



**MCube**  
Münchner Cluster für die Zukunft  
der Mobilität in Metropolregionen

MCube Phase I | 2021 - 2024

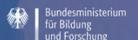
# Drei Jahre MCube

## 14 innovative Projekte für die Zukunft der Mobilität

Wir machen die Metropolregion München zur  
Vorreiterin für nachhaltige und transformative  
Mobilitätsinnovationen.

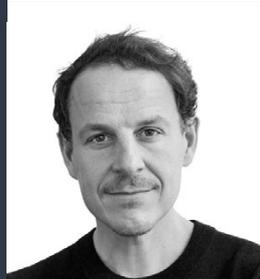


GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Vorwort



**Oliver May-Beckmann**  
Geschäftsführer MCube



MCube wird von der Technischen Universität München geleitet und bringt die führenden Mobilitätsexpert\*innen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zusammen unter dem Motto: miteinander möglich machen. In MCube wird zum breiten Bereich der Zukunft der Mobilität geforscht, Prototypen werden getestet und Innovationen für Deutschland und die Welt entwickelt. Dies umfasst Themen von autonomen Fahren, Elektromobilität, neue Gesetze für Mobilitätsinvestitionen bis zur Neugestaltung des öffentlichen Raums.

## Zeit, dass sich was dreht.

Nichts fällt uns schwerer, als das eigene Verhalten zu ändern. Darum ist das Thema Mobilitätswende auch so heikel, denn es betrifft jede und jeden. Die Debatten darüber kochen hoch, oft wird dann auf andere verwiesen: Radfahrer schimpfen auf Autos, Autofahrerinnen auf den ÖPNV, Unternehmen auf die Politik. Ein Miteinander scheint schwierig.

Es war daher nicht wirklich damit zu rechnen, dass wir uns in München alle unterhaken und gemeinsam an einem Strang ziehen würden, um die Mobilität unserer Städte und Regionen zu transformieren. Die Ausgangslage ist klar: Mobilität ist Schlüssel zur Klimaneutralität und steht im Zentrum der deutschen Wirtschafts- und Innovationsstärke sowie des alltäglichen Lebens aller Menschen.

Gleichzeitig sind die Probleme allen bekannt: Unsere Städte wachsen, der Platz bleibt begrenzt. Luftverschmutzung, überlastete Straßen, Energiekrisen, Soziale Ungerechtigkeit und immer neue Klimaschäden zeigen uns tagtäglich, dass wir dringend umdenken müssen. Die Fakten dazu liegen auf dem Tisch: Der Verkehrssektor verursacht fast 150 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> in Deutschland. Ein durchschnittlicher Linienbus ersetzt bis zu 30 Autos, Radfahren ist emissionsfrei, gesünder und oft schneller, ein E-Auto ist in kurzer Zeit klimafreundlicher als ein Benziner. Die Herausforderung besteht darin, dass wir nicht nur theoretisch wissen, was zu tun ist, sondern auch praktisch handeln müssen. Und das viel schneller.

Darum braucht es ein neues Miteinander. Das passt nicht nur in den Zeitgeist, denn wo früher Wettbewerb der alleinige Treiber für Fortschritt war, ist es in unserer hyperkomplexen Zeit kollektives Handeln.

Genau hier setzt der von der TUM geleitete Zukunftscluster MCube an: Uns eint der gemeinsame Wille, miteinander die Mobilität der Zukunft zu gestalten. MCube ist unsere Plattform, unser Reallabor, kein reiner Think Tank oder Arbeitskreis, sondern eine ganz neue Form echter "Co-Creation".

München ist der ideale Nukleus dafür: Deutschlands akademisches Powerhouse mit den besten Universitäten, Europas stärkste Startup-Schmiede an der TUM, eine moderne Verwaltung, Weltklasse-Unternehmen, innovative Startups und eine aktive Zivilgesellschaft – sie alle kommen hier im MCube Cluster im Schulterschluss zusammen, um neue, radikale Mobilitätslösungen und Geschäftsmodelle zu entwickeln und umzusetzen. Mutig, innovativ, partizipativ und mit gemeinsamer Vision.

Und wissen Sie was?

Mit jeder guten Idee schwinden die anfangs beschriebenen Debatten. MCube hat die ersten drei Jahre eine ganze Bandbreite solcher Ideen entwickelt und getestet. Wir stellen sie in diesem Heft vor. Ideen, die in über 300 Medienbeiträgen, unzähligen Veröffentlichungen und konkreten Interventionen in der Region sichtbar geworden sind. Ideen, die den Diskurs geprägt haben.

Das oft genannte Mantra – Mobilität ist ein Minenfeld und wir dürfen den Menschen nicht zu viel zumuten – fällt dabei in sich zusammen, umso mutiger, greifbarer und verständlicher diese Ideen sind. Die Menschen in der Region sind dabei oft schon viel weiter. Sie wissen, dass sich was ändern muss und wird. Und sie haben Lust dazu.

Und das ist gut so. Die Zeit drängt. Lassen Sie uns miteinander, mit Lust und Mut unser Mobilitätsverhalten ändern und gemeinsam die Zukunft der Mobilität aus München heraus gestalten – nachhaltig, innovativ, mit technischen und sozialen Innovationen und für alle.

#packmas

# Elektrifizieren und Automatisieren

Innovationsfeld 01

Wiesn Shuttle  
ComfficientShare  
InterLog  
Testkreuzung

Innovationsfeld 02

SASIM  
STEAM  
TrEx

Innovationsfeld 03

aqt  
MGeM  
BeneVit  
COLTOC

Integrationsprojekte

DatSim  
ReMGo  
SUE

# Wiesn Shuttle

## Autonomes Fahren in komplexen Situationen

### Ziele

In den letzten Jahren ist besonders in Großstädten eine gesteigerte Nachfrage nach flexiblen und nachhaltigen Mobilitätslösungen zu verzeichnen, sodass immer mehr Menschen aufgrund des Klimawandels und anderer Herausforderungen vom eigenen Auto auf den öffentlichen Nahverkehr umsteigen. Gleichzeitig steht dieser jedoch vor immer größeren Herausforderungen, da der Fachkräftemangel auch im öffentlichen Nahverkehr spürbar ist. Dies führt zu Engpässen im Betrieb von Bus- und Bahnverbindungen und zu einer eingeschränkten Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit des Angebots.

Vor diesem Hintergrund wurde das Forschungsprojekt Wiesn Shuttle initiiert, um mit dem Forschungsfahrzeug EDGAR der Technischen Universität München den vollautomatisierten Fahrbetrieb rund um die Theresienwiese während des Oktoberfestes in München zu demonstrieren. Damit wurde erstmals eine fahrerlose Mobilitätslösung umgesetzt, die auch unter extremen Randbedingungen (unstrukturierter Verkehr, Vielzahl an Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern, hohe Anzahl von Fußgängerinnen und Fußgängern mit erraticem Bewegungsverhalten) einen robusten und sicheren Einsatz im öffentlichen Straßenverkehr gewährleisten kann. Solche urbanen Szenarien stellen für vollautomatisierte Fahrfunktionen eine hohe technische Herausforderung dar, wobei in diesem Projekt die Grenzen der Automation unter Einsatz von Teleoperationstechnologie adressiert wurden. Hierdurch wird eine Rückfallebene für den Fall technischer Grenzen geschaffen, sodass der potenzielle Betrieb einer größeren Flotte autonomer Shuttles sichergestellt werden kann. Teleoperation soll dabei als Ergänzung zum automatisierten Fahren dienen und die Möglichkeiten für eine industrielle Nutzung aufzeigen.

Speziell wurde hier die schnelle Übergabe und sichere Steuerung durch einen menschlichen Operator in einer entfernten Leitwarte über das kommerzielle Mobilfunknetz ermöglicht.

Bei der Einführung einer neuen Technologie spielt die Akzeptanz und das Vertrauen der Bevölkerung eine entscheidende Rolle, ohne welche ein noch so fortschrittliches Produkt keinen Erfolg verzeichnet. Aus diesem Grund war ein weiteres Ziel, diesen Aspekt im Rahmen des Oktoberfestes zu untersuchen. An zwei Tagen bestand die Möglichkeit, öffentliche Testfahrten wahrzunehmen und Eindrücke danach für eine Studie weiterzugeben. Neben der Interaktion mit dem System stand die Erhöhung der Akzeptanz und eine Verbesserung des Vertrauens gegenüber der Technologie im Vordergrund, sodass das Projekt durch praxisnahe Demonstrationen einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung automatisierter Mobilitätslösungen leistet. Es unterstützt den Bedarf nach verbesserter urbaner Mobilität mit weniger privatem Pkw-Besitz und stärkt den Innovationsstandort München durch einen direkten Einsatz auf öffentlichen Straßen. Die gewonnenen Ergebnisse wurden systematisch ausgewertet und liefern wertvolle Erkenntnisse für die Weiterentwicklung des Projekts mit dem Ziel, den Technologietransfer aus der Forschung in die Praxis zu beschleunigen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Projekt Wiesn Shuttle die Entwicklung robuster Algorithmen und Software für den Einsatz im urbanen Straßenverkehr hervorgebracht hat, welche die Kommerzialisierung automatisierter Fahrzeuge fördern. Die im Projekt gesammelten Daten und Software-Komponenten werden Open Source bereitgestellt, um eine breitere Nutzung und Weiterentwicklung zu ermöglichen. Somit wurden nicht nur Technologien für autonomes Fahren in unstrukturierten städtischen Umgebungen erfolgreich erprobt, jedoch auch der wirtschaftliche Grundstein für die Marktreife autonomer Shuttles gelegt.



FERNRIE

TUM



## Meilensteine

### Methodenanalyse, Konzeption und Funktionale Auslegung:

*Oktober 2021 – Februar 2022*

Methodenanalyse und Recherche zum Stand der Technik, Entwurf von Simulationsumgebung und Teststrategien, Festlegung der Softwarearchitektur, Programmiersprache(n), Funktions- und Datenspezifikation.

### Umgebungs- und Fahrzeugsimulation:

*Dezember 2021 – Januar 2023*

Beschaffung und Aufbau der Simulations-Hardware, Aufbau eines Fahr-dynamik-Modells, Simulation der statischen Fahrzeugumgebung, Simulation des Straßenverkehrs, Simulation weiterer Verkehrsteilnehmer, Simulation von Menschenmassen.

### Algorithmen- und Funktionsentwicklung:

*Januar 2022 – April 2024*

Mapping & Lokalisierung des Fahrzeugs, Object Detection & Tracking, Prädiktion der Verkehrsteilnehmer, Trajektorien- und Strategieplanung, Regelung der Ziel-Trajektorie, Teleoperation des Fahrzeugs, Absicherung und Zulassung des Fahrzeugs, Auslegung des externen Human-Machine-Interface.

### Simulative Validierung:

*Januar 2022 – Mai 2024*

Szenariodefinition, Evaluierung der Absicherung: simulativ, Evaluierung und Bewertung der Ansätze: simulativ, Anpassung und Detaillierung der Funktionsanforderungen.

### Integration und Einsatz im Fahrzeug:

*Juni 2022 – September 2024*

Instandhaltung des Fahrzeugs, Integration der Software in das Fahrzeug, Evaluierung der Absicherung: real, Evaluierung und Bewertung der Ansätze: real, Testfahrt Campus; Demonstrationsfahrt IAA, Praxistest beim Mobilitätstag des Alpenvereins in Oberammergau, Oktoberfest 2024.

### Untersuchung von gesellschaftlichen Aspekten:

*August 2022 – September 2024*

Interaktion der Passantinnen und Passanten mit dem Demonstrator, Akzeptanz des Demonstrators

### Organisation und Kommunikation:

*November 2021 – August 2024*

Planung/ Genehmigung Wiesn-Fahrt, Kommunikation mit Beteiligten/ Bürgerinnen und Bürgern, Konzept für zukünftigen, regelmäßigen Shuttle-Betrieb.

### Projektabschluss: Ergebnisauswertung und Berichte:

*September 2024*

Wiesn Shuttle Demonstrationsfahrten.

# “Wer es hier schafft, rund um die Wiesn, der schafft es überall auf der Welt“

Staatsminister Markus Blume.



## Ergebnisse

Im Verlauf des Wiesn Shuttle Projektes wurden wertvolle Erkenntnisse gewonnen und umfassendes Know-how aufgebaut. Auf einige Ergebnisse wollen wir nachfolgend eingehen. Hierbei wird zunächst auf holistischer Ebene auf die gewählte Softwarearchitektur eingegangen, anschließend auf ausgewählte Softwaremodule und zuletzt auf Feedback und Learnings aus dem Abschlussevent – der Wiesn Shuttle Demonstrationsfahrten –.

### Softwarearchitektur

Die Entwicklung von Automatisierungs- und Teleoperationssoftware steht im Zentrum des Wiesn Shuttle Projekts. Als Ausgangsbasis dient hierbei Autoware, eine Open-Source-Softwareplattform der Autoware Foundation. Autoware bietet eine umfassende Softwareinfrastruktur, die auf ROS2 basiert und bereits implementierte autonome Fahrfunktionen umfasst. Diese Infrastruktur dient als Fundament für die Entwicklung und Optimierung von Fahrfunktionen.

Um eine effiziente Zusammenarbeit im Team zu gewährleisten, haben wir das Projekt in Microservices restrukturiert und mittels Docker containerisiert. Dies ermöglicht den Austausch von Informationen über klar definierte Schnittstellen. Die Microservices bieten ein effektives Versionsmanagement sowie die Möglichkeit, eigene Algorithmen effizient und parallel in die Autoware-Infrastruktur zu integrieren. Zusätzlich wurde eine Continuous Integration (CI) Pipeline entwickelt, die es ermöglicht, die Microservices dezentral zu bauen und direkt auf das Fahrzeug zu übertragen. Diese CI-Lösung unterstützt den nahtlosen Entwicklungsprozess und erleichtert die kontinuierliche Integration und Bereitstellung neuer Funktionen.

### Kartierung und Lokalisierung

Für die präzise Routenplanung und Fahrzeugpositionierung wurden hochdetaillierte HD-Karten entwickelt, die aus semantischen und geometrischen Informationen bestehen. Die semantische Schicht enthält fahrspurgenaue Straßenführungen, Geschwindigkeitsbegrenzungen und Verkehrsregeln und unterstützt die Routenführung. Da keine automatisierten Tools zur Erstellung solcher Karten existieren, wurden im Projekt spezielle Prozesse zur Kartenerstellung, Verwaltung und Versionierung entwickelt.

Die geometrische Schicht basiert auf 3D-LiDAR-Daten und ermöglicht ein exaktes Matching mit den Fahrzeugdaten. Herkömmliche GNSS-Systeme sind in städtischen Umgebungen oft unzuverlässig, da Sichtbehinderungen durch Gebäude oder Bäume auftreten. Um dieses Problem zu umgehen, wurde ein Algorithmus entwickelt, der Gebäudepläne und Oberflächenmodelle aus Luftaufnahmen mit LiDAR-Daten kombiniert. So konnten global referenzierte Karten ohne GNSS erstellt werden. Zusätzlich filtert ein Verfahren Reflexionen, sensorbedingte Messfehler und dynamische Objekte aus den Daten. Zur genauen Bestimmung der Fahrzeugposition werden die LiDAR-Messungen anschließend mit Odometriedaten und Beschleunigungswerten aus einer Inertial Measurement Unit (IMU) in einem Kalman-Filter fusioniert. Dies erhöht die Genauigkeit und Robustheit der Fahrzeugortung erheblich.

### Objektdetektion

Eine genaue Repräsentation der Umgebung ist entscheidend für eine sichere Fahrweise und die richtige Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern. Dieses Verständnis der Umgebung wird in den meisten Fällen durch neuronale Objekterkennungsmodelle erreicht, die eine Vielzahl an Daten für das zugehörige Training benötigen. Die Erstellung dieser Daten ist dabei oft mit einem beträchtlichen zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden. Um deshalb trotz eines knappen Budgets eine ausreichend große Anzahl an annotierten Daten zu Verfügung zu haben, wurde eine eigens für diesen Anwendungsfall designte Annotationspipeline entwickelt, mit Hilfe derer die eingesetzten Detektionsmodule vollautomatisiert und effizient trainiert werden konnten. Dies ist im Kontrast zu herkömmlichen Verfahren, wobei sogenannte Labeler manuell Daten unter einem hohen, zeitlichen Aufwand verarbeiten. Durch diese Pipeline können nun Detektionsdaten automatisch direkt aus Sensorrohdaten extrahiert werden, was ein schnelles Re-Trainieren und damit die Anpassung auf veränderte Umgebungsbedingungen erlaubt. Zusätzlich ermöglicht dieser Ansatz die Verarbeitung der enorm großen Datenmengen, welche während der Datenaufnahme auftreten, und somit die Verbesserung der Wahrnehmungsfähigkeiten des Modells.

### Fußgängerinnen- und Fußgängerprädiktion

Die Fußgängerinnen- und Fußgängerprädiktion spielt eine zentrale Rolle in urbanen Umgebungen, wo Menschen und Fahrzeuge auf engem Raum miteinander interagieren. Viele dieser Interaktionen erfolgen non-verbal, beispielsweise durch Augenkontakt oder Handzeichen, weshalb eine präzise und robuste Fußgängerprädiktion daher für automatisierte Fahrzeuge von besonderer Bedeutung ist. Im Rahmen dieses Projektes wurden in einer Voranalyse verschiedene Prädiktionsmodelle und relevante Aspekte für eine präzise Bewegungsvorhersage untersucht. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde eine eigene Methode entwickelt, die speziell auf urbane Szenarien mit einer Vielzahl von Fußgängerinnen und Fußgängern zugeschnitten ist. Sie ermöglicht nicht nur eine zuverlässige Unterscheidung zwischen quasi-statischen und dynamischen Bewegungen, sondern erfasst auch Sonderfälle wie das sogenannte „Jaywalking“.

Während solche Algorithmen häufig nur auf öffentlichen Datensätzen getestet werden, konnten wir das entwickelte Modell erfolgreich auf das Versuchsfahrzeug EDGAR übertragen und in Kombination mit der Objektdetektion testen. Beim Wiesn-Reallabor stellte sich die Methode einer besonderen Herausforderung: In besonders dichten Fußgängerinnen- und Fußgängerströmen mussten mehr als 100 Personen innerhalb von weniger als 100 Millisekunden prädiziert werden – eine Aufgabe, die dank vorangegangener Simulationstests reibungslos funktionierte. Im Ergebnis konnte daher ein präziser, robuster und skalierbarer Algorithmus entwickelt werden, der zuverlässig auf autonomen Systemen eingesetzt werden kann.

### Bewegungsplanung

Die Bewegungsplanung ist verantwortlich für die Eigenbewegung des Fahrzeugs. Sie nutzt dazu das Umfeldmodell, das prädizierte Verhalten anderer Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer, sowie den aktuellen Zustand des eigenen Fahrzeugs. Dabei wird kontinuierlich die Trajektorie des Fahrzeugs berechnet, um eine sichere, komfortable und verkehrsregelkonforme Bewegung zu gewährleisten. Die Bewegungsplanung stand aufgrund der extremen Bedingungen des Szenarios vor besonderen Herausforderungen: Neben den allgemeinen Schwierigkeiten einer urbanen Umgebung in der Münchner Innenstadt – wie Mischverkehr, Engstellen durch parkende Fahrzeuge, schwer einsehbare Kreuzungen und zahlreiche Verkehrsregeln – erhöhten die Bedingungen während des Oktoberfestes die Komplexität der Bewegungsplanung erheblich. Insbesondere das deutlich gesteigerte Verkehrsaufkommen, sowie das unstrukturierte, erratische und teils regelwidrige Verhalten anderer Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer erschwerten die Planung zusätzlich.

Um diese Komplexität bewältigen zu können teilt unsere Software die Planung auf verschiedene Ebenen auf. Die Missionsplanung findet eine Route vom Start zum Ziel. Die Verhaltensplanung bestimmt Manöverentscheidungen des Fahrzeugs (z.B. Ausweichen parkender Fahrzeuge oder Spurwechsel) und berücksichtigt dabei zusätzlich Verkehrsregeln, z.B. Rechts-Vor-Links, Fußgängerüberwege und Ampeln. Darauf basierend aktualisiert der lokale Planer in sehr kurzen Zeitabständen (< 100ms) die Fahrzeugtrajektorie und stellt sicher, dass diese in der dynamisch veränderlichen Umgebung kollisionsfrei und komfortabel ist. Das Ziel bei der Entwicklung der Planungsmodule war es, die Anforderung an die Sicherheit der geplanten Bewegung zu erfüllen und zugleich ein überaus konservatives Fahrverhalten zu vermeiden. Als Sicherheitsfunktion wurde eine Bremsung (ggf. in den Stillstand) entlang des geplanten Pfades verwendet, die z.B. bei unvorhergesehenem oder fehlerhaftem Verhalten anderer Teilnehmerinnen und Teilnehmer auslöst wurde. Um auch in sehr engen Bereichen (z.B. bei geparkten Fahrzeugen) ein hohes Sicherheitsgefühl zu vermitteln wurde eine distanzadaptive Geschwindigkeitsplanung verwendet, die in Engstellen zu einem vorsichtigeren Fahrverhalten durch Reduktion der Geschwindigkeit führt.

### Teleoperation

Durch das hochautomatisierte Fahren ist es möglich, viele komplexe Szenarien erfolgreich zu bewältigen. Dennoch gibt es Situationen, in denen das Fahrzeug selbst keine Lösung für die aktuelle Verkehrssituation findet und in den sicheren Stillstand gelangt. Beispielsweise kann das Fahrzeug die Handzeichen einer Polizistin oder eines Polizisten, die/der den Verkehr einer Kreuzung regelt, nicht interpretieren. Oder das Fahrzeug kann die Entscheidung, eine durchgezogene Linie zu überfahren, nicht ausreichend sicher treffen. Das Fahrzeug befindet sich in einem Zustand, der die Weiterfahrt verhindert. In diesen und weiteren Fällen kann ein menschlicher Operator das automatisierte Fahrzeug aus der Ferne bei der Entscheidungsfindung unterstützen oder temporär die Fahraufgabe auch komplett übernehmen. Im Rahmen des "Wiesn Shuttle"-Projekts wurde eine Leitzentrale entwickelt, die das Fahrzeug im Realbetrieb unterstützt. Für diesen Anwendungsfall wurde die Software der Leitzentrale mit der Software-Architektur des automatisierten Fahrzeugs verbunden. Diese Integration für den Realbetrieb stellt eine Neuerung dar, die durch das "Wies'n Shuttle"-Projekt ermöglicht wurde.

Um dem komplexen und unstrukturierten Szenario des Oktoberfestes gerecht zu werden, wurde ein alternatives Steuerungskonzept die sogenannte Trajektoriensteuerung entwickelt und umgesetzt. Gegenüber der herkömmlichen direkten (Fern-)Steuerung wird hier der Operator entlastet und die Umgebungswahrnehmung durch zusätzliche Informationen, wie Kartenmaterial und erkannte Objekte, gesteigert. Somit wird die Zuverlässigkeit des fahrerlosen Mobilitätssystems und die Sicherheit während der Teleoperation im realen Einsatzfall erhöht.

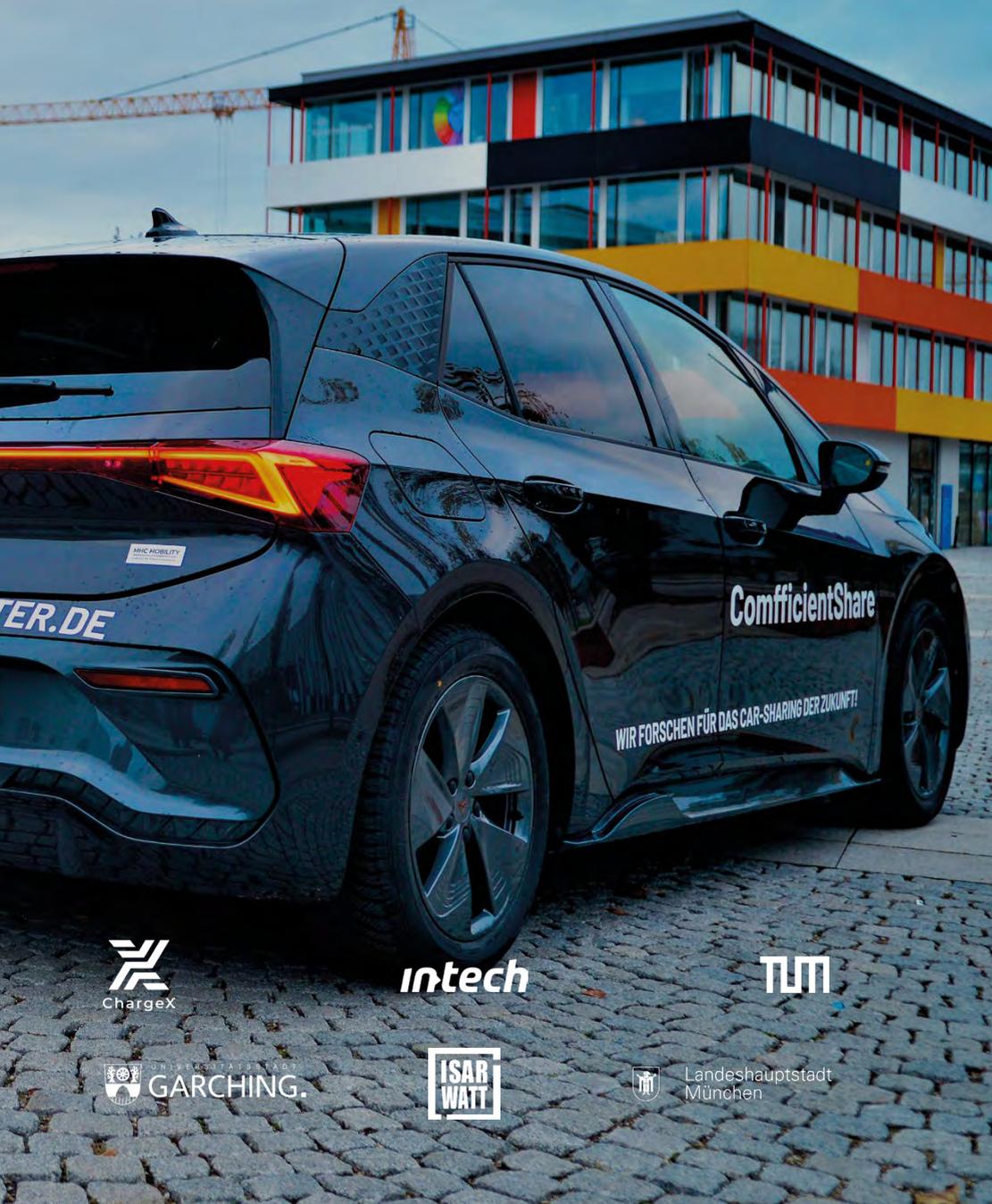
Um dieses und weitere Konzepte bereits im Vorfeld zu erproben, fand die Evaluation in einer eigens entwickelten Simulation statt, welche einen digitalen Zwilling des Versuchsfahrzeugs EDGAR darstellt und die Sensorik in Echtzeit simuliert. Somit konnte die Interaktion der Leitwarte mit dem Fahrzeug umfassend getestet und bewertet werden, bevor sie schlussendlich auf der Wies'n zum Einsatz kam.

Das Wiesn-Shuttle wurde am 25. September von prominenten Vertreterinnen und Vertretern aus Politik und Wissenschaft getestet. Zu den geladenen Testfahrgästen zählten Bayerns Wissenschaftsminister Markus Blume, Münchens Oberbürgermeister Dieter Reiter, TUM-Präsident Prof. Thomas F. Hofmann und der Münchner Wirtschaftsreferent Clemens Baumgärtner. Alle zeigten sich beeindruckt von der Technologie. Das Projekt stieß dabei auf breite Zustimmung und wurde als wichtiger Schritt in Richtung einer zukunftsfähigen, automatisierten Mobilität angesehen.

Prof. Hofmann lobte das Shuttle als Beispiel für die Verbindung von Tradition und Zukunft, das den Innovationsgeist und die Spitzenforschung Münchens sichtbar mache. Minister Blume hob hervor, dass das Wiesn-Shuttle eine wegweisende Entwicklung des TUM-Teams sei, die zeige, wie autonomes Fahren im schwierigen Stadtverkehr erfolgreich erprobt werden könne. "Wer es hier schafft, rund um die Wiesn, der schafft es überall auf der Welt", so Blume. Zu guter Letzt betonte Oberbürgermeister Reiter die praktischen Vorteile eines automatisierten ÖPNV, der Personalengpässe ausgleichen und die Sicherheit erhöhen könnte.

# ComfficientShare

Komfortables und effizientes  
Elektrofahrzeug- und Ladepunkt-  
Sharing für städtische Wohnviertel



## Ziele

Das Projekt ComfficientShare setzt an dieser Stelle an und erprobt ein neuartiges Carsharing Konzept, das sich aufgrund der Stationierung der Flotte direkt am Wohnstandort und einer geschlossenen Nutzerinnen- und Nutzergruppe durch einen hohen Nutzungskomfort auszeichnet und gleichzeitig den Bestand privater Fahrzeuge reduziert. Dabei kommt eine elektrifizierte Flotte zum Einsatz und somit werden auch Aspekte der Elektrifizierung von Wohnstandorten wie der Anzahl benötigter Ladepunkte und -leistung und der benötigten Netzanschlussleistung untersucht. Darüber hinaus soll das Projekt Ergebnisse im Hinblick auf Kostenreduktionspotenziale und eine erhöhte Netzverträglichkeit des Sharing-Standorts durch eine energetische Integration der Sharingflotte in das lokale Netz durch optimierte Ladestrategien und bidirektionales Laden liefern. Diese, mit der Elektrifizierung der Carsharingflotte einhergehenden Potenziale sollen im Projekt quantifiziert werden und entsprechende Antworten für die Errichtung der Ladeinfrastruktur abgeleitet werden.

Studien ergeben, dass das private Auto in etwa 95% der Zeit ungenutzt steht. Durch das Teilen und die damit verbundene effizientere Nutzung dieses Verkehrsmittels im Carsharing kann ein wertvoller Beitrag zur Verkehrswende geschaffen werden.

Auf dem Markt befindliche Carsharinglösungen sind hierbei dem stationsbasierten oder freefloating Carsharing zuzuordnen. Ersteres ist nach wie vor eher ein Nischenprodukt in der Mobilitätslandschaft, während zweiteres Studien zufolge eher als zusätzliches Angebot verstanden wird, und somit keinen Einfluss auf die Anzahl Pkw im Privatbesitz hat.



## Meilensteine

Das Projekt ist rund um eine Reallaborphase von insgesamt 18 Monaten strukturiert. Dabei wurde zuerst basierend auf einem Anforderungskatalog und der Teilnahmebereitschaft möglicher Nutzerinnen und Nutzer, die über einen privaten Pkw verfügen, mögliche Reallaborstandorte in der Metropolregion München identifiziert und ein Standort im Münchner Bezirk Nymphenburg für die Umsetzung des Projekts ausgewählt. Die nun folgende Reallaborphase wurde in drei Phasen unterteilt:

In einem ersten, etwa dreimonatigen Abschnitt wurde das Mobilitätsverhalten mit dem privaten Pkw der interessierten Bewohnerinnen und Bewohner des Standortes mittels Datenlogger aufgezeichnet sowie Umfragen zu soziodemografischen Eigenschaften der Teilnehmerinnen- und Teilnehmergruppe durchgeführt und ausgewertet.

Basierend auf diesen Ergebnissen und den aufgezeichneten Mobilitätsprofilen wurden fünf Haushalte ausgewählt, die in der zweiten Projektphase für die Dauer von etwa sechs Monaten ihren privaten, konventionell angetriebenen Pkw durch einen durch das Projekt in der zentralgelegenen Tiefgarage des Reallaborstandortes zur Verfügung gestellten, elektrifizierten Pkw ersetzt. Dabei wurde eine etwaige Änderung des Mobilitätsverhaltens durch eine geänderte Antriebsart untersucht.

Für die finale, neun-monatige Carsharingphase wurden zwei weitere Haushalte zu den bereits in der vorherigen Phase ausgewählten Haushalten in die Nutzergruppe aufgenommen. Anzahl und Auswahl dieser Haushalte erfolgte basierend auf deren Mobilitätsprofil mit dem Ziel einer hohen Auslastung der Flotte, jedoch unter der Bedingung alle nachgefragten Fahrten erfüllen und somit einen möglichst hohen Komfort anbieten zu können. Somit wurden die fünf Fahrzeuge von 13 Fahrerinnen und Fahrern aus sieben Haushalten geteilt genutzt. Die dabei geltenden Regeln wurden mit den Teilnehmenden gemeinsam im Austausch erarbeitet. Die Kommunikation der Teilnehmenden untereinander erfolgte mit einer gängigen Messenger App. Begleitet wurden alle drei Versuchsabschnitte durch regelmäßige Umfragen unter den Teilnehmenden sowie der Erhebung von

Mobilitäts- und Ladedaten, anhand derer das Reallabor im Nachgang ausgewertet wurde. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden Szenarien für die Skalierung entwickelt und deren Auswirkungen auf das Stromnetz und den privaten Pkw-Besitz in der Metropolregion München untersucht.

**Ergebnisse**

Aus dem quartiersbasierten, elektrifizierten Carsharingmodells lassen sich vielfältige Ergebnisse für die Zukunft der Mobilität ableiten. Als Kernergebnis lässt sich festhalten, dass das Modell eines Carsharing-Systems mit geschlossener Nutzerinnen- und Nutzergruppe, deren Mitglieder zuvor untereinander nicht bekannt waren, sich wie geplant mit vollem Erfolg umsetzen ließ. Der Ansatz wurde von den Probandinnen und Probanden im Projekt sehr positiv bewertet. Vor allem die soziale Komponente des Carsharing-Ansatzes ist hierbei zu betonen. Durch das niederschwellige Angebot einer Kommunikationsplattform für die Nutzerinnen und Nutzer der Fahrzeugflotte gestaltete sich die Kommunikation untereinander einfach, was die auftretenden Probleme (wie z.B. verspätete Fahrzeugrückgabe) verhindern oder in einem frühen Stadium lösen konnte.

**Die untereinander bekannte Nutzerinnen- und Nutzergruppe führte auch zu einer gefühlten sozialen Kontrolle der Nutzerinnen und Nutzer, sodass im Gegensatz zu Carsharing-Modellen mit einer offenen Nutzerinnen- und Nutzergruppe kaum Probleme mit Schäden oder Verschmutzungen an Fahrzeugen auftraten.**

Es wurde festgestellt, dass lange Fahrten sowohl während der Privatnutzungs- als auch Carsharingphase häufig mit dem privaten Fahrzeug durchgeführt wurden. Das liegt zum einen an der begrenzten Reichweite der E-Fahrzeuge als auch an der Größe der Fahrzeuge und dem daraus resultierenden geringeren Kofferraumvolumen sowie der fehlenden Möglichkeit Fahrradträger oder Dachboxen an den Fahrzeugen anzubringen. Diese drei Punkte wurden von den Probandinnen und Probanden im Projekt negativ bewertet und sind darüber hinaus bei langen Strecken, die häufig Urlaubsfahrten sind, von entscheidender Bedeutung. Für zukünftige Projekte in diesem Bereich egal ob in wissenschaftlicher oder kommerzieller Ausrichtung ist somit das Anbieten einer diversen Flotte für unterschiedliche Anwendungszwecke essenziell. Trotzdem konnte bei den bereitgestellten Fahrzeugen eine Auslastungsrate von 40% erreicht werden.

**Trotz Pendlerinnen und Pendlern im Kreis der Teilnehmenden haben in 99% der Zeit fünf, statt der ursprünglichen neun privaten Fahrzeuge ausgereicht.**

Darüber hinaus konnte aus energetischer Sicht gezeigt werden, dass die Integration der Fahrzeuge in das lokale Stromnetz (ohne V2G) in Kombination mit einem dynamischen Stromtarif am gesamten Standort zu einer Reduktion der Kosten für elektrische Energie von bis zu 38% führen kann. Die dabei verstärkt auftretenden Lastspitzen von bis zu 55 kW können durch Anwendung einer Registrierenden Leistungsmessung (RLM) mit in Deutschland üblichen Preisen um bis zu 81 % reduziert werden, wobei die Energiekosten um < 8 % ansteigen.



Ster-packer-Max  
et-Peter Innovationsfeld  
MRH-MHz

01

InterLog

# InterLog

Integrierte Konzepte für nachhaltige und flexible urbane Logistiknetzwerke

## Ziele

Das Projekt InterLog analysiert nachhaltige und flexible urbane Logistiknetzwerke der letzten Meile von der Planung bis zur Evaluierung in vier Arbeitspaketen (AP): Ziel von AP1 ist die Entwicklung der entsprechenden Geschäftsmodelle und Bewertungsmethoden. Bei AP2 liegt der Fokus auf der Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems zur Standortplanung innerstädtischer Mikrodepots sowie der Transportwege. AP3 hat die Konzeption der Mikrodepots zum Ziel als Schnittstelle zwischen erster und zweiter Distributionsstufe. AP4 evaluiert die Konzepte in der Praxis mit einem Reallabor und stellt hierbei die erhobenen Daten zur Unterstützung der anderen Arbeitspakete zur Verfügung.



GEBHARDT



**Meilensteine**

Die vier Arbeitspakete waren in engem monatlichem Austausch. Im März 2023 und März 2024 fanden Workshops an der Technischen Universität München mit allen Projektpartnern zur Vorstellung der Arbeitsstände und Diskussion des weiteren Vorgehens statt. Das Projekt wurde außerdem bei folgenden Veranstaltungen vorgestellt und diskutiert: Auftaktveranstaltung der AQT-Sommerinterventionen (06/2023), IAA (09/2023), SAP&TUM Collaboration Day (11/2023), MCube-Jahresauftaktveranstaltung (01/2024), TUM Sustainability Day (06/2024), Ringvorlesung "Zukunft der Mobilität" des open-LAB Urban Mobility (07/2024), „Sustainable Micromobility“ vom TUM Think Tank in Kooperation mit Global Shapers Munich des World Economic Forum (09/2024). Eine gemeinsame Veröffentlichung zu den Ergebnissen ist in Arbeit (Bloemer, A., J. Fottner, M. Langer, R. Moeckel, M. Schiffer, B. Ulusoy Doreli & M. Wünnenberg, „MCube InterLog: Vernetzte Logistik für die Stadt von morgen“, Arbeitspapier).



**AP1**

In enger Abstimmung mit den anderen Arbeitspaketen wurden mögliche Geschäftsmodelle systematisiert und eine Bewertungsmethodik entworfen. Parallel dazu wurde ein Digitaler Zwilling in der Programmiersprache Python entwickelt. Mit diesem Digitalen Zwilling wurden verschiedene Geschäftsmodelle für den Raum der Stadt München simuliert in Abhängigkeit von unter anderem Populationsdichte, Anzahl und Positionierung der Mikrodepots, und unterschiedlicher Ausprägung der Kostenparameter.

**AP2**

Die Algorithmanforderungen wurden unter Einbeziehung aller Projektpartnerinnen und -partner gesammelt, ein entsprechendes Anforderungsprofil wurde in ein mathematisches Modell überführt. Dieses erweitert das zweistufige Location Routing Problem um die Auswahl geeigneter Mikrodepotstandorte sowie die Routenplanung der ersten und zweiten Stufe, um Interdependenzen zwischen Standorten und Lieferwegen zu berücksichtigen. Für größere Instanzen wurde ein Metaheuristik-basierter Lösungsansatz entwickelt. Darüber hinaus wurde eine Anwendung entwickelt und evaluiert, welche die Neuanpassung der Routen bei dynamischen Änderungen ermöglicht. Eine grafische Benutzeroberfläche wurde zur Visualisierung der Ergebnisse entworfen. Abschließend wurde der entwickelte Algorithmus mit Daten aus AP4 getestet.

**AP3**

Durch eine umfassende Analyse wurden die möglichen Ausprägungen des Mikrodepots entwickelt und mittels Expertinnen- und Expertenbefragungen auf ihre Plausibilität überprüft. Daraufhin wurden im Austausch mit den anderen Arbeitspaketen die Anforderungen an das Mikrodepot beschrieben, woran sich eine Analyse zur Dimensionierung der Depots anschloss. Danach wurde ein Modell zur ereignisdiskreten Ablaufsimulation genutzt, um Varianten der Ausgestaltung unter Annahme verschiedener Beanspruchungszustände quantitativ zu überprüfen und die Erfüllung der Zielsetzungen aus dem Lastenheft zu bestätigen.

**AP4**

Zu Beginn des Projekts konzentrierte sich AP4 auf die Suche nach geeigneten Kooperationspartnern und die Erhebung von Daten zur Kalibrierung des FOCA-Modells. Die Zusammenarbeit mit großen Paketdienstleistern erwies sich aufgrund von Datenschutzbedenken als schwierig, weshalb alternative Partnerinnen und Partner gesucht wurden. Schließlich wurde eine Kooperation mit dem Logistik-Start-up B4B initiiert, das Lastenräder zur Stückgutauslieferung einsetzt. Hier wurden umfangreiche Daten zur Routenwahl, Lieferzeiten und Gewichtsverteilung der transportierten Güter gesammelt.

## Ergebnisse

## AP1

Die Systematisierung möglicher Geschäftsmodelle fügt die verschiedenen Optionen für die Logistik der letzten Meile in einem Rahmenkonzept zusammen. Diese erlaubt eine flexible Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten und die zeitlichen Rahmenbedingungen. Die erstellte Bewertungsmethodik gibt ein Mengen-Zeit-Gerüst vor, welches über eine Prozesskostenrechnung in Kosten, Emissionen und soziale Auswirkungen übertragen wird. Der Digitale Zwilling beinhaltet im Backend die Simulationslogik, während in einem ausgearbeiteten Frontend zur vereinfachten Interaktion eine graphische Übersicht erstellt wurde. Die Kombination aus der Systematisierung mit dem Digitalen Zwilling stellt nicht nur einen relevanten Beitrag zur Forschungslandschaft dar, sondern ermöglicht Unternehmen auch die strukturierte Evaluation ihrer Geschäftsmodelle. Ein wissenschaftlicher Vortrag wurde 2023 beim International Scientific Symposium on Logistics gehalten. Zusammen mit weiteren Projektpartnerinnen und -partnern wurde außerdem ein wissenschaftliches Manuskript publiziert: Fontaine, P., S. Minner, M. Schiffer. 2023. "Smart and Sustainable City Logistics: Design, Consolidation, and Regulation". *European Journal of Operational Research*, 307 (3), 1071-1084. Ein weiteres Manuskript zur Verwertung der Ergebnisse ist in Arbeit (Bloemer, A. & Minner, S., „An Economic and Ecological Framework for Assessing Urban Last-Mile Deliveries“, Arbeitspapier).

## AP2

Der entwickelte Metaheuristik-Algorithmus kann komplexe Szenarien für die Citylogistik effizient lösen. Das Endprodukt ist ein Softwarepaket, das verschiedene Eingabeparameter aus anderen Arbeitspaketen verarbeitet. Der entwickelte Algorithmus ist in der Lage, innerhalb von weniger als einer Stunde einen Verteilungsplan für 2000 Kundinnen und Kunden zu generieren. Basierend auf den von AP4 erhobenen Daten konnten Empfehlungen für Mikro-Depot-Standorte und Routing-Strategien im Kontext der integrierten Stadtlogistik abgeleitet werden. Die Methodologie und die Ergebnisse wurden auf drei Konferenzen vorgestellt; ein Manuskript zur Veröffentlichung ist in Arbeit (Ulusoy Dereli, B., G. Hiermann & M. Schiffer. „Solving Large-Scale Two-Echelon Location Routing Problems in City Logistics“, Arbeitspapier).

## AP3

Aus den Arbeiten folgte ein vollständig ausgearbeiteter Entwurf für ein urbanes Mikrodepot, welches in AP4 zu testen war. Anstelle des ursprünglich geplanten physischen Reallabors wurden die Ergebnisse der Expertinnen- und Experteninterviews herangezogen und mit den Outputs der ereignisdiskreten Ablaufsimulation konsolidiert. Als Ergebnis entstand eine Zusammenfassung aller wichtigen Gestaltungsparameter und Empfehlungen für deren Ausprägungen bei der Auslegung von Mikrodepots. Diese Resultate wurden auch in Form eines Konferenzbeitrags der wissenschaftlichen Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht: Wuenenber, M., C. Yang, J. Fottner. 2023. „Urban Consolidation Centers – an Analysis of Internal Processes Using Discrete Event Process Simulation“, Fifteenth International Conference on Advances in System Simulation 2023 in Valencia. Daneben wurde in der Zusammenarbeit mit Gebhardt Logistic Solutions ein dazu passendes Konzept für einen modularen Mehrweg-Rollbehälter geplant. Im Vordergrund stand dessen Auslegung als geräuscharmer Transportwagen, was durch eine experimentelle Überprüfung im städtischen Raum bewertet wurde. Ein entsprechender Prototyp wurde entwickelt.

## AP4

Die erhobenen Daten zeigen, dass der Einsatz von Lastenrädern im urbanen Güterverkehr Emissionseinsparungen ermöglicht. Im Vergleich zur herkömmlichen Zustellung mit Transportern konnten die CO<sub>2</sub>-Emissionen um etwa ein Viertel gesenkt werden. Weitere Einsparungen konnten bei NO<sub>x</sub>-, PM- und Lärm-Emissionen festgestellt werden. Zudem wird von einer höheren Flächeneffizienz und niedrigeren Stresslevels für das Lieferpersonal ausgegangen. Vor allem wurde festgestellt, dass Lastenräder flexibel einsetzbar sind, da sie nicht nur für die Zustellung von Paketen, sondern auch für den Transport von größeren Stückgütern verwendet werden konnten. Auf Grund der unvorhersehbaren Veränderungen im Reallabor konnten keine zusätzlichen Erkenntnisse zur Bewertung der Geschäftsmodelle (AP1) und der intralogistischen Planung (AP3) gewonnen werden. Die Erhobenen Daten halfen jedoch bei der Standort- und Lieferrouutenplanung in AP2. Die Ergebnisse aus AP4 tragen dazu bei, die städtische Logistik effizienter und umweltfreundlicher zu gestalten und bilden eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung nachhaltiger Logistikkonzepte. Eine wissenschaftliche Veröffentlichung wird angestrebt.

**Zusammen** ergeben die vier Arbeitspakete eine Gesamtanalyse von zweistufiger urbaner Logistik. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für weitergehende Forschung und können zur Erprobung der Konzepte in weiteren urbanen Kontexten herangezogen werden.



# Testkreuzung

## Für urbanes, automatisiertes und vernetztes Fahren der Zukunft

### Ziele

Ziel des Projekts ist der Aufbau und dauerhafte Betrieb eines (separierten & nicht StVO-gebundenen) Testfeldes für automatisiertes und vernetztes Fahren, bestehend aus einer Testkreuzung inklusive der benötigten kreuzungsseitigen Infrastruktur wie Verkehrsflächen, Lichtsignalanlage, Sensorik sowie "Vehicle to Everything" (V2X)-Kommunikationsinfrastruktur, auf welcher verschiedenste Versuche zum automatisierten Fahren vor allem in der Interaktion mit VRU (Vulnerable Road User) wie Fahrradfahrerinnen und Fahrradfahrern sowie Fußgängerinnen und Fußgängern durchgeführt werden. Die Testkreuzung dient dazu, Automatisierte und Vernetzte Fahrzeuge (AVF) in einem abgesicherten Umfeld testen, validieren sowie zertifizieren (zusammen mit dem assoziierten Partner TÜV Süd) zu können, bevor die entwickelten Fahrzeugsteuerungs-Algorithmen im realen Straßenverkehr evaluiert und erprobt werden. Zum Einsatz kommen hier Autonome Fahrzeuge der TUM sowie der Projektpartner Hochschule Augsburg (HSA) und EasyMile. Besonderer Fokus liegt dabei auf der Vernetzung, Kommunikation und Interaktion mit der Verkehrsinfrastruktur sowie den "Vulnerable Road Usern". Die Testkreuzung ermöglicht durch zahlreiche Schnittstellen zu anderen Vorhaben eine starke Vernetzung und Integration innerhalb des MCube Clusters und ist zusätzlich eine fördernde Plattform für vernetzte interdisziplinäre Forschung an der TUM, die auf den

Erfahrungen bereits existierender Kreuzungen wie beispielsweise dem Digitalen Knoten 4.0 Braunschweig oder den Intelligenten Knotenpunkt im Forschungsprojekt TEMPUS (Verbindung über assoziierten Partner Landeshauptstadt München (LHM)) aufbaut.

Die zentrale Forschungsfrage ist hierbei die Untersuchung der Interaktion und Kommunikation zwischen Automatisierten und Vernetzten Fahrzeuge, Infrastruktur und Vulnerable Road User durch Bereitstellung eines optimal auf die Anforderungen der Partnerprojekte sowie der geplanten Versuche zugeschnittenen Testfeldes, auf welchem alle relevanten Erprobungen sowie auch Zertifizierungen zum automatisierten und vernetzten Fahren von den beteiligten MCube Partnerinnen und Partnern aber auch interessierten Gründerinnen und Gründern und Start-Ups (Einbindung über UnternehmerTUM) durchgeführt werden.

Die Testkreuzung steht als Testfeld für den MCube Cluster bereit. Auch der Zugang von externen Partnerinnen und Partnern zu den Versuchsanlagen ist möglich. Die Projektpartnerinnen und -partner werden im Rahmen des Vorhabens ausführliche technische Versuche mit den AVF der Partner im Bereich automatisierter Fahrfunktionen sowie vernetzter Infrastruktur erproben, um diese für den Realbetrieb vorzubereiten und eine Validierung und Zertifizierung auf den Weg zu bringen. Ebenfalls erfolgte ein starker Fokus auf die sichere und effiziente Auslegung der automatisierten Fahrfunktionen in Kooperation und Interaktion mit VRU. Die damit erzielten Projektergebnisse fließen in die kontinuierliche Weiterentwicklung der beteiligten Institutionen ein und wurden der Öffentlichkeit und Fachpublikum präsentiert.





### Meilensteine

Durch einen verspäteten Baubeginn der Testkreuzungs-Fläche kam es zu kleineren notwendigen Anpassungen der darauf basierenden Arbeitspakete. Dem wurde durch das Durchführen von Versuchen an alternativen Orten (wie beispielsweise am Technologiecampus der Hochschule Augsburg oder am Stammgelände der TUM) erfolgreich entgegengewirkt.

Im Gesamtprojekt wurden die Anforderungen des Projektkonsortiums sowie befragter Unternehmen, Forschungsinstituten und Start-Ups bzgl. der Testfeldgestaltung und des Nutzungskonzeptes erfasst. Ebenfalls wurden die Anforderungen von externen Stakeholdern abgeprüft und in das Nutzungskonzept integriert, so dass der Bau und das Nutzungskonzept zeitlich erfolgreich abgeschlossen werden konnten. Die Lichtsignalanlage inklusive Steuergerät, Road-Side Unit sowie Videodetektoren wurde bereits erfolgreich erprobt.

Im Rahmen des Projekts erfolgte der Aufbau eines Freespace-Planungsalgorithmus, um Trajektorien von VRUs wie Radfahrerinnen und Radfahrer auf der Fahrbahn zu generieren. Ebenfalls erfolgte die Implementierung eines um 13 Klassen erweiterten YoloP Kamera-Perception Algorithmus zur Erzeugung des Freespace sowie die Entwicklung eines Szenario-basierten Test-Frameworks (unter Nutzung der Open Drive-Karte) und die Durchführung von Testszenarien mit dem Freespace-Planer mittels des Szenario-basierten Test-Frameworks. Reale Versuche fanden mittels Einspielen der Straßenstruktur des Testfeldes durch die vorgegebenen Kartendaten statt und konnten die definierten Testszenarien konnten im realen durch Einspielen der Testfeldgeometrie durch die OpenDrive-Kartendaten durchgeführt werden. Es erfolgte die simulative und reale Evaluation des entwickelten Planungsalgorithmus sowie der physische Aufbau des TUM Testfahrzeugs EDGAR inklusive des Aufbaus des Softwarestacks für das Motion Planning. Tests des Motion Planners konnten bereits auf dem zugehörigen Hardware-in-the-Loop Simulatorprüfstand sowie auch in dem nicht-öffentlichen Straßenraum durchgeführt werden.



Ergänzend dazu wurden zahlreiche Tools (z. B. RoadRunner) zur Generierung von digitalen Karten (im Open Drive-Format) erprobt, die ein präzises Abbild des physischen Layouts des Testfeldes bieten, sowie zur Szenarien-Definition für eine virtuelle Vorab-Erprobung der Fahrzeugalgorithmen dienen. Die finale Festlegung von relevanten Layouts des Testfeldes sowie Szenarien, wurde damit abgeschlossen.

Interne Untersuchung der für das Testfeld benötigten X2X-Ausstattung entsprechend der Testbedürfnisse von EasyMile für die Softwareweiterentwicklung wurden ebenfalls abgeschlossen. In Zusammenarbeit mit den weiteren Projektpartnerinnen und -partnern wurden die Bestandteile einer ersten Beschaffung von X2X-Ausstattung definiert und entsprechend beschafft.

Die Evaluation wurde mittels Virtual Reality Versuchen bezüglich des subjektiven Sicherheitsempfindens von VRUs in der Interaktion mit AVFs durchgeführt.

Die Ergebnisse wurden in zahlreichen publikumswirksamen Veranstaltungen erfolgreich präsentiert und diskutiert wie beispielsweise IAA Mobility 2023, MCube Bürgerinnen- und Bürgerforum, Workshop "Verantwortungsvolle Reallabore" mit Vertretern des Mobilitätsreferats der Stadt München, Workshop „Chancen & Herausforderungen in Reallaboren und Mobilitätsexperimenten“, MCube Evaluationsworkshop, clusterinterner Datenhub, International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) in Bilbao, Interviews zum Thema „Governance and responsibility in the context of the datafication of urban mobility“, mobilTUM 2022 Konferenz in Singapur, Fachkongress „Auf dem Weg zur Vision Zero: Digitale Innovationen zum Schutz vulnerabler Verkehrsteilnehmer“ in München, Workshop „Accessible External Human-Machine Interfaces (eHMIs)“ auf der Fachkonferenz Mensch und Computer 2022 in Darmstadt, 102nd und 103rd Annual Meeting of the Transportation Research Board (TRBAM) in Washington D.C, International Symposium on Transportation Data & Modelling (ISTDM) in Ispra, Fachkongress „Forschung und Entwicklung in Bayern für eine nachhaltige Mobilität“ organisiert von der Bayerischen Forschungsallianz BayFor und den MCube Jahresversammlungen 2022, 2023 und 2024.

Ergebnisse

**Bereitstellung des Testfelds und Konzeption des Nutzungskonzeptes**

- Erprobung der technischen sowie sonstigen Testfeldausstattung am Stammgelände der TUM sowie am Forschungscampus der HS Augsburg.
- Die Anforderungen des Projektkonsortiums bzgl. des Nutzungskonzeptes wurden neben den Anforderungen von externen Stakeholdern erfasst und in das Nutzungskonzept integriert.

**Betrieb des Testfelds**

- Aufbau eines kleineren Testfelds am Technologiecampus der HS Augsburg, um eine alternative Testfläche zu nutzen.
- Laufende Beratung des Projektkonsortiums bzgl. Test-Equipment, Versuchsplanung sowie Versuchsdurchführung.
- Kontinuierliche Vernetzung des Projektkonsortiums (auch mit Dritten), um Kooperationen und einen laufenden inhaltlichen Austausch anzuregen (z.B. Kick-Off Event, monatliche Treffen des gesamten Projektkonsortiums, MCube Jahresveranstaltungen, regelmäßiger Austausch mit dem Innovationsnetzwerk „Bayern Innovativ“).
- Vertretung des Teilprojekts bei clusterinternen Veranstaltungen der MCube Integrations- und Innovationsprojekte (z.B. Workshop „Verantwortungsvolle Reallabore“, Workshop „Chancen & Herausforderungen in Reallaboren und Mobilitätsexperimente“, Workshop „Verstetigung von Mobilitätsexperimenten und Reallaboren“, Workshop „MCube Evaluationsworkshop“, Workshop „MCube Testkreuzung – Prozessevaluation“, Teilnahme an Interviews zum Thema „Governance and responsibility in the context of the datafication of urban mobility“, Teilnahme am MCube Bürgerinnen- und Bürgerforum).
- Bekanntmachung des Teilprojekts innerhalb der Startup- und Gründungszone.
- Einbindung von Startup-Bedürfnissen in die Testfeldgestaltung.
- Abstimmung und Koordination des Auftritts des Teilprojekts auf der IAA Mobility 2023 (Ausstellung verschiedener Exponate im Rahmen des MCube-Stands im „Citizen Lab“, Netzwerkveranstaltung zum Teilprojekt im Rahmen der IAA Mobility 2023).

**Use Case 1: Interaktion Automatisierter und Vernetzter Fahrzeuge mit Vulnerable Road User**

- Ausführliche Recherche zum Stand der Technik und Klassifizierung der identifizierten Literatur (Identifikation von bestehenden Forschungslücken und Einbindung dieser in die Versuchskonzeption).
- Aufbau einer Virtual Reality (VR) Umgebung zur Erprobung des Use Cases (aufgrund von Verzögerung der Bereitstellung des Testfeldes) und Durchführung von Probandenstudien zur Erfassung des subjektiven Sicherheitsempfindens von VRUs in Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen, Evaluation der VR-Versuche.

- Physischer Aufbau des TUM-Forschungsfahrzeugs EDGAR, Aufbau des Softwarestacks für das Motion Planning, erste Tests des Motion Planners auf dem zugehörigen Hardware-in-the-Loop Simulatorprüfstand und im Forschungsfahrzeug EDGAR auf nicht-öffentlichem TUM-Gelände, Evaluation des Motion Planners.
- Aufbau eines kleineren Testfelds am Technologiecampus der HS Augsburg.
- Aufbau eines Freespace-Planungsalgorithmus, um Trajektorien von VRUs auf der Fahrbahn zu generieren, Implementierung eines um 13 Klassen erweiterten YoloP Kamera-Perception Algorithmus zur Erzeugung des Freespaces, Aufbau des Testfelds in virtueller Umgebung mittels des Tools RoadRunner und Umwandlung der virtuellen Testfeld-Umgebung in ein OpenDrive-Kartenformat, Entwicklung eines szenario-basierten Testframeworks, Durchführung verschiedener Test-Szenarien im implementierten Testframework, Evaluation des entwickelten Planungsalgorithmus.
- Reale Versuche auf dem kleineren Testfeld auf dem Technologiecampus der HS Augsburg, Durchführung verschiedener Test-Szenarien, Evaluation des entwickelten Planungsalgorithmus.
- Dissemination der Ergebnisse im Rahmen verschiedener wissenschaftlicher Konferenzen und Publikationen.

**Use Case 2: X2X-Kommunikation**

- Ausführliche Recherche zum Stand der Technik und Klassifizierung der identifizierten Literatur (Identifikation von bestehenden Forschungslücken und Einbindung dieser in die Versuchskonzeption).
- Aufbau einer VR-Umgebung zur Erprobung des Use Cases und Durchführung von Probandenstudien zur Erfassung des subjektiven Sicherheitsempfindens von VRUs in Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen und unterschiedlichen V2X-Kommunikationskonzepten, Evaluation der VR-Versuche.
- Integration von V2V-Kommunikation im Softwarestack des Forschungsfahrzeugs EDGAR, Test der V2V-Kommunikation zwischen zwei automatisierten Fahrzeugen anhand eines Abstandsregelautomats.
- Dissemination der Ergebnisse im Rahmen verschiedener wissenschaftlicher Konferenzen und Publikationen.

**Use Case 3: Konzept zur Zertifizierung von automatisierten Fahrfunktionen**

- Ausführliche Recherche zum Stand der Technik und Klassifizierung der identifizierten Literatur (Identifikation von bestehenden Forschungslücken und Einbindung dieser in die Versuchskonzeption).
- Integration einer Verkehrsregelüberwachung in den Motion Planner des Forschungsfahrzeugs EDGAR.

# Mobilitätsoptionen entwickeln

Innovationsfeld 01

Wiesn Shuttle  
ComfficientShare  
InterLog  
Testkreuzung

Innovationsfeld 02

SASIM  
STEAM  
TrEx

Innovationsfeld 03

aqt  
MGeM  
BeneVit  
COLTOC

Integrationsprojekte

DatSim  
ReMGo  
SUE



# SASIM

## Eine Vollkosten-Perspektive auf den urbanen Verkehr

### Ziele

Die Vollkosten der Mobilität umfassen sowohl interne (persönliche) als auch externe (gesellschaftliche) Kosten. Das Mobilitätsverhalten wird stark von internen Kosten wie Reisezeit, monetären Kosten und Komfort geprägt, die für die Reisenden deutlich spürbar sind. Dagegen haben externe Kosten wie CO<sub>2</sub>-Emissionen, Unfallkosten oder Lärm weniger Einfluss auf persönliche Mobilitätsentscheidungen. Gleichzeitig werden Fixkosten (z. B. der Anschaffungspreis für ein Fahrzeug) kaum in Entscheidungen zur Verkehrsmittelwahl bei einzelnen Wegen einbezogen. Die tatsächlichen Kosten der Mobilität werden dementsprechend nicht vollständig berücksichtigt.

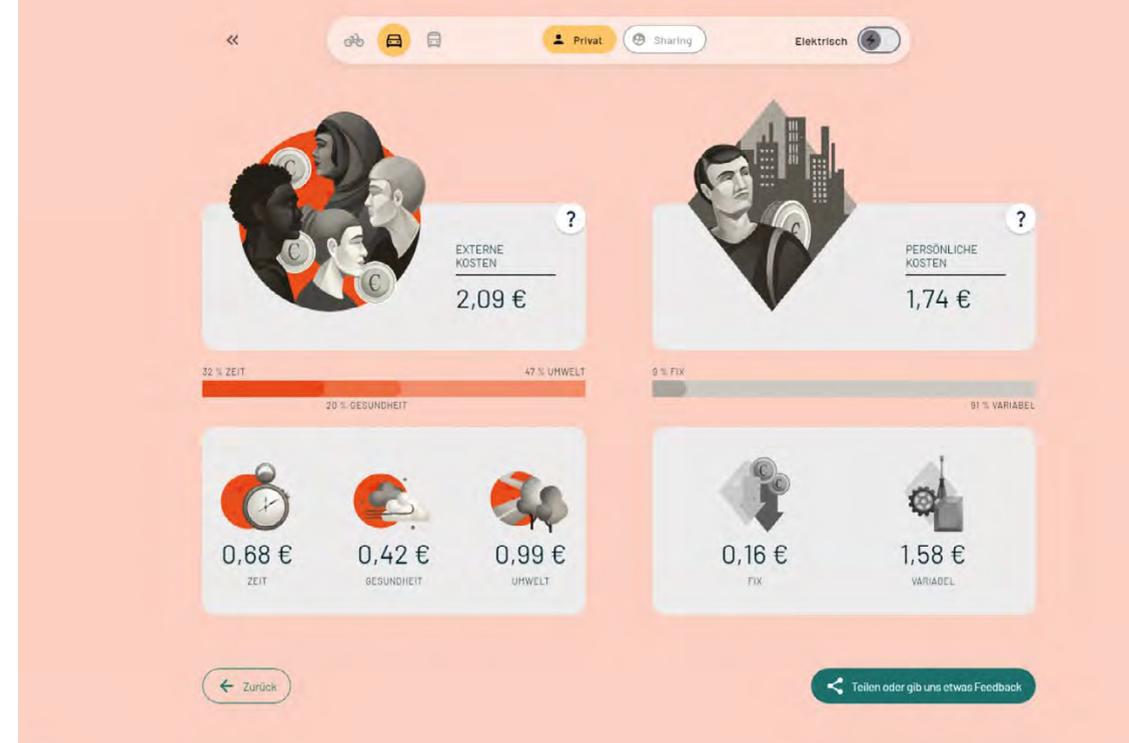
Transparenz in Bezug auf die realen Kosten der Mobilität ist die Grundlage für sachgemäße Entscheidungen, sowohl individuell als auch planerisch und politisch. Im Rahmen des Projekts SASIM wurden die Vollkosten der Mobilität anhand von wissenschaftlichen Methoden

und vorhandenen Datengrundlagen transparent aufbereitet, um durch Bewusstseinsbildung nachhaltiges Mobilitätsverhalten zu fördern.

Zentrale Aufgabe des Projekts war die Entwicklung eines Vollkostenrechners. Das Online-Tool soll einen Vergleich verschiedener Mobilitätsoptionen (z. B. ÖPNV, Pkw und Fahrrad) für individuelle Wegeanfragen der Nutzerinnen und Nutzer ermöglichen. Dadurch wird die Größenordnung der internen und externen Kosten deutlich. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für eine qualitative Bewertung der Nachhaltigkeit.

Zusätzlich sollten die Wirkungen des Vollkostenansatzes auf Erreichbarkeit und das Mobilitätsverhalten mithilfe von Modellierungsansätzen bewertet werden. Verschiedene Szenarien für eine Vollkosten-basiertes Bepreisung wurden entwickelt. Preisliche Anreize können das Mobilitätsverhalten beeinflussen, indem externe Kosten über Gebühren internalisiert werden, die von den Reisenden zu zahlen sind.

Der Vollkostenansatz bietet zahlreiche strategische Anwendungsfälle in Politik und Planung. Diese Potenziale wurden in SASIM identifiziert und konkretisiert.



**Meilensteine**

**Konzeption**  
(November 2021 – Juli 2022)

Zunächst wurden vergleichbare Tools recherchiert. Gestaltungsoptionen und Anforderungen für das SASIM-Tool wurden systematisch zusammengestellt sowie Anwendungsfälle und Zielgruppen konkretisiert. Zahlreiche Workshops dienten der Bestimmung der verschiedenen Elemente des Tools. Im Zuge der Konzeption entstand der „Mobi-Score“, ein Ampel-Label mit den Klassen A-E, zur Bewertung der Nachhaltigkeit verschiedener Mobilitätsoptionen. Als Ergebnis der Datensammlung und -aufbereitung entstanden Vollkostensätze für die Stadt München.

**Tool-Entwicklung**  
(von August 2022 – bis Oktober 2024):

Ein erster Prototyp des Online-Tools für individuelle Wegeanfragen wurde frühzeitig entwickelt. Dieser Prototyp wurde evaluiert und bis Projektende stetig weiterentwickelt. Die finale Version verfügt über ein nutzerfreundliches UX-Design, das stufenweise ein Verständnis für den Vollkostenansatz vermittelt. Die Weiterentwicklung des Tools fand im Rahmen mehrerer Workshops und regelmäßigen Meetings statt. Feedback wurde sowohl innerhalb als auch außerhalb des Projektteams gesammelt. Weitere Verbesserungen der Tool-Funktionalität werden voraussichtlich außerhalb des Projekts weitergeführt.

**Stated-Preference-Survey und Simulation**  
(Dezember 2022– Oktober 2024)

Auf Grundlage von projektinternen Workshops und der Fachliteratur wurde eine Verkehrsmittelwahl-Umfrage vorbereitet. Dieser Stated-Preference-Survey umfasste verschiedene Szenarien, die darauf abzielten, die Auswirkungen der Bepreisung von externen Kosten und des Mobi-Scores auf die Verkehrsmittelwahl in München zu quantifizieren. Im Anschluss wurden die Ergebnisse in eine Simulationsumgebung integriert. Basierend auf den Daten des Visum Modells der Stadt München wurde eine Simulationsumgebung in der Programmiersprache Julia entwickelt. Diese Simulationsumgebung besteht aus einem Discrete-Choice Multinomial Logit Model und einem Traffic Assignment Modul, die gemeinsam Schritt 3 und 4 des klassischen 4-Stufen-Verkehrsmodells abbilden. Die ersten beiden Schritte stammen direkt aus dem Visum Modell. Mit diesem Modell wurde das Verkehrsmittelwahlverhalten unter verschiedenen Voraussetzungen untersucht und die daraus resultierenden Netzeffekte evaluiert.

**Öffentlicher Launch des Tools**  
(Oktober 2024)

Der Link zum Online-Tool wurde über verschiedene Social Media Kanäle veröffentlicht. Der MVV hat eine Landingpage auf mvv-muenchen.de über das Förderprojekt SASIM mit einer Verlinkung zum Vollkostenrechner erstellt und veröffentlicht. Zusätzlich wurde in der MVV-App eine Message of the day veröffentlicht.

Ergebnisse

Zentraler Bestandteil des Projekts war die Ermittlung der Vollkostensätze für verschiedene Mobilitätsformen basierend auf relevanten Datengrundlagen. Die Kostensätze für die externen Kosten verschiedener Mobilitätsformen (in Euro pro Personenkilometer) für die Stadt München wurden in einer internationalen Zeitschrift veröffentlicht (siehe <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2022.101246>). Darüber hinaus wurden angepasste Kostensätze für unterschiedliche Raumtypen ermittelt. Diese wurden in Form eines Tools für eine Vollkosten-basierte Bewertung von Mobilitätsmaßnahmen nutzbar gemacht.

Das SASIM-Online-Tool ist unter dem folgenden Link frei verfügbar: <https://sasim.mcube-cluster.de/>.

Es ermöglicht einen Vergleich verschiedener Mobilitätsoptionen für beliebige Wege innerhalb Münchens. Durch prägnante Erklärungen wird den Nutzerinnen und Nutzern das Konzept der Vollkosten nähergebracht. Der Mobi-Score bewertet auf leicht verständliche Art und Weise die Nachhaltigkeit der Alternativen. Bei entsprechender Datenlage kann das Tool für jeden räumlichen Kontext angepasst werden.

Das oben beschriebene Online-Tool wurde in kleinerem Rahmen getestet. Es wurden diverse Abschlussarbeiten angefertigt, bspw. eine qualitative Umfrage zum Verständnis des Mobi-Scores und der ersten Version (Prototyp) des Online-Tools sowie eine experimentelle Umfrage, die die Akzeptanz einer potenziellen Einführung der Bepreisung von externen Kosten und ergänzende Effekte des Mobi-Scores misst. Zusätzlich wurde Vertrauen in die Politik erfragt.

Anhand von Discrete-Choice-Modellen zeigten die Ergebnisse des Stated-Preference-Survey, dass externe Kosten und der Mobi-Score die Entscheidungen der Reisenden hinsichtlich der Verkehrsmittelwahl mit wenigen Ausnahmen beeinflussen können. Die Evaluierung der Wirksamkeit des Mobi-Scores in einer realen Feldstudie ist im Zuge eines Folgeprojekts vorgesehen.

Außerdem wurde ein Konzeptpapier zur Methodik des Mobi-Scores veröffentlicht. In einem weiteren Projekt außerhalb von SASIM soll die Berechnung des Mobi-Scores verbessert und überarbeitet werden.

Das Projekt hat zahlreiche Anwendungsfälle für den Vollkostenansatz bzw. den Mobi-Score identifiziert, darunter Kommunikationsmaßnahmen in Richtung Bürgerinnen und Bürger, Einbindung in Routenplaner und Buchungsportale, Standortvergleiche hinsichtlich nachhaltiger Mobilität, Nachhaltigkeitsberichterstattung für Unternehmen oder Entscheidungsunterstützung für Politik und öffentliche Hand.

Die Projektergebnisse wurden über verschiedene Formate zugänglich gemacht und verbreitet, darunter wissenschaftliche Publikationen, Konferenzbeiträge, eine Innovationsempfehlung, Lehrformate sowie Social Media und Podcasts.





TUM

Stanglmeier  
Touristik

MANI

SW//M

BMW  
GROUP

# STEAM

## Semi-flexible Buslinien im ÖPNV der Zukunft

### Ziele

Das Projekt STEAM zielt darauf ab, ganzheitliche und nutzerzentrierte Nutzungskonzepte für den Personen- und Gütertransport zu entwickeln. Semi-flexible Buslinien durch Kleinbusse ergänzen den regulären Transport und sollen die Mobilitätsnachfrage in Haupt- und Nebenverkehrszeiten bedarfsgesteuert und effizient bedienen und gleichzeitig City-Logistik integrieren. Zu den Projektzielen gehören (1) die Konzeption und Simulation elektrifizierter Buslinien, (2) die Integration von städtischem Lieferverkehr, (3) die Entwicklung modularer Fahrzeugnutzungskonzepte und (4) die Validierung im Reallabor. Das Ziel ist nachhaltige Mobilitätslösungen für urbane Regionen zu schaffen und neue Geschäftsmodelle ermöglichen.

Ziel (1) Semi-flexible Buslinien kombinieren fixe Linienführungen mit nachfrageabhängiger Flexibilisierung, um die Effizienz des ÖPNV

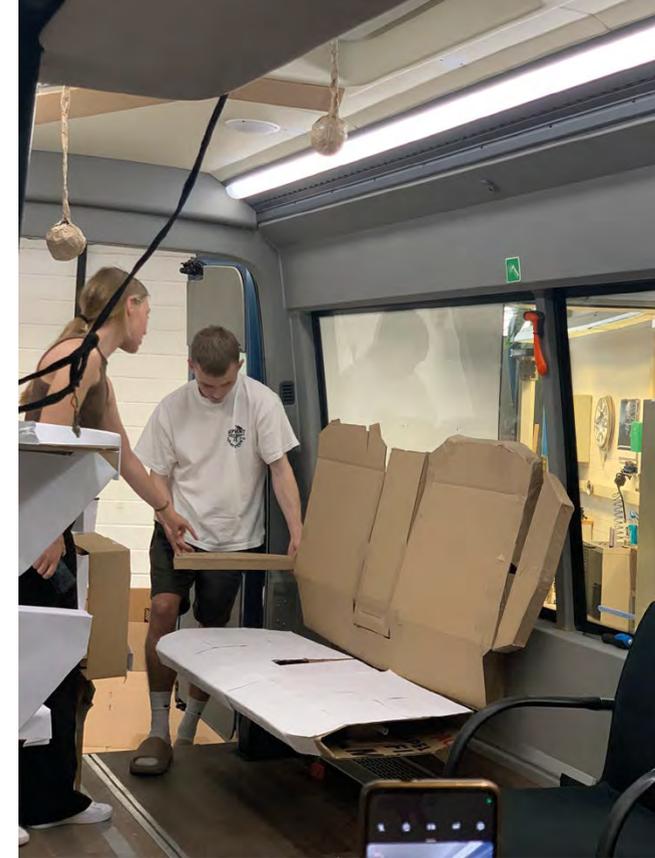
in städtischen Gebieten zu verbessern. Diese Konzepte adressieren örtlich oder zeitlich variierende Nachfragespitzen und bieten wirtschaftlichere Alternativen zu starren Linienplanungen. Das Projekt erforscht diese Lösungen und entwickelt ein Entscheidungsunterstützungssystem (EUS), um einen übertragbaren Handlungsleitfaden für semi-flexible Buslinien zu erstellen.

Ziel (2) Automatisierung, Digitalisierung und Vernetzung ermöglichen die betriebliche Kombination von Güter- und Personenverkehr, wodurch ungenutzte Kapazitäten im ÖPNV für Logistik genutzt werden können. Dies optimiert die Auslastung und verringert die Gesamtfahrleistung im städtischen Verkehr. Algorithmen und praktische Feldtests zeigen, wie linienbasierte ÖPNV-Systeme für Logistikzwecke synchronisiert werden können.

Ziel (3) Mit wachsender Automatisierung wird die PKW-Fahrerin/der PKW-Fahrer zunehmend zum Passagier, was neue Gestaltungsmöglichkeiten für Fahrzeugkonzepte und -innenräume schafft. Nutzerzentriertes Design hilft den Menschen in den Mittelpunkt zu stellen und Fahrzeuge direkt mit Services zu verknüpfen. Das zeigt das Potenzial für innovative Nutzungskonzepte und Geschäftsmodelle im Bereich der Mobilität.

**Meilensteine**

Zu Beginn des Projekts wurde eine Stakeholder- und Zielgruppenanalyse durchgeführt, um Partizipationsmöglichkeiten zu identifizieren (AP1). Das wurde durch Workshops und jährliche Veranstaltungen ergänzt und förderte die Einbindung wichtiger Akteure und die Verbreitung der Projektinhalte (AP1). Danach wurden relevante Daten erhoben und aufbereitet, um Konzepte und Modelle für semi-flexible Buslinien zu entwickeln (AP2). Daraus wurde ein Entscheidungsunterstützungssystem (EUS) entwickelt (AP2). Konzepte für kombinierte Betriebsmodelle von Personen- und Gütertransport wurden konzipiert, Daten aufbereitet und Betriebssimulationen durchgeführt (AP3). Parallel dazu wurde ein modulares Fahrzeugnutzungskonzept entwickelt, prototypisch in digitaler Form aufgebaut und getestet (AP4). Iterative Tests und die Integration von Teilsystemen zum Gesamtsystem wurden durchgeführt (AP4). Ein Reallabor wurde durchgeführt und einzelne Aspekte gezielt unter realen Umständen untersucht (AP5). Schließlich wurden Handlungsempfehlungen aus den Ergebnissen der Simulationen und des Reallabors abgeleitet (AP6). Das EUS wurde mit der Simulationsumgebung verknüpft, um Konzepte und Geschäftsmodelle zu entwickeln (AP6).



## Ergebnisse

## AP1

Zu Beginn des Projekts wurde eine umfassende Stakeholder-Analyse in der Metropolregion München durchgeführt. Die Bevölkerung wurde in spezifische Zielgruppen anhand der Sinus Milieus unterteilt, was als Grundlage für die detaillierten Personas, Customer Journeys sowie die Bewegungsabläufe im ÖPNV diente. Regelmäßige Treffen und Workshops förderten die Zusammenarbeit des Konsortiums. Fortlaufende Öffentlichkeitsarbeit, einschließlich der Präsentation eines VR-Prototyps auf der IAA Mobility 2023 (09/2023), ermöglichte es BürgerInnen, das Konzept zu erleben und Feedback zu geben. Internationale Zusammenarbeit, insbesondere mit dem Imperial College London, sowie wissenschaftliche Präsentationen erweiterten das Netzwerk.

## AP3

Eine umfassende Recherche führte zur Entwicklung von Integrationsszenarien für Passagier- und Frachttransport. Daten wurden aufbereitet und Simulationsumgebungen aufgebaut, um den linienbasierten und nachfragegesteuerten Betrieb zu testen. Betriebssimulationen wurden durchgeführt und die notwendigen Schnittstellen zur Kalibrierung und Validierung vorbereitet.



## AP2

Ein Dummy-Datensatz zu Nutzeranforderungen wurde analysiert, da rechtliche Verzögerungen den Erhalt sensibler Daten verzögerten. Das Stadtgebiet Neuperlach wurde als Betrachtungsgebiet ausgewählt. Verschiedene Betriebsmodelle für semi-flexible Buslinien wurden entwickelt und in Simulationen getestet. Die Integration von Pakettransport wurde ebenfalls berücksichtigt. Mathematische Optimierungsmodelle wurden erstellt, implementiert und auf internationalen Konferenzen diskutiert. Ein Prototyp zur Visualisierung der Forschungsergebnisse wurde entwickelt und finalisiert.



## AP4

Ein umfassendes Lastenheft für das zu entwickelnde Fahrzeugkonzept wurde erstellt, wobei als Input unter anderem Personas, Customer Journeys, Prozessmodellierung und der Package-Abgleich (inklusive Mock-Ups) einfließen. Mehrere Fahrzeugnutzungskonzepte wurden entwickelt und bewertet, bevor ein finales Konzept ausgewählt und detailliert wurde. Im Rahmen eines Co-Creation-Workshops sowie eines Prototyping-Workshops mit MAN Design wurden gemeinsam mit den Projektpartnern Nutzungskonzepte für den Innenraum entwickelt und prototypisch realisiert. Diese Konzepte wurden anschließend im MAN Testfahrzeug TGE integriert und getestet. Zudem wurde ein VR-Modell zur Visualisierung erstellt, das die Gesamtkonzepte durch eine simulierte Fahrt von der Münchner Freiheit zum Odeonsplatz erlebbar macht. Darüber hinaus wurde ein Sitzkonzept in Zusammenarbeit mit MAN Design und dem Package ausgearbeitet. Die Vorbereitung des Reallabors in Neuperlach, um den realen Betrieb des Systems zu testen, wurde ebenfalls in diesem Zusammenhang begonnen.

## AP6

Eine Datenpipeline-Architektur zur Integration von AP2 und AP3 wurde entwickelt. Die Optimierungsmodelle wurden weiterentwickelt, um die Integration von Pakettransport zu ermöglichen. Die Erkenntnisse des Reallabors wurden dokumentiert und fließen neben anderen Projektergebnissen in die Handlungsempfehlungen ein. Geschäftsmodelle zu verschiedenen Betriebsformen wurden untersucht und evaluiert.

## AP5

Prototypen wurden kontinuierlich mit potenziellen Fahrgästen getestet, um Feedback zu erhalten und die Konzepte zu optimieren. Aufgrund des limitierten Sachbudgets wurden größtenteils digitale Prototypen, u.a. VR-Prototyp entwickelt und getestet, mit dem Ziel die Neuerungen des Konzepts für Bürgerinnen und Bürger greifbar zu machen. Dieses wurde auf der IAA Mobility 2023 präsentiert. Das Interieur wurde teilweise umgesetzt und in den MAN TGE-Bus integriert, um als stationärer Prototyp zu dienen. Im Reallabor wurde in Zusammenarbeit mit der MVG vorrangig der Betrieb des semi-flexiblen Routings untersucht und die zugrundeliegenden Annahmen evaluiert. Das Innenraumkonzept wurde in digitaler Form vorgestellt und mit Bürgerinnen und Bürgern vor Ort im Kontrast zum konventionellen Innenraum diskutiert.

# TrEx

## Transformative Mobilitätsexperimente

### Ziele

Das Projekt TrEx hat zum Ziel, Experimente für nachhaltige und skalierbare Mobilitätstransformationen systematisch zu verstehen, partizipativ weiterzuentwickeln, praxisnah auszutesten und mit neuen Tools sowie Perspektiven zu stärken. In der sozialwissenschaftlichen Literatur zur Transformation soziotechnischer Systeme, wie der urbanen Mobilität, ist in den letzten Jahren ein Trend zum Experimentalismus zu beobachten – sowohl als Phänomen als auch als methodischer Ansatz. Daher zielt das Projekt darauf ab, Lernerfahrungen für urbane Resilienz, Prototypen für Bürgerinnen- und Bürger-orientierte Transformationsszenarien und die iterative Entwicklung von standardisierten Prozessen zur wirtschaftlich anschlussfähigen, verantwortungsvollen und sicheren Implementierung von Mobilitätsinnovationen zu schaffen. Neben der Prozessebene soll neue Mobilität auch lokal erfahrbar gemacht werden, beispielsweise in „Mini-Experimenten“. Für die F&E-Vorhaben des Clusters stellte TrEx Begleitforschung und Beratung bereit.



UNTERNEHMER  
TUM



GREEN CITY



Landeshauptstadt  
München



**Meilensteine**

TrEx beschäftigte sich im Verlauf des Vorhabens transdisziplinär mit drei für Mobilitätstransformationen relevanten Experiment-Arten:

1. TrEx fokussierte sich auf die Untersuchung von natürlichen Experimenten und Krisenerfahrungen. Auf Basis eines umfassenden Vergleichs europäischer Metropolen analysierte das Projekt Transformationspotenziale für nachhaltige Mobilität im Kontext von Unsicherheit, Krisen und Resilienz.

2. Im Projektverlauf widmete sich TrEx dem Bereich alltagsweltlicher (sozialer) Experimente, bei dem zukunftsgerichtete alternative Alltagswelten für eine langfristige sozialökologische Transformation modellhaft entwickelt wurden. Mithilfe von Fokusgruppen wurde Fachwissen erschlossen, und auf Basis von Bürgerinnen- und Bürger-Befragungen wurden experimentelle Alltagswelten ko-kreativ mit Anwohnerinnen und Anwohnern entwickelt, wodurch lebensweltliche Erfahrungen zugänglich gemacht wurden.

3. Im Bereich Innovationsexperimente und Reallabore verfolgten wir einen fallstudienbasierten Ansatz, bei dem aus der Untersuchung konkreter, geeigneter unternehmerischer Reallabore und MCube-Testversuche, kombiniert mit Expertinnen- und Experteninterviews, teilnehmenden Beobachtungen und Workshops, generalisierbare Governance-Einsichten zu Reallaboren gewonnen wurden. Diese wurden zurückgespiegelt, um standardisierte Prozesse zur wirtschaftlich anschlussfähigen, verantwortungsvollen und sicheren Implementierung von Experimentieransätzen zu entwickeln.

Das erste zentrale Ergebnis des Projekts liegt im umfangreichen Wissensaufbau zu experimentellen Ansätzen in der städtischen Mobilitätsinnovation und -planung sowie den Zukunftsperspektiven der städtischen Bevölkerung in München. Wir verglichen und untersuchten die Erfahrungen europäischer Städte, die vor Ausbruch der Coronapandemie – unter anderem aufgrund unterschiedlicher mobilitätspolitischer Herausforderungen, Schwerpunkte und Prioritäten – an verschiedenen Punkten der Mobilitätswende standen. Dadurch konnten wir aufzeigen, welche mobilitätspolitischen Konfigurationen zu mehr oder weniger Resilienz beitragen und wie unterschiedliche Städte den Mobilitätsherausforderungen der Pandemie begegneten. Ebenfalls auf europäischer Ebene analysierte das Projekt die Mobilitätsstrategien europäischer Städte, um die verschiedenen Rollen von Experimentieransätzen im städtischen Kontext zu verstehen und deren Transferpotenziale zu erkunden. Beide Erkenntnisse wurden in Form von Policy-Briefs veröffentlicht.

Ein weiteres Ergebnis des Wissensaufbaus durch experimentelle Methoden betrifft die Zukunftsvisionen der Bürgerinnen und Bürger in München. Angesichts aktueller Krisen und des Bedarfs an resilienter Mobilitätsplanung ermöglichte die Entwicklung alternativer Alltagswelten, das Alltagswissen der Bevölkerung zugänglich zu machen. Die starke Einbindung der Bürgerinnen und Bürger sorgte für plausible und glaubwürdigere Szenarien und hatte gleichzeitig eine kommunikativ-diskursive Wirkung. Unsere Forschung trug dazu bei, dass Bürgerinnen und Bürger lernten, wissenschaftlich begleitet über mögliche Zukünfte nachzudenken, sich mit diesen zu identifizieren, eigene Wünsche zu formulieren und diese letztlich auch an politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger weiterzugeben.



**Ergebnisse**

Im Sinne der Anwendbarkeit beantworteten wir die Aufgabenstellung nicht nur auf konzeptioneller Ebene, sondern entwickelten auch konkrete Empfehlungen, wie die Experimentierpraxis von Städten, Unternehmen und Forschungseinrichtungen so gestaltet werden kann, dass sie möglichst effektiv zur Gestaltung und Umsetzung nachhaltiger und sozial gerechter Mobilitätzukünfte beiträgt. In Workshops und Pilotprojekten wurden die erarbeiteten Empfehlungen auf ihre Praxistauglichkeit geprüft und weiter verfeinert.



Das zweite zentrale Ergebnis des Projekts bestand in der erfolgreichen Kooperation von Akteurinnen und Akteuren, darunter Bürgerinnen und Bürger, Forschende, städtische Verwaltung und Unternehmen. Diese Zusammenarbeit förderte den Wissensaustausch und -transfer zu den Kernthemen Mobilitätsvisionen, Reallabore und resilienter Mobilität in Städten. Möglichkeiten des „Verantwortungsvollen Experimentierens“ im städtischen Kontext von München wurden durch eine ko-kreative Workshop-Reihe mit Praxisakteurinnen und Praxisakteuren entwickelt. Resiliente Mobilitätsplanung wurde in einem Online-Workshop mit Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartnern aus verschiedenen Städten diskutiert, und die Ergebnisse flossen in konkrete Innovationsempfehlungen sowie in die Vorbereitung der zweiten MCube-Phase ein. Durch die enge Zusammenarbeit mit der Zivilgesellschaft gelang es, das Wissen über Mobilitätzukünfte dauerhaft in die breitere Öffentlichkeit zu tragen. Dies geschah unter anderem durch Ausstellungen und Zukunftsforen im öffentlichen Raum oder in Museen. Außerdem wurde ein Szenarienbuch erstellt,

das alternative Alltagswelten aufzeigt.

Das dritte zentrale Ergebnis betrifft das Experimentieren im Unternehmenskontext. Durch die transdisziplinäre Zusammenarbeit mit Unternehmensbeteiligung wurden Mobilitätslösungen auch am Arbeitsplatz in Mini-Experimenten erprobt. Besonders eindrucksvoll zeigte sich hierbei, dass aus lokal erprobten Experimenten übertragbare Lösungen für das betriebliche Mobilitätsmanagement abgeleitet werden können. Im Hinblick auf das Experimentieren in unternehmerischen Kontexten erarbeiteten wir zudem, unter der Federführung der SAP SE, eine Systemarchitektur für den Einsatz von Reallaborprozessen in der Produktentwicklung für unternehmerische Mobilitätslösungen. Diese Systemarchitektur bietet eine zentrale Orientierung in Innovationsprozessen, bei denen Experimentieren und Prototyping von Mobilitätsprodukten im Vordergrund stehen.



# Vernetzung und Mobilitätsräume

Innovationsfeld 01

Wiesn Shuttle  
ComfficientShare  
InterLog  
Testkreuzung

Innovationsfeld 02

SASIM  
STEAM  
TrEx

Innovationsfeld 03

aqt  
MGeM  
BeneVit  
COLTOC

Integrationsprojekte

DatSim  
ReMGo  
SUE



# aqt

## Autoreduzierte Quartiere für eine lebenswerte Stadt

### Ziele

Klimawandel, urbane Verdichtung, Lebens- und Konsumgewohnheiten und Mobilitätsverhalten stehen in einem engen Zusammenhang. Insbesondere in dicht bebauten, innerstädtischen Bestandsquartieren, in welchen der öffentliche Raum begrenzt ist, stehen in diesem Kontext eine Umverteilung der zu Verfügungen stehenden öffentlichen Flächen an, um den vielfältigen und sich wandelnden Ansprüchen an den öffentlichen Raum gerecht zu werden und klimaresiliente Quartiere zu gestalten. Vor diesem Hintergrund war das übergeordnete Ziel von aqt, ein räumliches und verkehrliches Konzept für ausgewählte Quartiere in München zu entwickeln, das durch Push- (Reduzierung von Verkehrsflächen für den KFZ-Verkehr) und Pull-Maßnahmen (Aufwertung des öffentlichen Raums hin zu mehr Aufenthaltsqualität und Resilienz gegenüber Extremwetterereignissen) und eine höhere Akzeptanz und Nutzung multimodaler Verkehrsangebote bewirkt. Grundannahme der Forschungstätigkeit war, dass der Mobilitätswandel ein sehr komplexes Thema ist. Neue Formen der Mobilität sollten in die Alltagsroutinen integriert und das nachbarschaft-

liche Miteinander belebt und gestärkt werden. Dabei waren nicht nur rationale, sondern auch emotionale bzw. „weiche“ Faktoren zu betrachten. Vor dem Hintergrund, dass einzelne technische Lösungen bisher nicht zu einer messbaren Reduktion des individuellen motorisierten Verkehrs geführt haben und Veränderungen in der Verkehrsmittelwahl sich erst mittelfristig auf den Kfz-Besitz auswirken, wurden im Rahmen des Projekts die Verkehrsflächen gestalterisch, verkehrlich und nutzungsbezogen umgewandelt, um die Potentiale des öffentlichen Raums aufzuzeigen. Ergänzt wurden die Ansätze des Reallabors durch Simulation und Verkehrsmodelle. Gemeinsam wurden durch das transdisziplinäre Team verschiedene Bausteine der Quartiersentwicklung getestet, um schließlich ein verändertes Quartiersmodell zu erhalten. Begleitend wurde in aqt zudem zu Prozessen und Maßnahmen geforscht. Diese wurden mit Blick auf zukünftige Herausforderungen der Stadt- und Mobilitätsgestaltung und Transformation bewertet. Untersucht wurde, wie sich entscheidende Faktoren - Akteure und Netzwerke, Raum- und Clusterstrukturen sowie Entscheidungs- und Planungsverfahren - gegenseitig beeinflussen. Wo immer möglich, wurden Stakeholderinteressen, politische Hürden und die Raumqualität berücksichtigt. Zentraler Aspekt war hier die Dokumentation des neu entstandenen Prozesswissens und die Evaluierung in Bezug auf zukünftige Lehr-, Forschungs- und Planungsvorhaben sowie Entscheidungsprozesse.





## Meilensteine

### Vorbereitungsphase:

*November 2021 – August 2022*

Auswahl zweier Quartiere in München: Südliche Au und Walchenseeplatz, Konzept für Beteiligungs- und Kommunikationsstrategie, Vision und Leitbild für aqf, Beginn Kooperation mit Bezirksausschüssen (April 2022)

### Beteiligungsphase I:

*September 2022 – April 2023*

TUM Summer School, erste Umfrage, Befragungen, Informationsveranstaltungen, Aktionen in den Quartieren zu allgemeinen Wünschen und Sorgen. Schaufenster Winter: Verschiedene Interventionen und erste Experimente (zum Beispiel durch Eisstockbahnen in beiden Quartieren)

### Beteiligungsphase II:

*Mai 2023 – Oktober 2023*

Zweite Umfrage, Workshops, Sprechstunden vor Ort, Feedbackpostkarten; 5 Monate Sommerintervention im Reallabor: Temporäre Aufenthaltsräume (zum Beispiel durch Begrünung mit Hochbeeten, Bäumen und Rollrasen, oder durch Sitzmöbel und Sandfläche), Wirkungsmessung der Sommerintervention

### Auswertung und Präsentation der Ergebnisse:

*September 2023 – Oktober 2024*

Analyse der Verkehrsleistung und Verkehrsmuster und Modellierung von mikroskopischen Simulationen und Entwicklung eines Mobility-Hub-Netzwerks.



**Ergebnisse**

In MCube aqt wurden Kriterien und Methoden für die Quartiersauswahl entwickelt, sowie Mobility-Hub-Typologien, die aus einem morphologischen Kasten abgeleitet wurden. Neben transformativen Lehrformaten (Berichte zu finden unter <https://mediatum-ub-tum-de.eaccess.tum.edu/1739087> und <https://mediatum-ub-tum-de.eaccess.tum.edu/1738160>) wurden Zukunftsszenarien und Methoden für Erstellung von Zukünften erarbeitet. Die Modellierung der Verkehrsmittelwahl erfolgte anhand von Stated-Preference Daten. Mikroskopische Interaktionen wurden in Simulationen untersucht. Basierend auf realen Mobilitätsdaten wurden Mobility-Hub-Netzwerke in Szenarien entwickelt. Zur Analyse der Veränderung von Verkehrsmustern wurde eine agentenbasierte Simulation durchgeführt.

Wesentliche Erkenntnisse zu Akzeptanz und Wirkung von Reallaboren: Die Haushalte in den beiden Quartieren wurden zu zwei Online-Befragungen eingeladen – vor sowie gegen Ende der Umsetzung der Maßnahmen. Während in der Südlichen Au verhältnismäßig viele Anwohnende an den Umfragen teilgenommen haben, war die Beteiligung rund um den Walchensee-

platz eher verhalten. Hier zeigt die Auswertung vor allem ein grobes Stimmungsbild. Eine Mehrheit der Anwohnenden der beiden Münchner Testquartiere bewerteten die Versuche positiv. Insgesamt wünschen sich die Befragten mehrheitlich weitere Initiativen, welche den Straßenraum zugunsten Begrünung, Aufenthalt und alternativen Mobilitätsangeboten umwandeln. In der Südlichen Au bewerteten 60 % der Befragten das Projekt insgesamt positiv, während 31 % sich negativ äußerten. Am Walchenseeplatz war das Meinungsbild gemischter, mit einer knappen Mehrheit von 45 % positiver Bewertungen gegenüber 42 % negativer. Die gewählten Kommunikationsformate waren zur gezielten Information von Anwohnenden unzureichend. Ein Drittel der Befragten bewertete die Informationspolitik negativ (Südliche Au 45 % angemessen, 31 % unangemessen; Walchenseeplatz: 35 % angemessen, 30 % unangemessen). Für künftige Projekte ist es daher entscheidend, die Kommunikation transparenter und bürgernäher aufzusetzen, um alle Beteiligten zu erreichen und einzubinden.

In beiden Quartieren sehen die Befragten wegen des Klimawandels großen Handlungsbedarf. Die meisten Menschen sind bereit, sich auf entsprechende Experimente zur Zukunft der Mobilität einzulassen (Südliche Au 68 % bereit und 18 % nicht bereit; Walchenseeplatz 58 % bereit und 24 % nicht bereit). Gleichzeitig ist aber die Skepsis groß, dass sie diese Zukunft tatsächlich mitgestalten können. Hier besteht eine große Chance, durch Reallabore das persönliche Engagement der Bürgerinnen und Bürger zu stärken. Bei konkreten Maßnahmen zeigen sich in beiden Stadtquartieren ähnliche Tendenzen. Eine deutliche Mehrheit der Befragten unterstützt die dauerhafte Umwandlung von Parkplätzen und Straßen in Grünflächen (Südliche Au 70 %, Walchenseeplatz 67 %). Ebenfalls befürwortet wurden zusätzliche Fuß- und Fahrradwege, Räume für Spiel, Bewegung und Kultur sowie Sitzgelegenheiten und Begegnungsorte für die Nachbarschaft.

Als nachhaltiger Transformationspfad kann die Gründung und Arbeit von mehreren Bürgerinitiativen gesehen werden. Lokale Gruppen setzen sich über das Projekt hinaus für die Umgestaltung in mindestens einem der Quartiere ein. (ausführlicher Bericht: <https://muenchenunterwegs.de/angebote/aqt-ergebnisse>)



# MGeM

## Mobilitäts(un)gerechtigkeit in Metropolregionen



### Ziele

Das Ziel von MGeM war, mit dem Forschungsvorhaben einen Grundstein für ein Mobilitätssystem zu legen, in dem die gesamte Bevölkerung der Metropolregion an der Zukunft der Mobilität teilhaben kann. Im Fokus standen marginalisierte Bevölkerungsgruppen, die in besonderem Maße von einer „doppelten Unerreichbarkeit“ betroffen sind – zum einen für innovative Mobilitätsoptionen sowie zum anderen für die Mitgestaltung einer gerechten Zukunft der Mobilität. Aufbauend auf den Ergebnissen

eines digitalen münchenweiten Mobilitätsungerechtigkeitsatlases sollen quantitative Befragungen und ethnografisch begleitete Interventionen in besonders von Mobilitätsungerechtigkeit betroffenen Quartieren Münchens durchgeführt werden. Begleitend dazu werden Interviews in den ausgewählten Forschungsquartieren geführt, die die Mobilitätskulturen und -alltage der dortigen Bewohnerinnen und Bewohner erfassen. In Zusammenarbeit im Konsortium, insbesondere zwischen der Technischen Universität München und experience consulting (eco), wurden in ko-kreativer Zusammenarbeit und Begegnungsraumformaten mit den Anwohnerinnen und Anwohnern ausgewählter Quartiere Mobilitätsbedarfe ausgelotet und darauf aufbauend innovative Mobilitätslösungen für die Nachbarschaft erarbeitet.

Meilensteine

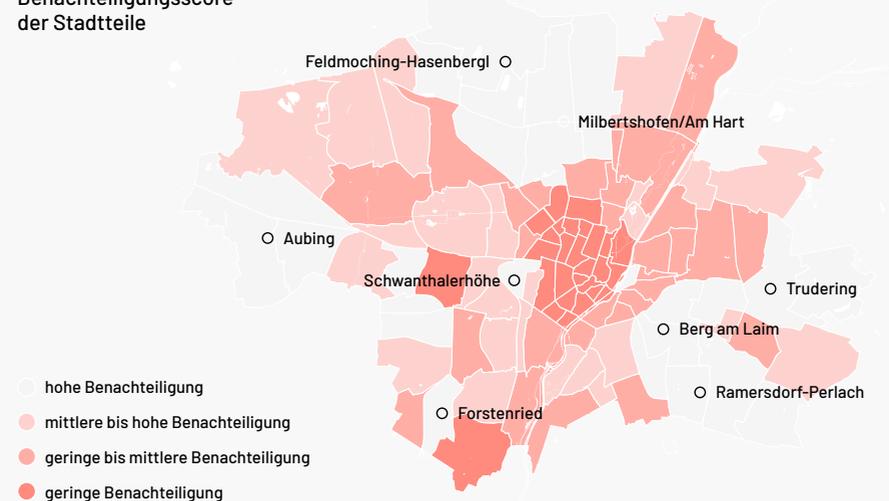
Zu Beginn des Innovationsprojekts wurde in Zusammenarbeit mit dem Planungsreferat der Stadt München (LHM) ein Experimentier Quartier identifiziert, auf das sich die Begegnungsraum- sowie Interviewformate konzentrierten. Da das Gebiet bereits Teil des Handlungsraumvorhabens der LHM war und als Sozialbausiedlung von München Wohnen verwaltet wurde, fiel die Wahl auf das Gebiet rund um den Piusplatz, Berg am Laim. Nach umfangreicher Sensibilisierungs- und Vertrauensarbeit vor Ort wurden 16 Microstory-Interviews mit Seniorinnen und Senioren, Migrantinnen und Migranten, alleinerziehenden Müttern sowie Geringverdienerinnen und Geringverdienern/Bürgergeldempfängerinnen und Bürgergeldempfängern durchgeführt, die deren konkrete Mobilitätsalltage beleuchteten. Parallel dazu führte eco sogenannte Walk-Alongs im Quartier durch, um lokale Mobilitätsbedarfe zu identifizieren.

Auf der quantitativen Seite wurden die vorhandenen Daten für den Mobilitätsungerechtigkeitsatlas ausgewertet. Der Atlas stellt für alle Stadtteile Münchens dar, welche Erreichbarkeiten von Einrichtungen der öffentlichen Daseinsvorsorge für welche Bewohnerinnen- und Bewohnergruppen bestehen und welche Mobilitätsoptionen zur Bewältigung von Distanzen zur Verfügung stehen. Aufbauend darauf wurde eine Umfrage entwickelt, die in den laut Atlas am stärksten von Mobilitätsungerechtigkeit betroffenen Quartieren durchgeführt wurde. In 871 Teilnahmen wurde das Mobilitätsverhalten der Anwohnerinnen und Anwohner erfasst und analysiert, wie dieses mit der eigenen Gerechtigkeitsempfindung und -bewertung zusammenhängt. Die Ergebnisse dieser Umfrage wurden gemeinsam mit den Microstory-Interviews in einer Mixed-Methods-Studie zusammengefasst, welche Mobilitätsalltage sowie -bedarfe und Gerechtigkeitsverständnisse in Bezug auf Mobilität von marginalisierten Gruppen rund um das Quartier am Piusplatz auswertet.



## Benachteiligte Bevölkerung in den Stadtteilen

Benachteiligungsscore der Stadtteile





## Ergebnisse

Insgesamt zeigt sich, dass München eine diverse Landschaft in Bezug auf Mobilitätsgerechtigkeit darstellt. Im digitalen Mobilitätsungerechtigkeitsatlas wird deutlich, dass sich die wichtigsten Dienstleistungen stark auf das städtische Zentrum konzentrieren und in der Peripherie erheblich ausdünnen. Zudem wurde festgestellt, dass die meisten benachteiligten Gruppen am Stadtrand leben, während Menschen, die in zentralen Stadtvierteln wohnen, über ein deutlich größeres Angebot an Mobilitätsressourcen verfügen. Die Außenbezirke Münchens weisen nicht nur die schlechteste Erreichbarkeit der wesentlichen Dienstleistungen und die geringste Verfügbarkeit von Mobilitätsressourcen auf, sondern sind auch stärker von den negativen Auswirkungen des Verkehrs, wie Abgas- und Lärmbelästigung, betroffen. Darüber hinaus nutzen die Bewohnerinnen und Bewohner in den Außenbezirken kaum nachhaltige Verkehrsträger (vgl. Haxhija et al. 2024).

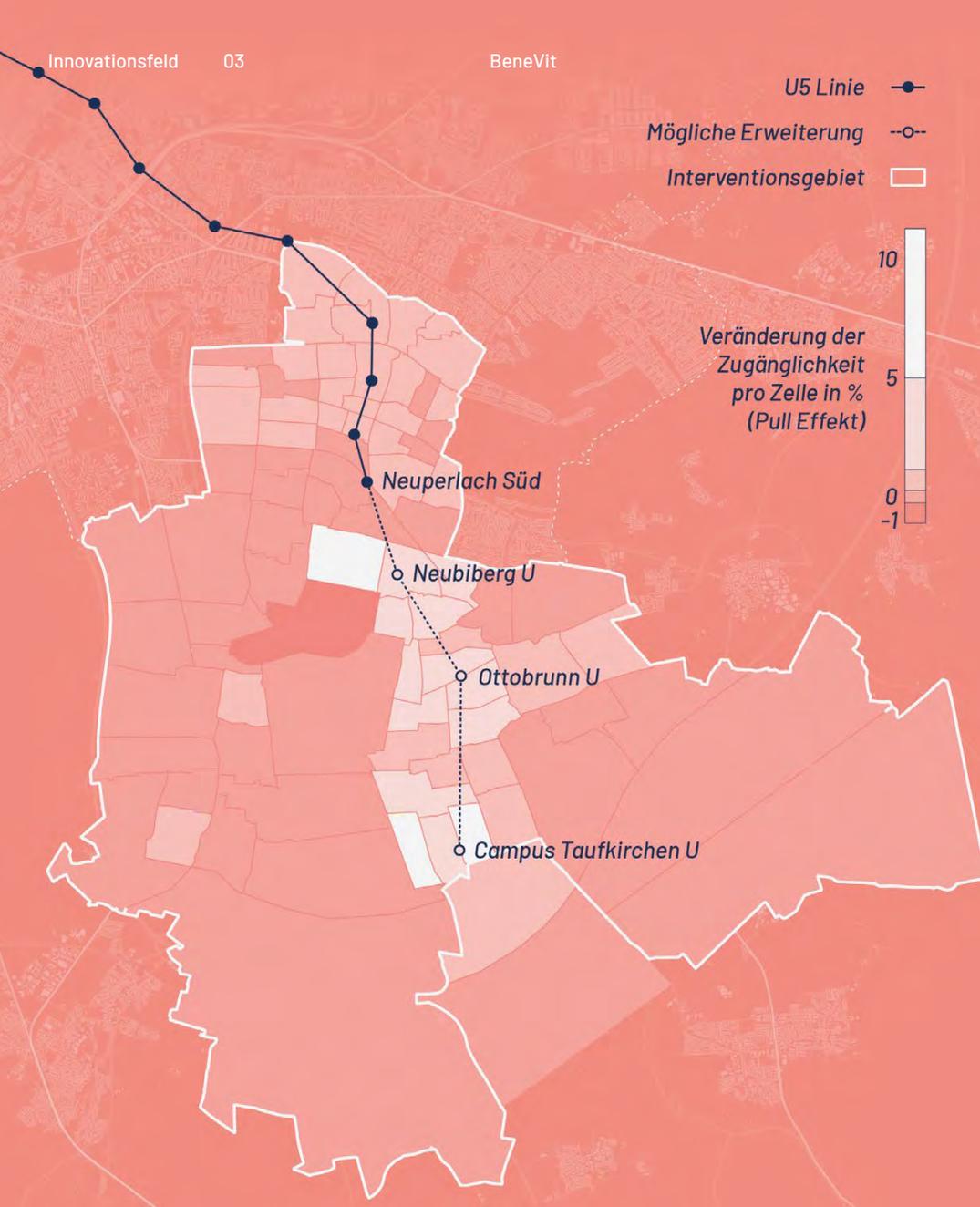
Aus der quantitativen Umfrage, die im Stadtteil Berg am Laim durchgeführt wurde – einem

Viertel, das durch vergleichsweise geringe Mobilitätsressourcen, eine starke Betroffenheit von negativen Verkehrsauswirkungen sowie einen hohen Anteil marginalisierter Bevölkerungsgruppen gekennzeichnet ist – konnten wichtige politische Handlungsempfehlungen für eine gerechte Zukunft der Mobilität identifiziert werden. Die Anwohnerinnen und Anwohner dieser Quartiere favorisieren insbesondere Verbesserungen im Zusammenhang mit städtebaulichen Elementen, wie etwa die Optimierung der Anbindung von Berg am Laim an den Rest der Stadt sowie eine integrierte Stadtplanung, die die räumliche Nähe zu wesentlichen Infrastrukturen erhöht. Weitere zentrale Forderungen umfassen niedrigere Preise für öffentliche Verkehrsmittel und die Zuweisung von Subventionen in die Verkehrsinfrastruktur, wobei der Fokus auf den Ausbau des ÖPNV, der Rad- und Fußwege sowie auf Inklusivität gelegt werden sollte. Zudem wird eine ausgewogene Verteilung des Straßenraums auf verschiedene Nutzerinnen- und Nutzergruppen sowie eine inklusive Lichtsignalplanung als wichtige Maßnahmen angesehen.

Ergänzend zu diesen quantitativen Ergebnissen konnte in den Microstory-Interviews herausgefunden werden, dass generell gute öffentliche Mobilitätsressourcen rund um den Piusplatz vorhanden sind. Eine klassische Mobilitätsarmut besteht demnach nicht. Jedoch wurden Fragen der Zugänglichkeit als relevant identifiziert: Interviewte aus allen Gruppen betonten die hohen privaten Kosten für Mobilität, die sie beispielsweise von der Anschaffung eines eigenen Autos abhalten und auch die Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs zu einer finanziellen Belastung machen. Insgesamt zeigt sich, dass die Mobilität der befragten Personen von einer Vielzahl an Barrieren geprägt ist, die sich teilweise erst auf den zweiten Blick erkennen lassen. Darüber hinaus zeigte sich, dass für alltägliche Fortbewegungen, die über den eigenen Stadtteil hinausgehen, komplexe Planungen für sichere Wegeketten und eine Reduktion der Umstiege erforderlich sind. Dies betrifft vor allem alleinerziehende Mütter mit Kindern, deren Mobilität dadurch stark beeinflusst wird. Mobilitätsinnovationen wie e-Scooter, Bike-Sharing oder Car-Sharing werden von

den befragten Personen kaum bis gar nicht genutzt und als entfremdet wahrgenommen, da sie nicht zu deren Mobilitätsbiografien passen.

In der Quartiers- und Interventionsarbeit, die darauf abzielte, in partizipativen Formaten rund um den Piusplatz eine gemeinsame Gestaltung der Mobilitätszukunft Münchens sowie des Quartiers zu fördern, wurde wie in anderen Studien diagnostiziert eine gewisse „Befragungsmüdigkeit“ unter den Anwohnerinnen und Anwohnern festgestellt. Auf prozessualer Ebene kann als zentrales Lernergebnis festgehalten werden, dass partizipative Arbeit in Quartieren, deren Bewohnerinnen und Bewohner verstärkt von struktureller Diskriminierung betroffen sind, eine erhöhte Sensibilisierung innerhalb des Forschungsteams erfordert. Die Rolle der Forscherinnen und Forscher sowie externen Gestalterinnen und Gestalter verlangt dabei ein hohes Maß an Reflektionsfähigkeit und Beziehungsarbeit. Die Grundlage für erfolgreiche partizipative, ko-kreative Formate, in denen eine gerechte Mobilitätszukunft verhandelt werden kann, ist eine intensive Vertrauensarbeit.



# BeneVit

## Neue Ansätze für die Bewertung von Verkehrsinfrastrukturinvestitionen

### Ziele

Volkswirtschaftliche Bewertungsverfahren von Verkehrsvorhaben, wie beispielsweise in Deutschland die „Standardisierte Bewertung“ für Förderanträge im Rahmen des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes oder das Bewertungsverfahren in der Bundesverkehrswegeplanung dienen dazu, für Verkehrswegeinvestitionen den nach Bundeshaushaltsordnung geforderten Nachweis der Wirtschaftlichkeit zu führen und eine Priorisierung von Verkehrsinvestitionen vorzunehmen. Die bestehenden Verfahren werden vielfach dafür kritisiert, wichtige Wirkungen nicht umfassend abzubilden und dadurch den Nutzen insbesondere von Projekten des öffentlichen Personenverkehrs systematisch zu unterschätzen. So wird eine positive Beurteilung von ÖV-Projekten in der Regel nur dann erzielt, wenn Reisezeiten reduziert, neue Fahrgäste (durch Neuerschließung oder Angebotsverbesserungen) gewonnen und so Nachfrage vom MIV zum ÖV verlagert wird.

Ziel und erwartetes Produkt dieses Vorhabens war es daher, unter Berücksichtigung der MCube-Zieldimensionen Zeit, Raum und Luft, in einem transdisziplinären Prozess verbesserte und innovative Ansätze für Bewertungen von Verkehrsprojekten im öffentlichen Personenverkehr zu entwickeln. Berücksichtigt werden sollten dabei u.a. langfristige Effekte auf die Siedlungsstruktur und die Qualität des Raums (z.B. Aufenthaltsqualität, Ausstattungsqualität), die positiven Wirkungen von Netzergänzungen und Entlastungslinien in Großstädten (z.B. Resilienz), weitere volkswirtschaftliche Aspekte (z.B. Wirkungen auf Wohnungsmarkt, Arbeitsmarkt, Wirtschaftsstruktur und Produktivität) und Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung. Durch bessere Vergleichsmöglichkeiten zwischen Projekten für verschiedene Verkehrsträger und eine gute Anwendbarkeit in Metropolregionen sollen Projekte, die zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen und damit gesamtwirtschaftlich sinnvoll sind, besser identifiziert werden können. Eine mögliche Bewertung besteht einerseits gesamtwirtschaftlich in der verbesserten Auswahl und Realisierung von vorteilhaften Projekten. Sie besteht andererseits in der möglichen nationalen und internationalen Vermarktung neuer Bewertungsmethoden im Bereich der Verkehrsinfrastrukturplanung.

**Meilensteine**

Das Forschungsvorhaben gliederte sich in 4 Arbeitspakete. In „AP 1 – Grundlagen“ wurde die Theorie aufbereitet. Dabei wurden auch international angewandte Methoden und Leitfäden verglichen. Die Ergebnisse wurden in einem Arbeitsbericht und einem Konferenzpapier für die European Transport Conference 2022 in Mailand zusammengefasst und dort präsentiert.

In „AP 2 – Erarbeitung Bewertungsmethoden“ wurden Bewertungsansätze zur Operationalisierung der MCube-Zieldimensionen „Qualität der Zeit“, „Qualität der Luft“, und „Qualität des Raums“ erarbeitet. Diese wurden in regelmäßigen Jour fixes (etwa alle 4-6 Wochen) mit den geförderten und assoziierten Partnerinnen und Partnern diskutiert und verbessert.

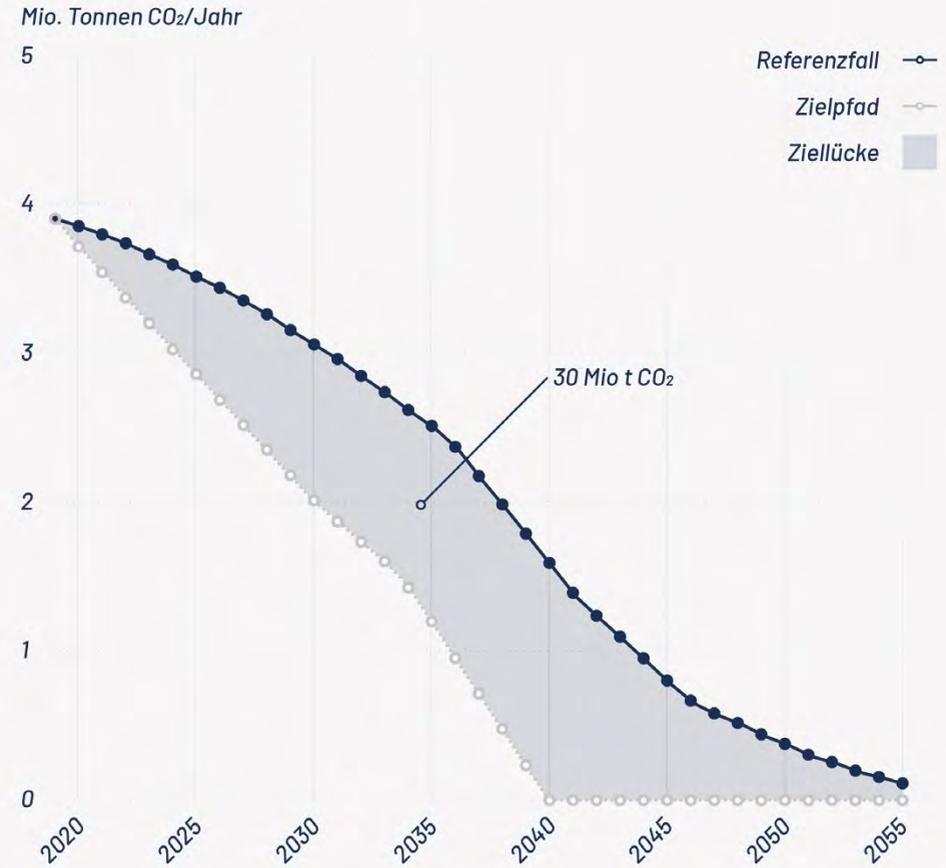
Die Bewertungsmethoden wurden iterativ an einer Fallstudie in „AP 3 – Anwendung Bewertungsmethoden“ getestet und weiterentwickelt. Die Ergebnisse wurden in einem Paper in einer Special Issue des Journals sustainability im März 2024 publiziert.

„AP 4 – Empfehlungen und Dissemination“ wurde projektbegleitend durchgeführt. So fand ein kontinuierlicher Austausch sowohl im wissenschaftlichen Kontext als auch mit der deutschen Planungspraxis statt. Meilensteine sind unten zusammengefasst.

Die Arbeiten fanden unter Leitung des Lehrstuhls für Siedlungsstruktur und Verkehrsplanung statt. In allen Arbeitspaketen wurde eng mit dem Lehrstuhl für Raumentwicklung kooperiert. Intraplan war eng in die Arbeitspakete 1, 2 und 3 einbezogen und lieferte wertvolles Feedback und Daten für die Methodenentwicklung. Intraplan nahm außerdem an regelmäßigen Jour fixes auf Arbeitsebene (etwa alle 4 Wochen) teil. Der MVV war besonders in AP 3 bei der Anwendung in der Fallstudie einbezogen und stellte Daten aus der MVV-Datenbasis zur Verfügung.

Die assoziierten Partner (Stadtwerke München/Münchner Verkehrsgesellschaft, Landeshauptstadt München, Landkreis München) haben kontinuierlich an Jour fixes auf Verbundebene teilgenommen, die im Abstand von etwa 4-6 Wochen stattfanden. Zusätzlich waren die assoziierten Partner und der Freistaat Bayern in Workshops eingebunden. Dadurch haben sie die Arbeitspakete kontinuierlich durch Feedback aus der Planungspraxis begleitet.

**CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Personenverkehr innerhalb der MVV-Region**



Ergebnisse

Im Ergebnis liegt ein Bewertungsansatz für die zielorientierte Mobilitätsplanung in Stadtregionen vor. Wesentliche Methoden für einzelne Schritte des Ansatzes sind:

- Ermittlung von Zielen und Zielpfaden nach einem Backcasting-Ansatz
- Ermittlung von Push-Maßnahmen
- Ermittlung von Potentialen für die Raumentwicklung
- Bewertung von Maßnahmenpaketen anhand ausgewählter Indikatoren der MCube Zieldimensionen „Qualität der Luft“, „Qualität des Raums“, „Qualität der Zeit“

Zusätzlich liegen Ergebnisse aus der Anwendung des Bewertungsansatzes in einer Fallstudie zur möglichen U5-Verlängerung im Landkreis München vor. Erkenntnisse und Zwischenergebnisse wurden kontinuierlich mit der wissenschaftlichen Gemeinschaft gespiegelt, z.B. auf der European Transport Conference, Mailand, 2022; Universitätstagung Verkehrswesen, Weimar, 2022; NECTAR Cluster 1 Workshop, Brüssel, 2023; mobil.TUM Konferenz, München, 2024. Zusätzlich fand ein regelmäßiger Austausch mit Akteuren aus der Planungspraxis in Deutschland statt.

Aus dem Projekt entstanden u.a. folgende Publikationen

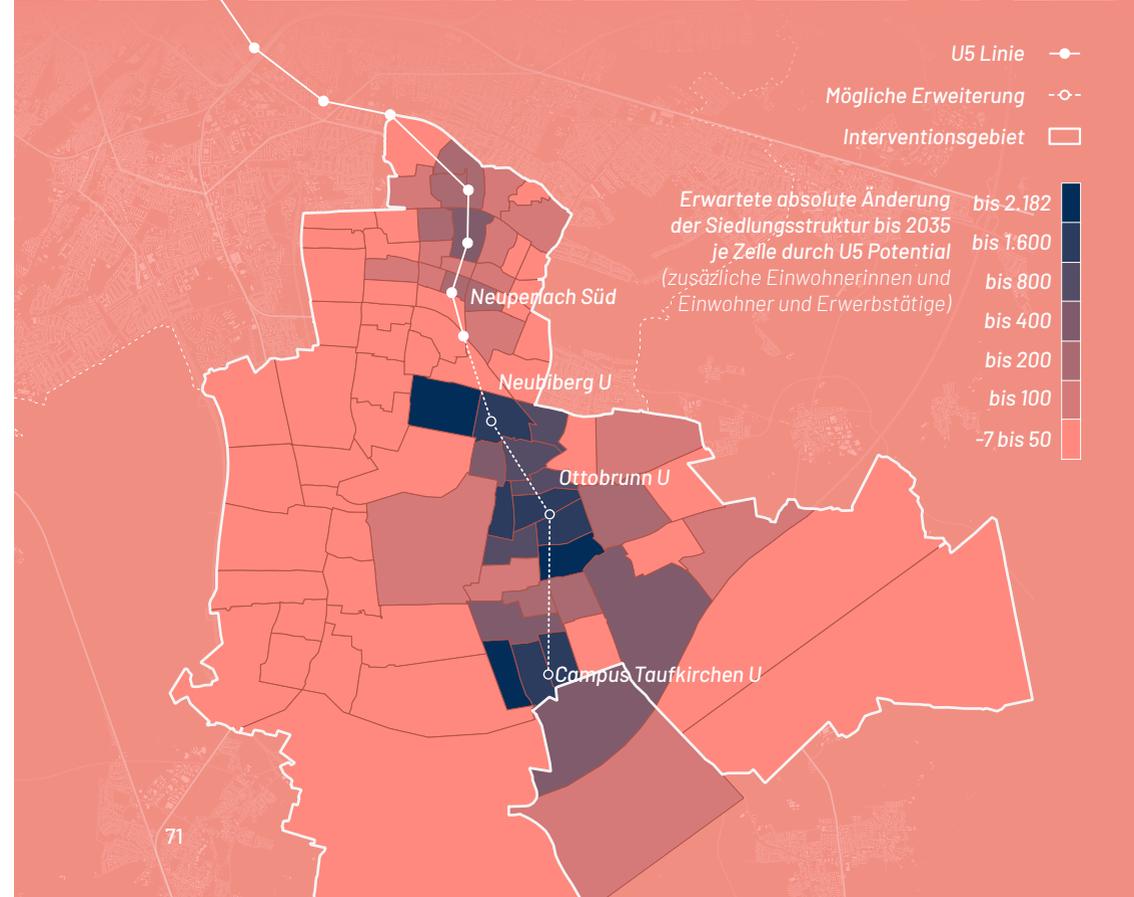
Horlemann, J., Heidinger, M., Wenner, F., & Thierstein, A. (2024). *Introducing a Novel Framework for the Analysis and Assessment of Transport Projects in City Regions*. *Sustainability*, 16(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/su16062349>

Horlemann, J. (2022). *Do we need a new approach to appraisal? Lessons from a comparison of guidelines for the appraisal of transport infrastructure investment*. 50th European Transport Conference. European Transport Conference, Milan.

Horlemann, J., Heidinger, M. (2024). *Besser planen, besser entscheiden: Neue Ansätze für die Bewertung von Verkehrsinfrastrukturinvestitionen*. MCube Innovationsempfehlung 04. [https://mcube-cluster.de/wp-content/uploads/2024/07/240611\\_MCube\\_Innovationsempfehlung\\_04.pdf](https://mcube-cluster.de/wp-content/uploads/2024/07/240611_MCube_Innovationsempfehlung_04.pdf)

Horlemann, J. und Heidinger, M. (Hrsg.). (2024). *Raumplanerische Potentiale von ÖPNV-Infrastrukturprojekten: Ansätze für deren Ermittlung und Anwendungsempfehlungen*. MCube / Technische Universität München.

Horlemann, J., Wulfhorst, G., Heidinger, M., Wenner, F., & Thierstein, A. (2024). *Wie können Mobilitätsziele in Kommunen und Regionen erreicht werden? Empfehlungen für einen Planungs- und Bewertungsansatz*. *KommunalPraxis Bayern*, 46. Jahrgang(forthcoming).



# COLTOC

## Kollaborative Verkehrsoptimierung und -Steuerung

### Ziele

Das COLTOC-Projekt zielte darauf ab, neuartige Modelle und Algorithmen zur Bewältigung zentraler Herausforderungen in Verkehrssystemen zu entwickeln, insbesondere hinsichtlich Störungen, Überfüllung und Variabilität der Reisezeiten. Unser Ziel war es, Entscheidungswerkzeuge einzuführen, die Betreiberinnen und Betreibern sowie politischen Entscheidungsträgerinnen und -trägern helfen, den Betrieb zu optimieren—insbesondere mit aufkommenden Mobilitätsdiensten, Elektrofahrzeugen und autonomen Fahrzeugen—während die Servicequalität verbessert und kostengünstige Lösungen für die Nutzerinnen und Nutzer angeboten werden.

## Meilensteine

Das Projekt umfasste mehrere Forschungsbereiche, geleitet von verschiedenen Experten:

### Modellierung und Optimierung

*Prof. Dr. Constantinos Antoniou*

Entwicklung eines mathematischen Rahmens zur Optimierung von Servicefrequenz und Fahrzeuggröße im öffentlichen Verkehr unter Berücksichtigung von Überfüllung, Nachfrageschwankungen und Reisezeitstochastik. Durchführung von Fallstudien mit realen Daten aus Kirchheim bei München und Regensburg zur Bewertung automatisierter Busse und Ladestrategien für Elektrobusse.

### Konformitätsprüfung und Bewegungsplanung

*Prof. Dr. Matthias Althoff*

Entwicklung von Methoden zur Konformitätsprüfung autonomer Fahrzeuge und eines kooperativen Bewegungsplanungsalgorithmus, der Lösungsstrategien für unerwartete Situationen integriert. Nutzung realer Fahrzeugdaten zur Validierung der Konzepte.

### Verkehrssteuerung und Trajektorienplanung

*Prof. Dr. Klaus Bogenberger*

Durchführung einer umfassenden Literaturrecherche zu Steuerungsansätzen und Entwicklung neuer Strategien auf Knotenpunktebene. Planung optimaler Trajektorien für automatisierte Fahrzeuge an Knotenpunkten mittels eines zweistufigen Optimierungsproblems.

### Personenstromanalyse und Fußgängermodellierung

*Prof. Dr. Jörg Ott*

Entwicklung eines Sensing-systems zur Erfassung von Personenströmen durch Wi-Fi-Probeanfragen unter Wahrung der Privatsphäre. Bau eines Prototyps und Entwicklung von Algorithmen zur präzisen Schätzung der Menschenmenge.

### Matching-Plattform für Verkehrsmittelzuweisung

*Prof. Dr. Maximilian Schiffer*

Entwicklung einer Matching-Plattform, die Fahrgästen optimale Routen und Verkehrsmittel zuweist, um Verkehrsstaus zu minimieren und die Gesamteffizienz des Systems zu steigern. Erstellung graphentheoretischer Modelle und Implementierung von Optimierungsmodellen zur Fahrgastzuordnung.

## Ergebnisse

Unsere interdisziplinäre Forschung führte zu bedeutenden Erkenntnissen:

### Optimierung im öffentlichen Verkehr

Wir konnten nachweisen, dass automatisierte Fahrzeuge aufgrund niedrigerer Betriebskosten häufiger eingesetzt werden können, was die Servicequalität und den Komfort für Fahrgäste erhöht. Zudem wurde eine Präferenz für das nächtliche Laden von Elektrobussen in Deutschland identifiziert, was betriebliche Effizienzsteigerungen ermöglicht.

### Autonome Fahrzeugtechnologie

Entwicklung eines reachset-konformen Modells für unser Forschungsfahrzeug EDGAR und Implementierung eines ausfallsicheren Bewegungsplanungsalgorithmus mit mengenbasierter Prädiktion anderer Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer, was die Sicherheit und Zuverlässigkeit autonomer Systeme verbessert.

### Verkehrssteuerung

Durch die Integration der entwickelten Steuerungsstrategien mit der Matching-Plattform können Stadtplanerinnen und Stadtplaner nun die Auswirkungen verschiedener Strategien auf den Verkehrsfluss analysieren. Die optimierte Trajektorienplanung an Knotenpunkten führte zu einer signifikanten Reduktion des Energieverbrauchs und erhöhten Verkehrsfluss.

### Personenstromerfassung

Erstellung einer voll funktionsfähigen Sensorplattform und Entwicklung fortschrittlicher Algorithmen zur Schätzung der Menschenmenge in unterschiedlichen Umgebungen. Die Forschungsergebnisse wurden auf renommierten Konferenzen vorgestellt und tragen zur Verbesserung der Fußgängermodellierung bei.

### Matching-Plattform

Aufbau eines robusten graphentheoretischen Modells als Grundlage für die Plattform, welches es Stadtplanern ermöglicht, verschiedene Verkehrssteuerungsstrategien zu simulieren und umzusetzen. Trotz des Mangels an realen Daten konnte die Plattform erfolgreich durch den Einsatz von Simulationsdaten validiert werden.

Diese Ergebnisse liefern wertvolle Einblicke und praktische Leitlinien für Verkehrsbehörden sowie Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger. Sie unterstützen die Optimierung von Verkehrssystemen und fördern die Integration innovativer Technologien wie Elektro- und autonome Fahrzeuge, was letztlich zu effizienteren, nachhaltigeren und benutzerfreundlicheren Mobilitätslösungen führt.

# Integrationsprojekte

Innovationsfeld 01

Wiesn Shuttle  
ComfficientShare  
InterLog  
Testkreuzung

Innovationsfeld 02

SASIM  
STEAM  
TrEx

Innovationsfeld 03

aqt  
MGeM  
BeneVit  
COLTOC

Integrationsprojekte

DatSim  
ReMGo  
SUE

# DatSim

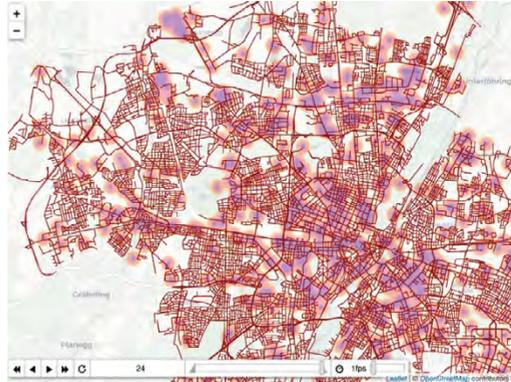
## Simulationsmodell und Datenhub



### Ziele

Das Projekt "Datenhub und Simulationsmodell - DatSim" zielt darauf ab, eine zentrale digitale MCube-Repräsentation zu erstellen, bestehend aus einem umfassenden Simulationsmodell und einem zentralen Datenhub. Das Simulationsmodell integriert Teilmodelle der MCube Innovationsprojekte und ermöglicht eine gemeinsame Betrachtung von Maßnahmen und deren Auswirkungen. Der Datenhub standardisiert Datenaustauschformate und -zugriffe, sodass Daten während und nach

dem Projekt einheitlich vorliegen. Zusammen bilden sie ein digitales Abbild des Zukunftsklusters, das die Projekte unterstützt und Wissen für Stakeholder zugänglich macht. Das Projekt DatSim baut auf dem aktuellen Stand der Technik und Forschung mit rein agentenbasierten Verkehrsmodellen auf, indem es ein agentenbasiertes Verkehrsmodell mit mehreren anderen Modellen kombiniert, um ein umfassendes Gesamtsimulationsmodell zu erstellen. Konkret wurde die Sensitivität der Agenten durch ein aktivitätenbasiertes Modell verbessert. Zudem wurde das Verkehrsmodell mit einem Flächennutzungsmodell und einem Machine-Learning-Modell kombiniert, um beispielsweise Verkehrszustände und Reisezeiten von Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmern zu prognostizieren.



### Meilensteine

Entsprechend der Ziele und Leitlinien des Projektes wurden zu Anfang im Rahmen von Workshops und bilateralen Treffen Anforderungen an ein Gesamtsimulationsmodell und den Datenhub, sowie vorhandene Datensätze und für die Simulation verwertbare Daten innerhalb des MCUBE Clusterkonsortium identifiziert. Anschließend wurde durch die Kooperation zwischen TUM und SAP eine standardisierte Datenplattform aufgebaut, die das strukturierte Speichern mobilitätsrelevanter Daten unterschiedlichen Formates ermöglicht. Zudem wurde unter Berücksichtigung relevanter Mobilitätsmaßnahmen, die mittels Expertenumfragen identifiziert wurden, durch die TUM ein Gesamtsimulationsframework erstellt, das eine effiziente und einfache Ausführung von meso- (via MatSim) und mikroskopische Mobilitätssimulation (via SUMO) ermöglicht. Entsprechend der Vorhabensbeschreibung erlauben die offenen Schnittstellen des Datenhubs und die Erweiterungsmöglichkeiten der eingesetzten Open-Source Simulationsumgebungen (Mat-

Sim, SUMO) eine Kopplung der beiden Teilvorhaben Datenhub und Simulationsmodell. Diese Projektergebnisse wurden Ende des Jahres 2022 dem MCUBE Konsortium im Rahmen von Seminaren detailliert vorgestellt, kontinuierlich weiterentwickelt und stehen diesem in einer produktiven Version nun zur Verfügung. Die darauf aufbauende Ladeinfrastruktursimulation wurde für einen spezifischen, relevanten Anwendungsfall weiterentwickelt. Der Datenhub dient Stand 2024 clusterübergreifend und über den Projekthorizont hinaus als Austausch- und Archivierungswerkzeug für vorhandene und zukünftige Mobilitätsdaten. Neuartige Technologien wie eine KI-Simulation von Ladeaufkommen konnten prototypisch umgesetzt und evaluiert werden. Eine breite Evaluation von zukünftigen Mobilitätszenarien erfolgt innerhalb der zweiten Phase des auf 9 Jahre angelegten MCUBE Clusters durch die spezialisierten Partnerprojekte unter Berücksichtigung der bereits erarbeiteten Ergebnisse und Infrastruktur.



## Ergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse des Projektes DatSim lassen sich in zwei Schlüsselbeiträge aufteilen: 1) die Entwicklung eines Datenhubs, und 2) die Entwicklung eines Gesamtsimulationsmodells. Im Folgenden gehen wir auf die wesentlichen Ergebnisse zur Erreichung der Schlüsselbeiträge ein.

Im Rahmen der Kommunikation und Standardisierung der Projekthinhalte wurden zunächst kontinuierlich Beiträge aus anderen MCube-Projekten gesammelt. Dabei wurden Daten, Szenarien, Modelle und Maßnahmen identifiziert, die in den zentralen Datenhub und das Gesamtsimulationsmodell integriert werden konnten. Ein konkretes Beispiel ist eine Expertinnen- und Expertenbefragung, in der 26 verkehrspolitische Maßnahmen bewertet wurden, die die Verbesserung von Raum, Zeit und Luft zum Ziel haben. Basierend auf den diskutierten Szenarien wurden geeignete Simulationsmodellumgebungen bewertet und bereits bestehende Simulationsumgebungen innerhalb des Konsortiums identifiziert. Im Rahmen der Standardisierung wurden relevante Datenformate und Simulationsstandards für das Gesamtsimulationsmodell bzw. für die Teilmodelle definiert und dokumentiert.

Das Datenhub dient als zentrale und digitale Repräsentation des Projektes DatSim und des gesamten Forschungsclusters. Dafür wurde eine zentrale Datehubinstanz, basierend auf dem Stand der Technik, aufgesetzt und an die spezifischen Projektbedürfnisse angepasst. Nach einer ausführlichen Anforderungsanalyse im Cluster sowie einer Bestandsaufnahme des Stands der Technik wurde das Framework Invenium für die Anwendung im Cluster, beispielsweise zur Verwendung als Policy-Datenbank mit eigener Nutzerschnittstelle, weiterentwickelt. Der Datenhub dient dem Cluster, die digitalen Inhalte, beispielsweise Präsentationen oder Simulationsdateien, welche in den unterschiedlichen Projekten erarbeitet wurden, mit Interessierten innerhalb und außerhalb des Clusters zu teilen. Die Diversität der Projekte innerhalb des Clusters erfordern unterschiedliche Simulationsmethoden, um simulative Fragestellungen effizient beantworten zu können. Aus diesem Grund wurde das Gesamtsimulationsmodell als hybrides Modell, bestehend aus einer mesoskopischen und einer mikroskopischen Ebene, entworfen. Während die mesoskopische Simulation die Wechselwirkung zwischen Angebot und Nachfrage simuliert, erlaubt die mikroskopische Simulation die Analyse der Verkehrsinteraktionen. Die Funktionalität des Modells wurde am Beispiel München - Schwabing dargestellt und validiert.

Im Rahmen des Projektes wurde als Basis des Gesamtsimulationsmodells ein aktivitätsbasiertes Verkehrsnachfragemodell (ABIT) entwickelt. ABIT soll Aktivitäts- und Reisepläne von Einzelpersonen in der Metropolregion München generieren, die später in der Gesamtsimulation und in Szenarioanalysen für die anderen Cluster verwendet werden. Das ABIT-Modell wurde Ende 2023 fertiggestellt und anhand von Verkehrszählungsdaten validiert. ABIT wurde für zwei Simulationsszenarien verwendet: das Szenario mit Low-Emission Zonen und das Parkhaus-Szenario. Letzteres wurde gemeinsam mit dem AQT-Team entwickelt. Darüber hinaus wurden die Aktivitäts- und Reisepläne auch SASIM, MGeM, COMFFICIENTSHARE und einigen Doktorandinnen und Doktoranden im Rahmen von MCube für ihre eigenen Anwendungen zur Verfügung gestellt.

Innerhalb der Entwicklung der Gesamtsimulation wurde eine Künstliche Intelligenz (KI) basierte Pipeline zur Vorhersage von Simulationsergebnissen implementiert. Die KI-Pipeline kann zum Einsatz kommen, wenn Entscheidungsträger viele verschiedenen Mobilitätsszenarien simulieren müssen, die Gesamtsimulation aufgrund der langen Laufzeit aber dafür nicht in Frage kommt. Die KI-Pipeline ist dann eine effiziente Alternative zur Approximation der Simulationsergebnisse mittels künstlicher Intelligenz. Die KI-Pipeline umfasst klassische Modelle wie neuronale Netze und graphenbasierte neuronale Netze, die mittels supervised learning aber auch durch structured learning trainiert werden. Structured learning ist eine neuartige Lernmethode die, im Rahmen von MCube, zum Lernen von Verkehrsströmen entwickelt wurde.

Basierend auf existierenden Simulationsmodellen wurde eine agentenbasierte mesoskopische Verkehrssimulation erstellt, die das Ladeverhalten einer realitätsnahen Population (aus dem im Projekt entwickelten Framework ABIT) mit Elektrofahrzeugen abbildet. Als in diesem Zusammenhang besonders relevante Fragestellung wurde der von der Bundesregierung geplante Aufbau von DC-Ladeinfrastruktur an existierenden Tankstellen identifiziert und verschiedene darauf basierende Maßnahmen analysiert. Die Agenten optimieren in Verhal-

ten iterativ bezüglich Umweglänge und Wartezeit, wodurch ein realitätsnahes Ladeverhalten modelliert werden soll. Mit Hilfe der Simulation können Anhaltspunkte gesammelt werden, welche Folgen das geplante Gesetz für die unterschiedlichen Stakeholder (BEV-Fahrerinnen und -Fahrer, Tankstellenbetreiberinnen und -betreiber, Städte & Kommunen) hat und durch welche Maßnahmen bestimmte Ziele (z.B. Profitabilität, Versorgungsqualität, ...) heute und zukünftig potentiell erreicht werden können.

Um die Anwendbarkeit der Gesamtsimulation innerhalb des Clusters zu steigern, wurde ein Nutzerinterface mit Integration in den Datenhub entwickelt und ein automatisierter Prozess zur kontinuierlichen Integration von Weiterentwicklungen des Modells aufgesetzt, bei dem durchgehende Nutzbarkeit garantiert ist.

Um die Partizipation der Bevölkerung am Projekt DatSim zu ermöglichen und den Dialog anzuregen, wurde ein interaktiver Datentisch entwickelt. Dieser wurde zunächst prototypisch zur IAA 2023 umgesetzt (erreichbar unter [datsim.iaa.fhm.ed.tum.de](https://datsim.iaa.fhm.ed.tum.de/); user: datsim PW: datsim.iaa). Verschiedene Konzepte wurden erdacht und die vielversprechendsten umgesetzt und in einer Probandenstudie evaluiert. Der so entstandene finale Entwurf wurde auf der IAA eingesetzt und eröffnete Fachpublikum und interessierten Bürgerinnen und Bürgern gleichermaßen Einblicke in das MCube Forschungscluster. Basierend auf dem Prototyp und den gesammelten Erfahrungen wurde das finale Exponat für die Dauerausstellung im Deutschen Museum entwickelt. Dort können Besucherinnen und Besucher spielerisch Zukunftsszenarien der Mobilität in Abhängigkeit von Wirtschaft, Politik, Technikentwicklung und Gesellschaft erleben. Darüber hinaus informiert der Datentisch über den gesamten MCube-Cluster und kommuniziert die wissenschaftlichen Ergebnisse an die Öffentlichkeit. Dort besteht die Möglichkeit, Feedback an den DatenHub zurückzuspielen. Weiter wurde ein Sonderausstellungsbereich „Schaufenster in die Forschung“ eingerichtet, der das Projekt AQT präsentiert.

# ReMGo

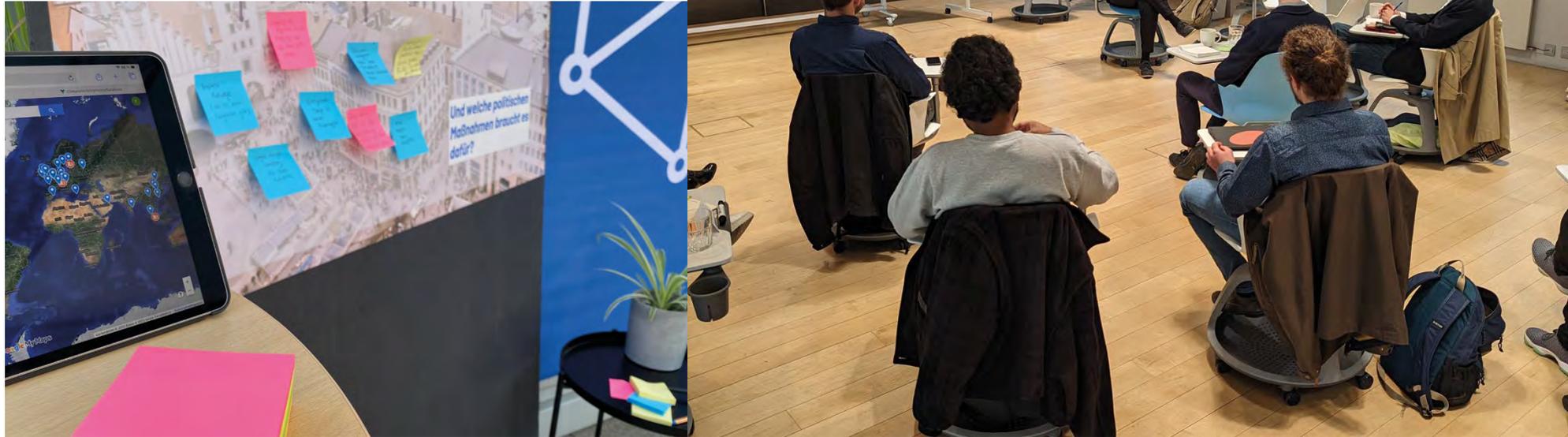
Governance,  
Reallabore,  
Verantwortung



## Ziele

Das Projekt „Responsible Mobility Governance & Innovation“ (ReMGo) verfolgte das Ziel, potenzielle Auswirkungen, gesellschaftliche Erwartungen und ethische Fragestellungen im Zusammenhang mit Mobilitätsinnovationen frühzeitig zu erkennen, zu bewerten und gemeinsam mit verschiedenen Partnerinnen und Partner aktiv anzugehen. Im Zentrum stand die Weiterentwicklung des international anerkannten „Responsible Research and Innovation“ (RRI)-Ansatzes zu einem spezifischen Rahmenwerk für verantwortungsvolle Mobilitätsinnovationen, das sogenannte „Responsible Mobility Innovation“ (RMI)-Framework. Dieses Framework diente als Instrument, um Governance-

Fragen, ethische Verantwortung sowie soziale und regulatorische Aspekte in der Technologie- und Produktentwicklung im Mobilitätssektor zu reflektieren. Das Projekt war begleitend zu den Innovationsvorhaben des MCube-Clusters konzipiert und strebte eine enge Zusammenarbeit mit Akteurinnen und Akteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft, Verwaltung und Zivilgesellschaft an. Ein zentraler Bestandteil war die Einrichtung der „Responsibility Clinic“, die als Beratungsstelle für Fragen der Verantwortung und Governance innerhalb des Clusters funktionierte. Darüber hinaus zielte ReMGo darauf ab, die Forschungsergebnisse sowohl in konkrete Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger und Unternehmen zu überführen als auch strategische Impulse für eine nachhaltige Mobilitätsentwicklung auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene zu geben.



## Meilensteine

Zum Beginn von ReMGo wurden praxisorientierte Methoden und Toolkits im Bereich Responsible Innovation gesammelt und evaluiert, um bestehende Ansätze auf ihre Anwendbarkeit im MCube-Cluster zu prüfen. Nach dieser Phase der theoretischen Grundlagenarbeit folgte ein Kick-Off Workshop im Rahmen eines clusterweiten Events, bei dem das Konsortium zusammenkam, um die Projektziele und den Forschungsansatz abzustimmen. Daraufhin wurden relevante MCube-Projekte wie das Wiesen-Shuttle, die Testkreuzung, STEAM, SASIM und DatSim für die vertiefte empirische Forschung ausgewählt.

Die empirische Forschung fand in enger Zusammenarbeit mit den MCube-Projekten statt. Sie umfasste leitfadengestützte Interviews, Dokumentanalysen sowie ethnographische Teilnahme an Projektmeetings und Demonstrationen. Die Beforschung konzentrierte sich auf Governance-Fragen und verantwortungsvolle

Innovation, insbesondere im Kontext von digitalen Urbanen Zwillingen und datengetriebener urbaner Governance. Zu den untersuchten Städten gehörten neben München auch Tallinn, Singapur, Boston und Seoul. Parallel dazu wurde ein Monitoring- und Evaluationsansatz für regulatorische Rahmenbedingungen entwickelt. Die Zusammenarbeit mit weiteren MCube-Projekten wie TrEx und SUE sowie die Kollaboration mit dem Projekt DatSim war ebenfalls ein zentraler Bestandteil des Forschungsprozesses. Die Responsibility Clinic diente als Beratungsstelle, die den Cluster dabei unterstützte, Fragen der Verantwortung und Governance in Innovationsprozessen zu adressieren. Auf Basis der gesammelten Daten wurde das Framework für Responsible Mobility Innovation (RMI) entwickelt, welches in mehreren Workshops mit Cluster-Stakeholdern weiter verfeinert wurde. Zudem wurde die Mobility & Climate Policy Database entwickelt, um die gesammelten Daten zugäng-

lich zu machen. Die Ergebnisse der Forschung wurden in Form von acht Innovationsempfehlungen veröffentlicht, die Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger aus Politik und Wirtschaft Handlungsempfehlungen zur nachhaltigen Mobilitätsgestaltung boten. Abschließend fand eine Fachtagung zur Governance nachhaltiger Mobilität statt, um den Austausch zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik weiter zu fördern.



## Ergebnisse

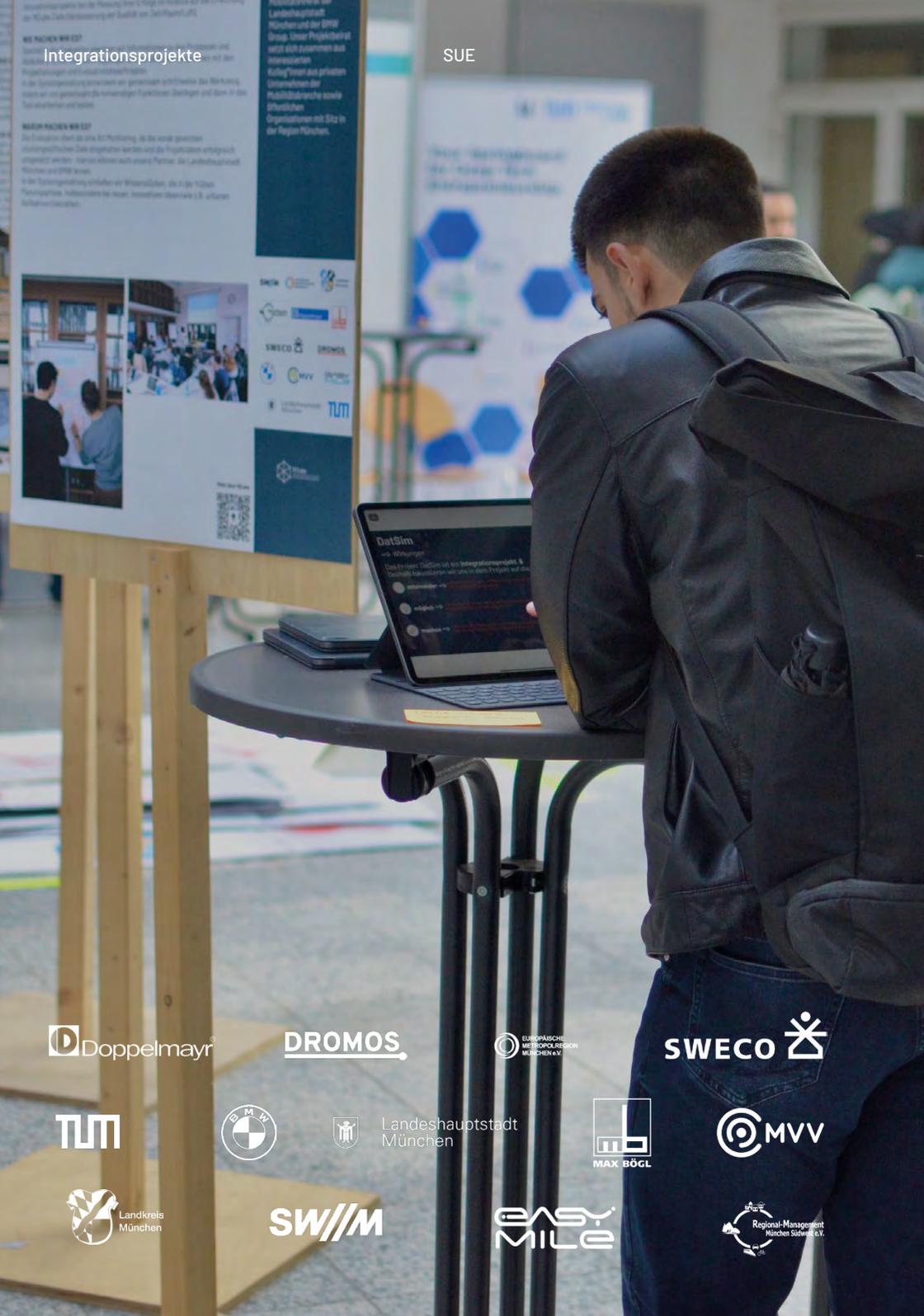
Ein zentrales Ergebnis von ReMGo war die Entwicklung der web-basierten Datenbank „Mobility & Climate Policy Database“, die als wichtige Ressource für die Analyse und Nachverfolgung politischer Maßnahmen im Bereich Mobilität und Klimaschutz dient. Diese Datenbank erfasst über 100 Dateneinträge, die politische Maßnahmen und Regelungen auf lokaler, regionaler, nationaler und EU-Ebene abbilden. Ein besonderer Fokus lag auf München, wobei die Datenbank kontinuierlich um Informationen aus Bayern, Deutschland und weiteren europäischen Städten erweitert wird. Durch die Zusammenarbeit mit dem MCube-Integrationsprojekt DatSim wurde die Datenbank erfolgreich programmiert und vernetzt, um eine nahtlose Integration von Daten und deren Analyse zu gewährleisten.

Ein weiteres zentrales Ergebnis des Projekts war die Entwicklung des Frameworks und Toolkits für Responsible Mobility Innovation, das auf der Forschung innerhalb des MCube Clusters basiert. Dieses Framework bietet eine konzeptuelle und praktische Anleitung, wie Mobilitätsinnovationen verantwortungsvoll durchgeführt werden können, und wurde in mehreren Workshops mit MCube-Partnern evaluiert. Es hat sich als wertvolle Ressource für Innovationsprojekte erwiesen und wurde auf nationalen und internationalen Konferenzen vorgestellt, um die Erkenntnisse einem breiteren Publikum zugänglich zu machen. Darüber hinaus wurde in Zusammenarbeit mit der Konrad-Adenauer-Stiftung und dem Korea Transport Institute (KOTI) die Policy-Publikation „Transforming Mobility in Germany through the Regional Innovation Cluster ‘MCube’“ veröffentlicht. Diese Publikation vergleicht die Mobilitätswende in Südkorea und Deutschland und bietet wichtige Einblicke in die politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen beider Länder.

Darüber hinaus wurde eine MCube Innovationsempfehlung zur verantwortungsvollen Governance mit Digitalen Urbanen Zwillingen veröffentlicht. Diese Empfehlung basiert auf internationaler Forschung und bietet praxisorientierte Ansätze für den Einsatz von Digitalen Urbanen Zwillingen in der städtischen Governance. Sie stellt konkrete Handlungsempfehlungen für Verwaltungen sowie politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger bereit, um den verantwortungsvollen Umgang mit dieser Technologie zu fördern.

Weitere wichtige Resultate des Projekts umfassen die Entwicklung der Publikationsreihe MCube Innovationsempfehlungen. Diese Reihe zielt darauf ab, Forschungsergebnisse und Handlungsempfehlungen aus den MCube-Projekten systematisch an politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger und andere Interessierte zu kommunizieren. Durch die Durchführung von Surveys und Interviews zeigte sich, dass viele Projekte ihre Ergebnisse aufgrund begrenzter Ressourcen

nicht selbst veröffentlichen konnten. Die Publikationsreihe schließt diese Lücke und stellt sicher, dass wichtige Erkenntnisse in verständlicher und anwendungsorientierter Form zugänglich gemacht werden. Zusätzlich trug das Projekt zur Vernetzung von Expertinnen und Experten bei, indem es eine Fachtagung zu Policy Learning veranstaltete, die über 15 europäische Expertinnen und Experten zusammenbrachte, um Themen wie partizipative Governance und die Herausforderungen der Mobilitäts- und Klimapolitik zu diskutieren.



Integrationsprojekte

SUE

# SUE

## Systemanalyse und Evaluation

### Ziele

Das Projekt zielt darauf ab, einen Analysewerkzeugkasten zu entwickeln und anzuwenden, der zur Gestaltung und Bewertung von MCube-Projekten sowie innovativen Verkehrssystemen und Mobilitätsformen dient. Es besteht aus zwei Bausteinen:

### Systemgestaltung

Entwicklung und Erprobung einer Methodik zur Entscheidungsunterstützung für die Integration neuer Mobilitätssysteme und die Gesamtstrategie einer Metropolregion. Dabei sollen Wissenslücken in Bezug auf verkehrliche Wirkung, betriebliche Machbarkeit und wirtschaftliche Anforderungen geschlossen werden, besonders im Bereich Stadt-Umland-Verflechtung.

### Evaluation

Begleitung und Bewertung der MCube-Projekte hinsichtlich ihrer Wirkung auf Zeit-, Raum- und Luftqualität sowie Effizienz der zugrundeliegenden Prozesse. Ziel ist eine qualitative und, wo möglich, quantitative Analyse der Einflüsse auf die MCube-Ziele.

Der daraus entstehende Leitfaden soll sowohl das MCube-Cluster weiterentwickeln als auch in der regionalen und darüberhinausgehenden Planungspraxis angewendet werden, um fundierte Entscheidungen zu treffen.

Beide Projektteile bauen damit auf den Stand der Wissenschaft auf und generieren zudem neuartige Ansätze zur Entwicklung von Evaluationskonzepten für Programme, wie MCube, oder die Indikatoren-basierte Bewertung von Verkehrssystemen.

Doppelmayr

DROMOS

EUROPÄISCHE METROPOLREGION MÜNCHEN e.V.

SWECO

TUM

LMU

Landeshauptstadt München

MAX BÜGL

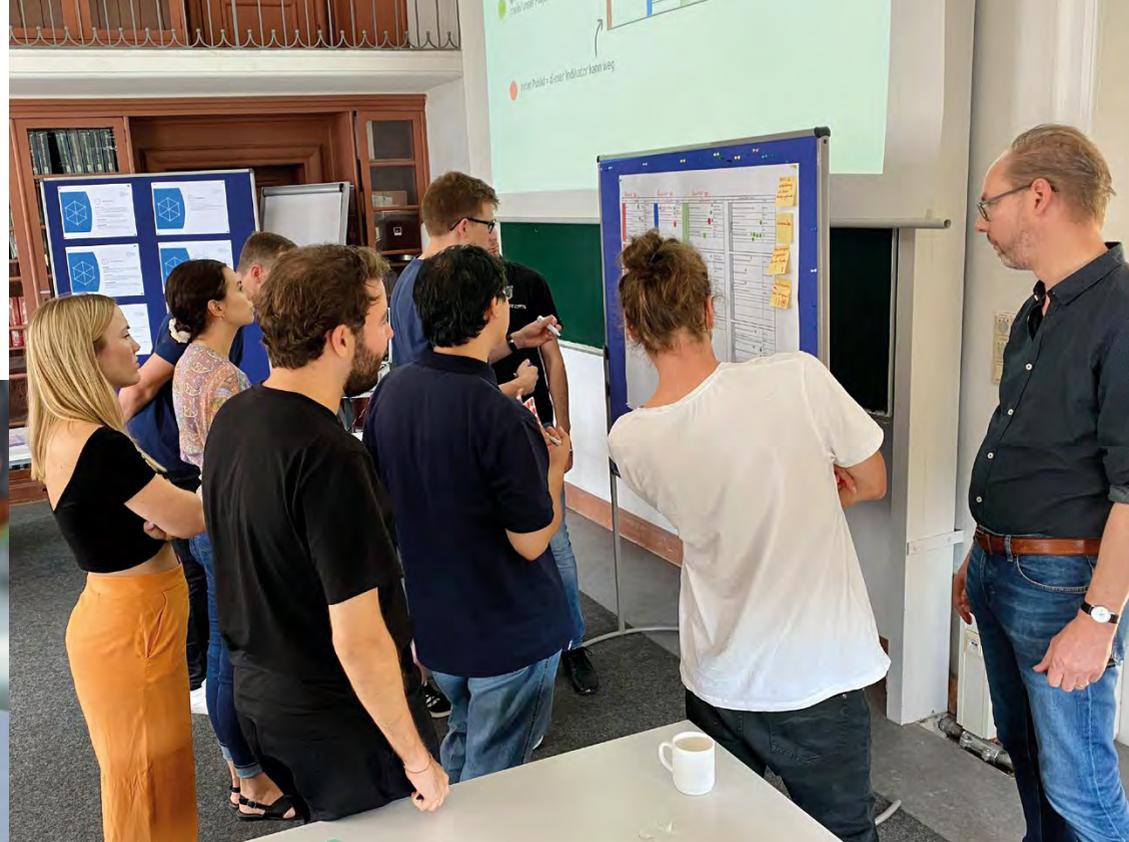
MVV

Landkreis München

SW//M

EASY MILE

Regional-Management München Südwest e.V.



## Meilensteine

Die beiden Projektbausteine Evaluation und Systemgestaltung wurden parallel vorangetrieben, die Projektsteuerung und Kommunikation (AP1) sowie der Austausch mit dem Projektbeirat erfolgte übergreifend. Im AP 2 (Operationalisierung der Ziele) wurden Indikatorensätze für Systemgestaltung und Evaluation entwickelt. Während sich bei der Systemgestaltung auf existierende Regelwerke und Standardsätze (z.B. DIN EN 13816, Vuchic und Rüger) berufen werden konnte, wurde für die Evaluation ein neues Verfahren entwickelt (Mobility Program Indicators Development Framework (MPIDF), aufbauend auf Evaluation Matters/ DZIEKAN et al. und Praxisleitfaden - Wirkung & Wirkungsmessung sozialer Innovationen/ Edinger-Schons et al.), bei dem sowohl die top-down (Strategie) und bottom-up (Projektsicht) Perspektiven einbezogen wurden. Zudem wurde in AP2 auch die Auswahl der betrachteten Verkehrssysteme für die Systemgestaltung getroffen.

Parallel wurden in AP3 die Methodiken entwickelt. Für die Systemgestaltung wurde entschieden, ein Excel-Tool zu entwickeln („mobil-o-mat“, siehe Kapitel 3), in dem die Methodik implementiert wird. Für die Evaluation wurde ein Gesamtkonzept bestehend aus Wirkungs- und Prozessevaluation, inkl. Guidelines und Strukturen für die Clustergovernance (z.B. Evaluationsbeauftragte) geschaffen. Anschließend wurden die Methoden angewendet (AP4). In der Systemgestaltung wurde der mobil-o-mat iterativ und agil als Tool umgesetzt. Gleichzeitig wurde die Evaluation des Clusters über die gesamte Phase I von MCube mit allen Projekten durchgeführt. SUE steuert und koordiniert dabei den Prozess, während einzelne Indikatoren durch die Projekte selbst erhoben wurden.

Zum Abschluss wurden die gesammelten Erfahrungen aufbereitet und kommuniziert (AP5), bspw. durch Lessons Learned und Empfehlungen zur Prozessoptimierung, die direkt in die Weiterentwicklung von MCube im Hinblick auf Phase II umgesetzt wurden. Zudem sind die Erkenntnisse des Projekts kontinuierlich in Lehre und Forschung eingeflossen und werden wissenschaftlich verwertet (z.B. auf der mobil.TUM Konferenz 2024).



## Systemanalyse

Hauptergebnis ist das Excel-basierte Tool „mobil-o-mat“. Damit lassen sich für die frühen Planungsphase verschiedene bestehende und innovative Verkehrssysteme auf ihre Tauglichkeit für bestimmte Planungsszenarien hin überprüfen und priorisieren. Dadurch werden Diskussionen zur Eignung von Verkehrssystemen versachlicht und die Vorauswahl verbessert.

## Wichtige Teilergebnisse im Rahmen der Entwicklung

### Indikatorensatz:

Definition von insgesamt 44 Indikatoren zur Bewertung von Verkehrssystemen aus den Bereichen Ökonomie, Ökologie, Soziales, betrieblich/verkehrlich und Stadtgestalt. Die Liste wurde mit dem Projektbeirat rückgekoppelt und eine Auswahl für die Implementierung im Tool getroffen.

### Systemauswahl:

Fokussierung des mobil-o-mat auf die drei Hauptbereiche linienbasierte Systeme (Bus, Tram, innovative Systeme wie das Transportsystem Bögl), on-demand Angebote (bedarfsorientierter ÖPNV mit definiertem Geschäftsgebiet) sowie Referenzsysteme, um eine Einordnung einiger Indikatoren im Vergleich zum Individualverkehr (Pkw/Fahrrad) zu ermöglichen.

### Bewertungsmethode:

Wichtige Teilergebnisse der mobil-o-mat Methodik sind ein gewichtetes Rankingverfahren der Indikatoren (Gewichtung mittels spez. Ziele der Anwender), basierend auf einem Punktesystem; eine Operationalisierung der ODM-Systeme durch separate Mikrosimulation und Ableitung eines Regressionsmodells, sowie die Umsetzung des Tools in Excel mit VBA-Benutzeroberfläche. Eine Qualitätsbewertung des mobil-o-mat Bewertungsverfahrens erfolgte anhand eines Vergleichs mit ausgesuchten bestehenden Studien/Modellen zu neuen Verkehrssystemen.

## Evaluation

### MCube Indikatoren-Guide:

Der Guide bietet eine einheitliche Grundlage zu 23 Indikatoren in den Dimensionen „Qualität von Zeit/Raum/Luft“ und „miteinander möglich machen“. Er unterstützt Innovationsprojekte bei der Indikatorfindung zur Wirkungsmessung und liefert Definitionen, Erhebungsmethoden und weiterführende Literatur.

### Zielerreichungsmatrix:

Die Matrix dient als Monitoring-Instrument für die strategischen Ziele von MCube. Sie zeigt, inwiefern die 11 Innovationsprojekte die 23 Indikatoren in der Planung, Umsetzung und finalen Phase adressieren.

### Evaluations-Dashboard:

Als Kommunikationstool für den Cluster stellt es übersichtlich die Projektinformationen, potenzielle Wirkungen und Projektergebnisse der 14 MCube-Vorhaben dar (qualitativ und quantitativ).

### Prozessevaluation (Lessons Learned):

Lessons Learned wurden für alle 11 Innovationsprojekte und den Gesamtcluster auf Basis von Barriers und Drivers erstellt. Barriers betreffen Kommunikation und Genehmigungsprozesse; Drivers sind Kleingruppenarbeit und transparente Kommunikation.

### Leitfäden zur Prozessoptimierung:

Kompakte Leitfäden wie Stakeholder Engagement Plan, Kommunikationsplan und Logbuch wurden als Teil der Lessons Learned für MCube Phase II und darüber hinaus erstellt.

## Übergreifend

### Einbindung der Öffentlichkeit:

Es fanden mehrere Events mit der Bevölkerung statt, darunter ein Bürgerinnen- und Bürger-Workshop und eine mobil-o-mat Aktivität bei der IAA 2023. Zudem wurden mögliche Projektinhalte für Phase II im Rahmen eines Workshops entwickelt.

# Impressum

**Herausgeber** MCube – Münchener Cluster für die Zukunft der Mobilität in Metropolregionen

www.mcube-cluster.de    info@mcube-cluster.com

**Autorinnen  
und Autoren**

<b>Wiesn Shuttle</b>	Florian Pfab und Frank Diermeyer
<b>ComfficientShare</b>	Nico Nachtigall und Brian Dietermann
<b>InterLog</b>	Alexander Bloemer, Johannes Fottner, Gerhard Hiermann, Matthias Langer, Stefan Minner, Rolf Moeckel, Max Schiffer, Banu Ulusoy Derel und Maximilian Wünnenberg
<b>Testkreuzung</b>	Martin Margreiter und Mario Ilic
<b>SASIM</b>	Julia Kinigadner, Paulina Schmidl, Philipp Servatius, Nienke Buters und Filippos Adamidis
<b>STEAM</b>	Nuno Miguel Martins Pacheco und Moritz Seidenfus
<b>TrEx</b>	Michael Mögele
<b>AQT</b>	Mareike Schmidt, Marco Kellhammer und Benedikt Boucsein
<b>MGeM</b>	Alexander Wentland und David Duran
<b>BeneVit</b>	Jonas Horlemann
<b>Coltoc</b>	Mohammad Sadrani
<b>DatSim</b>	Felix Waldner und Fabian Schuhmann
<b>ReMGo</b>	Alexander Wentland
<b>SUE</b>	Carolin Zimmer und Maximilian Pfertner

**Gestaltung** loop design consulting

Oktober 2024

