mobilität, nachhaltige Stadtentwicklung, Mobilitätswende, öffentlicher Raum, Partizipation und Akzeptanz, Augmented Reality, Virtual Reality, Mixed Reality, Informations- und Kommunikationstechnologien, Lärm, Schalldämmung
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Christina Simon-Philipp
Beteiligte Professoren	Prof. Dr.-Ing. Christina Simon-Philipp, Prof. Dr.-Ing. Volker Coors, Prof. Dr. Thomas Bäumer, Prof. Dr. Stephanie Huber, Prof. Dr. Berndt Zeitler, Prof. Dr. Patrick Planing, Prof. Dr.-Ing. Lutz Gaspers, Prof. Dr. Patrick Müller
Geförderte Maßnahme	Forschung an Fachhochschulen
Förderbereich	Starke Fachhochschulen – Impuls für die Region
Fachhochschule	Hochschule für Technik Stuttgart (HFT Stuttgart), Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart

Das Projekt „Mobility4iCity“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Fördermaßnahme „FH-Impuls: Starke Fachhochschulen – Impuls für die Region“ unter dem Förderkennzeichen 13FH9I05IA gefördert und vom Projektträger VDI Technologiezentrum GmbH für das BMBF betreut.

Hochschule für Technik Stuttgart, September 2023



Ein Projekt der  
**Hochschule  
für Technik  
Stuttgart**



# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	1
Abbildungsverzeichnis.....	1
<b>II. Eingehende Darstellungen .....</b>	<b>2</b>
II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	2
II.1.1 Arbeitspaket 1.1: Analyse .....	2
II.1.2 Arbeitspaket 1.2: Partizipation und Exploration .....	3
II.1.3 Arbeitspaket 2.1: Analyse, Konzeption und Akzeptanz.....	7
II.1.4 Arbeitspaket 2.2: Simulation .....	7
II.1.5 Arbeitspaket 2.3: Umsetzungsvorschlag .....	9
II.1.6 Arbeitspaket 3.1: Datensammlung und Aufzeichnung von Lärmquellen .....	10
II.1.7 Arbeitspaket 3.2: Prognose der Innenraumpegel .....	11
II.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	12
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	13
II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insb. Verwertbarkeit der Ergebnisse .....	13
II.5 Bekannt gewordene Fortschritte bei anderen Stellen .....	13
II.6 Erfolgte Veröffentlichungen der Ergebnisse .....	14
II.7 Geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	14
Anhang 1: Liste der verwendeten Fachliteratur, Informations- und Datenquellen.....	15

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausschnitt aus stadtplanerischen Analyseplänen. (Eigene Darstellung).....	3
Abbildung 2: Partizipative Experimente im öffentlichen Raum unter Einsatz einer AR-Brille. (Eigene Darstellung) .....	5
Abbildung 3: Okklusion auf der Grundlage der Spatial Map. (links) Deaktiviert. (rechts) Aktiviert. (Eigene Darstellung) .....	6
Abbildung 4: Okklusion auf der Grundlage des 3D-Gebäudemodells. (links) Deaktiviert. (rechts) Aktiviert. (Eigene Darstellung).....	6
Abbildung 5: Prozentuale Abnahme täglicher Einpendler:innen im Kontext des COVID-19- Infektionsgeschehens und der damit zusammenhängenden regulativen Maßnahmen. (Quelle: D.Torenz).....	7
Abbildung 6: Tagesganglinien des Pendelaufkommens zum Synergiepark nach Uhrzeit Januar 2019/2020/2021. (Quelle: D.Torenz) .....	8
Abbildung 7: Tägliches Fahrzeugaufkommen auf Nord-Süd-Straße Richtung Synergiepark. Vergleich der Datenquellen Integrierte Verkehrsleitzentrale (IVLZ, Stadt Stuttgart) und Teralytics AG. (Quelle: D. Torenz).....	8
Abbildung 8: Ausschnitt aus einer Karte mit vorhandenen Lärmsensoren in Deutschland, wobei ein Teil davon durch die HFT Stuttgart betreut wird (Quelle: Sensor.Community). .....	10
Abbildung 9: Außenlärmspektren für unterschiedliche Verkehrsgeräusche auf einen Summenpegel von 0 dB korrigiert. C und C <sub>tr</sub> Spektren aus der DIN EN ISO 717-1. ....	11

## II. Eingehende Darstellungen

### II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

#### II.1.1 Arbeitspaket 1.1: Analyse

Unsere Forschung beabsichtigte die modernste Technologie im Bereich AR/MR zu nutzen, vertreten durch die Microsoft HoloLens 2.0. Da das Gerät kein GPS-Tracking-System hat, kann es nur lokale Koordinaten verarbeiten. Dies bedeutet, dass ein Computer-Vision-Ansatz verwendet werden muss, um den digitalen Inhalt an seinem beabsichtigten, realen Ort zu verankern.

Darüber hinaus verwendet die HoloLens 2.0 eine Time-of-Flight (ToF)-Kamera, um die Umgebung zu scannen, die in einigen Fällen für einen Okklusionseffekt genutzt werden kann. Die Reichweite der ToF-Kamera ist jedoch auf fünf Meter beschränkt, wodurch sie sich zwar gut für Innenräume eignet, aber für den Einsatz im Freien, insbesondere in einem Szenario wie der Stadtplanung, ungeeignet ist. Die räumliche Karte, eine 3D-Rekonstruktion der realen Oberflächen in der Umgebung, die mit der in das Gerät eingebauten ToF-Kamera gescannt werden, müsste mit einem 3D-Stadtmodell weiter verbessert werden, um einen ausreichenden Okklusionseffekt zu erzielen.

Um ein nahezu realistisches und immersives Erlebnis für die Benutzer:innen zu schaffen, verfolgt unsere Forschung zwei Hauptziele: Erstens wurde das Problem der Okklusion angegangen, das auftritt, wenn virtueller Inhalt hinter einem realen Objekt verborgen ist, indem die mit dem Gerät gescannte, räumliche Karte mit einem 3D-Gebäudemodell angereichert wird. Zweitens wurde digitaler Inhalt an einem vorher festgelegten Ort platziert und seine Position über mehrere Anwendungssitzungen hinweg beibehalten. Und schließlich wurde dies in einen Anwendungsfall der Stadtplanung integriert, so dass ein AR-Erlebnis geschaffen wurde, das eine autofreie Umgebung widerspiegelt.

Um entscheiden zu können, welche digitalen Partizipations-Instrumente am besten geeignet sind, um die Idee eines autoarmen Quartiers für betroffene Stakeholder (insbesondere Bewohner:innen) frühzeitig erlebbar zu machen, wurde eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt.

Bei digitalen Partizipationstools kann unterschieden werden zwischen: geographischen Informationssystemen (GIS), Virtual Reality (VR) / Augmented Reality (AR) Technologien, computerunterstützten Arbeitsumgebungen und interaktiven Social Media Tools (Thoneick, 2021).

Die Literaturanalyse hat ergeben, dass für die Visualisierung eines autoreduzierten Quartiers Augmented bzw. Virtual Reality Technologien am besten geeignet sind. Sie eignen sich besonders, um die Vorstellungskraft anzuregen (Reinwald et al., 2013).

Um die Partizipations-Instrumente aus Sicht von Bürger:innen zu evaluieren, sollte über das Projekt hinweg ein Expert:innen-Panel aus Bürger:innen aufgebaut werden. Dieses Vorhaben wurde im Laufe des Projekts angepasst, da nicht jede Maßnahme unter Einsatz der zu untersuchenden digitalen Partizipationstools mit exakt denselben Bürger:innen durchgeführt werden konnte. Die Bereitschaft der Bürger:innen, sich mehrfach an Maßnahmen und Umfragen zu beteiligen, war zu gering. Stattdessen wurde darauf geachtet, dass an allen Untersuchungen sowohl Bewohner:innen und Gewerbetreibende des Untersuchungsquartiers, als auch Besucher:innen beteiligt waren.

Ausgangspunkt für die Ermittlung und Evaluation stadträumlicher Defizite und Potenziale des Projektgebietes war eine umfangreiche stadträumliche Analyse. Hierfür wurden Planmaterial, statistische Daten, Fachliteratur, Best Practice-Fallstudien sowie bestehende und laufende Planungsvorhaben im Projektgebiet analysiert.



Abbildung 1: Ausschnitt aus stadtplanerischen Analyseplänen. (Eigene Darstellung)

Übergeordnete, gesamtstädtische Erschließungsstrukturen haben im spezifischen Fall nachweislich große Auswirkungen auf die Quartiersebene. Die Analyse projektieter und laufender Planungsvorhaben zeigte, dass ein reduzierter MIV nicht grundlegend vorausgesetzt und nachhaltige Mobilitätsoptionen nachrangig berücksichtigt werden.

Im spezifischen Projektquartier verfügen Flächenwidmung und damit unmittelbar zusammenhängende Kfz-Infrastruktur eine große Relevanz. Auch übergeordnete Erschließungsstrukturen haben hier maßgebliche Negativeffekte auf Quartiersebene. Aufgrund dessen wurde eine beispielhafte Kreuzungssituation (Leonhardsplatz) als Untersuchungsort für kleinräumliche Experimente definiert.

## II.1.2 Arbeitspaket 1.2: Partizipation und Exploration

Um den Mehrwert eines erlebbaren autoarmen Quartiers mit den ausgewählten digitalen Partizipationstools (Augmented Reality Anwendung) bewerten zu können, war es zunächst erforderlich, sich ein allgemeines Bild über die Einschätzung der Bürger:innen zu verschaffen. Dies betraf die aktuelle Mobilitätssituation, die Aufenthaltsqualität im Untersuchungsquartier

und die Frage, ob potenzielle Maßnahmen zur Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) auf Akzeptanz stoßen könnten.

Hierfür wurden zunächst elf qualitative Expert:innengespräche mit drei Gewerbetreibenden, fünf Arbeitnehmer:innen und drei Bewohner:innen aus dem Quartier geführt. Aufbauend auf den Ergebnissen wurde im Anschluss eine quantitative Befragung konzipiert, an der schlussendlich 42 Personen (81% Bewohner:innen, 14% Besucher:innen und 5% mit Arbeitsort aus dem Quartier) teilgenommen haben.

Im Kern zeigen die Ergebnisse, dass Mobilität für die Befragten wichtig ist und zurzeit eine hohe Zufriedenheit bzgl. der aktuellen Mobilitätssituation herrscht. Die Zufriedenheit mit der Aufenthaltsqualität ist im Vergleich etwas geringer, aber immer noch positiv. Allerdings wird die Attraktivität der öffentlichen Plätze im Untersuchungsquartier bemängelt. Die Akzeptanz zur Reduzierung des Autoverkehrs ist stark gespalten und hängt insbesondere von der Einstellung der Teilnehmenden zur Nachhaltigkeit und deren Angst vor Gentrifizierung ab. Beide Faktoren können unter anderem über partizipative Maßnahmen beeinflusst werden. Dabei hat die Steigerung der Erlebbarkeit einer Reduzierung des Autoverkehrs das Potential, auf beide Faktoren positiv einzuwirken.

Vor diesem Hintergrund wurde, aufbauend auf den Ergebnissen der Interviews sowie der Umfrage, zusammen mit den Disziplinen Stadtplanung und Geoinformatik ein Augmented Reality (AR) Experiment konzipiert. Als Vorgabe für die Programmierung eines autoreduzierten AR-Szenarios durch den Bereich Geoinformatik wurde auf Basis der Untersuchungsergebnisse die Darstellung von Bäumen, Sitzgelegenheiten und Grünflächen empfohlen. Als Szenario wurde eine Kreuzungssituation im Quartier (Leonhardsplatz in der Leonhardsvorstadt) gewählt, der durch Reduzierung des MIV bezüglich der Aufenthaltsqualität profitieren würde. An dem Experiment nahmen 25 Personen teil (8% Bewohner:innen, 16% mit Arbeitsort in der Leonhardsvorstadt, 76% Besucher:innen).

Die Ergebnisse zeigen, dass 12% der Teilnehmenden nach dem AR-Erlebnis am Untersuchungsort eine positivere Einstellung zur Nachhaltigkeit und 8% eine positivere Einstellung zur Reduzierung des fließenden Autoverkehrs hatten. 8% hatten außerdem eine positivere Einstellung zur Reduzierung des ruhenden Autoverkehrs. Allerdings stieg auch die Angst vor Gentrifizierung bei 20% der Befragten. Die Attraktivität öffentlicher Plätze wurde von jeweils 12% der Teilnehmenden nach dem AR-Erlebnis positiver und negativer bewertet. Die meisten Teilnehmenden (88%) gaben darüber hinaus an, dass das AR-Erlebnis sie dazu anregte, darüber nachzudenken, wie der öffentliche Raum genutzt werden sollte. Aus technischer Sicht zeigte sich, dass die Benutzerfreundlichkeit des AR-Erlebnisses positiv bewertet wurde (MW = 5,7 auf einer Skala von 1 bis 7), die erlebte Immersion war akzeptabel (MW = 4,1 auf einer Skala von 1 bis 7). Allerdings war die Immersion stärker, wenn die Sonne durch Wolken verdeckt war.



*Abbildung 2: Partizipative Experimente im öffentlichen Raum unter Einsatz einer AR-Brille.  
(Eigene Darstellung)*

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Teilnehmenden durch den Einsatz des digitalen Partizipationstools (Augmented Reality Anwendung) besser in der Lage waren, die positiven Auswirkungen der Reduzierung des Autoverkehrs auf die Lebensqualität in einem bestimmten Stadtgebiet zu verstehen und sie außerdem dazu angeregt wurden, weiter über dieses Thema nachzudenken. In Anlehnung an die Ergebnisse lässt sich im Einklang mit den Erkenntnissen von Wolf et al. (2020) ableiten, dass AR ein hilfreiches Instrument zur Beteiligung der Bürger:innen an Stadtplanungsprozessen werden kann. Gerade in frühen Planungsphasen könnte es hilfreich sein, die Ideen der Planer:innen für die Bürger:innen greifbarer zu machen und damit das "Partizipationsparadoxon" (Wolf et al., 2020) abzufedern. Zudem ist AR eine vergleichsweise kostengünstige Option im Vergleich zu einer (temporären) Umsetzung geplanter Ideen (Contreros-Espinosa et al., 2021). Allerdings stellt sich die Frage, wie die Qualität der Darstellung bei Sonnenlicht verbessert werden kann.

Der visuelle Effekt der entwickelten Okklusion, der auf der mit dem Gerät gescannten Spatial Map basiert, ist in Abbildung 3 dargestellt, wobei die linke Seite zeigt, wie das 3D-Design aussieht, wenn der Okklusionseffekt deaktiviert wurde. Das Gras und die Hecke erscheinen vor der Statue und dem Baum, obwohl sie sich eigentlich in der Sichtlinie zwischen dem Betrachter und dem überlagernden, digitalen Inhalt befinden sollten. Im Vergleich zur rechten Seite, wo der Okklusionseffekt aktiviert war und das 3D-Design auf Grundlage der Form der gescannten, realen Umgebungsobjekte verdeckt wird.



Abbildung 3: Okklusion auf der Grundlage der Spatial Map. (links) Deaktiviert. (rechts) Aktiviert. (Eigene Darstellung)

Die auf der Spatial Map basierende Okklusionsmaske wies jedoch Mängel auf, da sie nicht präzise an den Kanten ausgerichtet war. Außerdem fehlten Teile oder wurden nicht gescannt, was zu einem unvollständigen Okklusionseffekt führte. Es wurden einige Abtastfehler beobachtet, die auf die unvollständige Abtastung der Umgebung zurückzuführen sind. Insbesondere wenn Fußgänger:innen vor dem Beobachter vorbei gingen, störte dies die Abtastung. Selbst als die Fußgänger:innen nicht mehr im Blickfeld waren, dauerte es eine Weile, bis die räumliche Karte aktualisiert und ihre Masken ausgeschlossen wurden.

Abbildung 4 zeigt das 3D-Gebüdemodell, das als Okklusionsmaske verwendet wurde. Die linke Seite zeigt, wie das 3D-Design über dem realen Gebäude zu schweben scheint, wenn die Okklusion deaktiviert ist. Die rechte Seite zeigt, wie die Szene aussah, wenn die Okklusionsmaske aktiviert war. Die Okklusionsmaske stimmt mit dem realen Äquivalent überein und der ergänzte, digitale Inhalt wurde entlang der Gebäudekante verdeckt. Die Okklusionsmaske erschien an den Kanten scharf, da die Geometrie der Gebäude mit geradem Polygonnetz dargestellt wurde.

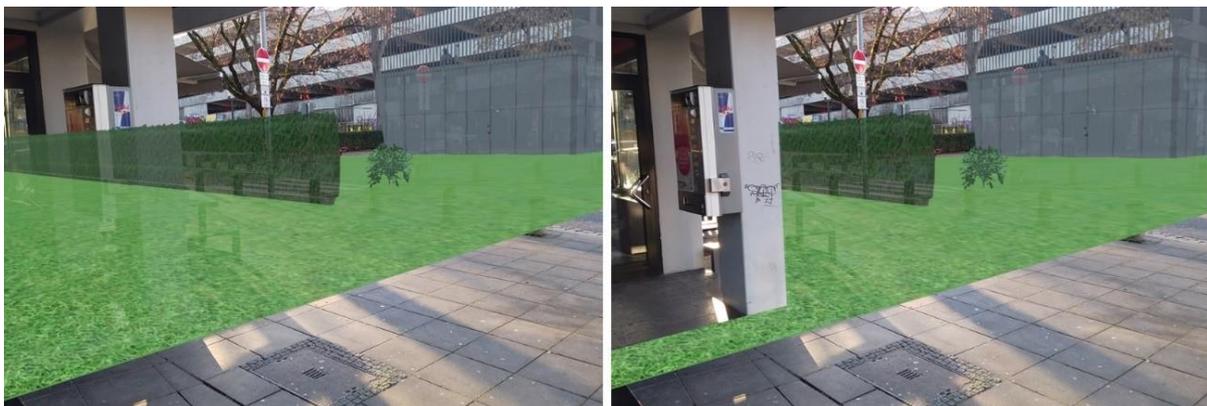


Abbildung 4: Okklusion auf der Grundlage des 3D-Gebüdemodells. (links) Deaktiviert. (rechts) Aktiviert. (Eigene Darstellung)

Die Meinungen der Benutzer:innen wurden durch eine Demo-Sitzung und einen Fragebogen auf der Likert-Skala gesammelt. Die meisten Teilnehmenden hatten einen positiven Gesamteindruck von der entwickelten Anwendung (Durchschnitt 4,07). Die Immersionserfahrung der AR-Anwendung wurde positiv bewertet (Durchschnitt 4), ebenso wie die Bewegungsfreiheit (Durchschnitt 3,93). Die Stabilität des Tracking-Systems erhielt eine hohe Bewertung (Durchschnitt 4,5). Der Okklusionseffekt erzielte eine starke Zustimmung in Bezug auf seine ausreichende Wirksamkeit (Durchschnitt 4,71) und die Verbesserung der Tiefenwahrnehmung (Durchschnitt 4,64). Die Teilnehmenden zeigten eine gute Bewusstheit für

die reale Umgebung (Durchschnitt 4), und es wurden nur minimale Augenbelastungen (Durchschnitt 1,57) und Unannehmlichkeiten (Durchschnitt 1,50) gemeldet.

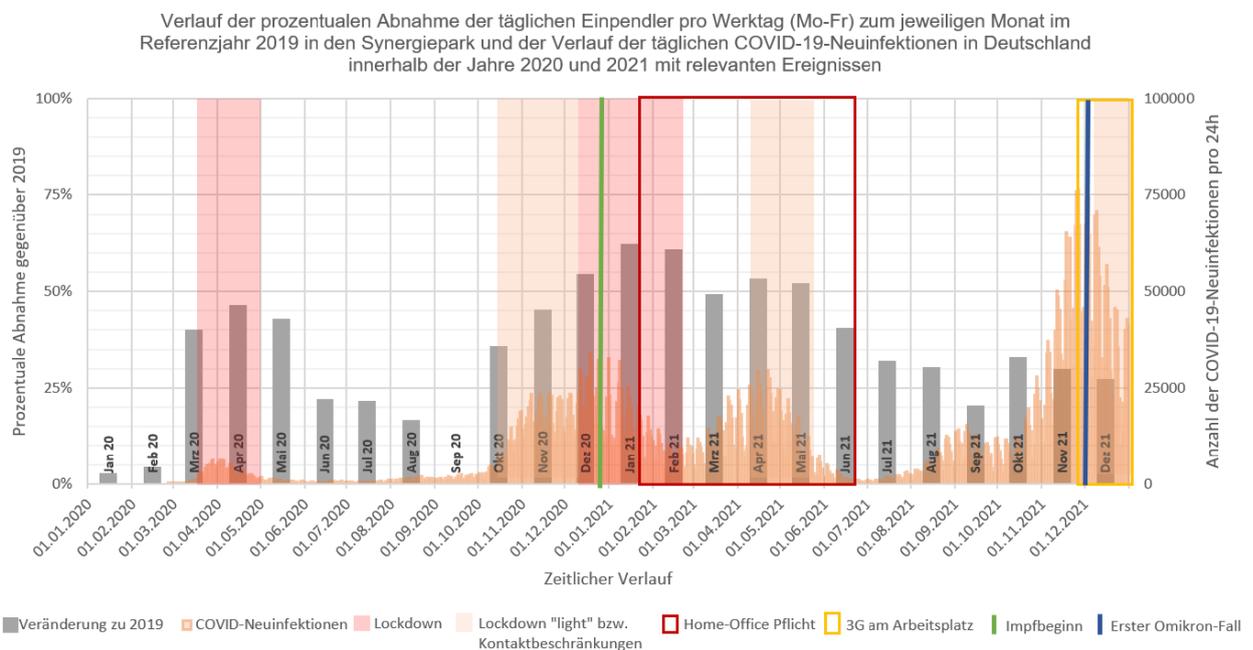
### II.1.3 Arbeitspaket 2.1: Analyse, Konzeption und Akzeptanz

Im Bereich der Mobilitätsforschung wurde das Pendler:innenverhalten im urbanen und städtischen Raum mit Bezug auf das Ein- und Auspendelverhalten weiter detailliert untersucht. Dies erfolgte erstmalig unter Zuhilfenahme von Mobilfunkdaten. Mobilfunkdaten können gezielte Informationen über das Pendel- und Mobilitätsverhalten der Menschen liefern. Durch die sehr feine zeitliche und räumliche Auflösung der Daten können vergleichsweise kleine Gebiete mit einem sehr hohen Detaillierungsgrad verkehrlich untersucht und beschrieben werden.

Im Bereich Wirtschaftspsychologie wurde die Akzeptanz des aktuell verfügbaren Verkehrsmittels E-Motorroller untersucht. Bereitgestellt wurden die E-Motorroller von den Stadtwerken Stuttgart. Im Synergiepark soll Mobilität nachhaltiger werden und die vollelektrisch angetriebenen E-Motorroller könnten eine Alternative mit geringem Investitionsaufwand für Pendler zum Synergiepark darstellen.

### II.1.4 Arbeitspaket 2.2: Simulation

Für die Pendler:innenuntersuchung wurde ein Vorgehen aus sechs Arbeitsschritten entwickelt und dieses auf das Gewerbegebiet Synergiepark und die Mobilfunkdaten angewendet. Ein Fokus wurde hierbei konkret auf die Veränderungen infolge der COVID-19-Pandemie gelegt. Es wurden die Jahre 2020 und 2021 mit dem von COVID-19 unbeeinflussten Jahr 2019 verglichen. Die Ergebnisse zeigen auf, wie sich Tages- und Wochenganglinien, die absoluten und relativen Zahlen der Einpendler:innen sowie die Quellbeziehungen, verändert haben (Abbildung 5).



*Abbildung 5: Prozentuale Abnahme täglicher Einpendler:innen im Kontext des COVID-19-Infektionsgeschehens und der damit zusammenhängenden regulativen Maßnahmen. (Quelle: D.Torenz)*

Im betrachteten Zeitraum wurde das Pendelverhalten durch die Pandemie und den daraus resultierenden „neuen“ Arbeitsformen des „Homeoffice“ massiv beeinflusst und verändert. Diese Auswirkungen haben auch nach Ende der Pandemie zu flexibleren Arbeitszeit- und Arbeitsplatzmodellen geführt. Es wurde analysiert, dass in den Lockdown-Monaten eine Verkehrsreduzierung von bis zu 60% im Ein- und Auspendelverhalten in den Synergiepark

stattgefunden hat. In den Hauptverkehrszeiten erhöhte sich der Anteil der Reduzierung auf bis zu 70%. Die vorher unterschiedlichen Auslastungen der Verkehrswege an Wochentagen – vor Pandemie Dienstag und Donnerstag die höchsten Pendler:innenzahlen – wurden in dieser Zeit nicht mehr beobachtet. Die Pendler:innenzahlen glichen sich über die Tage an.

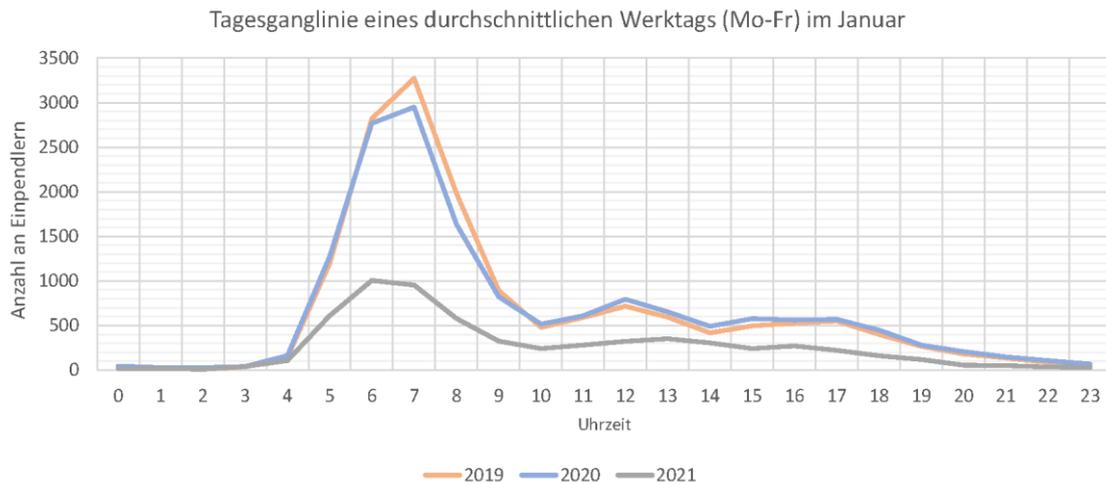


Abbildung 6: Tagesganglinien des Pendelaufkommens zum Synergiepark nach Uhrzeit Januar 2019/2020/2021. (Quelle: D.Torenz)

Des Weiteren führten die regulatorischen Eingriffe durch Behörden und Firmen zu stärkeren Auswirkungen als die reinen Pandemiefallzahlen.

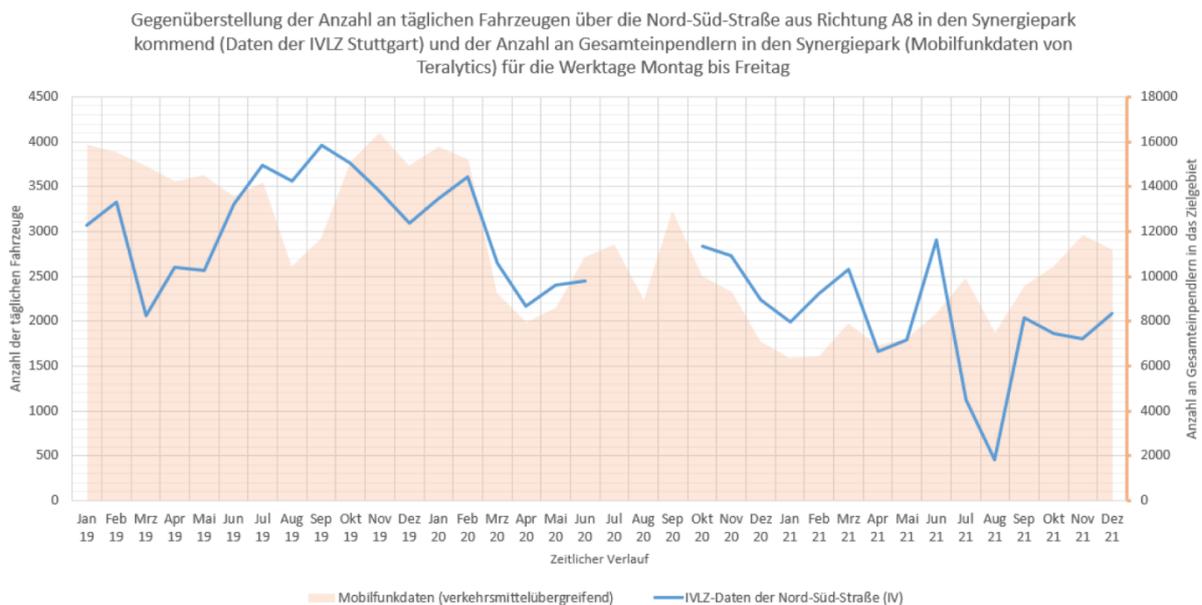


Abbildung 7: Tägliches Fahrzeugaufkommen auf Nord-Süd-Straße Richtung Synergiepark. Vergleich der Datenquellen Integrierte Verkehrsleitzentrale (IVLZ, Stadt Stuttgart) und Teralytics AG. (Quelle: D. Torenz)

Im Rahmen der Untersuchung wurden die Mobilfunkdaten mit anderen Datenquellen aus dem öffentlichen Verkehr und dem Individualverkehr verglichen und dadurch plausibilisiert (Abbildung 7).

Um einen Einblick in die Akzeptanz der Pendler:innen zu erhalten, E-Motorroller zu nutzen, wurde eine Vor-Ort-Umfrage mit 69 Teilnehmenden durchgeführt. 62% der Stichprobe waren männlich, 35% weiblich und 3% ohne Zuordnung. Das Durchschnittsalter der Teilnehmenden lag bei 34 Jahren. Außerdem gaben 75% der Teilnehmenden an, dass Nachhaltigkeit für sie wichtig ist. Allerdings gaben 65% der Teilnehmenden an, derzeit zumindest für einige Fahrten oder für einen Teil der Fahrten zum Synergiepark das Auto zu benutzen, was das Potenzial für

nachhaltige Alternativen deutlich macht. Die am zweit- und dritthäufigsten genutzten Verkehrsmittel waren die Bahn mit 48% und der Fußweg mit 22%.

26% der Teilnehmenden gaben an, dass sie ein großes Interesse daran hätten, E-Motorroller für die Fahrt zum Synergiepark zu nutzen. Allerdings würden 68% der Teilnehmenden mit hohem oder mittlerem Interesse an der Nutzung von E-Motorroller-Sharing den Dienst für eine maximale Reichweite von durchschnittlich 4,1 km nutzen. Für die meisten Teilnehmenden könnte E-Motorroller Sharing also eine Ergänzung zu den bisher genutzten Mobilitätsangeboten sein. 39% der Teilnehmenden mit hohem oder mittlerem Interesse an E-Motorroller geben an, dass der Weg zur Bahn eine Situation ist, in der sie E-Motorroller nutzen würden. Im Gegensatz dazu gaben 32% der Teilnehmenden mit hohem oder mittlerem Interesse an E-Motorroller an, dass der gesamte Weg zum Synergiepark eine Situation ist, in der sie E-Motorroller nutzen würden. Wichtige Voraussetzungen für die Nutzung von E-Motorroller waren der Nutzen für die täglichen Mobilitätsroutinen der Teilnehmenden und ihre Erfahrungen mit dem Sharing. Wie einfach die E-Motorroller zu bedienen sind, Vorteile für die Nutzung von E-Motorroller durch das Unternehmen und der Spaß an der Nutzung von E-Motorroller spielten keine große Rolle. Vorteile für die tägliche Mobilitätsroutine sahen die Teilnehmenden mit einem hohen Interesse an E-Motorroller vor allem in einer höheren Flexibilität und einer kürzeren Fahrzeit.

### **II.1.5 Arbeitspaket 2.3: Umsetzungsvorschlag**

Es konnte nachgewiesen werden, dass die räumliche Entfernung ein entscheidender Faktor im Pendler:innenverhalten darstellt. Je weiter der Wohnort vom Arbeitsplatz entfernt ist, desto höher die Fernbleibequote. Darüber hinaus wurde ein Augenmerk auf die zehn Quellbeziehungen mit den meisten Einpendler:innen in das Gebiet gelegt. Mit mehr als der Hälfte aller Einpendler:innen kommen aus diesen zehn Gemeinden und Bezirken täglich besonders viele Menschen in das Gebiet. Durch die Nähe dieser Gemeinden und Bezirke zum Synergiepark ist Potenzial für den Rad- und Fußverkehr erkennbar.

Eine Umfrage bei den Unternehmen im Synergiepark ergab, dass zahlreiche Unternehmen eine betriebliche Regelung zum „Homeoffice“ haben. Die einzelnen Regelungen – überwiegend in Form von Betriebsvereinbarungen – zeigen allerdings eine hohe Varianz bzgl. Anteil (0-100%), Geltungsbereich, Ausstattung, Bezuschussung und Freistellungsgrad. Hier ist ein erheblicher Hebel für die Reduzierung des MIV vorhanden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass flexible Arbeitszeitmodelle mit stärkerer Nutzung aller Arten von mobilem Arbeiten einer erheblichen Reduzierung des Pendler:innenaufkommens und damit zur Emissionsreduzierung dienen können. Durch die nachgewiesene hohe Abhängigkeit zwischen Entfernung zum Arbeitsplatz und der abnehmenden Akzeptanz des Fernbleibens vom Arbeitsort je kürzer die Wegstrecke ist, sollte dieser Aspekt bei der zukünftigen Planung des Fuß- und Radverkehrs eine wichtige Erkenntnis darstellen.

In der Vor-Ort Umfrage wurde deutlich, dass ein E-Motorroller Sharing Angebot eher als eine Ergänzung und weniger als Ersatz des hauptsächlich genutzten Verkehrsmittel angenommen wird. Um trotzdem das Sharing-Angebot zu fördern, sollten die Vorteile hinsichtlich Flexibilität und kürzeren Fahrzeiten kommunikativ hervorgehoben werden. Erfahrungen mit dem Sharing sind ebenfalls eine wichtige Voraussetzung für die Nutzung, daher könnten Angebote von Testveranstaltungen im Synergiepark einen positiven Nutzen haben.

## II.1.6 Arbeitspaket 3.1: Datensammlung und Aufzeichnung von Lärmquellen

Der Außenlärm im städtischen Bereich wird häufig durch den motorisierten Individualverkehr verursacht. Hinzu kommen verschiedene sonstige Lärmquellen, z.B. aus der Gebäudeenergie-technik (Wärmepumpen, Klimaanlage, Blockheizkraftwerke), aber auch Gewerbe- und Industrielärm. Hierzu wurden die im Bestand der HFT Stuttgart vorhandenen gemessenen Frequenzspektren durch weitere Messungen ergänzt und analysiert.

Durch eine Kooperation mit Sensor.Community<sup>1</sup> konnten Lärmsensoren an der HFT Stuttgart gebaut, getestet und an unterschiedlichen Orten (siehe Abbildung 8) eingesetzt werden. Mit diesen von Privatleuten installierten Lärmsensoren werden Außenlärmpegel kontinuierlich gemessen und gespeichert.

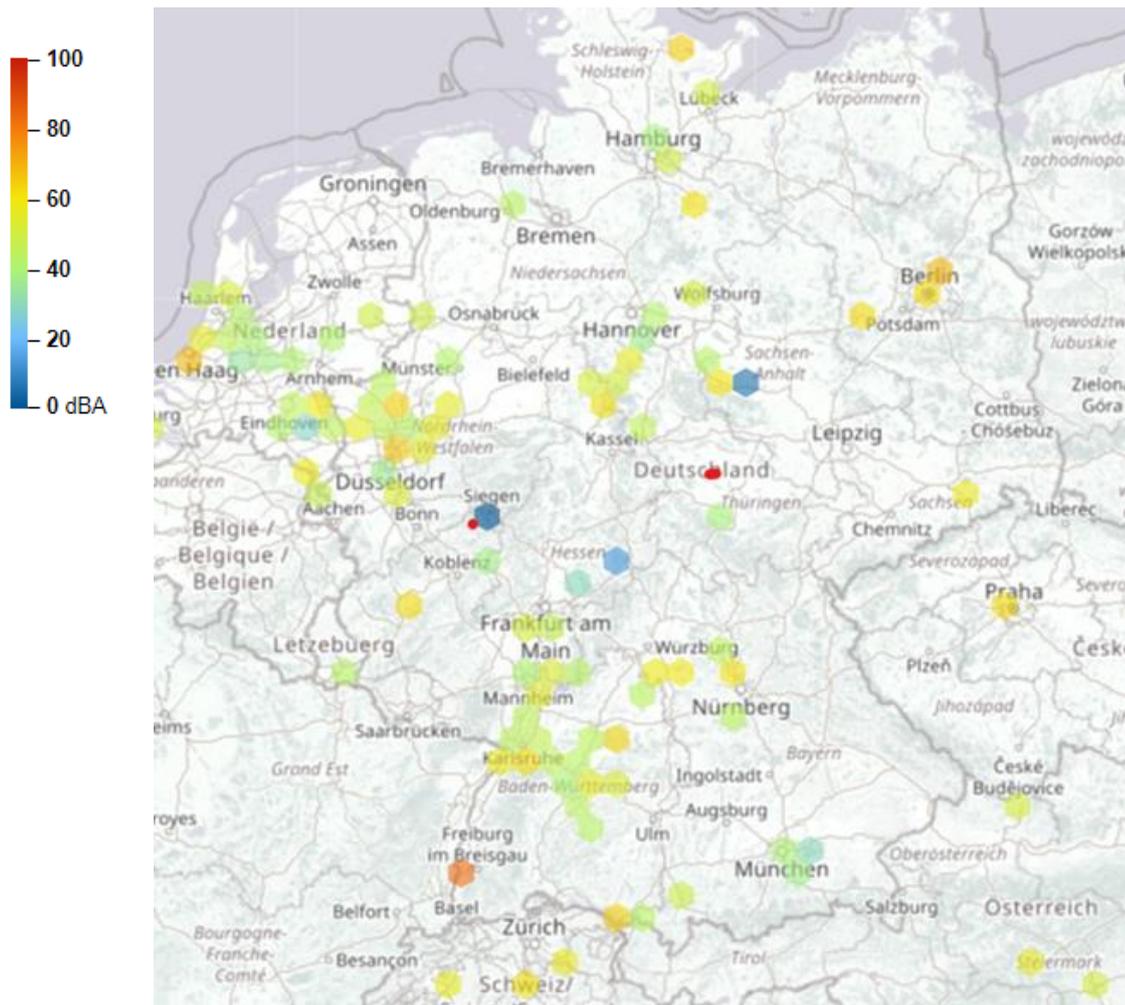


Abbildung 8: Ausschnitt aus einer Karte mit vorhandenen Lärmsensoren in Deutschland, wobei ein Teil davon durch die HFT Stuttgart betreut wird (Quelle: Sensor.Community).

Eine Erweiterung der Messauswertung mit dem Speichern des (frequenzabhängigen) Außenlärmspektrums und kürzeren Messintervallen ermöglicht den Zugriff auf die daraus entstehende Datenbank, so dass sowohl auf die Pegelhöhe als auch auf das Spektrum über einen frei zu wählenden Zeitraum zugegriffen werden kann.

<sup>1</sup> <https://maps.sensor.community/#6/49.547/11.184>

Die Frequenzspektren verschiedener Verkehrsmittel und dazugehörigen Ergebnisse aus der Literatur<sup>2</sup> und Norm<sup>3</sup>, konnte durch den Vergleich mit den von der HFT aufgenommenen Frequenzspektren bestätigt werden.

In Abbildung 9 ist gut zu erkennen, dass ungleichmäßiger (innerstädtischer) Straßenverkehr, LKW und Trambahn relativ gut mit dem vorgegebenen Spektrum von  $C_{tr}$  übereinstimmt, während der gleichmäßige Straßenverkehr, der Schienenverkehr die Stadtbahn relativ gut mit dem vorgegebenen Spektrum von  $C$  übereinstimmt. Einzig der Güterzug hat deutlich stärker höhere Frequenzanteile und wird durch die angegebenen Spektren nur bedingt abgebildet.

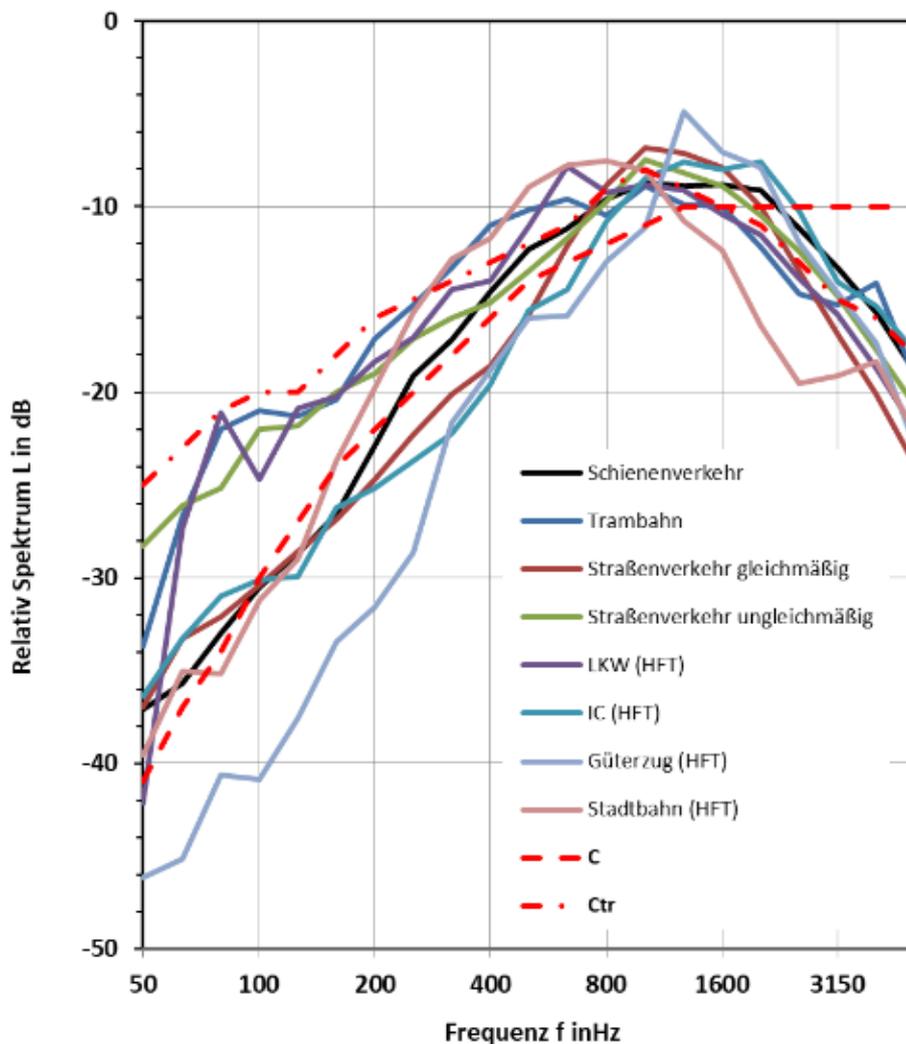


Abbildung 9: Außenlärmspektren für unterschiedliche Verkehrsgeräusche auf einen Summenpegel von 0 dB korrigiert. C und  $C_{tr}$  Spektren aus der DIN EN ISO 717-1.

### II.1.7 Arbeitspaket 3.2: Prognose der Innenraumpegel

Die Anforderungen an den baulichen Schallschutz gegenüber Außenlärm werden nur mit Kennwerten formuliert, die den Frequenzbereich unter 100 Hz nicht berücksichtigen. Die

<sup>2</sup> Forschungsvorhaben Schallschutz gegen Außenlärm Anforderungen zum baulichen Schallschutz gegen Außenlärm nach DIN 4109 unter Berücksichtigung des derzeitigen Stands der Technik als Grundlage für bauaufsichtliche Regelungen Bauforschung, Band T 3383, Fraunhofer IRB Verlag, 2021

<sup>3</sup> DIN EN ISO 717-1: Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung. 2013-06

Einhaltung dieser Anforderungen ist nur bei Neubauten oder bei wesentlichen baulichen Änderungen von Bestandsgebäuden nachzuweisen.

Für Bestandsgebäude wurde im Rahmen des Projektes mittels raumakustischer Simulationen untersucht, ob und inwieweit der Außenlärmpegel auf dem Ausbreitungsweg zum Gebäude durch Maßnahmen auf Fassadenoberflächen (Absorption und Streuung), z.B. in Straßenschluchten vermindert werden kann (Cremers, J.; Bonfig, P.; Offtermatt, D.: Kompakte Hofhäuser: Anleitung zu einem urbanen Gebäudetyp: HFT Stuttgart (Herausgeber), 2021). Besonders für tiefe Frequenzen zeigten die Untersuchungen, dass für die tiefen Frequenzen schallabsorbierende und schallstreuende Maßnahmen im Außenraum nur geringen Einfluss auf den maßgeblichen Außenlärmpegel haben. Eine merkliche Pegelreduktion für die zu schützenden Innenräume wird deshalb nur durch weitreichende Maßnahmen an der Quelle (weniger Verkehr) oder durch verbesserten Schallschutz an der Fassade, insbesondere an den Fenstern, erreicht. In der Regel stellen Fenster und andere Öffnungen, wie z.B. Lüftungsdurchführungen, den schalltechnischen Schwachpunkt der Fassade dar. Im Rahmen des Projektes wurden Berechnungen zum zu erwartenden Innenpegel bei unterschiedlichen Außenlärm Szenarien durchgeführt. Dabei lag der Fokus auf dem bislang normativ nicht berücksichtigten Einfluss der tiefen Frequenzen ( $< 100\text{Hz}$ ) Aufgrund der Frequenzzusammensetzung des Schalldämm-Maßes der Fassade in Verbindung mit typischer Außenlärm Spektren (Straßenverkehr) zeigt sich, dass nur in wenigen besonderen Fällen die tiefen Frequenzen einen wesentlichen Beitrag zum Gesamtpegel ergeben.

Der Einfluss der Kopplung zwischen Struktur- und Raummoden auf die tieffrequente Schalldämmung des Bauteils bzw. den damit verbundenen Innenraumpegel wurde auch untersucht, konnte jedoch nicht systematisch erfasst werden.

Üblicherweise dominiert die Schalldämmung der Verglasungen den zu erwartenden Innenpegel, so dass hier die tiefen Frequenzen keinen wesentlichen Beitrag zum Gesamtpegel liefern. Kritisch bezüglich der Schallübertragung bei tiefen Frequenzen sind aber beispielsweise Wärmedämm-Verbundsysteme mit Resonanzfrequenzen zwischen 50 Hz und 160 Hz. Mit der zeitnah geplanten Überarbeitung der DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau - sollen die Anforderungen neu für unterschiedliche Außenlärm Spektren unter Berücksichtigung der Spektrumanpassungswerte  $C$  und  $C_{tr}$  formuliert werden. Damit werden Unterschiede in der Frequenzzusammensetzung sowohl des Außenlärms (durch die Wahl des entsprechenden Spektrumanpassungswertes  $C$  oder  $C_{tr}$ ) und des Schalldämm-Maßes (durch die Höhe des jeweiligen Spektrumanpassungswertes) berücksichtigt.

Die frequenzabhängigen Berechnungen zeigen, dass durch eine normative Berücksichtigung der Spektrumanpassungswerte  $C$  oder  $C_{tr}$  in den untersuchten Fällen beim Nachweis des Schallschutzes auch der Frequenzbereich unter 100 Hz ausreichend berücksichtigt wird. Bei den Untersuchungen zu tiefen Frequenzen wurde eine neue Methode zur Berechnung der Einzahlwerte der Schalldämmung im erweiterten Frequenzbereich entwickelt und angewandt.

## **II.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Den wesentlichen Kostenfaktor stellte die Beschäftigung des wissenschaftlichen Personals. Eine wissenschaftliche Hilfskraft hat das Projekt von März bis August 2022 unterstützt.

Weitere Anschaffungen waren eine Virtual Reality Brille Primix RE sowie eine Microsoft Hololens 2 sowie gedrucktes Informationsmaterial.

### **II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Das Forschungsvorhaben stellt die Chance dar, Kommunen bei neuen und partizipativ-gestützten Transformationsprozessen zu begleiten, die durch soziale und technische Innovationen unterstützt werden. Ziel ist es, modellhafte und wirtschaftlich tragfähige Entwicklungsperspektiven aufzuzeigen, die aber insbesondere für die Kommunen keine wirtschaftlichen Gewinnaussichten darstellen. Vielmehr soll der Umgang mit neuen Kommunikationsmitteln und -wegen erprobt werden, der einen Wandel von Mobilitätsverhalten und -Mustern der Menschen vor Ort fördern soll. Das gewonnene Praxis- und Erfahrungswissen soll auf andere Standorte übertragen werden. Der Einsatz technischer Innovationen unterstützt diesen partizipativen Prozess.

Die Umsetzung in einem exemplarischen Quartier und die Durchführung von Interventionen zur Umgestaltung des Stadtraums erfordern eine intensive Forschungsbegleitung im interdisziplinären Team und die Einbindung der Bürgerschaft in den gesamten Prozess. Dies ist ohne Zuwendung nicht möglich.

### **II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insb. Verwertbarkeit der Ergebnisse**

Anlass, Ziele und Zwischenergebnisse des Vorhabens wurden bei kommunalen Behörden der Stadt Stuttgart und in politischen Gremien präsentiert. Hierbei konnten Mehrwert und Anschlussfähigkeit der Forschungsergebnisse hinsichtlich laufender Planungsprozesse kontinuierlich abgeglichen und vermittelt werden. Die Präsentationen erfuhren eine positive Resonanz, Adressat:innen haben explizit ihren Kooperationswillen artikuliert.

Projektdokumentation und Forschungserkenntnisse werden an den Kooperationspartner Amt für Stadtplanung und Wohnen (AfSW, Stuttgart) übermittelt. Diese können im Kontext laufender, städtischer Planungsvorhaben verwendet werden.

Die Ergebnisse aus der Pendler:innenuntersuchung zeigen, dass eine gezielte Steuerung der Verkehrsströme durch intelligente Arbeitszeitmodelle einen gewaltigen Hebel zur Reduzierung des MIV darstellen kann. Anforderungen an eine solche Steuerung und mögliche Potentiale müssen in weiterführender Forschung mit Einbindung von Firmen aus dem Synergiepark untersucht werden.

Die Ergebnisse zum Schutz gegen Außenlärm wurden im Normungsfachausschuss zur DIN 4109 (Schallschutz im Hochbau) diskutiert. Weiterhin wurden die Ergebnisse dem Bundesverband Kalksandstein Industrie e.V. zur Verfügung gestellt um in ihrem Schallschutzrechner aufgenommen zu werden.

### **II.5 Bekannt gewordene Fortschritte bei anderen Stellen**

In einem durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBT) beauftragten und zwischenzeitlich veröffentlichten Forschungsbericht wird bezüglich des bauaufsichtlich verbindlichen Vorgehens bei der Beurteilung des Schallschutzes gegenüber Außenlärm vorgeschlagen, die Spektrumanpassungswerte  $C$  und  $C_{tr}$  zu verwenden. (Andreas Meier: Forschungsvorhaben Schallschutz gegen Außenlärm - Anforderungen zum baulichen Schallschutz gegen Außenlärm nach DIN 4109 unter Berücksichtigung des derzeitigen Stands der Technik als Grundlage für bauaufsichtliche Regelungen, Bauforschung, Band T 3383, Fraunhofer IRB Verlag, 2021). Damit kommt der Forschungsbericht zu ähnlichen Schlussfolgerungen bezüglich des Schallschutzes gegenüber Außenlärm.

## II.6 Erfolgte Veröffentlichungen der Ergebnisse

1. Alfakhori, M., Dastageeri, H., Schneider, S., and Coors, V.: Occlusion Screening using 3D City Models as a Reference Database for mobile AR-Applications, angenommen für 7th International Smart Data Smart Cities and 17th International 3D GeoInfo joint conference, 18.10.2022, UNSW Sydney, Australien, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W3-2022-11-2022>
2. Alfakhori, M., Dastageeri, H., Schneider, S., and Coors, V.: Using 3D City Models as an Occlusion Mask to overcome the HoloLens limited scanning Range for Outdoor AR-Applications, EuroXR 2022, 14.-16.9.2022, Stuttgart, Deutschland
3. Coors, Volker (Hrsg.); Pietruschka, Dirk (Hrsg.); Zeitler, Berndt (Hrsg.) (2022, in print). iCity. Transformative Research for the Livable, Intelligent, and Sustainable City - Research Findings of University of Applied Sciences Stuttgart. 1st ed. 2022, Springer, Berlin, ISBN 978-3-030-92095-1. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-92096-8>
4. Abschlussarbeit "Occlusion Screening using 3D city models as a reference database for mobile AR-Applications" von Muhammad Alfakhori im Studiengang Master Photogrammetry and Geoinformatics <https://ugl.hft-stuttgart.de/>
5. Bäumer, T., Silberer, J. & Huber, S. (2022). Augmented Reality as a participation tool: An AR use case outside the laboratory. XR Week, Stuttgart.
6. Simon-Philipp, C. (2022): Die Stadt als Forschungslabor. Science Notes: Die Stadt der Zukunft, Wissenschaftsfestival 2022. Stuttgart.
7. Hefner, B., Ort, J., Simon-Philipp, C. (2022): Wie bewegen wir uns in Zukunft?. INUAS Conference, 07.09.2022. Winterthur (CH).
8. Dastageeri, H., Simon-Philipp, C., Bäumer, T. (2022): Projektpräsentation Mobility4iCity. Sitzung Bezirksbeirat Stuttgart-Mitte, 05.07.2021.
9. Dastageeri, H., Huber, S., Ort, J., Simon-Philipp, C. (2022): Projektpräsentation Mobility4iCity. Bei Amt für Stadtplanung und Wohnen, 25.04.2022.
10. Ort, J., Silberer, J. Simon-Philipp, C. (2022): Projektpräsentation Mobility4iCity. Bei Amt für öffentliche Ordnung Stuttgart, 23.05.2022.
11. Bäumer, T., Ort, J., Simon-Philipp, C. (2022): Projektpräsentation Mobility4iCity. Sitzung Bezirksbeirat Stuttgart-Mitte, 20.06.2022.
12. Abschlussarbeit Interdisziplinäres studentisches Projekt „Synergiepark Möhringen/Vaihingen – Maßnahmen zur Reduktion des arbeitstäglichen Pendelverkehrs des MIV, Noah Götz, Andre Hermenau Oliveira, Thinesh Maheswaran, Michelle Müller (2022).
13. Abschlussarbeit Interdisziplinäres studentisches Projekt „Analyse der Arbeitszeitmodelle und Auswirkungen auf das Verkehrsaufkommen im Synergiepark Stuttgart-Vaihingen“; Flakrina Deli, Leon Knaut, Marco Kleibl, Vincent Reinalter, Patrick Sautter, Ferdinand Schickle, Christina Sivapalu, Tobias Wernado (2022)
14. Masterarbeit „Untersuchung der Pendlerströme in das Gewerbegebiet Synergiepark Stuttgart mit Mobilfunkdaten“; Dominik Torenz (2022)
15. Schneider, M., Zeitler, B. (2023): Einzulangaben im erweiterten Frequenzbereich. In Tagungsband der DAGA 2023 – 49. Jahrestagung für Akustik, Hamburg, S.386-389

## II.7 Geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Weitere Veröffentlichungen sind geplant.

## Anhang 1: Liste der verwendeten Fachliteratur, Informations- und Datenquellen

1. Allen, M., Regenbrecht, H., & Abbott, M. (2011). Smart-phone augmented reality for public participation in urban planning. In N. Colineau, C. Paris, & D. Stevenson (Eds.), *Proceedings of the 23rd Australian Computer-Human Interaction Conference (OzCHI 2011): Held at the Australian National University, Canberra, 28th November to 2nd December 2011 in cooperation with the ACM SIGCHI* (pp. 11–20). ACM. <https://doi.org/10.1145/2071536.2071538>
2. Angelini, C., Williams, A. S., Kress, M., Vieira, E. R., D'Souza, N., Rishe, N. D., Medina, J., & Ortega, F. R. (2020, January 18). *City Planning with Augmented Reality*. <http://arxiv.org/pdf/2001.06578v1>
3. Baum, M., Beulich, A., & Kegel, T. (2019). *Wandel gestalten. Das Reallabor Stadt:quartiere 4.0*. Städtebau-Institut (SI) – Lehrstuhl für Stadtplanung und Entwerfen (SuE). [https://digitale-mitwirkung.de/wp-content/uploads/2019/09/Wandel-gestalten-Das-Reallabor-Stadt\\_quartiere-4\\_0-2019.pdf](https://digitale-mitwirkung.de/wp-content/uploads/2019/09/Wandel-gestalten-Das-Reallabor-Stadt_quartiere-4_0-2019.pdf)
4. Chen, J. Y. C., & Fragomeni, G. (Eds.). (2020). *LNCS Sublibrary: SL3 - Information systems and applications, incl. Internet/web, and HCI: 12190-12191. Virtual, Augmented and Mixed Reality: 12th International Conference, VAMR 2020 : held as part of the 22nd HCI International Conference, HCII 2020 : Copenhagen, Denmark, July 19-24, 2020 : proceedings*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49695-1>
5. Contreras-Espinosa, R. S., Blanco-M, A., & Eguia-Gomez, J. L. (2021). Implementation Barriers to Augmented Reality Technology in Public Services. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 15(13), 43. <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i13.22667>.
6. Dey, A., Billingham, M., Lindeman, R. W., & Swan, J. E. (2018). A Systematic Review of 10 Years of Augmented Reality Usability Studies: 2005 to 2014. *Frontiers in Robotics and AI*, 5, 37. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00037>
7. Fathullah, A., & Willis, K. S. (2018). Engaging the senses: the potential of emotional data for participation in urban planning. *Urban Science*, 2(4), 98.
8. Fegert, J., Pfeiffer, J., Peukert, C., & Weinhardt, C. (2020). Enriching E-Participation through Augmented Reality: First Results of a Qualitative Study. In N. Gronau, M. Heine, H. Krasnova, & K. Pousttchi (Eds.), *Entwicklungen, Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung / Gronau, N., Heine, M., Krasnova, H., Pousttchi, K. (Hrsg.): Band 1. Proceedings der 15. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik 2020* (pp. 560–567) [GITO mbH Verlag für Industrielle Informationstechnik und Organisation]. [https://doi.org/10.30844/wi\\_2020\\_e5-fegert](https://doi.org/10.30844/wi_2020_e5-fegert)
9. Geiger, C. P. (2012). *Bürger.Macht.Staat Integration von Bürgern und Gesellschaft in den Staat*. In *Bürger. Macht. Staat?* (pp. 91–108). Springer VS, Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-19347-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-531-19347-2_5)
10. Goudarznia, T., Pietsch, M., & Krug, R. (2017). Testing the effectiveness of augmented reality in the public participation process: A case study in the city of Bernburg. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 2, 244-251.
11. Grassi, S., & Klein, T. M. (2016). 3d augmented reality for improving social acceptance and public participation in wind farms planning. *Journal of Physics: Conference Series*, 749(1), 12020. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/749/1/012020>
12. Hughes, H., Foth, M., Dezuanni, M., Mallan, K., & Allan, C. (2018). Fostering digital participation and communication through social living labs: A qualitative case study from regional Australia. *Communication research and Practice*, 4(2), 183-206.
13. Jung, & Rauscher (Eds.). (2020). *Progress in IS. Augmented Reality and Virtual Reality (1st ed.)*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37869-1>
14. Lee, L.-H., Braud, T., Hosio, S., & Hui, P. (2022). Towards Augmented Reality Driven Human-City Interaction: Current Research on Mobile Headsets and Future Challenges. *ACM Computing Surveys*, 54(8), 1–38. <https://doi.org/10.1145/3467963>
15. Ojasalo, J., & Tähtinen, L. (2017). DIGITAL PARTICIPATION IN AN OPEN INNOVATION PLATFORM: AN EMPIRICAL STUDY ON SMART CITIES. In *INTED2017 Proceedings* (pp. 10097–10106). IATED. <https://doi.org/10.21125/inted.2017.2461>
16. Parker, C., Tomitsch, M., Kay, J., & Baldauf, M. (op. 2015). Keeping it private. In K. Mase, M. Langheinrich, D. Gatica-Perez, H. Gellersen, T. Choudhury, & K. Yatani (Eds.), *UbiComp'15: Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous*

Computing, September 7-11, 2015, Osaka, Japan (pp. 807–812). ACM.  
<https://doi.org/10.1145/2800835.2804401>

17. Reinwald, F., Schober, C., & Damyanovic, D. (2013). From plan to augmented reality–workflow for successful implementation of AR solutions in planning and participation processes. Schrenk, M.; Popovich, V.; Zeile, P.: Proceedings of RealCORP.
18. Saßmannshausen, S. M., Radtke, J., Bohn, N., Hussein, H., Randall, D., & Pipek, V. (2021). Citizen-Centered Design in Urban Planning: How Augmented Reality can be used in Citizen Participation Processes. In W. Ju (Ed.), ACM Digital Library, Designing Interactive Systems Conference 2021 (pp. 250–265). Association for Computing Machinery.  
<https://doi.org/10.1145/3461778.3462130>
19. Thiel, S.-K. (2016). Gamers in public participation. MUM '16 Proceedings of the 15th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, 229–240.  
<https://doi.org/10.1145/3012709.3012723>
20. Thiel, S.-K., & Fröhlich, P. (2017). Gamification as Motivation to Engage in Location-Based Public Participation? In Progress in Location-Based Services 2016 (pp. 399–421). Springer, Cham.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-47289-8\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47289-8_20)
21. Thoneick, R. (2021). Integrating online and onsite participation in urban planning: Assessment of a digital participation system. International Journal of E-Planning Research (IJEPR), 10(1), 1–20.
22. Tomarchio, L., Hasler, S., Herthogs, P., Müller, J., Tunçer, B., & He, P. (2019). Using an online participation tool to collect relevant data for urban design: The construction of two participation exercises. In M. H. Haeusler, M. A. Schnabel, & T. Fukuda (Eds.), Intelligent & informed: Proceedings of the 24th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2019) (pp. 747–756). The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/356140?show=full>
23. Williams, A. S., Angelini, C., Kress, M., Ramos Vieira, E., D'Souza, N., Rishe, N. D., Medina, J., Özer, E., & Ortega, F. (2020). Augmented Reality for City Planning. In J. Y. C. Chen & G. Fragomeni (Eds.), LNCS Sublibrary: SL3 - Information systems and applications, incl. Internet/web, and HCI: 12190-12191. Virtual, Augmented and Mixed Reality: 12th International Conference, VAMR 2020 : held as part of the 22nd HCI International Conference, HCII 2020 : Copenhagen, Denmark, July 19-24, 2020 : proceedings (Vol. 12190, pp. 256–271). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-49695-1\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49695-1_17)
24. Wolf, M., Söbke, H., & Wehking, F. (2020). Mixed Reality Media-Enabled Public Participation in Urban Planning. In Jung & Rauscher (Eds.), Progress in IS. Augmented Reality and Virtual Reality (1st ed., pp.125–138). Springer International.
25. Zhan, T., Yin, K., Xiong, J., He, Z., & Wu, S.-T. (2020). Augmented Reality and Virtual Reality Displays: Perspectives and Challenges. IScience, 23(8), 101397.  
<https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101397>
26. Fortin, P., Hebert, P., (2006). Handling occlusions in real-time augmented reality : Dealing with movable real and virtual objects. IEEE, 54–54.
27. Kasper, J., Edwardsson, M. P., Romero, M. (2017): Occlusion in outdoor augmented reality using geospatial building data. Part F131944, ACM, 1–10.
28. Cremers, J.; Bonfig, P.; Offtermatt, D. (2021): Kompakte Hofhäuser: Anleitung zu einem urbanen Gebäudetyp, HFT Stuttgart (Herausgeber)
29. Meier, A. (2021): Anforderungen zum baulichen Schallschutz gegen Außenlärm nach DIN 4109 unter Berücksichtigung des derzeitigen Stands der Technik als Grundlage für bauaufsichtliche Regelungen, Forschungsvorhaben Schallschutz gegen Außenlärm, Bauforschung, Band T 3383, Fraunhofer IRB Verlag
30. Mögele, M., Rau H. (2020): Cultivating the "car state": a culturally sensitive analysis of car-centric discourses and mobility cultures in Southern Germany. In Sustainability: Science, Practice and Policy, 16:1, 15-28, Taylor & Francis.  
<https://doi.org/10.1080/15487733.2020.1756188>
31. Stein, T. (2016): Autofreies Wohnen im Bestand. Das Beispiel Berlin. IVP-Discussion Paper, Heft 2/2016, TU Berlin.

32. Gössling, S., Kees, J., Litman, T. (2022): The lifetime cost of driving a car. In *Ecological Economics* 194, ISEE.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107335>
33. Spitthöver, M. (2002): Freiraumqualität statt Abstandsgrün. In *Geschichte der Freiräume im Mietgeschosswohnungsbau, Band 25*. Universität Gesamthochschule Kassel, Fachbereich Stadtplanung, Landschaftsplanung. Selbstverlag
34. Lydon, M., Bartman, D., Garcia, T., Preston, R., Woudstra, R (2012).: *Tactical Urbanism 2. The Street Plans Collaborative*, Miami, New York. Selbstverlag
35. Beckmann, K., Blumthaler, W., Holzapfel, H., Zebuhr, Y (2022): Ankommen statt unterwegs sein – Raum und Mobilität zusammen denken. Projekt Integrierte Stadtentwicklung und Mobilitätsplanung. Erster Zwischenbericht. In *acatech DISKUSSION*.  
[https://doi.org/10.48669/aca\\_2022-1](https://doi.org/10.48669/aca_2022-1)
36. Landeshauptstadt Stuttgart (Hrsg., 2022): *Zukunft Leonhardsvorstadt. Bericht zum Planspiel. Kooperative Wege in eine gemeinsame Zukunft*. Selbstverlag  
<https://www.zukunft-leonhardsvorstadt.de>
37. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2016): *Hauptgutachten. Der Umzug der Menschheit: Die transformative Kraft der Städte*. Selbstverlag
38. Landeshauptstadt Stuttgart, Statistisches Amt (2022, 2023): *Informationssystem KOMUNIS*  
<https://www.domino1.stuttgart.de/web/komunis/komunissde.nsf>
39. Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz (2021, 2022): *Tageswerte Messstation "Schwabenzentrum"*.  
<https://www.stadtklima-stuttgart.de>
40. Landeshauptstadt Stuttgart, Stadtmessungsamt (2020): *Liegenschaftskataster Landeshauptstadt Stuttgart*.
41. Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung (2013): *Verkehrsentwicklungskonzept 2030*.  
<https://www.stuttgart.de/leben/mobilitaet/nachhaltige-mobilitaet/mobilitaets-konzepte/verkehrsentwicklungskonzept-2030.php>
42. Sensor.Community Contributors (2021, 2022, 2023): *Sensor.Community Database*.  
<https://sensor.community>
43. OpenStreetMap Contributors (2021, 2022, 2023): *OpenStreetMap*.  
<https://www.openstreetmap.org>
44. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, KBA, DLR, DIW (2022): *Verkehr in Zahlen 2021/2022*. Selbstverlag.
45. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, KBA, DLR, DIW (2023): *Verkehr in Zahlen 2022/2023*. Selbstverlag.
46. Cirulis, A., Brigmanis, K., Zvejnieks, G., 2020. Analysis of Suitable Natural Feature Computer Vision Algorithms for Augmented Reality Services. *Baltic Journal of Modern Computing*, 8
47. Hübner, P., Clintworth, K., Liu, Q., Weinmann, M., Wursthorn, S., 2020. Evaluation of HoloLens Tracking and Depth Sensing for Indoor Mapping Applications. *Sensors*, 20, 1021.  
<https://www.mdpi.com/1424-8220/20/4/1021>
48. Kress, B. C., 2020. *Optical Architectures for Augmented-, Virtual-, and Mixed-Reality Headsets*. SPIE.
49. Vassallo, R., Rankin, A., Chen, E. C. S., Peters, T. M., 2017. Hologram stability evaluation for microsoft hololens. 10136, *SPIE*, 1013614