

Schlussbericht zum Teilprojekt

USEfUL: Untersuchungs-, Simulations- und Evaluations- Tool für Urbane Logistik

„Hochschule Hannover“ Im Projekt USEfUL

Autoren	Johannes Staritz, Richard Pump, Sophie Gohde, Maik Trott, Prof. Dr. Christoph von Viebahn, Prof. Dr.-Ing. Lars Gusig, Prof. Dr. Volker Ahlers, Prof. Dr.-Ing. Arne Koschel
Projektlaufzeit	1. September 2017 bis 31. Dezember 2020 (40 Monate)
Förderkennzeichen	03SF0547
Verbundpartner*innen	Volkswagen AG – Wolfsburg Leibniz Universität Hannover – Hannover Hochschule Hannover – Hannover Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig – Braunschweig
Ort, Datum	Hannover, 30.06.2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Kurze Darstellung	5
1.1	Aufgabenstellung	5
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	6
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	7
1.3.1	Projektverlauf	7
1.3.2	Erreichung der Meilensteine	8
1.3.3	Zielerreichung	9
1.4	Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand	10
1.4.1	Angaben bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.	11
1.4.2	Angaben der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	11
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	13
2	Eingehende Darstellung	14
2.1	Verwendung der Zuwendung im Einzelnen und erzielte Resultate	14
2.1.1	AP 2.1 Auswahl der Pilotquartiere	14
2.1.2	AP 2.3 Analyse des logistikrelevanten Mobilitätsbedürfnisses der Einwohner*innen	17
2.1.3	AP 2.4 Modellierung der logistikrelevanten Mobilitätsnachfrage und möglicher Entwicklungen	20
2.1.4	AP 2.6 Entwicklung innovativer Logistikkonzepte	22
2.1.5	AP 2.7 Validierung des logistikrelevanten Mobilitätsbedürfnisses der Einwohner*innen	25
2.1.6	AP 3.1 Entwicklung eines Simulationstools	25
2.1.7	AP 3.2 Ergebnispräsentation und Evaluation des Verkehrssimulationstools	36
2.1.8	AP 3.3 Unterstützung von Software-Qualitätsmanagement und IT-Projektmanagement	37
2.1.9	AP 4.1 Bilanzielle Szenarioanalysen	38
2.1.10	AP 4.2 Zeitdiskrete Szenarioanalysen	41
2.1.11	AP 5.1 Fachkonzept und Design	41
2.1.12	AP 5.2 Entwicklung der Web-Applikation	43
2.1.13	AP 5.3 Nutzerschulungen und Support	45
2.1.14	AP 5.4 Evaluation und Übertragbarkeit der Webapplikation	46
2.1.15	AP 5.5 Unterstützung Software-Qualitäts- und IT-Projektmanagement	46
2.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	47
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	47
2.4	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	49

2.5	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	49
2.6	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6.	49
2.7	Im Rahmen dieses Schlussberichts verwendete Literatur	50
3	Berichtsblatt.....	52
4	Control Sheet	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ergebnis der Identifikation von Untersuchungsräumen (Eigene Darstellung)	17
Abbildung 2: Flottengröße nach Unternehmensgröße und Fahrzeugtyp (Eigene Darstellung).....	18
Abbildung 3: Durchschnittlich gefahrene Kilometer je Einsatztag pro Fahrzeug (Eigene Darstellung)	19
Abbildung 4: Verkehrsmittelwahl der befragten Personen zur Erreichung bestimmter Ziele (Eigene Darstellung)	20
Abbildung 5: Konzept zur Kopplung der eingesetzten Simulationsframeworks (Eigene Darstellung)..	22
Abbildung 6: Ablaufplan zum integrierten Simulationsvorgehen am Beispiel des E-Grocery Konzeptes (Eigene Darstellung)	28
Abbildung 7: Schematisches Zustellverhalten von Agenten bei KEP-basierten Simulationsmodellen (Eigene Darstellung)	32
Abbildung 8: Schematische Darstellung des konzeptionellen Modellablaufs für das Konzept E-Grocery (Eigene Darstellung)	34
Abbildung 9: Grobes Komponentendesign der Webapplikation nach MVC-Muster (Eigene Darstellung)	42
Abbildung 10: Vollständiges Komponentendiagramm der Webapplikation (Eigene Darstellung)	44
Abbildung 11: Docker-Container des web-basierten Entscheidungsunterstützungstools (Eigene Darstellung)	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der aspektorientierten Kriterien (Eigene Darstellung).....	15
Tabelle 2: Vergleich der Ergebnisse aus der Nutzwert- und Sensitivitätsanalyse (Eigene Darstellung)	16
Tabelle 3: Einordnung des Wirtschaftsverkehrs zu anderen Verkehrsarten (Arndt, 2010).....	21
Tabelle 4: Exemplarische Validierung der simulierten Strecken und Servicezeiten von Lieferfahrzeugen im KEP Basiskonzept (Eigene Darstellung).....	31
Tabelle 5: Eingangsparameter für das Simulationsmodell zum Logistikkonzept Nachbarschaftslogistik (Eigene Darstellung)	35
Tabelle 6: Simulierte Distanzen (in km) und CO2 Emissionen (in kg) (Eigene Darstellung)	36
Tabelle 7: Übersicht der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises (Eigene Darstellung)	47

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Die systemübergreifende Identifikation, Erfassung, Simulation und Bewertung von zukunfts- und zielorientierten Lösungsansätzen für eine urbane Logistik, deren Anteil an der urbanen Mobilität wächst und eine Facette dieser logistikrelevanten Mobilitätsbedürfnisse der Einwohner*innen einer Stadt ist, steht im Zentrum des Grundlagenforschungsprojekts USEFUL (Untersuchungs-, Simulations- und Evaluations-Tool für Urbane Logistik). Das stadt- und verkehrspolitische Ziel in Zeiten von Digitalisierung, Urbanisierung, Verstädterung und Nachverdichtung der Ballungszentren ist die Entwicklung und der Erhalt einer lebenswerten Stadt. Die urbane Logistik der Zukunft steht für leise, emissionsfreie und sichere Transportlösungen sowie eine innovative Infrastruktur. Das EU-Ziel einer weitestgehend CO₂-freien Logistik in Ballungszentren ab 2030 soll mit dem Projekt USEFUL adressiert werden.

Für eine – dem verkehrspolitischen Paradigma der Verkehrsvermeidung, der Verkehrsverlagerung und der verträglichen, emissionsarmen Verkehrsabwicklung folgende – Situationsanalyse ist ein systemübergreifendes Verständnis notwendig. Dieses soll erstmals die – urbane Logistik auslösenden – individuellen bzw. institutionellen Einstellungen, soziodemografischen und ökonomischen Hintergründe, das Verhalten von Einwohner*innen, Gewerbetreibenden und Unternehmen abbilden und ihre Ver- und Entsorgungsbedürfnisse bzw. -notwendigkeiten von Gütern und Dienstleistungen regelmäßig erfassen. Die Daten sollen im Sinne belastbarer Ursachen-Wirkungsketten mit Verkehrs- und Emissionsdaten verknüpft und datenanalytisch verfügbar gemacht werden. Umgekehrt soll der Einfluss ordnungspolitischer, technischer oder organisatorischer Handlungen auf die Akzeptanz bzw. das Verhalten des Einzelnen bis zur Quartiersebene abgeschätzt werden, um die effektivsten Maßnahmenbündel zu identifizieren. Zugleich wird die Übertragbarkeit und Skalierbarkeit auf andere Kommunen und deren spezifische Quartiers- und Verkehrssituationen gewährleistet.

Für die genannten Problemstellungen ist die Landeshauptstadt Hannover nur eine Stellvertreterin: Eine Vielzahl europäischer Kommunen ist mit diesen Themenstellungen konfrontiert. Im Rahmen des Projektes USEFUL haben die Projektbeteiligten ein verlässliches Instrument für Entscheidungsträger*innen aus Politik, Wirtschaft und Öffentlichkeit als Entscheidungsunterstützungs- und Informationstool entwickelt. Wobei folgende Fragestellung bei der Entwicklung relevant waren:

- Wie lässt sich der Anteil bzw. die Veränderung der urbanen Logistik quantifizieren?
- Wie können Immissionen verursachungsgerecht quantifiziert zugeordnet werden?
- Wie entwickelt sich urbane Logistik in Abhängigkeit sozioökonomischer und soziodemografischer Muster bzw. Veränderungen?
- Wie beeinflussen sich Verhaltensänderungen und urbane Logistiklösungen uni- bzw. bidirektional?
- Was sind Wirkungen, Nutzen und quantifizierbare Potenziale innovativer Logistik- und Fahrzeugkonzepte?
- Welche qualitativen Zielkonflikte sämtlicher Stakeholder sind möglich (und quantifizierbar)?

- Welche wirksamen Steuerungsmöglichkeiten und -instrumente stehen Kommunen zur Verfügung, Ausweichstrategien oder Rebound-Effekte ausschließend?
- Welche weiteren weichen Maßnahmen (Öffentlichkeitsarbeit und Partizipation) sind notwendig, um Erfolg und Akzeptanz seitens Unternehmen und Einwohner*innen sicherzustellen?

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Einbeziehung der Akteure im Zuge der Vorbereitung des Projektes von (Panel-)Datenerhebung bis zur Validierung der Daten durch Pilotmaßnahmen im Feld ist somit Voraussetzung und in Hannover in einer Reihe von Projekten rund um das Thema Stadtentwicklung, Verkehrsplanung und Klimaschutz selbstverständlich. Die Einwohner*innen und Logistikakteure wurden durch Präsenzveranstaltungen, (Online-) Befragungen und einem Pilotprojekt zur Erprobung innovativer Logistikkonzepte im Stadtteil Linden-Nord aktiv involviert. Die beobachteten Reaktionen auf Veränderungen sind in Simulationen nachgebildet und analysiert worden. Dabei wurde auch bewusstgemacht, dass Versorgungsentscheidungen maßgeblich die Verkehrssituation, die Lebensverhältnisse und die damit einhergehenden vielfältigen Belastungen als Auslöser von urbaner Mobilität und Logistik beeinflussen. Die erlangten Ergebnisse und Kenntnisse bilden die Grundlage für die entwickelte Web-Applikation, die Kommunen, Unternehmen und Interessierte über die urbane Logistik informieren und bei den Entscheidungsfindungen unterstützen kann. Konstruierte Methoden und Modelle sind auf Basis von Open Source Software entwickelt, um Übertragbarkeit, Nutzbarkeit und Weiterentwicklungen zu gewährleisten.

Neben der eigentlichen Projektidee war die Zusammensetzung der Projektpartner die entscheidende Voraussetzung für die Durchführung des Projektes. Die im Projektverlauf zu entwickelnden Interaktionskonzepte und Methoden erforderten sowohl industrielles Vorwissen also auch wissenschaftlich fundiertes Grundlagenwissen, so dass ein sehr gut abgestimmtes und interdisziplinäres Projektkonsortium gebildet werden musste. Aus diesen Anforderungen fanden sich auf Basis eines Konsortialvertrages folgende Partner zusammen:

Landeshauptstadt Hannover (LHH), Volkswagen AG – Volkswagen Nutzfahrzeuge (VWN), Leibniz Universität Hannover – Institut für Kartographie und Geoinformatik (IKG), Leibniz Universität Hannover – Institut für Wirtschaftsinformatik (IWI), Hochschule Hannover – Fakultät II (HsH II), Hochschule Hannover – Fakultät IV (mit den Abteilungen INF-Informatik und WI-Wirtschaftsinformatik (HsH IV), Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig – Institut für Verkehr und Stadtbauwesen (IVS).

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

1.3.1 Projektverlauf

Den übergeordneten Rahmen für das Projekt USEfUL bildet die „Initiative Urbane Logistik Hannover“, in welcher Wirtschaft, Wissenschaft und Kommune eine Partnerschaft zur Thematik der urbanen Logistik bilden. Das Förderprogramm zur Umsetzung der „Strategischen Forschungs- und Innovationsagenda – Zukunftsstadt“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wurde von der "Initiative Urbane Logistik Hannover" genutzt, um das Projektvorhaben USEfUL als Teil des Gesamtvorhabens zu konzipieren und zu konkretisieren. Zur Bildung eines Projektkonsortiums fanden zunächst diverse Abstimmungstermine statt, in denen gemeinsame Ziele und eine gemeinsame Vision herausgearbeitet wurden. Um das Projektvorhaben zu konkretisieren, wurden dann in Brainstormings und Workshops, der Aufbau sowie die einzelnen Arbeitspakete herausgearbeitet. Hierbei zeigte sich, dass eine Aufteilung des Projekts anhand von fünf Themen- bzw. Arbeitsbereichen sinnvoll ist. Die gewählte Aufteilung sah daher wie folgt aus:

1.3.1.1 Modul 1: Projektleitung und Außendarstellung

Mittels eines übergreifenden Projektmanagements wurde die ziel-, zeit- und ressourcengerechte Bearbeitung der im Rahmen des Vorhabens vorgesehenen Arbeitspakete sichergestellt sowie die Beiträge der Partner des Verbundprojektes koordiniert.

1.3.1.2 Modul 2: Analyse des Urbanen Wirtschaftsverkehrs

Ziel war es, quartiersorientiert soziodemografische Daten, verhaltenswissenschaftliche Beobachtungen, ökonomische Parameter auf Mikro- und Makroebene sowie Verkehrs- und Umweltdaten zu erheben und in Kausalbeziehungen zu setzen, sodass im Hinblick auf eine nachhaltige klimaresiliente Stadtentwicklung die urbane Logistik im Sinne verkehrspolitischer Grundsätze – Verkehr zu vermeiden, auf andere Verkehrsträger zu verlagern oder möglichst verträglich zu gestalten – weiterentwickelt werden kann. Einwohner*innen der entsprechenden Quartiere wurden aktiv über ein Panel eingebunden, um ein tiefgehendes Verständnis der logistikbezogenen Mobilitätsbedürfnisse zu erlangen und Einstellungs- und Verhaltensänderungen zu messen.

1.3.1.3 Modul 3: Entwicklung einer Verkehrssimulation

Im Anschluss an Modul 2 sollte mit Hilfe der gewonnenen Daten ein Verkehrssimulationsinstrument entwickelt, mit dem Verkehrsflüsse, Nutzerverhalten und Wirtschaftsverkehre abgebildet werden können.

1.3.1.4 Modul 4: Szenarioanalysen neuer Logistikkonzepte

Auf der Basis von Modul 2 und 3 sollten Ursache-Wirkungsketten sowie verkehrs- und stadtentwicklungspolitische Maßnahmen innerhalb von Szenarioanalysen hinsichtlich ihrer Emissionsbilanz und wirtschaftlichen Effektivität beurteilt werden. In diesem Rahmen wurde geplant unter anderem innovative technische Lösungen der Verkehrsinfrastruktur, der Fahrzeuggestaltung oder im Hinblick auf Geschäftsmodelle als möglicherweise stadtverträglichere Alternativen abzubilden und hinsichtlich Wirkungen, Nutzen und Potenzial abzuschätzen. Neue, zum Teil disruptive Logistikkonzepte wurden in diesem Zusammenhang hinsichtlich ihrer Akzeptanz untersucht.

1.3.1.5 Modul 5: Web-Applikation zur Unterstützung von Kommunen

Die zu entwickelnde Web-Applikation mit dem Ziel der kommunalen Entscheidungsunterstützung griff dann auf die bisherigen Arbeitsschritte und den dort erlangten Kenntnissen zurück.

1.3.2 Erreichung der Meilensteine

Die vorab definierten Meilensteine im Forschungsprojekt USEFUL sind erfolgreich realisiert. Der erste Meilenstein „die Analyse des urbanen Wirtschaftsverkehrs“ ist entsprechend des definierten Zeitplans erreicht worden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen, sind neue und bereits bestehende Logistikkonzepte identifiziert worden, welche einen zu erwartenden Einfluss auf die im Forschungsprojekt definierten Zielgrößen haben und dabei technisch in eine Entwicklung des Tools zur Simulation und Präsentation von urbanen Logistikkonzepten zu überführen sind. Nach der Erstellung des Tools (Meilenstein 2) sind Szenarioanalysen für die definierten und simulierten Logistikkonzepte vollzogen worden, um Auswirkungen und Tendenzen für die bestimmten Zielgrößen zu bestimmen. Die Validierung des logistikrelevanten Mobilitätsbedürfnisses der Einwohner*innen ist aufbauend auf den Meilenstein zur Analyse des urbanen Wirtschaftsverkehrs durch (Online-) Befragungen realisiert worden. Die generierten Ergebnisse sind in die Entwicklung der Web-Applikation eingebunden. Die Fertigstellung der Web-Applikation ermöglicht den definierten Nutzergruppen und der weiteren Öffentlichkeit die Möglichkeit sich über urbane Logistikkonzepte zu informieren und des Weiteren eine Entscheidungsunterstützungshilfe in Anspruch zu nehmen.

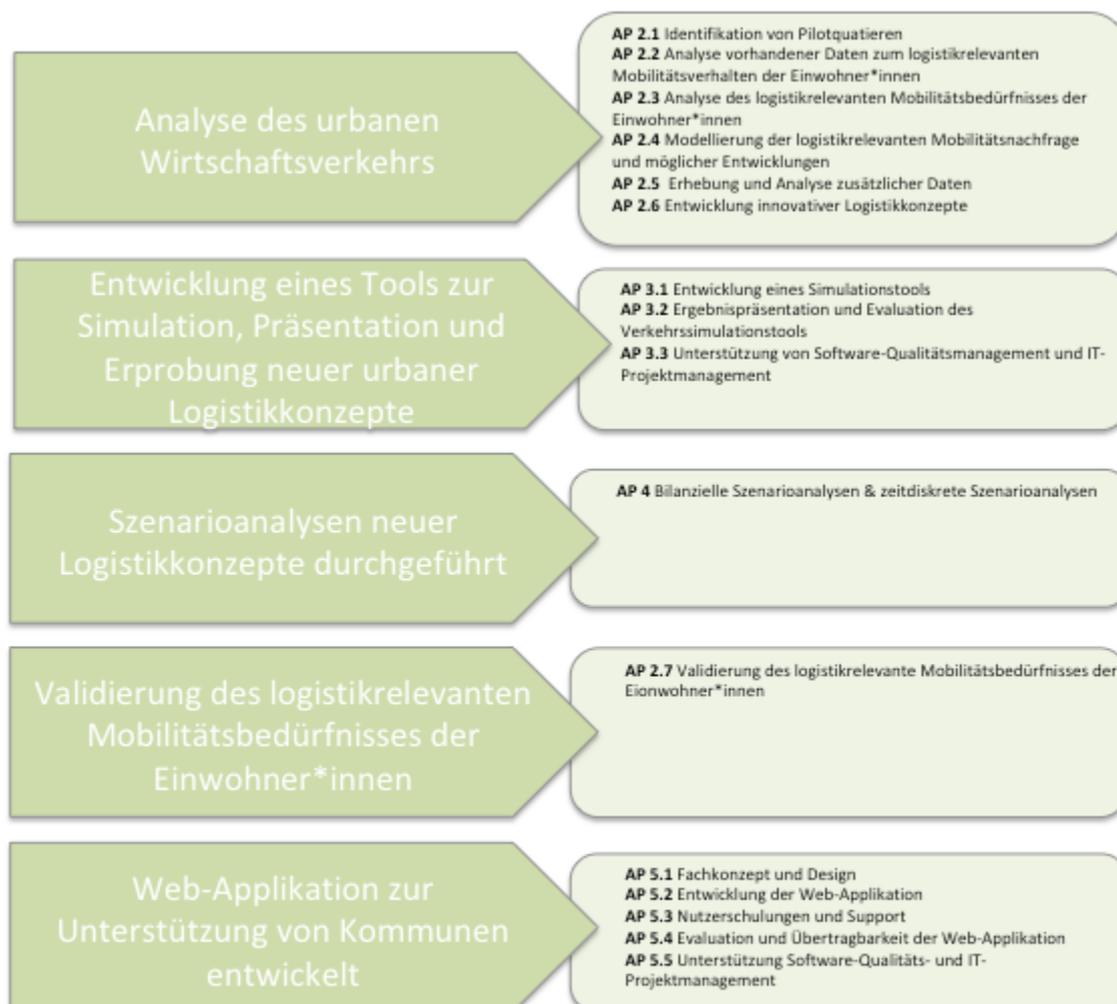
Bei dem Meilenstein des Moduls 3 ist es zu einer 6-monatigen Verzögerungen gekommen. Dies hat vor allem den Grund, dass das Tool durch die Besonderheit der makro- und mikroskopischen Betrachtung auf zwei Software-Komponenten angewiesen ist (MATSim und AnyLogic). Die Tools dürfen jedoch lizenzrechtlich nicht miteinander verknüpft werden, da in AnyLogic die Erstellung von Derivaten verboten ist. Die Verzögerung führte zu einer kostenneutralen Projektverlängerung bis zum 31.12.2020.

Somit war die Verknüpfung, Kommunikation und Datenübergabe zwischen diesen beiden Komponenten herausfordernder als gedacht, da dies bei Antragstellung noch nicht bekannt war. Es war jedoch den Anspruch, die Basis-Szenarien der Logistikkonzepte (BaseCases) in Modul 3 erfolgreich getestet und bereits optimiert zu haben, sodass die verschiedenen Szenarien, die in Modul 4 entwickelt wurden, anschließend in dem kombinierten Simulations-Tool optimal und effizient simuliert werden konnten. So können in der Web-Applikation (M5) die Auswirkungen der verschiedenen Logistikkonzepte möglichst realistisch abgebildet werden und als Entscheidungsunterstützung dienen. Die Szenarien der AP 4.1 und 4.2 sollten nicht differenziert, sondern verknüpft betrachtet werden, da die verschiedenen Parameterausprägungen in AP 4.1 ebenfalls zeitlich differenziert betrachtet werden müssen, um möglichst realitätsnahe Ergebnisse zu erhalten. Daher wurden die APs (4.1 und 4.2) gemeinsam als M4 betrachtet. Dies hatten keine zeitlichen oder kostentechnischen Auswirkungen.

1.3.3 Zielerreichung

Ziel des Forschungsprojekts USEful war die systemübergreifende Erfassung, Simulation, Bewertung und Darstellung von zukunfts- und zielorientierten Lösungsansätzen für die urbane Logistik. Darüber hinaus sollten diese Grundlagentenkenntnisse in einer zeitgemäßen Form, als Web-Applikation, Entscheidungsträger*innen aus Politik, Kommune, Wirtschaft und Öffentlichkeit gebündelt zugänglich gemacht werden. Die Web-Applikation dient somit als Informations- und Entscheidungsunterstützungstool für Fragestellungen zur urbanen Logistik. Durch die Auswahl von charakteristischen Stadtteiltypen und eines bestimmten Logistikkonzepts, können Auswirkungen in Form von Tendenzen für relevante Zielgrößen einer nachhaltigen Stadtentwicklung und Geschäftserfolg aufgezeigt werden. Zur Realisierung der Zielerreichung sind untenstehende Meilensteine mit ihren dazugehörigen Arbeitspaketen elementar gewesen.

Das Informations- und Entscheidungsunterstützungstool ist unter folgenden Link abrufbar:
<https://useful.uni-hannover.de/>



1.4 Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand

Wissenschaftlicher Stand

Der Wirtschaftsverkehr und damit auch die urbane Logistik – in Abgrenzung vom allgemeinen Kfz- und Personenverkehr in Städten – ist praktisch und wissenschaftlich noch nicht ausreichend intensiv untersucht und beschrieben, so dass erheblicher Forschungsbedarf festzustellen ist. Bei der Entwicklung des Systemverständnisses sind über Desk Research auch Erkenntnisse aus anderen Städten (Best Practices) sowie aus der Forschung eingebunden worden, sofern diese Erkenntnisse übertragbar waren. Daher ist vor allem Primärforschung notwendig und geplant gewesen; insbesondere um das Verhalten der Akteure, ihre Motive und auch die potenzielle Bereitschaft zur Verhaltensänderung zu untersuchen. Die Forschung bezüglich innovativer Logistikkonzepte ist in den letzten Jahren stark vorangeschritten. Auch die Erprobung bzw. Umsetzung in der Praxis, zumeist in führenden Metropolen, ist immer häufiger anzutreffen. Durch die neuen Geschäftsmodelle (Asset Light versus Asset Heavy) sowie alternative Fahrzeug- und Antriebskonzepte entstehen neue Akteure, die mit ihren Ansätzen die Städte hinsichtlich Emissionen und Verkehrsleistung entlasten möchten. Die Ansätze sind dabei vielfältig. In London ersetzt ein innovativer Logistiker die KEP-Dienstleistungen innerhalb der City-Mautzone, da dieser sich durch den Einsatz von elektrisch betriebenen Fahrzeugen die Maut einsparen kann und die Belieferung traditioneller KEP gänzlich übernimmt. In Amsterdam betreibt DHL eine eigene Flotte aus Schiffen, die das Grachtensystem nutzt. Diese dienen als bewegliche Packstation für Privatleute und als Hub für DHL-betriebene E-Lastenräder. Auch UPS nutzt in Hamburg einen Hub (Container), aus dem via E-Lastenräder Teile und Sackkarren die Fußgängerzone beliefert wird.

Technischer Stand

Multi-Agenten-Simulationen (z.B. MatSim, AnyLogic) sind das Mittel der Wahl zur Simulation von Verkehrsabläufen und der Simulation von Logistikkonzepten. Die Kombination verschiedener Tools auf mikro- und mesoskopischer Ebene sind verbreitet (z.B. Visum, Vissim). Während die Simulation vom allgemeinen Kfz-Verkehr und Personenverkehr intensiv bearbeitet wurde, hinkt die Simulation von Wirtschaftsverkehren hinterher. Veränderungen und Prognosen durch sich verändernde Liefer- und Nachfragesituationen bieten hohes Potenzial für zukünftige Vorhaben. So macht es beispielsweise der modulare Aufbau der Simulationsplattform MatSim möglich, dass Erweiterungen sowohl hinsichtlich neuer Entscheidungsmodelle, zusätzlicher Mobilitätsangebote als auch spezieller Anwendungen wie der Simulation von Fracht, Logistik und Lieferketten durch zusätzliche – zum Teil neu zu entwickelnde Module – realisiert werden können. Bereits jetzt existieren Erweiterungen zum dynamical vehicle routing, zur Berechnung von Emissionen des resultierenden Verkehrs sowie zur grundlegenden Simulation von Frachtauslieferungen, deren Anforderungen naturgemäß vom ursprünglichen Modellierungsansatz aus Sicht von individuellen Personen abweichen. Speziell Forschungsfragen hinsichtlich der Modellierung von Frachtverkehr (Zilske et al. 2012) sowie Lieferlogistik aus der Perspektive von Transport Service Providern (Schroeder et al. 2012) wurden bereits wissenschaftlich aufgegriffen. Zu prüfen galt, inwiefern die Fragestellungen des gegenwärtigen Projektes bereits mithilfe existierender Module adressiert, sinnvoll ergänzt und erweitert werden können, und für welche Untersuchungen gegebenenfalls neue Beiträge in das MATSim-Framework eingebracht werden müssen.

Die Instrumente zur Entscheidungsunterstützung im Bereich Logistik sind vielfältig. Auf der Mikroebene liegt der Fokus meist auf Routenoptimierungsproblemen (z.B. Lin et al. 2014) und dem Vergleich verschiedener Mobilitäts- und Logistikkonzepte (z.B. Macharis et al. 2010). In den städtischen Kontext der urbanen Logistik werden diese zumeist nicht eingeordnet. Guerlain et al. 2016 hingegen demonstrieren ein Entscheidungsunterstützungssystem für die Planung der urbanen Logistik. Solche Systeme sind für die Öffentlichkeit und damit für politische Entscheidungsträger*innen bislang nur unzureichend verfügbar oder fokussieren lediglich Teilaspekte wie beispielsweise die Lebensmittellogistik (Bortolini et al. 2016). Aus der EU-Initiative European Urban Transport Roadmaps entstand zudem ein webbasiertes Strategie-Tool für kleine bis mittelgroße Städte, welches auf Makro-Ebene politische Handlungsoptionen und mögliche Maßnahmen hinsichtlich der Auswirkungen im Stadtverkehr auf Basis von Szenarioanalysen quantifiziert und prognostiziert haben. Der Ansatz des USEful-Tools unterscheidet sich hiervon stark, da hier die Mikro-Ebene des Verkehrs fahrzeuggenau über Szenarien modelliert und bewertet wurde, was im erwähnten Projekt auf dieser Detailebene keine Anwendung findet.

1.4.1 Angaben bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts USEful sind keine bekannten Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens notwendig waren, benutzt worden.

1.4.2 Angaben der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste.

BALZERT, Heide, 2010. *UML 2 kompakt: Mit Checklisten*. 3. Auflage. Berlin-Heidelberg: Springer Spektrum. ISBN: 978-3-8274-2506-5

BORSHCHEV, Andrei und Ilya GRIGORYEV, 2014. *The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 6*. 1. Auflage. The AnyLogic Company. ISBN: 0989573176

GAMMA, Erich, Richard HELM, Ralph JOHNSON, John VLISSIDES, 1995. *Design Patterns*. Addison Wesley. ISBN 978-0-201-63361-0

HORNI et al. 2016, K. NAGEL, und, K.W AXHAUSEN. (eds.) 2016. *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*. London: Ubiquity Press. DOI: <http://dx.doi.org/10.5334/baw>. License: CC-BY 4.0

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION, 2014. ISO/IEC 25000:2014-03: *System und Software-Engineering - Qualitätskriterien und Bewertung von System- und Softwareprodukten (SQuaRE) - Leitfaden für SQuaRE*. Berlin: Beuth Verlag, 2014-03

KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE: 2018 *Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (2018): Deutsche Mobilitätspanel (MOP) im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur.*

LARAVEL LLC, 2021. Laravel Docs [online]. [Zugriff am: 16.06.2021]. Verfügbar unter: <https://laravel.com/docs/master/>

PEFFERS, Ken et.al., 2007. A design science research methodology for information systems research. In: *Journal of management information systems* 24, no. 3: 45-77. DOI: 10.2753/MIS0742-1222240302

POHL, Klaus und Chris RUPP, 2011. Basiswissen Requirements Engineering. 3., korrigierte Auflage. Heidelberg: dpunkt.verlag. ISBN 978-3-89864-771-7

MARTIN, Robert C., 2009. Clean Code. Prentice Hall. ISBN 978-0-13-235088-4

NOBIS, Claudia und Tobias KUHNIMHOF, 2018. Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI. Bonn-Berlin: BMVI. [Zugriff am: 15.05.2020]. Verfügbar unter: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf.

SPILLNER, Andreas, Thomas ROßNER, Mario WINTER, Tilo LINZ, 2014. Praxiswissen Softwaretest Testmanagement. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg: dpunkt.verlag. ISBN 978-3-86490-052-5

THE ANYLOGIC COMPANY, 2021. *AnyLogic Cloud API 8.5.0 Documentation*. Hanau: SimPlan AG, 15.06.2021 [Zugriff am: 15.06.2021]. Verfügbar unter: <https://cloud.anylogic.com/files/api-8.5.0/docs/index.html#1-overview>.

QUINLAN, J. Ross, 1993. C4. 5: Programs for Machine Learning. The Morgan Kaufmann Series in Machine Learning, San Mateo, CA: Morgan Kaufmann

WITTEN, Ian H. und Frank EIBE, 2002. Data mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations. In: *Acm Sigmod Record* 31, no. 1: 76-77.

WU, Xindong et al., 2008. Top 10 algorithms in data mining. In: *Knowledge and information systems* 14, no. 1: 1-37. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10115-007-0114-2>

WVI Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung 2010 WVI Prof. Dr. Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH, 2010. Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD 2010) im Auftrag des damaligen Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).

ZIMMERMANN, Jürgen, Christoph STARK und Julia RIECK, 2006. *Projektplanung: Modelle, Methoden, Management*. 1. Auflage. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. DOI: 10.1007/3-540-28483-4

ZILSKE et al. 2012, S. SCHRÖDER, K. NAGEL, G. LIEDTKE, 2012. Adding freight traffic to MATSim.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Austausch mit Anylogic-Entwickler bzgl. der Routenführung und technischen Simulationskomponenten
Es hat ein Austausch mit anderen AnyLogic-Entwicklern gegeben, um die optimale Routenführung für den Wirtschaftsverkehr im Simulationsmodell zu erschließen und abbilden zu können. Des Weiteren wurden einige technische Details im Hinblick auf die Simulationsentwicklung und Performanceverbesserungen besprochen.

Austausch mit Deutsche Post DHL

Im Rahmen des Forschungsprojektes hat ein intensiver, fachlicher Austausch mit der Deutschen Post DHL stattgefunden. Seitens der Deutschen Post DHL wurden neben Einblicken in die Arbeits- und Logistikprozesse auch relevante Sendungs- und Zustelldaten zur Verfügung gestellt, anhand derer die KEP-Simulationsmodelle justiert und verifiziert werden konnten.

Austausch mit REWE

Mit REWE hat ein inhaltsbezogener Austausch bzgl. der Durchführung des Lebensmittellieferungskonzeptes stattgefunden. In diesem Zusammenhang wurden vor allem Daten bzgl. des Bestellverhaltens der REWE-Kunden sowie des Lieferverhaltens von REWE selbst akquiriert. Da die Bereitschaft, Daten und Informationen bereitzustellen eher gering war und viele Daten und Informationen aus Studien sowie wissenschaftlichen Arbeiten entnommen werden können wird die Zusammenarbeit gegen Projektende gering ausfallen.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung im Einzelnen und erzielte Resultate

2.1.1 AP 2.1 Auswahl der Pilotquartiere

Die benötigten Daten zur Typisierung werden durch die LHH bereitgestellt und gegebenenfalls ergänzend erhoben. Diese verwaltungsintern verfügbaren Grundlagen- und Geodaten zur städtebaulichen Struktur der Quartiere umfassen Informationen zu Flächennutzung und Bebauung, Versorgung, Bevölkerung, Verkehrlichen Situation, Erschließung und Umweltindikatoren. Erstellung eine Auswahl- und Bewertungssystematik zur Analyse der Quartierkandidaten inklusive abschließender Bewertung und Auswahl von 4 Musterquartieren.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde der Bewertungsprozess zur Auswahl der Untersuchungsräume für das Projekt USEfUL an der VDI-Richtlinie 2225 ausgerichtet und durchgeführt. Diese Richtlinie wird genutzt, um Konstruktionslösungen technisch-wirtschaftlich zu bewerten (VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik, 1998). Der Prozess der in der Richtlinie dargestellten Nutzwertanalyse wurde auf die Auswahl der Untersuchungsräume angewandt und kann in folgenden Schritten zusammengefasst werden:

1. Definition der Größe des Bezugsraums (geographische Fläche)
2. Definition des Ziel-Systems
3. Definition der Kriterien und Gewichtung der Kriterien
4. Datenerhebung und Datensammlung
5. Definition der Erfüllungsgrade
6. Bewertung der Stadtteile
7. Sensitivitätsanalyse
8. Auswahl der geeignetsten Stadtteile

Da statistische Auswertungen grundsätzlich auf Stadtteilebene erfolgen und die Daten auch bei der Landeshauptstadt Hannover auf Stadtteilebene vorliegen, wurde die geographische Größe der Untersuchungsräume auf Stadtteilgröße festgesetzt. Das Zielsystem der Bewertung ist die Landeshauptstadt Hannover mit den insgesamt 53 Stadtteilen. Anhand der für die Analyse benötigten Daten, die durch die Landeshauptstadt Hannover bereitgestellt wurden, konnten für die oben genannten Aspekte Kriterien definiert werden, anhand derer die Stadtteile Hannovers quantitativ bewertet werden konnten. Die folgende Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die Kriterien, die sich an den eingangs genannten Aspekten orientieren. Bei der Definition der Kriterien wurde berücksichtigt, dass Stadtteile begünstigt werden, die für Hannover charakteristisch sind und trotzdem Problembereiche in Bezug auf die urbane Logistik Hannovers darstellen.

Kriterien Kategorie: Städtebau
Subkriterien: Einwohner pro bebaute Fläche, hohe Einwohnerzahl, durchschnittliches Verhältnis von Gewerbefläche zu Wohnfläche
Kriterien Kategorie: Bevölkerung
Subkriterien: Nahe der durchschnittlichen Haushaltsgröße zum Städtedurchschnitt, geringe Altersabweichung zum Städtedurchschnitt, geringe Abweichung des Anteils der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten zum Städtedurchschnitt, Abweichung der Transferleistungsempfänger zum Städtedurchschnitt
Kriterien Kategorie: Verkehr
Subkriterien: Erhöhter Anteil von grenzwertüberschreitendem Lärm, hoher mittlerer Level of Service
Kriterien Kategorie: Versorgung
Subkriterien: Hoher Anteil Nahversorgungsfläche zur Gesamtfläche

Tabelle 1: Übersicht der aspektorientierten Kriterien (Eigene Darstellung)

Anschließend erfolgte die Gewichtung der Kriterien und damit einhergehend die Bestimmung der Gewichtungsfaktoren. Um die Bewertung der Stadtteile quantitativ vorzunehmen, wurden für die genannten Kriterien Erfüllungsgrade aufgestellt. Die Erfüllungsgrade ermöglichen es die Daten der einzelnen Stadtteile in eine Punkteskala einzuordnen, und die Detailtiefe der Daten zu reduzieren und eine übersichtliche und transparente Bewertung zu ermöglichen.

Jeder Stadtteil erhielt für jedes Kriterium einen Punktwert zwischen null und vier Punkten. Durch die Multiplikation des Punktwertes mit dem zugehörigen Gewichtungsfaktor des Kriteriums ergibt sich eine gewichtete Punktzahl. Über die gewichtete Punktzahl kann die gewichtete Summe über alle für den Stadtteil gewichtete Punktzahlen ermittelt werden, die dividiert mit dem maximal zu erreichenden Punktwert von vier die technische Wertigkeit des Stadtteils ergibt. Dabei stellt eine technische Wertigkeit in Höhe von eins eine Ideallösung dar.

Um die Bewertung nicht nur vertikal durchzuführen, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, in der die Gewichtung der Kriterien schrittweise auf eins gesetzt wurden. Anhand der folgenden Tabelle 2 wurde nach der entsprechenden Gewichtung eine Bewertung vorgenommen. Nach dem der Gewichtungsfaktor jedes Kriteriums einmal auf eins gesetzt wurde und für die Kriterien-Cluster die Gewichtungsfaktoren nach Cluster gleichverteilt wurden, ergaben sich insgesamt sieben Rangfolgen. Im Anschluss konnte anhand der sieben unterschiedlichen Gewichtungsverteilungen gezählt werden, wie oft ein Stadtteil in den oberen zehn Plätzen vertreten war. Je öfter ein Stadtteil vertreten war, desto geeigneter war der Stadtteil zur Auswahl als Untersuchungsraum. In der folgenden Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Nutzwert- und Sensitivitätsanalyse dargestellt.

Ergebnis der Sensitivitätsanalyse			Ergebnisse der Nutzwertanalyse	
Rang	Stadtteil	Anzahl Platzierungen in Top10	Stadtteil	Wertigkeit
1	Linden-Mitte	6 von 7	Mitte	0,70
2	List	5 von 7	Vahrenwald	0,68
2	Mitte	5 von 7	List	0,68
4	Vahrenwald	4 von 7	Linden-Mitte	0,67
4	Linden-Nord	4 von 7	Oststadt	0,62
4	Südstadt	4 von 7	Südstadt	0,61
4	Groß-Buchholz	4 von 7	Groß-Buchholz	0,60
4	Linden-Süd	4 von 7	Linden-Nord	0,59
4	Oberricklingen	4 von 7	Oberricklingen	0,57
10	Oststadt	3 von 7	Nordstadt	0,56

Tabelle 2: Vergleich der Ergebnisse aus der Nutzwert- und Sensitivitätsanalyse (Eigene Darstellung)

Mit der Auswahl der Stadtteile Mitte, Oststadt, List und Groß-Buchholz (vgl.: Abbildung 1) konnte auf diese Weise ein zusammenhängendes Gebiet ausgewählt werden, das in logistischer Verbindung zu einander steht und die Versorgungszusammenhänge berücksichtigt. Die von innen nach außen gerichtete Anordnung der ausgewählten Stadtteile im Stadtgebiet der Landeshauptstadt Hannover garantiert die Berücksichtigung eines Querschnitts der städtischen Struktur und eine Unterschiedlichkeit der Stadtteile in Bezug auf die Bebauungs- und Besiedlungsstruktur. Somit ist die Übertragbarkeit auf andere Stadtteile sowie Städte gewährleistet. Dabei ist zu beachten, dass die Sensitivitätsanalyse bei der Auswahl des Untersuchungsraums zunächst als Methode zur geeigneten Vorauswahl diene. Die schlussendliche Auswahl der Untersuchungsgebiete basierte zusätzlich auf Berücksichtigung weiterer qualitativer Faktoren sowie auf Experteneinschätzungen verschiedener Stakeholder, die in operativer Runde und im Rahmen des Workshops konsultiert wurden. Im Falle sehr ähnlicher Scorings orientierte sich die Auswahl zusätzlich an persönlichen Präferenzen innerhalb des wissenschaftlichen Teams. So fiel die Wahl beispielsweise auf Groß-Buchholz, obwohl Vahrenwald im Rahmen der Sensitivitätsanalyse eine vergleichbare Eignung aufgewiesen hat. Hier wurde beispielsweise berücksichtigt, dass Groß-Buchholz, anders als Vahrenwald, durch große Unternehmens- und Bürostrukturen entlang der Podbielskistraße eine höhere verkehrliche Komplexität und Dynamik aufweist.

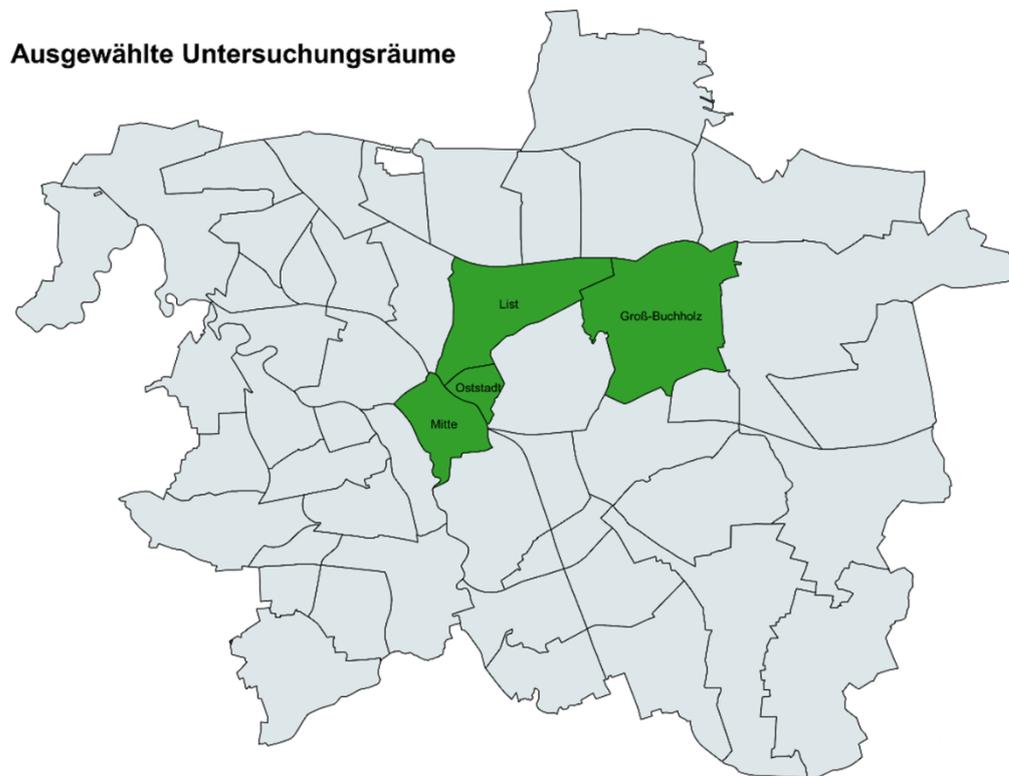


Abbildung 1: Ergebnis der Identifikation von Untersuchungsräumen (Eigene Darstellung)

2.1.2 AP 2.3 Analyse des logistikrelevanten Mobilitätsbedürfnisses der Einwohner*innen

Im Rahmen des Arbeitspakets 2.3 sollte das logistikrelevante Mobilitätsverhalten von Einwohner*innen und Unternehmen analysiert werden, um das gegenwärtige sowie zukünftige logistikrelevante Mobilitätsverhalten quantifizieren zu können. Darüber hinaus können die Einschätzungen der befragten Unternehmen mit den Erwartungen der Einwohner*innen verglichen werden, um entsprechende Differenzen zu identifizieren. Die aus der Bearbeitung des Arbeitspaketes generierten Daten sollten zudem vorbereitet werden, um eine spätere räumliche Analyse zu ermöglichen. Zur Bearbeitung des Arbeitspaketes lieferten folgende repräsentative Studien, die deutschlandweit durchgeführt wurden, eine Datengrundlage:

- Mobilität in Deutschland 2017 (MiD 2017)
- Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD 2010)
- Deutsches Mobilitätspanel (MOP)
- Mobilität in der Region Hannover (MiR 2011)

Um die Datenbasis hinsichtlich der Simulation von Logistikkonzepten weiter auszubauen, wurden im Rahmen des Arbeitspaketes zwei eigene Erhebungen geplant, durchgeführt und ausgewertet. Mit der ersten Befragung wurden Unternehmen aller Branchen und mit der zweiten Befragung die Einwohner*innen Hannover's adressiert.

Befragung der Unternehmen

Der primäre Zweck der Unternehmensbefragung war es, Unternehmen des (urbanen) Wirtschaftsverkehrs bezüglich ihrer derzeitigen Fahrzeugflotte, ihrem aktuellen Mobilitätsverhalten und ihrer Einstellung gegenüber der Elektromobilität sowie alternativen Logistikkonzepten zu befragen. Die deutschlandweite Unternehmensbefragung wurde von Januar bis August 2018 online durchgeführt und umfasste 37 Fragen, die in sechs Kategorien untergliedert wurden. Dadurch gelang es, die Akzeptanz und mögliche Reaktionen von Unternehmen auf potentielle Veränderungen in der urbanen Logistik zu untersuchen. Die Landeshauptstadt Hannover hat durch die Herausgabe einer Pressemitteilung auf die Umfrage aufmerksam gemacht, welche von zahlreichen deutschlandweiten und insbesondere lokalen Medien aufgegriffen wurde. Darüber hinaus wurde über E-Mail-Verteiler, einschlägige Foren sowie Newslettern auf die Umfrage hingewiesen. Insgesamt haben 84 Unternehmen an der Befragung teilgenommen (43 % vollständig beantwortete Bögen).

Die nachfolgenden Abbildungen veranschaulichen beispielhaft welche Erkenntnisse die Befragung von Unternehmen lieferten und wie die Darstellung der Resultate erfolgte. Die Abbildung 2 bringt Umsatzvolumen und Flottengröße in Zusammenhang und zeigt ergänzend, welche Fahrzeugtypen innerhalb der Unternehmen in welcher Intensität genutzt werden. Hier wird deutlich, dass besonders große Unternehmen mit einem jährlichen Umsatz von über 50 Millionen Euro verstärkt auf PKW und leichte Transporter bis 3,5 Tonnen setzen, während Firmen mit einen Umsatz von 10 – 50 Millionen Euro verstärkt große LKW ab 7,5 Tonnen nutzen. Bei kleinen und mittelständigen Unternehmen hingegen lässt sich kein eindeutiger Trend erkennen, wobei Organisationen mit einem Umsatz von weniger als 1 Millionen Euro im Jahr fast ausschließlich PKW und leichte Transporterflotten besitzen.

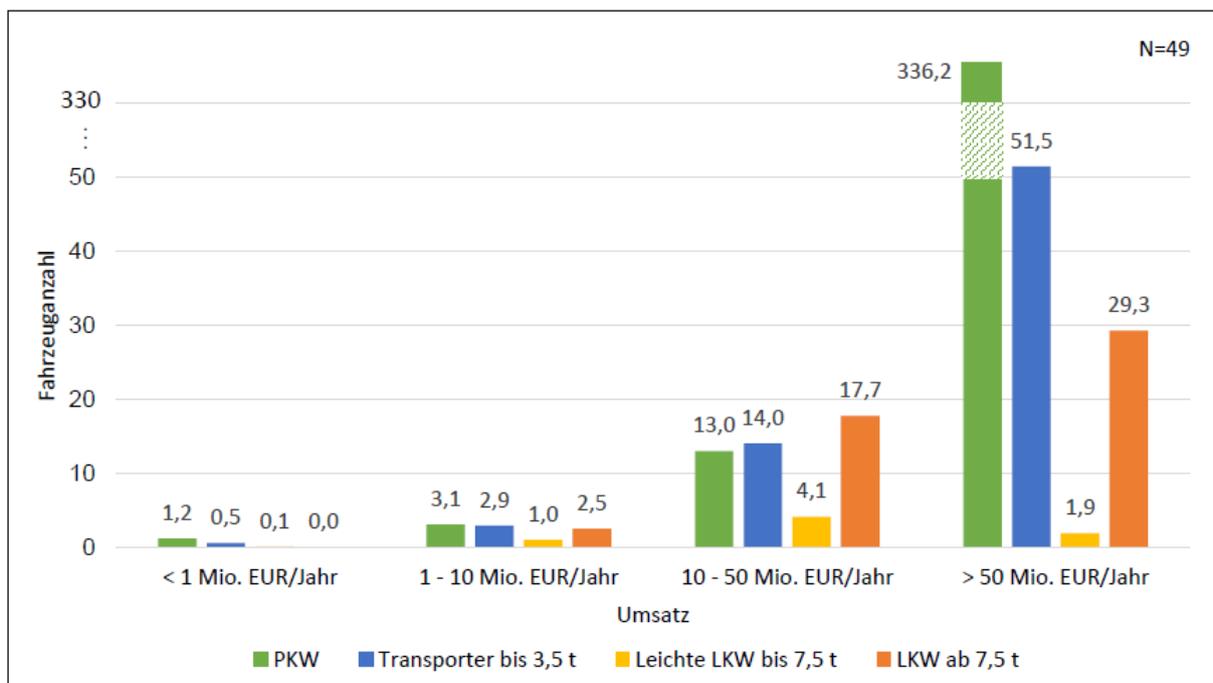


Abbildung 2: Flottengröße nach Unternehmensgröße und Fahrzeugtyp (Eigene Darstellung)

Erklärend ist bezüglich der Abbildung 2 zu ergänzen, dass es sich bei der auf der x-Achse abgetragenen Fahrzeuganzahl um absolute Größen handelt und dass sich Werte mit Dezimalstellen aus dem Durchschnitt der unterschiedlichen Unternehmensangaben ergeben. Zu beachten ist außerdem, dass der durch Schraffur gekennzeichnete Bereich, auf dem die PKW-Anzahl in Unternehmen mit einem Umsatzvolumen von über 50 Mio. Euro pro Jahr visualisierenden Balken, auf eine signifikante Änderung in der x-Achsenkalierung hinweist.

Abbildung 3 zeigt, welche Fahrtstrecke Fahrzeuge pro Einsatztag durchschnittlich zurücklegen. Hier lässt sich erkennen, dass vermehrt größere Distanzen von mehr als 50 Kilometern zurückgelegt werden.

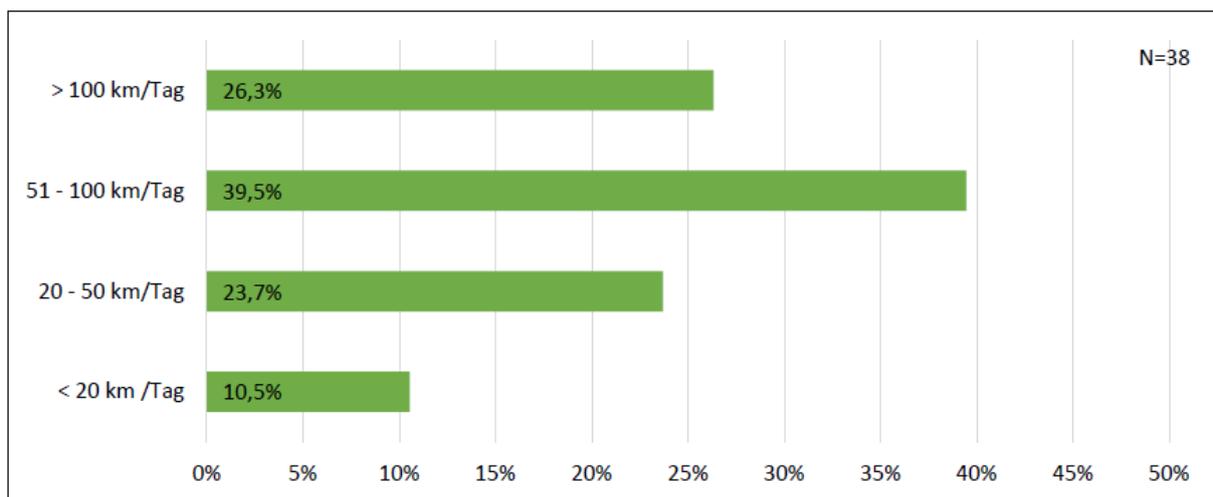


Abbildung 3: Durchschnittlich gefahrene Kilometer je Einsatztag pro Fahrzeug (Eigene Darstellung)

Befragung der Einwohner*innen

Im Sommer 2018 wurde eine zweite Befragung durchgeführt, die die Einwohner*innen aus Hannover und anderen deutschen Städten in den Fokus stellte. Ziel dieser Erhebung war es, die Einwohner*innen bezüglich ihres Mobilitätsverhaltens, ihres Bestell- und Einkaufsverhaltens und ihrer Einstellung gegenüber alternativen und neuen Logistik-Trends zu befragen. Durch die Teilnahme von 1.300 Bürger*innen ist es gelungen, die Akzeptanz und mögliche Reaktionen in Bezug auf potentielle Veränderungen in der urbanen Logistik zu untersuchen. Um eine möglichst große Stichprobe zu erhalten, wurde die Online-Befragung, nicht auf Hannover begrenzt, sondern eine deutschlandweite Teilnahme ermöglicht.

Abbildung 4 zeigt am Beispiel der Verkehrsmittelwahl der Befragten zur Erreichung bestimmter alltäglicher Ziele, welche Erkenntnisse aus der Befragung resultierten und wie diese grafisch aufbereitet und visualisiert wurden. Es wird deutlich, dass der private PKW für die Einwohner*innen in Hannover zwar das bevorzugte Verkehrsmittel in Bezug auf Großeinkäufe ist, dass kleinere Einkäufe und Paketabholungen von einer Filiale oder Poststation jedoch vorzugsweise zu Fuß oder mit dem Fahrrad vorgenommen werden.

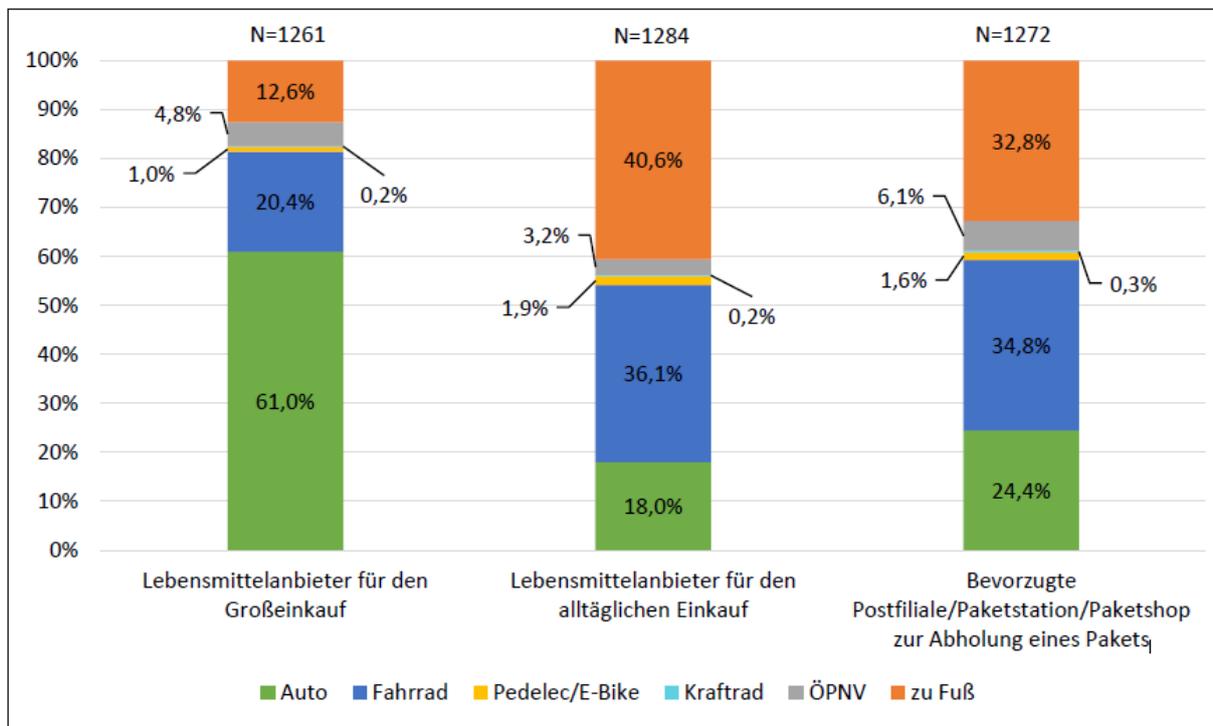


Abbildung 4: Verkehrsmittelwahl der befragten Personen zur Erreichung bestimmter Ziele (Eigene Darstellung)

Allgemein konnten aus den gesamten Umfrageergebnissen wichtige Erkenntnisse über das mobilitätsbezogene Verhalten, Logistikbedürfnisse und logistische Spezifika in Hannover gewonnen werden, die im Nachgang mit vorhandenen Studienerkenntnissen verglichen und extrapoliert und anschließend als Eingangsparameter für die Simulationsanwendungen genutzt wurden.

2.1.3 AP 2.4 Modellierung der logistikrelevanten Mobilitätsnachfrage und möglicher Entwicklungen

Für das Entscheidungsunterstützungstool war es erforderlich, dass die verschiedenen Konzepte auf einer einheitlichen Basis verglichen werden konnten, um so die beste Lösung für die jeweilige Nutzeranfrage berechnen zu können. Zur Abschätzung der verkehrsrelevanten und wirtschaftlichen Auswirkungen der unterschiedlichen Logistikkonzepte wurden im Rahmen des Projektes USEFUL Simulationsstudien durchgeführt und ausgewertet. Hierfür waren Modelle notwendig, die den Wirtschaftsverkehr in seinen unterschiedlichen Facetten abbilden können. Ziel dieses Arbeitspaketes war es daher, die Ausgangsmodelle für diese neue Integration in die klassischen Verkehrsmodelle zu erstellen. Auf Basis dieser Modelle erfolgte im Rahmen des AP 3.1 bzw. des Moduls 4 anschließend die detaillierte Ausarbeitung, Darstellung und Simulation der Konzepte sowie der verschiedenen Szenarien. Ausgehend von der Definition bzw. Gliederung des Wirtschaftsverkehrs nach Arndt (2010) (vgl.: Tabelle 3), wurde zu Beginn des Arbeitspaketes von den Projektpartnern festgelegt, welche Unterarten des Wirtschaftsverkehrs in den zu entwickelnden Modellen abzubilden sind. Gemeinsam wurde entschieden, den Fokus im Projekt auf eine ganzheitliche Darstellung des Dienstleistungs- bzw. Güterwirtschaftsverkehrs zu legen, da diese Betrachtungsweise in der aktuellen Forschung unterrepräsentiert ist. Im Ausgangsmodell wurde zunächst der Personenwirtschaftsverkehr modelliert, um auch die Rückkopplungen zwischen Individual- und Wirtschaftsverkehr zu berücksichtigen. Dieses

Modell bildete den Status Quo bzw. Referenzwert und repräsentierte die der Untersuchung zugrundeliegende verkehrliche Ausgangssituation des hannoverschen Verkehrsaufkommens. Anhand dieser Referenz konnte das Veränderungspotenzial der neuen Konzepte auf den Wirtschaftsverkehr im Rahmen der nachgelagerten Konzeptbewertung nachvollzogen werden.

Verkehr					
Immaterieller Verkehr	Materieller Verkehr				
Telefonie, Fax, Datenaustausch	Personenverkehr			Güterverkehr	
	Privater Personenverkehr (mit IV, ÖV)	Wirtschaftsverkehr			Privater Güterverkehr
	Berufs-, Einkaufs-, Freizeitverkehr,...	Personenwirtschaftsverkehr	Dienstleistungsverkehr	Güterwirtschaftsverkehr	Privater Umzugs-, Entsorgungsvverkehr

Tabelle 3: Einordnung des Wirtschaftsverkehrs zu anderen Verkehrsarten (Arndt, 2010)

Da neben den verkehrlichen Auswirkungen auch wirtschaftliche Effekte in die Entscheidungsfindung mit einbezogen werden sollten, wurden zunächst zwei unterschiedliche Simulationen eingesetzt. Neben dem am IVS verwendeten Open-Source Verkehrssimulationsframework MATSim kam an der HsH IV die Multimethodenmodellierungssoftware AnyLogic zum Einsatz.

Um die Interaktion der beiden Simulationen zu gestalten, wurde in AP 2.6 ein Kooperationskonzept entwickelt (vgl.: Abbildung 5). Nach Ausgestaltung der Logistikkonzepte wurden diese in die jeweiligen Simulationstools implementiert. Die Ergebnisse der betriebswirtschaftlichen Wirkungsanalyse mit AnyLogic bildeten die Eingangsparameter für die verkehrliche Analyse mit MATSim. Optimale Flottengrößen, Tourenpläne und andere Eigenschaften konnten so ermittelt und im Anschluss hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Gesamtverkehr der Stadt Hannover untersucht werden. Die so gefundenen Ergebnisse konnten anschließend direkt in die Web-Applikation des Entscheidungsunterstützungstools einfließen.

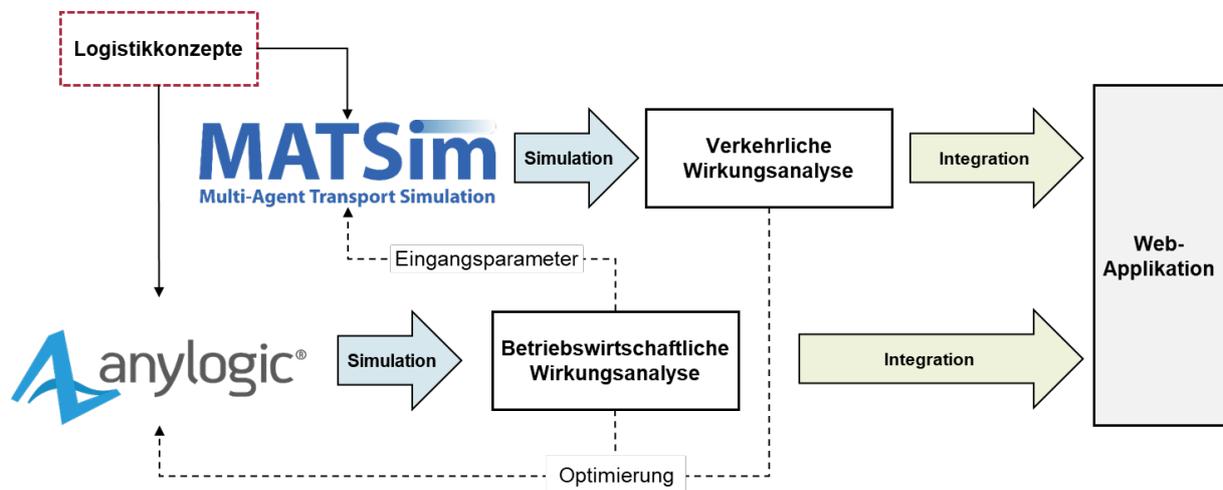


Abbildung 5: Konzept zur Kopplung der eingesetzten Simulationsframeworks (Eigene Darstellung)

2.1.4 AP 2.6 Entwicklung innovativer Logistikkonzepte

Für die Entwicklung innovativer Logistikkonzepte musste zunächst der Markt sondiert und existierende Konzepte evaluiert werden. Hieraus konnten Optimierungsmodelle entwickelt werden, um die betrachteten/relevanten Konzepte und Fahrzeuge hinsichtlich verschiedener Aspekte (Kosten, Emissionen, Anzahl benötigter Fahrzeuge etc.) zu bewerten und miteinander zu vergleichen. Beinhaltet sind neben der Analyse von neuen Geschäftsmodellen (Asset Light versus Asset Heavy) auch alternative Transportmittel und Antriebe.

Auf dieser Grundlage konnten mögliche Neu- oder Weiterentwicklungen durch die HsH II, die HsH IV und das IVS konzipiert werden. Es sollten Methoden wie Future-Design-Thinking oder auch Hackathon-Formate eingesetzt werden, um auf Basis der Kausalitäten zum Bestellverhalten (Input aus AP 2.4) neue Logistikkonzepte für die ausgewählten Musterquartiere (AP 2.1) im Team zu entwickeln.

Um geeignete Konzepte zu identifizieren, wurde ein Maßnahmenkatalog erstellt, der eine Übersicht über derzeitige und bereits pilotierte Konzepte ermöglicht. Aufgrund der Vielfalt der Konzepte bzw. daraus entstehenden Konzeptbündel ergeben sich für urbane Räume vielfältige und unterschiedliche Auswirkungen auf die oben genannten Zielgrößen, die aufgrund der vorhandenen Kapazitäten nicht alle simuliert werden konnten. Gleichzeitig kann deshalb auch der Maßnahmenkatalog nicht als vollständig angesehen werden. Die Maßnahmen wurden zunächst in die Kategorien regulatorische, verwaltungsbezogene-, infrastrukturelle-, marktbezogene, technologische und flächenbezogene Implikationen untergliedert. Durch eine zusätzliche Zuordnung der Konzepte zu den einzelnen Branchen sowie durch den Vergleich der Konzepte untereinander, bei dem die Konzepte nach dem grundlegenden Funktionsprinzip sortiert wurden, wurde eine Matrix entwickelt, die eine strukturierte Übersicht derzeitiger Konzepte visualisierte. Folgende Verkehrsarten und Branchen des Wirtschaftsverkehrs wurden dabei berücksichtigt, welche sich an der KiD von 2010 orientierten.

Verkehrsart 1: Gewerblicher Güterverkehr

- KEP
- Spedition und Lagerei
- Entsorgung
- Handel
- Baugewerbe

Verkehrsart 2: Service und Dienstleistungsverkehr

- Handwerk und Techniker
- Gesundheits- und Sozialwesen
- Öffentliche Verwaltung

Verkehrsart 3: Geschäfts- /Dienstverkehr

- Außendienst

Da insbesondere zur Simulation verschiedene Annahmen getroffen und entsprechende Daten hinterlegt werden mussten, wurde ein Workshop mit allen Projektpartnern durchgeführt, um die Konzepte bezüglich ihres Inhalts abzustimmen und eine Auswahl der relevanten Konzepte abschließend festzulegen. Bei der Auswahl sollten vor allem aktuelle und innovative Konzepte erfasst werden, die innerhalb eines kurz- bis mittelfristigen Zeitraums umzusetzen wären. Die Projektgruppe entschied sich dafür, zusätzlich ein langfristiges Konzept zu wählen, um einen weiteren Blickwinkel sowie einen Ausblick zu ermöglichen. Darüber hinaus wurde beurteilt, wie stark sich die Konzepte in Bezug auf die Zielgrößen auswirken.

Zur möglichst fundierten Identifikation innovativer Logistikkonzepte wurden im Rahmen eines Open-Innovation-Formats mit dem Titel „Kreathon Urbane Logistik“ zudem diverse Stakeholder und externe Partner verschiedenster Branchenkontexte involviert. Der zweitägige Workshop fand im Jahr 2018 statt und diente dazu, Ideen zu Anforderungen, Ausgestaltung und Umsetzung zukünftiger, innovativer Logistikkonzepte zu generieren und konkrete Ansätze abzuleiten und zu entwickeln. Die Ergebnisse des Workshops wurden dokumentiert und dienten als essenzielle Einflussgröße bei Festlegung der im Rahmen des Projekts entstandenen Konzeptansätze.

Als Ergebnis des Workshops wurden folgende Konzepte festgehalten, die in USEfUL detailliert analysiert und simuliert wurden:

- **a0 – Micro-Hub:** Im Innenstadtbereich werden mehrere Standorte für Micro-Hubs freigehalten, die in der Größenordnung eines Containers/ LKW-Anhängers eine Distribution der Pakete auf der letzten Meile ermöglichen. Die Zustellung der Pakete erfolgt durch jeden KEP-Dienstleister einzeln. Die Micro-Hubs ermöglichen eine Paketbelieferung der letzten Meile im Einzugsgebiet des Hubs, die vollständig mit Lastenfahrrädern oder anderen emissionsfreien Verkehrsmitteln durchgeführt wird. Als Ziele werden somit die emissionsfreie Belieferung auf der letzten Meile, die Verkehrsentlastung und die Verbesserung des Verkehrsflusses durch Reduktion des Zweite-Reihe-Parkens angestrebt. Die Steigerung der Effizienz durch die Flexibilität des Lastenfahrrades muss den Nachteilen bzgl. der geringeren Kapazität und den u. U. höheren personellen Kosten entgegenwirken.

- **a1 – White-Label:** Aufträge mehrerer KEP-Dienstleister werden gebündelt und von einem gemeinsamen Dienst in der Innenstadt durchgeführt. Die horizontale Kooperation und die Bündelung der Aufträge in einem gemeinsamen Distributionszentrum am Stadtrand oder die Nutzung von bestehenden Strukturen ermöglicht eine Effizienzsteigerung, die sich gleichzeitig positiv auf die Emissionsbilanz und den Verkehrsfluss auswirkt. Die vorhandenen Fahrzeugflotten werden gemeinsam genutzt, um einzelne Fahrzeuge effektiver auszulasten und die Kosten zu reduzieren. Anhand von Home Delivery, Pick Up und Ablageorten können die Sendungen den Kunden über gängige Nutzfahrzeuge geliefert werden.
- **a2 – City-Hub:** Es wird ein stationärer, innerstädtischer Umschlagplatz errichtet, der von mehreren KEP-Dienstleister zur Distribution auf der letzten Meile genutzt wird. Über den stationären Hub in der Innenstadt werden Kunden von verschiedenen KEP-Dienstleister beliefert. Dabei agieren die Standorte als Umschlagplatz, in denen vorzugsweise mehrere KEP-Dienstleister die entsprechenden Pakete im Hub in der Größenordnung von LKW-Ladungen in Empfang nehmen und auf leichte Nutzfahrzeuge und einen erhöhten Anteil an Lastenfahrrädern und handgeführten Transporthilfen zur Distribution auf der letzten Meile umverteilen. Der Standort bietet die Möglichkeit die für die Distribution benötigten Fahrzeuge außerhalb der Betriebszeit sicher abzustellen und ggf. ihren Akkumulator aufzuladen. Von dem stationären Hub aus werden Endkunden beliefert.
- **a3 – Zentrale Paketabholorte:** Die Zustellung erfolgt seitens der KEP-Dienstleister nur noch über unattended Services, indem Aufträge ausschließlich an Stationen/ Geschäfte oder über einen Ablageort an die Kunden geliefert werden. Die KEP-Dienstleister vollziehen keine üblichen Zustellungen mehr zum Kunden nach Hause via direktem Kontakt. Stattdessen werden die Pakete in fußläufig erreichbaren Paketstationen, Paketshops oder über andere Ablageorte (z. B. Kofferraumzustellung) gesammelt und zur Abholung des Kunden zur Verfügung gestellt. Vorzugsweise können die Abholmöglichkeiten an ÖPNV-Haltestellen vorzufinden sein. Es wird dabei angenommen, dass eine entsprechend hohe Dichte an Ablageorten verfügbar ist, sodass der Kunde zur Abholung seines Pakets kein motorisiertes Fahrzeug benötigt und somit der Verkehr entlastet sowie die Emissionen verringert werden können.
- **b1 – Online-Lebensmitteleinkauf:** Kunden bestellen Verbrauchsgüter wie Lebensmittel und Drogerieartikel bei einem lokalen Anbieter mit einem bestimmten Lieferzeitfenster an seinen Wunschort. Der Kunde wird somit für den Versorgungseinkauf nicht mehr selbst mobil, sondern erhält die bestellten Verbrauchsgüter, die mithilfe von leichten Nutzfahrzeugen geliefert werden. Es wird nur der Einkauf eines Anbieters geliefert, sodass keine Konsolidierung mehrerer Anbieter stattfindet. Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass der Kunde seinen vollständigen Versorgungseinkauf bei einem einzigen Anbieter erledigt und die Bestellung nicht auf mehrere Anbieter aufgeteilt wird.
- **b7 – Nachbarschaftseinkauf:** Nachbarschaften organisieren ihre Mobilität auslösenden Aktivitäten, indem sie über Arbeitsteilung ihre Einkaufswege verknüpfen und somit optimieren. Vorzugsweise erledigt ein Nachbar mehrere Aktivitäten für einen anderen Nachbarn (z. B. wird der Fokus auf die Einkaufsaktivitäten der partizipierenden Nachbarschaften gelegt). Auf diese Weise kann der Verkehr, der durch das Anfahren gleicher Ziele mit einem Kraftfahrzeug entsteht, reduziert und die Emissionsbilanz positiv beeinflusst werden.
- **f2 – Shared Fleet Business:** Verschiedene Branchen schließen sich zusammen, um ihre Fahrzeuge und ggf. auch ihr Material zu teilen. Anstelle eines innerbetrieblichen Teilens von Fahrzeugen wird ein betriebsübergreifendes, ggf. sogar branchenübergreifendes Konzept angestrebt, das es Nutzern ermöglicht, ihre Fahrzeuge und ihr Personal effizienter auszulasten. Vorzugsweise kann ein gemeinsamer Pool an Fahrzeugen angenommen werden, der die entsprechenden Kapazitäten der Nutzer berücksichtigt (Ersatzfahrzeuge, etc.) und Fahrzeug,

Material und Personal zum jeweiligen Zeitpunkt am Auftragsort abstellt bzw. abholt. Als Ziel wird angestrebt, die Anzahl der am Verkehr teilnehmenden Fahrzeuge zu reduzieren und damit die Emissionsbilanz und den Verkehr (Verkehrsmenge, Parkraum) zu verbessern.

- **g2 – Care & Share:** Mehrere Unternehmen im Gesundheits- und Sozialwesen teilen sich ihre Fahrzeugflotten bzw. richten einen Fahrdienst ein, um Fahrzeuge durch Mitnahme und Abholung von Mitarbeitern am Auftragsort effizienter zu gestalten und somit auch die Fahrzeuge besser auszulasten. Auf diese Weise lassen sich Parkflächen am Standort der teilnehmenden Unternehmen einsparen, der Parksuchverkehr mindern und der Verkehr entlasten. Unternehmensbezogen lässt sich bei entsprechender Organisation des Fahrdienstes die Effizienz steigern.
- **x1 – Röhrentransport:** Belieferung der Innenstadt zur multimodalen Feinverteilung über ein innovatives Transportsystem (unterirdisches Förderband) durch ein Logistikzentrum außerhalb der Stadt. Durch die Anlieferung der Stückgüter außerhalb der Stadt und den unterirdischen Transport lässt sich der Verkehr auf Randbereiche der Stadt verteilen. Die Verteilung der Stückgüter auf der letzten Meile über Lastenfahräder oder leichte Nutzfahrzeuge ausgehend von den innerstädtischen Hubs reduziert den Verkehr und die in der Innenstadt von Kraftfahrzeugen zurückgelegte Strecke, sodass Emissionen reduziert und der Verkehrsfluss verbessert werden.

2.1.5 AP 2.7 Validierung des logistikrelevanten Mobilitätsbedürfnisses der Einwohner*innen

Eine erneute Befragung unter Einhaltung des Befragungsdesigns (vgl. AP 2.3) bezüglich Verhaltensänderung und Akzeptanz der Logistikkonzepte wurde in Kooperation zwischen der LHH, der HsH II und dem IKG durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde auf die bereits eingesetzte Arbeitsmethode in Form von Fragebögen zurückgegriffen. Ziel war das Aufzeigen von Veränderungen vor, während und nach der Umsetzung alternativer Logistikkonzepte als Resultat einer raum-zeitlichen Analyse. Genauer wurden hier auch die Auswirkungen auf die Zielgrößen untersucht, um mögliche Zielgrößenkonzepte zu vertiefen und Zielgrößen zu priorisieren (siehe AP 4.1).

Im Rahmen des Projekts USEful wurde von Juli bis September 2020 eine deutschlandweite Online-Befragung zur urbanen Logistik durchgeführt. Insgesamt haben 1.197 Personen an der Befragung teilgenommen. Die Anzahl der Teilnehmenden kann je nach Frage variieren, wenn einzelne Fragen nicht beantwortet wurden. Die Erhebung erfolgte ausschließlich online. Kernaussagen der Umfrage werden u.a. zur Erstellung eines Akzeptanzmodells (AP 4.1) verwendet. Die vollständige Auswertung ist unter: <https://www.hannover.de/Urbane-Logistik-Hannover/Dialog/Ver%C3%B6ffentlichung-der-Online-Umfrageergebnisse-zur-Akzeptanz-innovativer-Logistikkonzepte> einzusehen.

2.1.6 AP 3.1 Entwicklung eines Simulationstools

Das Ziel von Modul 3 im Forschungsprojekt USEful war die Entwicklung, Verifizierung, Validierung und Evaluation eines Simulationstools zur ganzheitlichen Betrachtung, Analyse und Auswertung von urbanen Logistikkonzepten in den identifizierten Pilotquartieren. Im Rahmen von AP 3.1 wurden, aufbauend auf den in AP 2.4 erarbeiteten Basissimulationsmodellen, deshalb den Logistikkonzepten entsprechende Simulationsmodelle ausgearbeitet. Um sowohl den konzeptionellen Anforderungen in Hinblick auf die inhaltliche, realitätsgetreue Abbildung der Konzepte gerecht zu werden als auch den simulationsbezogenen, technologischen Wirkungsgrad zu erhöhen und eine mehrdimensionale Datenauswertung für die anvisierten Nutzergruppen zu ermöglichen, wurden umfangreiche

Logistikkonzepte sowohl mit mikroskopischem als auch mit makroskopischen Abstraktionsgrad modelliert und simuliert. Abbildung 6 zeigt den integrierten Ablaufplan für das Simulationsvorgehen am Beispiel des E-Grocery Konzeptes. Analog zu dem beispielhaften Vorgehen ist der dargestellte Prozessablauf allgemeingültig, auch für die hier nicht aufgeführten Konzepte (vgl. AP 2.6). Das integrierte Vorgehen aus Abbildung 6 bezieht sich dabei auf die Konzepte a0, a1, a2, a3 sowie b1, während die Konzepte b7 (AnyLogic) sowie f2, g2 und x1 (MATSim) aufgrund ihrer konzeptionellen Spezifika und dem daraus resultierenden, relevanten Abstraktionsgrad als eigenständige, separate Modelle in AnyLogic und MATSim entwickelt wurden.

Zunächst wurden Szenarien für die Untersuchung der Logistikkonzepte entwickelt. Dabei wurden charakteristische Parameter für die Logistikkonzepte definiert und in ausgewählten Szenarioausprägungen skaliert. Im Anschluss wurde die Basispopulation für die Simulation der Konzepte angepasst.

Methodik zur Anpassung der Population

Nachdem für den zugrundeliegenden Betrachtungsraum von Hannover eine repräsentative Population erzeugt wurde, war je nach Logistikkonzept und Szenario eine Anpassung der Tagespläne der Agenten für szenariospezifische Populationen erforderlich. Hypothetische Szenarien der Logistikkonzepte wurden so auf Basis der Definitionen aus AP 2.6 modelliert. Diese Anpassungen waren nötig, da Logistikkonzepte ein individuelles Verhalten der Population voraussetzen (Agenten handeln in einer dem Konzept entsprechenden Weise).

In dem dargestellten Fall von E-Grocery Szenarien ist der Onlineeinkauf von Lebensmitteln und der einhergehende Verzicht auf stationäre Lebensmitteleinkäufe in physischen Supermarktfilialen charakteristisch. Diese Umstellung bedingt die Anpassung der Tagespläne der Agenten. Die Aktivitäten für Einkäufe und verbundene Fahrten reduzieren sich je nach Szenario. Für die Lieferung der Online Bestellungen werden wiederum Aktivitäten für die Belieferungen erzeugt. Durch Verwendung des MATSim Framework wird die Basispopulation für die Konzepte E-Grocery und Nachbarschaftslogistik angepasst. Für jedes Konzept wird eine Durchsetzung des Konzeptes in der Population von je 33%, 66% und 100% erzeugt. So werden je nach Konzept einzelne Agenten angepasst und mit Aktivitäten für Belieferungszeitfenster versehen, Einkaufsfahrten werden reduziert. Die Belieferungszeitfenster dienen im weiteren Verlauf der Erstellung von Frachtplänen mittels AnyLogic und anschließend als Grundlage für die Simulationen zur Gesamtverkehrsquantifizierung in MATSim.

Für das Konzept Nachbarschaftslogistik sind keine Belieferungszeitfenster notwendig, stattdessen werden die Tagespläne der Agenten so angepasst, dass der Einkauf einer je nach Szenario-Ausprägung hohen Anzahl benachbarter Agenten, von nur einem Agenten erledigt wird. Für nicht einkaufende Agenten werden Einkaufsaktivitäten und somit Fahrten reduziert.

Konzept E-Grocery

Für das Konzept E-Grocery wurden für die Simulationen der definierten Szenarien 3 (Durchsetzungsgrade) Populationen erzeugt. Die Durchsetzungsgrade betragen hierbei 33 %, 66% und 100%. Der erste Wert orientierte sich hierbei an Ländern, deren E-Grocery-Durchsetzung bereits vergleichsweise hoch ist (bspw. Vereinigte Staaten oder Großbritannien). Im weiteren Verlauf wurden die beiden anderen Werte als ein Vielfaches des Basiswerts festgesetzt, um noch weitere, auf Interpolation beruhende, reliable Szenario und Sensitivitätsanalysen mit verschiedenen Durchsetzungsgraden zu ermöglichen.

Konzept Nachbarschaftslogistik

Für das Konzept Nachbarschaftslogistik wurden für die Simulationen der definierten Szenarien 3 (Durchsetzungsgrade) * 2 (Gruppengröße) * 3 (Prozentsatz motorisierte Fahrgemeinschaft) = 18 Populationen erzeugt.

Neben einer Szenario-spezifischen Anpassung der Populationen wurden je nach Konzept auch infrastrukturelle Annahmen getroffen und die Modelle entsprechend angepasst. Gruppengrößen und Prozentsatz der motorisierten Fahrgemeinschaft gehen auf Daten aus der MID-Studie zurück.

Methodik der Standortoptimierung für KEP-Konzepte

In den Fällen der KEP Konzepte a0-a3 sind Standorte für ein City Hub, ein White Label Distributionszentrum, Micro Hubs und Paketabholorte zu definieren und zu optimieren.

Grundlage für die Optimierung war die erhobene Paketnachfrage, mit einer Gesamtzahl von rund 17.500 Paketen, die an einem exemplarischen Tag ausgeliefert werden. Diese wurde weiterhin nach Anbieter (DHL, DPD, Hermes, GLS und UPS) differenziert. Als mögliche Standorte wurden bereits existierende Standorte der Anbieter sowie die in den jeweiligen Quartieren vorhandenen Parkflächen und –häuser mit einbezogen. Für jeden Anbieter und Stadtteil wurde darauf basierend eine Distanzmatrix aus Nachfragepunkten und potenziellen Standorten erstellt. Mit Hilfe der Modellierungssoftware GAMS 24.4.5 und dem Solver CPLEX wurde die Optimierung mit einem eingestellten GAP von 5 % durchgeführt. Der Solver mit einem Zeitlimit von 12 Stunden versehen und konnte in dieser Zeit keine optimale finden, sodass es sich bei der Optimierung um ein heuristisches Verfahren handelt.

Konzept Paketstation

Für das Konzept Paketstationen wurden für die definierten Szenarien 4 (Pilotquartiere) * 6 (Anbieter inkl. White Label) * 3 (Kapazitäten 100, 200 und 300) = 72 Optimierungen durchgeführt. Die maximale Distanz zwischen Paketstation und Nachfragepunkt wurde aufgrund vorliegender Forschungsergebnisse aus dem Bereich des stationsbasierten Carsharings übernommen. 10 Minuten Fußweg bzw. 750 Meter werden dort als kritische Grenze zum Erreichen des Fahrzeugs angesehen.

Konzept Micro-Hub

Für das Konzept Micro-Hub wurden durch besprochene Szenarien 4 (Pilotquartiere) * 6 (Anbieter inkl. White Label) * 2 (Kapazitäten 400 und 800) = 48 Optimierungen durchgeführt. Die maximale Distanz zwischen Micro-Hub und Nachfragepunkt wurde aufgrund vorliegender Forschungspräsentationen aus dem Hamburger UPS-Projekt auf 1000 Meter gesetzt.

Konzept City-Hub

Für das Konzept City-Hub wurden die vier Pilotquartiere gemeinsam betrachtet um für alle Stadtteile gemeinsame City-Hubs mit Kapazitäten von 6000, 12000 und 18000 Paketen zu realisieren. Dabei sind ausschließlich potenzielle Parkflächen in die Optimierung eingegangen, die eine entsprechende Größe hergeben.

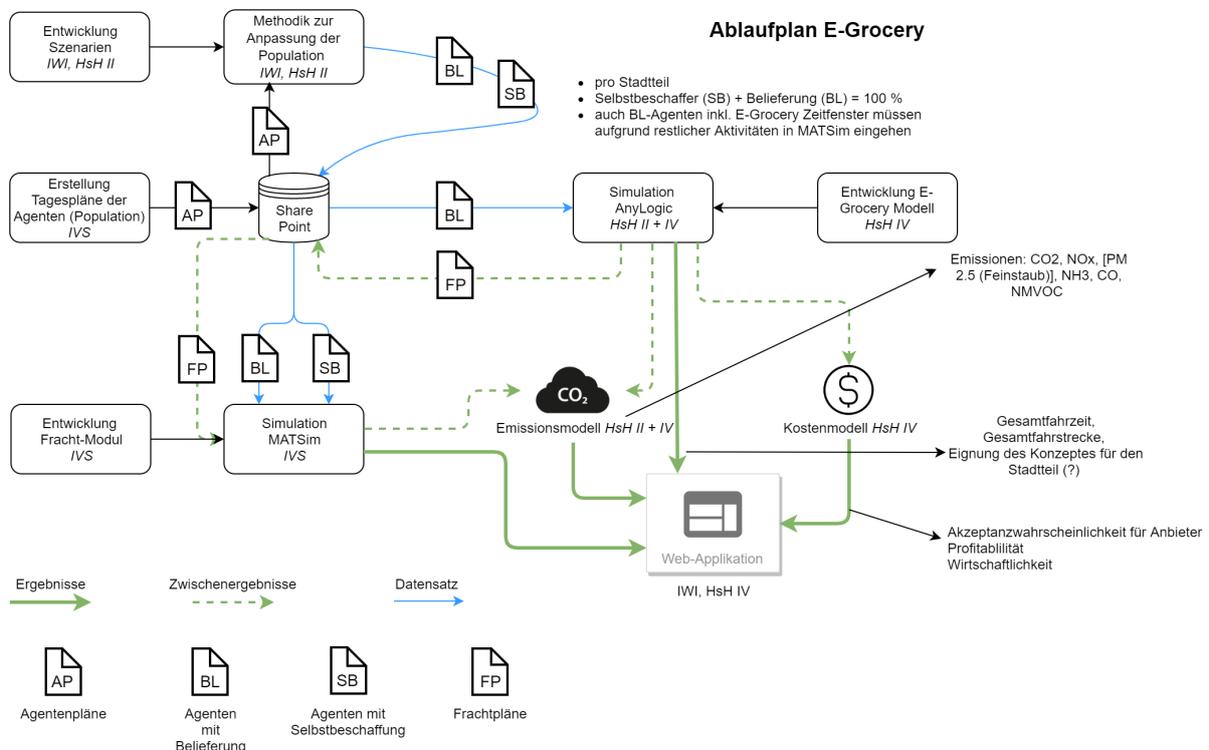


Abbildung 6: Ablaufplan zum integrierten Simulationsvorgehen am Beispiel des E-Grocery Konzeptes (Eigene Darstellung)

Simultan zur Entwicklung der Szenarien und der Methodik zur Anpassung der Population wurden die konzeptrelevanten Simulationsmodelle mittels eines agentenbasierten Modellierungsparadigmas in AnyLogic und MATSim erarbeitet.

Integrierte Simulationsmodellentwicklung – AnyLogic

Simulationsdaten

Valide und zuverlässige Simulationsergebnisse setzen fundierte und auf den Kontext des Modellierungsprozesses übertragbare Eingangsparameter voraus (Ören, 1981). Um die Datenqualität in Bezug auf die Simulationsparameter sicherzustellen, wurde das Konzept der Triangulation angewendet (Wilson, 2014), indem verschiedene Informations- und Datenquellen genutzt und deren Erkenntnisse miteinander kombiniert wurden. Mobilitätsbezogene Verhaltensparameter wurden aus deutschlandweiten Mobilitätsstudien (Nobis und Kuhnimhof, 2018), Expertengesprächen mit Industriepartnern (siehe 1.5) sowie aus wissenschaftlichen Fachpublikationen (Seitz et al., 2017) gewonnen und bei Bedarf für die Integration in die entsprechenden Simulationsmodelle aufbereitet. Zusätzliche wurden für die Konzeptmodellierung und -abbildung statistische Strukturdaten der Stadt Hannover verwendet, die Aufschluss über die für die Simulationsmodelle strukturell relevanten Eigenschaften und Gegebenheiten, wie Fahrzeugbestände nach Typen und Klassen oder Populationsklassifikationen in den Pilotquartieren, geben. Außerdem wurden die in MATSim erzeugten Tagespläne der Agenten in die AnyLogic Simulationsmodelle integriert und zur Abbildung von verhaltensregulierten Modellspezifika und Konzeptinflüssen verwendet. Das Verkehrsnetz der Simulationsmodelle wurde aus OpenStreetMap (OSM) extrahiert und mit einer wegstreckenbasierten Routingvorgabe angereichert, in Folge derer die Evaluation von Wegstrecken auf Basis des Konzeptes

der Distanzminimierung stattfindet. Routing- und wegstreckenbezogene Eingangsdaten für das Simulationsmodell, wie Geschwindigkeiten in unterschiedlichen Gebietsabschnitten und Servicezeiten, wurden auf Basis von Informationen festgelegt, die in Expertengesprächen mit den konzeptrelevanten Industriepartnern erhoben wurden. Da in AnyLogic lediglich simulierte Frachtpläne zur Integration des Wirtschaftsverkehrs in die makroskopischen Simulationsmodelle in MATSim erzeugt werden, wurden ÖPNV-Daten nicht in das Verkehrsnetz einbezogen.

Simulationsvorgehen

Wie die in AP 2.4 entwickelten Simulationsbasismodelle wurden auch die Modelle zu den innovativen Logistikkonzepten mittels hybrider Simulationstechnik in AnyLogic umgesetzt. Im Allgemeinen beschreibt Simulation eine Methode zur Untersuchung und Analyse der Dynamik eines Systems (Payne, 1983). In diesem Kontext stellen computergestützte Simulationsmodelle ein Entscheidungsunterstützungssystem dar, um das Verhalten und die Leistung von komplexen Systemen in verschiedenen Zuständen zu imitieren und zu prognostizieren. Sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis haben sich drei Hauptmethoden für die Modellierung dynamischer Simulationen etabliert, die diskrete Ereignissimulation (DES), die Systemdynamik (SD) und die agentenbasierte Simulation (ABS). Während DES einen bestimmten Geschäfts- oder Systemprozess als eine Reihe von Ereignissen modelliert, die durch einzelne Entitäten durchlaufen werden, konzentriert sich SD eher auf das Zusammenspiel von aggregierten Entitäten und deren Netzwerke als auf deren individuelles Verhalten und kann mathematisch als System von Differentialgleichungen beschrieben werden (Morgan et al., 2017). Darüber hinaus modelliert ABS ein System als Netzwerk autonomer Agenten nach einer Reihe vordefinierter Regeln und Bedingungen, um aus dem Verhalten der einzelnen Agenten und deren Interaktionen mit der Umgebung Rückschlüsse auf das Verhalten des gesamten Systems zu ziehen (Chaturvedi et al., 2011). DES, SD und ABS werden aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften und Fähigkeiten für unterschiedliche Systeme und Untersuchungsziele verwendet. Entsprechend bezieht sich SD im Allgemeinen auf die Simulation von makroskopischen Systemen, wohingegen DES sowohl für Simulationen mit mikroskopischen also auch mit mesoskopischen Betrachtungsgrad genutzt werden kann und sich ABS für alle Abstraktionsebenen eines gegebenen Systems eignet. Aufgrund der gegebenen Heterogenität bezüglich der involvierten Bezugsgrößen (z.B. Einwohner, Lieferanten, Zwischenlager) und der expliziten Relevanz des Verhaltens einzelner Bezugsgrößen bzw. Agenten auf die holistische Systemleistung wurde die agentenbasierte Simulation als Hauptmethodik für die Simulationsentwicklung in AnyLogic gewählt. Somit konnten Netzwerkeffekte realistisch modelliert und das Verständnis für das jeweilige Logistikkonzept während des Entwicklungsprozesses iterativ und inkrementell verbessert werden. Da die agentenbasierte Simulation Beschreibungen enthält, die dem untersuchten System sehr ähnlich sind, trägt dieses Vorgehen zudem für ein besseres Verständnis aller Beteiligten innerhalb des gesamten Entwicklungsprozesses für das finale Simulationstool bei und erhöht die Nutzbarkeit der Logistikkonzept-Simulationsmodelle im Forschungsprojekt USEFUL. Alle Modelle arbeiten dabei mit einem ereignisgesteuerten Zeitfortschrittsmechanismus, bei dem der Ablauf von Zustandsveränderungen innerhalb der Agenten und Agentennetzwerke für den sequentiellen Zeitfortschritt im Simulationsmodell verantwortlich ist. Diese Methode erlaubt im Vergleich zu kontinuierlichen Zeitsystemen eine effizientere Simulationsausführung in der Laufzeitumgebung, da weniger potentielle Zeitzustände vom System evaluiert werden müssen und somit die Simulationszeit selbst verkürzt wird ohne Logiken, Abläufe oder Ergebnisse zu verfälschen (Özgün und Barlas, 2009). Das Routing der Fahrzeuge innerhalb aller Simulationsmodelle wurde über einen selektiven k-Nearest-

Neighbour-Algorithmus (Dudani, 1976) realisiert, bei dem Sendungsempfangszeitfenster als Hauptauswahlkriterium dienen. Hierbei wird zunächst ein begrenzter Bereich festgelegt, um die Verfügbarkeit von Kunden innerhalb des Lieferbereichs zu bewerten. Der nächstgelegene Kunde (i) vom Verteilzentrum (je nach Logistikkonzept ggf. innerhalb eines bestimmten Zeitfensters) wird als Startpunkt ausgewählt und dem Zustellnetz hinzugefügt. Anschließend wird Kunde (i) als Ausgangspunkt für die Identifizierung des nächsten verbleibenden Kunden (i) in dem gegebenen Bereich festgelegt. Wenn im ausgewählten Bereich kein verbleibender Kunde verfügbar ist, erhöht der Algorithmus automatisch die Grenzen, bis ein Kunde gefunden wurde, der noch in einem entsprechenden Zeitfenster geliefert werden soll, oder alle Kunden in einem Zustellnetz gespeichert sind. Außerdem wurden die nicht-probabilistischen Eigenschaften verschiedener Eingangsgrößen wie den Lieferkapazitäten oder den Servicezeiten über stochastische Variablen und entsprechenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen Rechnung getragen. Des Weiteren wurden diverse Visualisierungsmechanismen mittels ereignisorientierter Simulation in die Modelle integriert, um mit geringem technischen Aufwand und zusätzlicher Rechenleistung sowohl das Konzeptverständnis inkrementell zu verbessern als auch zusätzliche Möglichkeiten zur Simulationsverifizierung und -validierung zu ermöglichen.

Verifikation und Validierung

Zur Sicherstellung der Simulationsqualität und -verlässlichkeit wurden die Simulationsmodelle sowie die aus den Simulationsergebnissen erzeugten Frachtpläne im Hinblick auf die relevanten Zielgrößen (z.B. zurückgelegte Fahrtstrecken, Fahrtdauern, Routing) verifiziert und validiert. Das Vorgehen in Bezug auf Verifikation und Validierung setzte sich dabei aus mehreren Methoden zusammen, um eine möglichst zuverlässige Qualitätssicherung zu gewährleisten. Neben intensivem Sparring mit relevanten Industriepartnern und Stakeholdern (siehe 1.5) wurden die erzeugten Modelle und Daten mit anderen verfügbaren Informationsquellen (z.B. Fahrtstreckenvergleiche mit Google Maps) sowie untereinander (AnyLogic <-> MATSim) verglichen. Darüber hinaus wurden die Simulationsmodelle und -ergebnisse mit Experten aus den Branchen Urbane Logistik und Simulation besprochen und eruiert. Zusätzlich wurden umfassende visuelle Checks vorgenommen, um mittels der verfügbaren Visualisierungen aus den Simulationsdurchläufen Rückschlüsse auf Modellabläufe, Modallogiken und potentielle Prozessfehler im Simulationsmodell schließen zu können. In einigen Fällen wurden zusätzliche Erhebungen durchgeführt, mit deren Hilfe die Frachtpläne ebenfalls validiert werden konnten. Dazu zählen zum Beispiel Befragungen von Fahrern im Online-Lebensmittelhandel zur Evaluierung simulationsrelevanter Eingangsparameter und Festlegung systemrelevanter Modellgrenzen. Tabelle 4 zeigt den Abgleich zwischen real gefahrenen Strecken und Fahrtdauern gegenüber den simulierten Fahrtstrecken und -dauern im KEP Basiskonzept, der für die Validierung des Routings verwendet wurde und eine totale Abweichung von 4,4 % zwischen Realdaten und Simulationsdaten aufgezeigt hat.

Tour	Liefergebiet	Realbetrieb		Simulation	
		Dauer	Gesamtdistanz	Dauer	Gesamtdistanz
1	30163	07:30:32	12,9825 km	07:32:54	14,8996 km
2	30163	07:40:43	11,5084 km	07:41:32	12,4979 km
3	30163	07:28:27	13,6184 km	07:28:22	13,6054 km
4	30163	07:36:47	10,1926 km	07:36:57	10,8521 km
5	30163	07:37:13	10,9536 km	07:37:15	10,9603 km
6	30163	07:30:06	12,4281 km	07:31:20	13,3268 km
7	30163	07:42:23	8,3309 km	07:42:10	8,2244 km
8	30163	07:18:10	7,4068 km	07:17:45	7,1173 km
Durchschnitt (gesamt)		07:32:13	10,92 km	07:33:08	11,44 km

Tabelle 4: Exemplarische Validierung der simulierten Strecken und Servicezeiten von Lieferfahrzeugen im KEP Basiskonzept (Eigene Darstellung)

Um die technische und konzeptionelle Qualität der einzelnen Simulationsmodelle sowie die übergeordnete Reliabilität der Simulationsanwendung zu gewährleisten, wurde mehrere Implementierungszyklen durchgeführt, in deren Rahmen Modell und vorläufige Ergebnisse fortwährend evaluiert und bei Bedarf angepasst wurden. Der Prozess der gesamten Simulationsentwicklung wurde agil gestaltet, um einen zielorientierten Entwicklungsprozess unter Einbezug der im Forschungskonsortium vorhandenen, interdisziplinären Kompetenzen sicherzustellen. Nach Abschluss der Entwicklungsarbeiten wurden für jedes Logistikkonzept zahlreiche Integrationszyklen sowie ein vollständiger Testlauf mit allen involvierten Forschungsabteilungen und Schnittstellen durchlaufen.

Simulation der Logistikkonzepte

Die in AnyLogic entwickelten Simulationsmodelle basieren auf den in MATSim erzeugten Agententagesplänen zur Abbildung des Mobilitätsverhaltens von Individuen sowie diversen Eingangsparametern zur logischen Steuerung der Wirtschaftsverkehre (siehe Simulationsdaten) und dienen zur simulativen Entwicklung von Frachtplänen für die simulierten Wirtschaftsverkehre, welche Strecken-, Routen- und Mobilitätsinformationen der Lieferfahrzeuge widerspiegeln und zur ganzheitlichen Simulation aller Verkehre in den Pilotquartieren integrativ in MATSim verwendet werden. Nachfolgend werden die Simulationsmodelle zu den einzelnen Logistikkonzepten in AnyLogic konzeptionell vorgestellt und erläutert.

a0 – Micro Hub: Beim Micro Hub Konzept wurden mehrere Standorte in den vier Pilotquartieren als Distributionsstandpunkte festgelegt, von denen eine Sendungsverteilung auf der letzten Meile durch die individuellen Paketdienstleister stattfindet. Die Belieferung der Endkunden, ausgehend von den Hubs, erfolgt durch Lastenräder in einem festgelegten Umkreis. Um den Realitätsgrad und Nutzen der Simulationsergebnisse zu verbessern, wurde verschiedene Szenarien definiert, simuliert und analysiert. So wurden die Anteile konventioneller Distributionsweisen zu Belieferungen mittels Micro Hub in drei Stufen variiert (33 %, 66 %, 100 %). Dieses Vorgehen erlaubt den direkten Vergleich zwischen den Einflüssen des Logistikkonzeptes auf die definierten Zielgrößen abhängig von der individuellen Nutzungsfrequenz und -intensität des Konzeptes. Außerdem wurde der Einfluss von Lagerkapazitäten und Netzwerkstrukturen untersucht, indem die Dichte der Micro-Hubs sowie deren individuelle Zustellkapazität in zwei Schritten variiert wurde. Während kleine Hubs eine Kapazität von jeweils 400 Paketen aufweisen und dementsprechend ein dichteres Hub-Netzwerk benötigt wird um das Liefergebiet in den vier Pilotquartieren vollständig abdecken zu können, fassen große Micro Hubs

jeweils 800 Sendungen und bedürfen demnach eines kleineren Netzwerks. Des Weiteren wurde der individuelle Einfluss der Standortfestlegung simuliert, indem auf Basis der berechneten Nachfrage optimierte Standorte für die Micro Hubs bestimmt wurden (siehe IWI zu Standortoptimierung) und deren Einfluss auf das Logistikkonzept mit gegebenen Netzwerkstrukturen, bei denen die Standorte der Micro Hubs mit bestehenden Lokationen von Paketstationen, Paketshops und Postfilialen gleichgesetzt wurden, verglichen. Zudem wurden letztlich auch die technischen Voraussetzungen dafür geschaffen, eine gebündelte Nutzung der Micro Hubs auf der letzten Meile im Rahmen einer White-Label-Zustellung durch alle KEP Dienstleister zu ermöglichen. Der schematische Grundablauf der KEP-basierten Simulationsmodelle sowie die Beziehungen und Verhaltensabläufe der wichtigsten Agenten werden in Abbildung 7 dargestellt.

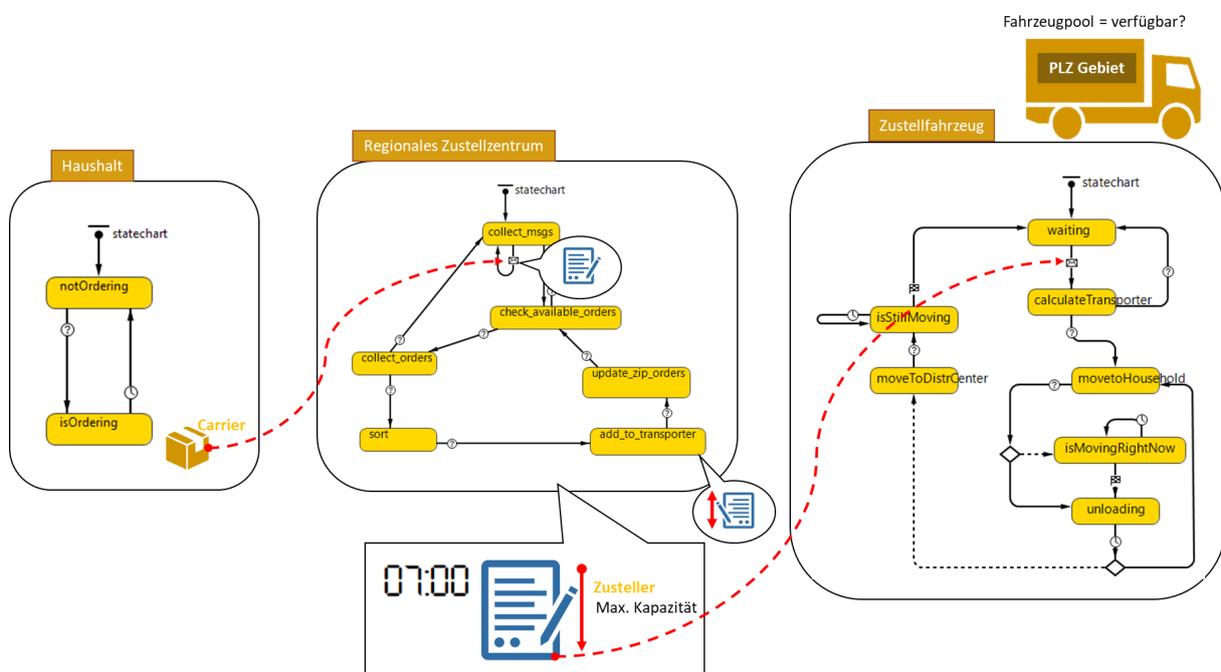


Abbildung 7: Schematisches Zustellverhalten von Agenten bei KEP-basierten Simulationsmodellen (Eigene Darstellung)

a1 – White Label Zustellung: Das Logistikkonzept beschreibt die Bündelung der Sendungsabwicklung auf der letzten Meile. Aufträge und Zustellfahrten von KEP-Dienstleistern werden horizontal gebündelt, um mittels der vorhandenen Strukturen eine effizientere Zustellung zu ermöglichen und für eine verkehrliche Entlastung zu sorgen. Lieferungen werden dabei durch traditionelle Zustellfahrzeuge vorgenommen, wobei auch elektrifizierte Fahrzeugflotten für einen direkten Vergleich des individuellen Zielgrößeneinflusses simuliert und zur Analyse aufbereitet wurden. Zusätzlich wurden die Standorte der regionalen Zustellbasen aller KEP-Dienstleister auf Basis der simulierten Bestell- und Sendungsdaten optimiert und mit einem konzeptionellen Ansatz verglichen, bei dem die Standorte den nächstgelegenen, realen Zustellbasen der KEP-Dienstleister in den Pilotquartieren entsprechen.

a2 – Stationärer Hub + bunte Zustellung: Der stationäre Hub stellt einen innerstädtischen Umschlagplatz dar, der von mehreren KEP-Dienstleistern zur Distribution auf der letzten Meile genutzt wird. Der Hub selbst wird über die Zustellbasen der KEP-Dienstleister beliefert und fungiert als Umschlagpunkt für die letzte Meile, von dem aus die KEP-Dienstleister ihre Sendungen individuell ausliefern. Die Zustellung an Kunden in unmittelbarer Nähe kann im Simulationsmodell in unterschiedlichen Stufen per Lastenrad erfolgen, wobei der Anwender den Anteil der Lastenradbelieferung individuell festlegt (0 %, 25 % oder 50 %) und über Distanzcluster der zu beliefernde Anteil per Lastenrad und Zustellfahrzeug berechnet wird. Da bisher keine ähnlichen Strukturen für einen, den Anforderungen dieses Logistikkonzeptes entsprechenden, stationären Hub im Untersuchungsgebiet vorhanden sind, wurde die potentiellen Standorte für die Hubs im Vorfeld per Lokalisierungsoptimierung festgelegt (siehe IWI zu Standortoptimierung). Zusätzlich bietet das Simulationsmodell die Möglichkeit, verschiedene Szenarien im Hinblick auf die Hub-Kapazitäten zu definieren, wobei Rücksprachen mit Praxispartnern (DHL) ergaben, dass ein Fassungsvermögen von 6.000, 12.000 oder 18.000 Sendungen pro Hub als realistisch anzusehen ist. Somit kann ein Hub die Nachfrage im Untersuchungsgebiet jeweils zu 33 %, 66 % oder 100 % abdecken.

a3 – Zentrale Paketabholorte: Bei diesem Konzept erfolgt die Zustellung der Sendungen über zentrale Paketabholorte, die wiederum über die Zustellbasen von den KEP-Dienstleistern beliefert werden. Die individuelle Kapazität der Paketabholorte wurde für bessere konzeptionelle Vergleichsmöglichkeiten variabel gestaltet, wobei sich die Kapazitätsgrenzen an den Realkapazitäten bestehender Paketabholstation orientieren. Durch die simulierte Kapazität von 100, 200 oder 300 Sendungen ergibt sich gleichermaßen ein unterschiedlich dichtes Netz, das zur Abdeckung der Gesamtnachfrage im Untersuchungsgebiet benötigt und von den KEP-Dienstleistern in Anspruch genommen wird. Die Standorte der simulierten Paketabholorte ergaben sich dabei aus real existierenden Paketabholstationen und -orten sowie potentiell verfügbaren Flächen in den Untersuchungsgebieten (Kioske, Freiflächen etc.). Zusätzlich bietet das Simulationsmodell die Möglichkeit, den Anteil des Logistikkonzeptes an den gesamten KEP-Operationen im Untersuchungsgebiet zu maximieren und somit verschiedene Einflüsse auf Basis der Nutzungsraten im Vergleich zu heutigen Gegebenheiten zu prognostizieren. Die Nutzungsraten des Paketabholortkonzeptes entsprechen demnach im Basisfall 21,7 % und im Maximalfall 100 %. Zusätzlich kann der Einfluss einer Fahrzeugelektrifizierung im Wirtschaftsverkehr auf die Emissionsausstöße sowie der horizontalen Bündelung von KEP-Dienstleistungen in den Pilotquartieren simuliert werden.

b1 – E-Grocery: Bei diesem Simulationsmodell handelt es sich um eine direkte Weiterentwicklung des E-Grocery Basismodells. Lebensmittel und andere Verbrauchsgüter werden von Kunden bestellt und in einem vorgegebenen Zeitfenster an den Kunden geliefert. Die Lieferzeitfenster resultieren dabei aus den Tagesplänen der simulierten Population sodass Zustellungen nur zu den Zeitpunkten erfolgen, zu denen sich die jeweiligen Sendungsempfänger am spezifizierten Zustellort befinden (z.B. zu Hause). Darüber hinaus kann auch das Konzept der „unbeaufsichtigten Zustellung“ simuliert werden, bei dem Lieferungen, ähnlich der Zustellung von KEP-Sendungen unabhängig von definierten Zeitfenstern zugestellt werden. Die Nutzungsfrequenz kann dabei in vier Stufen variiert werden (1,2 %; 33 %, 66 %, 100 %) um sowohl einen Vergleich mit aktuellen E-Grocery Nutzungsraten in Deutschland zu ermöglichen (Seitz et al., 2017), als auch die Einflüsse des Konzeptes bei steigender E-Grocery-Nutzung zu quantifizieren und prognostizieren. Außerdem besteht die Möglichkeit, die Entfernung des

Separate Simulationsmodellentwicklung – AnyLogic

Der Ansatz in Bezug auf Simulationsdaten, Simulationsvorgehen sowie Verifikation und Validierung entspricht auch bei dem separat in AnyLogic entwickelten und simulierten Konzept der Nachbarschaftslogistik dem bereits geschilderten Vorgehen der integrierten Simulationsmodellentwicklung.

b7 – Nachbarschaftslogistik: Im Simulationsmodell zur Nachbarschaftslogistik wird ein Lebensmitteleinkaufskonzept simuliert, bei dem Nachbarschaften Mobilität auslösende Einkaufsaktivitäten selbst organisieren, indem sie über Arbeitsteilung ihre Wege verknüpfen und somit optimieren. Anfallende Wegstrecken für Lieferfahrten werden gebündelt, indem private Haushalte als zentrale Sammelstationen für vordefinierte Nachbarschaften dienen, wobei der sowohl der am Konzept teilnehmende Anteil der Population als auch die Zusammenschlussgröße von Haushalten innerhalb gegebener Nachbarschaften variiert werden kann, um tiefgreifende Szenario- und Zukunftsanalysen zu ermöglichen. Tabelle 5 fasst die wichtigsten Eingangsgrößen für das Simulationsmodell und die darauf basierenden, nachfolgend dargestellten Ergebnisse zusammen.

Kategorie	Wert	Einheit	Typ
Flottengröße	16	Fahrzeuge	Fest
Zusammenschlussgröße	1 (min), 10 (max)	Haushalte	Diskret
Beladezeit pro Liefertour	35	Minuten	Fest
Lokation des Food Fulfillment Centers	52.447304, 9.697542	Koordinaten	Fest
Anteil Nachbarschaftslogistik	1 (min), 10 (max)	Prozent	Diskret
Einkaufshäufigkeit	51	Prozent	Fest
Belieferungstouren pro Tag	3	Touren	Fest
Entladezeit pro Bestellung	Mittelwert: 10, SA: 2	Minuten	Stochastisch
Fahrzeugkapazität	17	Bestellungen	Fest
Geschwindigkeit (innerorts)	Mittelwert: 30, SA: 5	Km/h	Stochastisch
Geschwindigkeit (außerorts)	Mittelwert: 70, SA: 10	Km/h	Stochastisch
Arbeitstage	6	Tage	Fest
Arbeitszeit	8	Stunden	Fest

Tabelle 5: Eingangsparameter für das Simulationsmodell zum Logistikkonzept Nachbarschaftslogistik (Eigene Darstellung)

Die Simulationsergebnisse zeigen eine signifikante Reduzierung der Kilometerleistung bei Verwendung eines gemeinsamen Empfangskonzepts für Lebensmittel im Vergleich zu bestehenden Liefer Routinen. Tabelle 6 zeigt eine Übersicht über die Ergebnisse in Abhängigkeit von den diskreten Gruppengrößen für den gemeinsamen Empfang von Lebensmittellieferungen sowie dem diskreten Anteil Zusammenschlussgrößen innerhalb der Nachbarschaften. Fälle mit Gruppengrößen gleich eins und / oder Empfangsanteilen gleich null bilden das traditionelle Szenario des individuellen Lebensmittelempfangs (b1) und dienen als Benchmarking-Fall.

		Nutzungsanteil der Gesamtbevölkerung										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Zusammenschlussgröße	1	1864/473	1864/473	1864/473	1864/473	1864/473	1864/473	1864/473	1864/473	1864/473	1864/473	1864/473
	2	1864/473	1757/445	1678/425	1626/412	1588/403	1521/386	1464/371	1351/343	1254/318	1207/306	1072/272
	3	1864/473	1757/445	1673/424	1588/403	1458/370	1369/347	1254/318	1128/286	1043/264	887/225	784/199
	4	1864/473	1768/448	1650/418	1514/384	1406/356	1286/326	1205/305	1062/269	887/225	788/200	667/169
	5	1864/473	1720/436	1619/410	1520/385	1445/366	1254/318	1074/272	1022/259	871/221	710/180	555/141
	6	1864/473	1713/434	1622/411	1521/386	1368/347	1209/307	1072/272	907/230	784/199	667/169	478/121
	7	1864/473	1714/435	1624/412	1462/371	1409/357	1177/298	1090/276	887/225	772/196	626/159	443/112
	8	1864/473	1711/434	1624/412	1451/368	1351/343	1177/298	1062/269	865/219	745/189	593/150	424/107
	9	1864/473	1710/434	1593/404	1458/370	1357/344	1181/299	1043/264	832/211	719/182	555/141	345/87
	10	1864/473	1710/434	1600/406	1457/369	1326/336	1207/306	1033/262	813/206	717/182	528/134	315/80

Tabelle 6: Simulierte Distanzen (in km) und CO2 Emissionen (in kg) (Eigene Darstellung)

Insgesamt konnten 98% aller Bestellungen innerhalb der vorgegebenen Empfangszeitfenster ausgeliefert werden. Während der gemeinsame Sendungsempfang in allen untersuchten Szenarien zu einer Verringerung der Kilometerleistung und der Emissionen im Vergleich zum Benchmarking-Fall führte, steigt der individuelle Nutzen mit dem Anteil der an diesem Konzept beteiligten Verbraucher. Interessanterweise hat der Einfluss der Gruppengrößen, die für den gemeinsamen Empfang zuständig sind, einen geringeren Einfluss auf die Kilometerleistung und die Emissionsleistung als der Anteil des Konzepts. Zum Beispiel übersteigen Kilometerleistung und Emissionen für 50% der gesamten Bevölkerung, die sich mit einer Gruppengröße von zehn Personen in der Nachbarschaftslogistik engagieren, die Kilometerleistung und Emissionen für 60% der Bevölkerung, die die Nachbarschaftslogistik mit einer Gruppengröße von vier Personen nutzen. Folglich kann davon ausgegangen werden, dass der Anteil der Haushalte, die sich an der Nachbarschaftslogistik in Bezug auf E-Grocery beteiligen, einen größeren Einfluss auf die Verkehrsreduzierung und die Umweltentlastung hat als die Anzahl der Personen, die sich für das Konzept entscheiden. Im Vergleich zum Benchmarking-Szenario kann der gemeinsame Empfang von Lebensmitteln im Allgemeinen zu Einsparungen bei Kilometerstand und Emissionen von bis zu 83,1% führen.

2.1.7 AP 3.2 Ergebnispräsentation und Evaluation des Verkehrssimulationstools

Im Rahmen des Arbeitspakets 3.2 wurden die einzelnen Simulationsmodelle und deren Outputs zunächst visualisiert und evaluiert. Entwickler der verschiedenen beteiligten Institute haben die Simulationsmodelle durch sogenanntes „Peer Programming“ sowohl technisch umfassend verifiziert als auch inhaltlich, durch Überprüfung der visuellen Darstellung der Simulations-GUI in Bezug auf ihre Realsystemkohärenz validiert.

Zur Visualisierung der Simulationsergebnisse innerhalb des Tools, wurde vom IKG eine Methodik zur intuitiven, aussagekräftigen und übersichtlichen Präsentation der nicht-räumlichen und räumlichen Daten entwickelt. Hierbei fand auch die zeitliche Komponente, wie beispielsweise die allgemeine Veränderung des logistikrelevanten Mobilitäts- und Versorgungsverhaltens der Einwohner*innen im Zeitverlauf, Berücksichtigung. Um fundierte Aussagen über Art und Richtung dieser Veränderungen treffen zu können, wurden beim Vergleich der verschiedenen Szenarien die Unterschiede gesondert hervorgehoben. Neben den komplexen Visualisierungsanforderungen wurden ebenfalls Benutzerinteraktionen, wie u.a. die Veränderung des angezeigten Inhalts (z.B. Zoomen, Verschieben,

Ein-/Ausblenden von Sachverhalten) und die Ausgabe der Ergebnisse (z.B. Erstellung von Reports, Speicherung, Drucken), implementiert.

Mit Hilfe explorativer Nutzertests und Expertenbefragungen wurde das Verkehrssimulationstool im Hinblick auf die anwenderfreundliche Nutzung, Interaktivität und Präsentationsform im Rahmen mehrerer Workshops sowie multilateraler Interviews evaluiert. Zusätzlich zu dieser Evaluation wurde das Tool durch IWI, HsH IV und IVS hinsichtlich seiner angebotenen Funktionalität und Zuverlässigkeit überprüft, wobei insbesondere vertretbare Anforderungen bezüglich Systemressourcen und Laufzeiten im Fokus standen. Hierbei wurden im Rahmen mehrerer iterativer Entwicklungsschritte gemäß eines agilen Entwicklungsvorgehens die Systemlaufzeit sowie die ressourcenbedingten Ladezeiten optimiert. Abschließend wurde auch die Ergebnisplausibilität für verschiedene, zufällig ausgewählte Konzepte und Szenarien durch umfassende Nutzertests überprüft und für zuverlässig und valide befunden.

Weiterhin erfolgte die Überprüfung der lizenzrechtlichen Rahmenbedingungen der verwendeten Software-Lösungen. Während die Verwendung MATSims innerhalb einer Open-Source-basierten Web-Anwendung, dem ursprünglich geplanten Gesamt-Tool, problemlos erfolgen darf, ließen die Lizenzbedingungen von AnyLogic keinerlei Derivate zu. So dürfen die Daten aus den Simulationen in dem Web-basierten Entscheidungsunterstützungstool verwendet werden, die in AnyLogic erstellten Simulationen hingegen nicht.

2.1.8 AP 3.3 Unterstützung von Software-Qualitätsmanagement und IT-Projektmanagement

Im AP 3.3. sollte die Produkt- und Prozessqualität bei der Entwicklung des Simulationstools sichergestellt werden. Dazu sollten das Projektmanagement in Fragen der Software-Entwicklung und Hardwarewahl unterstützt und geeignete Prozesse identifiziert werden, um eine hohe Qualität in Prozess und Produkt zu unterstützen.

Für die Entwicklung des Entscheidungsunterstützungstools wurden mehrere in Industrie und Forschung weit verbreitete Softwareentwicklungsprozesse (z.B. XP, TDD, Scrum, V-Modell-XT, Wasserfall) evaluiert und dem Gesamtprojekt präsentiert. Hierbei wurde auf die Vor- und Nachteile der Agilen Prozesse, sowie deren Umsetzungen eingegangen. Dabei wurden insbesondere die Projektbesonderheiten der örtlich verteilten Entwicklung durch mehrere Domänenexperten beachtet und kompensierende Maßnahmen diskutiert.

Zur Unterstützung des Gesamtprojektes erfolgten in AP 5.1 durchzuführende Workshops zur Identifikation des Ziels des Entscheidungsunterstützungstools bereits im Zeitrahmen des AP 3.3. Dies diente der frühen Identifikation und Etablierung einer konkreten Produktvision des Projektergebnisses, wodurch wichtige Kernfragen der Entwicklung des Simulationsteiles frühzeitig geklärt werden konnten. Die Begleitung des Entwicklungsprozesses erfolgte durch Beratung in entscheidenden Kernfragen wie der Schnittstellenwahl zwischen AnyLogic, MATSim, den Evaluationstools und der Webapplikation, sowie bei Fragen zur Algorithmik, Softwareengineering und der Behebung von funktionalen Fehlern („Bugs“). Weiterhin erfolgten regelmäßige Überprüfungen der Produktdokumentation und Zwischenstände durch projektinterne Vernetzung der Entwickler und Anwender. Bei den Überprüfungen wurden Qualitätsmerkmale wie z.B. funktionale Angemessenheit aus dem Standard ISO25000 überprüft.

2.1.9 AP 4.1 Bilanzielle Szenarioanalysen

Zu Beginn wurden komplementäre Teilszenarien (Parameter) für bestehende und neue Logistikmodelle sowie Mobilitätsträger definiert. Die unterschiedlichen Teilszenarien wurden anhand von definierten Kennwerten (Bedürfnisse der Einwohner*innen, Verkehrsleistung, Emissionen, etc.) für die jeweiligen Quartiere aggregiert, bilanziert, iterativ simuliert und anschließend ausgewertet. Die entwickelten urbanen Logistikkonzepte wurden analysiert, Extremsituationen aufgezeigt.

Da Logistikkonzepte vielfältige Auswirkungen auf ihr Umfeld haben ist es wichtig, die verschiedenen Zielgrößen zu berücksichtigen, welche die primär anzustrebenden Ziele definieren. Aufgrund der gegenseitigen Beeinflussung der einzelnen Faktoren entstehen zwangsläufig Zielkonflikte, sodass nicht alle Größen gleichzeitig optimiert werden können. Dies galt es bei der Bewertung der betrachteten Konzepte stets zu berücksichtigen, sodass keine Ideallösungen existieren, sondern geeignete Kompromisse gefunden werden müssen. Es wird in simulierbare und nicht simulierbare Zielgrößen unterschieden. Die Zielgröße „Akzeptanz“ stellt eine nicht simulierbare Zielgröße dar, weil sie nur mit sehr großem Aufwand und einer umfassenden Datengrundlage zu simulieren ist (siehe AP 2.7). Um die Auswirkungen der Konzepte anhand der nicht simulierbaren Zielgrößen abschätzen zu können, ist es erforderlich im Nachhinein mit Simulations- bzw. Umfrageergebnissen zu arbeiten.

Des Weiteren sollen die in AP 2.6 entwickelten Optimierungsmodelle eingesetzt werden, um existierende und alternative Logistikkonzepte hinsichtlich verschiedener Aspekte wie Kosten, Emissionen, Verkehrsaufkommen etc. bewerten und vergleichen zu können. Die bilanziellen Szenarioanalysen umfassen hierbei entsprechende Berechnungen für diverse Parameterausprägungen innerhalb der Modelle, wobei die Erkenntnisse der Einwohner*innen- und Unternehmensbefragungen mit in die Betrachtung einfließen.

Die folgenden Zielgrößen finden Anwendung in der Webapplikation:

Akzeptanz: Mit der Zielgröße Akzeptanz wird gemessen, inwieweit die Logistikkonzepte von den betroffenen Stakeholdern angenommen werden. Logistikkonzepte sollten in ihrer Ausprägung sozialverträgliche Arbeitsbedingungen voraussetzen, von den Akteuren sowohl auf der geschäftlichen als auch auf der Kunden-Seite akzeptiert und nutzbringend gestaltet sein.

Verkehrliche Auswirkungen: Die Reduktion von Verkehr ist eine entscheidende Anforderung an Logistikkonzepte, um Emissionen, zunehmender Flächenknappheit u. ä. entgegen zu treten. Die Umsetzung der Logistikkonzepte soll nicht mehr Verkehr induzieren, sondern bilanziell, bspw. durch die Substitution von Individualverkehr durch Wirtschaftsverkehr, zu einer verkehrlichen Entlastung führen.

Umsetzungspotential: Mit dieser Zielgröße werden die Logistikkonzepte vor die Anforderung gestellt, durch ihren Neuheitswert entsprechende Nutzergruppen anzuziehen und sich aufgrund einer lückenschließenden Umsetzung auch in anderen Städten oder Stadtteilen bspw. durch Bekanntheit erfolgreich zu etablieren.

Wirtschaftlichkeit: Da Unternehmen in der Regel eine Profit-Maximierung anstreben, wird die Umsetzung eines Logistikkonzepts i. d. R. nach dem Prinzip der Kostenminimierung ausgewählt. Etablierte Prozesse umzustellen, erfordert daher eine höhere Wirtschaftlichkeit, eine entsprechende Förderung oder einen Imagegewinn durch ein neues bzw. alternatives Logistikkonzept, welches den entsprechenden Kosten-Nachteil aufwiegt.

Ökol. Break-Even-Point: Mit der Zielgröße ökologischer Break-Even-Point wird gefordert, dass Konzepte, die mit besonders geringem finanziellen Aufwand die höchsten ökologischen Auswirkungen zeigen besser bewertet werden.

Emissionen: Die Minimierung von Emissionen in Form von Schadstoffen und Lärm stellt eine wichtige Zielgröße von Logistikkonzepten dar, um die Umweltbelastungen zu reduzieren und die Lebensqualität in Städten zu erhöhen.

Kosten: Mit dieser Zielgröße sollen Kosteneinsparungen aufgezeigt werden. Hierfür wird der sogenannte „Ist-Zustand“ mit den Kosten des ausgewählten Konzepts verglichen. Diese Zielgröße soll die Konzepte kritisch auf ihre Kosten untersuchen, auch dahingehend, dass sich bei einigen Logistikkonzepten die Verteilung der Kosten zwischen Unternehmen, Verwaltung und Bevölkerung lediglich verschieben und keine Einsparungen stattfinden.

Flächenbedarf: Die Zielgröße Flächenbedarf umfasst die Anforderungen an die Logistikkonzepte, möglichst geringe Flächen zu nutzen, um den Flächenbedarf in urbanen Räumen nicht zu erhöhen. Die Zielgröße soll Logistikkonzepte, welche mehr Fläche benötigen, kenntlich machen. Die Berechnung der Fläche berücksichtigt nur absolute Flächenwerte und spiegelt nicht die höhere Nachfrage von innerstädtischen Flächen im Vergleich zu Flächen am Stadtrand wider. Die Konzepte, deren Flächen von Stadtrandgebieten in innerstädtische Gebiete verlagert werden (z. B. City-Hub), gehen daher nicht negativ in die Bewertung ein. Die Nachfrageauswirkungen schlagen sich dafür in den Kosten und der Wirtschaftlichkeit nieder. Die Grundlagen zur Flächenermittlung unterscheiden sich in den Branchen, da je nach Konzept andere Flächenbereiche angesprochen werden (z.B. Parkflächen beim Nachbarschaftseinkauf und Shared Fleet Business oder Logistikflächen bei den KEP-Konzepten). Für jede Zielgröße wurde ein Modell erarbeitet um die Zielgrößenausprägung für jede Konzeption auszugeben:

Akzeptanzmodell

Um für die Logistikkonzepte die Akzeptanz zu ermitteln, wurden die Umfrageergebnisse aus AP 2.7 herangezogen. Im Akzeptanzmodell wurde in einem ersten Schritt den Logistikkonzepten, die ihnen zugehörigen Fragen zugeteilt. Es handelt sich dabei um Fragen, die die Prozesse des Konzeptes adressieren. Über den Mittelwert der ungeraden Anzahlen der Antwortmöglichkeiten wurde anschließend ein Referenzwert für die Akzeptanz abgeleitet. In einem zweiten Schritt wurden die Effekte des Konzeptes auf Schadstoff-Emissionen, Fläche, Verkehr und Kosten herangezogen. Über die Umfrage aus AP 2.7 konnte abgeleitet werden, inwiefern die Teilnehmenden Verbesserungen in diesen vier Zielgrößen akzeptierten. Je wichtiger die Zielgröße den Teilnehmenden war und je besser das Konzept in dieser Zielgröße abschnitt, desto besser war der Referenzwert für die Akzeptanz. Auf diese Weise ergaben sich für die Akzeptanz vier Werte durch die Zielgrößen und je nach zugehörigen Fragen

des Konzeptes einen bis drei weitere Werte, die über den Mittelwert zusammengefasst wurden. Am Ende wurden die Werte auf einen Wertebereich zwischen 0 und 1 normiert. Es wurde angenommen, dass je geringer der sich hieraus ergebene Wert war, desto geringer ist die Ablehnung des Konzeptes.

Verkehrsmodell

Die verkehrlichen Auswirkungen wurden von den Projektpartnern des IKG und des IVS modelliert und ausgewertet.

Umsetzungspotential

Das Umsetzungspotential wurde auf Basis der Hauschild'schen Innovationsmatrix erstellt. Hierbei wurden die einzelnen Konzepte auf Basis ihrer „Neuheit“ skaliert und bewertet. Darüber hinaus wurden die Mehrnutzen für Bürger*innen, Stadtplaner*innen und Unternehmen in Hinblick auf die Kernzielgrößen bewertet und in das Umsetzungspotential eingearbeitet.

Kosten- und Wirtschaftlichkeitsmodell

Das Kostenmodell basiert auf den Daten der Simulation explizit aus den Eingabeparametern: Anzahl Fahrzeuge, gefahrene Kilometer und Anzahl an Logistikumschlagpunkten. Für diese wurde nach ausgiebiger Recherche Kostenpunkte und -verteilungen festgelegt in Form von Abnutzung, Abschreibungen, Anschaffungskosten etc. In Verrechnung mit den Eingabeparametern aus der Simulation ergeben sich Kostensätze pro Tag für jedes Konzept. Basierend auf dem Kostenmodell wurde eine Wirtschaftlichkeitsumrechnung durchgeführt. Dabei werden mögliche Kosten von den potentiellen Erträgen subtrahiert. Die Einschätzung darüber, in welcher Höhe potenzielle Erträge anzusetzen sind bzw. welche Ertragshöhe pro Packet als realistisch betrachtet werden kann, basiert dabei auf Angaben der Praxispartner (z.B., DHL).

Modell ökologischer Break-even Point

Dieses Modell setzt sich aus dem Kostenmodell und dem Emissionsmodell zusammen. Hierbei werden entstandene Mehrkosten mit potentiellen CO₂-Einsparungen verrechnet. Diese Größe stellt einen direkten Zusammenhang zwischen Kosten und Emissionen dar, um einen weiteren Blickwinkel auf mögliche Umsetzungspotentiale zu gewährleisten.

Emissionsmodell

Mit der Angabe der Emissionsklasse der Lieferfahrzeuge und den gefahrenen Kilometer je Emissionsklasse können über die entsprechenden Emissionsfaktoren (in g/km) der European Environment Agency (Stand 2019) die Emissionen in guter Näherung berechnet werden. Die Faktoren berücksichtigen dabei typische Werte für Autobahnen, Landstraßen und Stadtfahrten, Fahrgeschwindigkeiten und Wegstrecken etc. (Ntziachristos und Samaras, 2019). Da in der Simulation in Bezug auf Emissionen die relativen Auswirkungen der Konzepte entscheidender sind als die absolute Genauigkeit bei der Emissionsbestimmung, kann das Modell als vereinfachtes Abbild der Realität aufgefasst werden. Über Global Warming Potential Faktoren (GWP, in kg CO₂ eq/kg Emission) können die einzelnen Emissionen in CO₂-Äquivalente umgerechnet werden.

Die Berechnung der Emissionen für private und wirtschaftliche Verkehre ($E_{i,j}$) erfolgt dabei über die absolute Fahrzeuganzahl in einer Kategorieklasse j sowie einer Technologieklasse k ($N_{j,k}$), die aus den Strukturdaten der Stadt Hannover hervorgeht, sowie der simulierten, jährlichen Fahrtstrecke in Kilometern pro Fahrzeug in einer Kategorieklasse j sowie einer Technologieklasse k ($M_{j,k}$) sowie dem technologiespezifischen Emissionsfaktor (nach Ntziachristos und Samaras, 2019) der jeweiligen Schadstoffemission i für die Fahrzeugkategorie j ($EF_{i,j,k}$):

$$EP_{i,j} = \sum(N_{j,k} \times M_{j,k} \times EF_{i,j,k})$$

Fahrzeugkategorien umfassen PKW, leichte Transporter bis 3,5 Tonnen, leichte LKW bis 7,5 Tonnen und schwere LKW ab 7,5 Tonnen, während die Technologieklassen von Euro 1 bis Euro 6 reichen. Ammoniak (NH_3), Distickstoffoxide (N_2O) und Stickoxide (NO_x) werden mit direkt über die Emissionsfaktoren der europäischen Umweltagentur berechnet, während die Kohlendioxidemissionen (CO_2) über die Fahrzeugkategorie k und deren Kraftstoffverbrauch m , abgeleitet werden:

$$E_{\text{CO}_2,k,m}^{\text{CALC}} = 44.011 \times \frac{FC_{k,m}^{\text{CALC}}}{12.011 + 1.008r_{\text{H:C},m} + 16.000r_{\text{O:C},m}},$$

wobei FC_{CALC} dem Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge über den gegebenen Zeitraum entspricht und $r_{\text{H:C}}$ sowie $r_{\text{O:C}}$ die Verhältnisse von Wasserstoff zu Kohlenstoff und Sauerstoff zu Kohlenstoff im Kraftstoff widerspiegeln.

Flächenmodell

Da sich durch die Logistikkonzepte langfristig Flächen auf andere Stadtteile umverteilen, werden die absoluten Flächenwerte durch die Logistikkonzepte ermittelt. Durch die Subtraktion der Flächenwerte aus dem Basisfall und dem Szenario ergeben sich Flächendifferenzen, die eine Auskunft über die veränderte Flächennutzung durch das Logistikkonzept geben. Bei den KEP-Konzepten wird über die Größe m^2/Paket und den zugehörigen Paketanzahlen die Fläche für die Stadtteile abgeschätzt. Zusätzliche Umverteilungsstandorte (Paketabholorte oder Micro-Hubs) werden über ihre Paketkapazität und einen exemplarisch ermittelten m^2/Paket Faktor miteinbezogen. Ergeben sich durch Routenoptimierungen oder den Wechsel von Lieferwagen auf Lastenfahrräder Flächenänderungen in den Abstellplätzen, wird dies prinzipiell durch einen abgeschätzten Wert für ihre Grundfläche berücksichtigt.

2.1.10 AP 4.2 Zeitdiskrete Szenarioanalysen

Die APs 4.2 und 4.1 wurden aufgrund hoher thematischer Nähe zusammengelegt. Die diesbezüglichen Erläuterungen sind dementsprechend unter dem Punkt 2.1.9 zusammengefasst.

2.1.11 AP 5.1 Fachkonzept und Design

Arbeitspaket 5.1 galt der Entwicklung eines Fachkonzeptes und des Designs der Webapplikation. Innerhalb des Fachkonzeptes war ein interaktiv weiterzuentwickelnder Anforderungskatalog festzuhalten, der die funktionalen Anforderungen anhand der Nutzerbedürfnisse definiert. Im Design sollte das Softwaresystem technisch strukturiert werden.

Zur Identifikation der Stakeholder und Kernnutzer wurden frühzeitige Workshops im projektinternen Rahmen durchgeführt. Die dabei gewonnene Zieldarstellung bildete unter anderem auch die Grundlage für das Fachkonzept der Webapplikation. Hierbei wurden Entscheidungsträger, Städteplaner und an

Themen der urbanen Logistik interessierte als Zielgruppen der Webapplikation identifiziert. Das Web-basierte Entscheidungsunterstützungstool soll diese Nutzergruppen nicht nur bei der Wahl der Konzepte unterstützen, sondern auch allgemein über Räume, Konzepte und das Projekt USEful informieren. Zusätzlich zu funktionalen Anforderungen wurden auch technische Rahmenbedingungen, wie z.B. bei der LHH etablierte Technologien und Qualitätsanforderungen identifiziert und verwaltet. Unter anderem wurde eine hohe Schwelle an die Usability der Web-Anwendung gelegt, um die im Projekt entstehenden Erkenntnisse einem möglichst großen Nutzerkreis zugänglich zu machen. Für das technische Design der Anwendung wurden mehrere studentische Arbeiten durchgeführt, um vielversprechende Ansätze zu identifizieren und einen, dem Projektkontext am meisten angepassten, Entwurf zu identifizieren. Dabei wurden aus weit verbreiteten Architekturmustern diejenigen ausgewählt, deren Anwendung am besten mit Entwicklerfähigkeiten, Technologiestack und Applikationskontext harmonierten. Die Wahl fiel auf die Technologien php, Laravel, javascript, Node.js, nginx, mysql und Docker. Damit wurde ein weit verbreitetes Framework für Webanwendungen innerhalb einer einfach übertragbaren Umgebung gewählt, um sowohl Deployment als auch Wartung zu vereinfachen. Über durchgehende Anwendung des Model-View-Controller-Musters (vgl.: Abbildung 9) werden Komponenten innerhalb der Applikation anhand der technischen Zuständigkeiten zusätzlich zu den Domänenaufgaben aufgetrennt. Weiterhin ermöglichen die gewählten Technologien ein zeitgemäßes Front-End-Design.

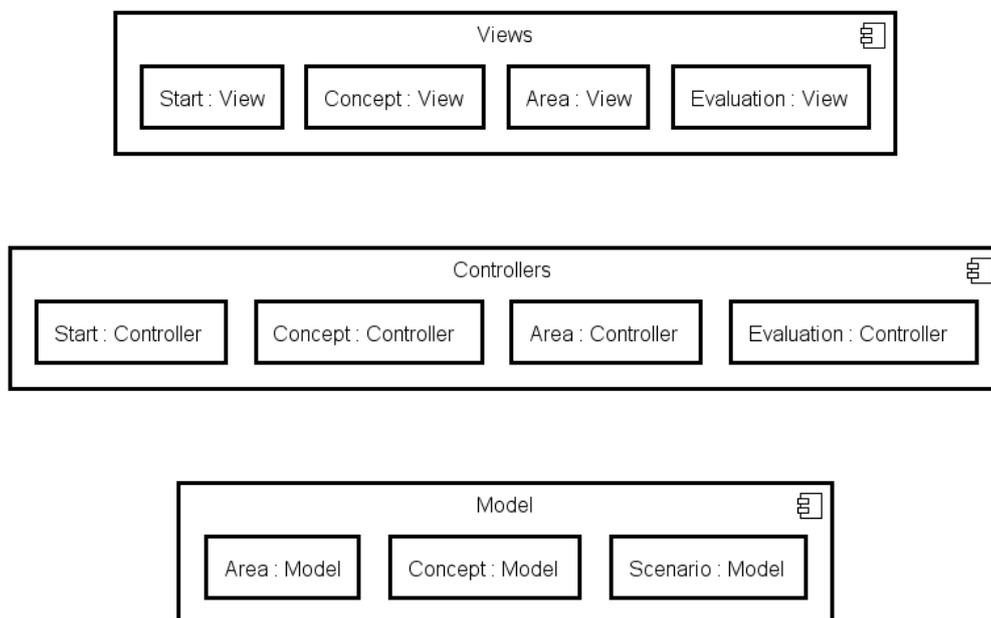


Abbildung 9: Grobes Komponentendesign der Webapplikation nach MVC-Muster (Eigene Darstellung)

2.1.12 AP 5.2 Entwicklung der Web-Applikation

Ziel des Arbeitspaketes 5.2 war die Entwicklung der Webapplikation anhand des zuvor erstellten Fachkonzeptes. Dabei wurde vom in der GVB beschriebenen Design abgewichen, da eine vollständige Integration der Simulationsmodelle die in den Workshops erarbeitete Zielvision nicht unterstützte. Die entstehende Applikation konnte dadurch stark in Benutzung und Implementation vereinfacht werden, wodurch Wartung und Betrieb einfacher erfolgen können.

Für die Entwicklung des Tools wurde ein an Scrum angelehnter Prozess gewählt, bei dem kontinuierlich iterativ inkrementelle Produktversionen erstellt werden sollten. Dazu wurden Modul-interne Meilensteine definiert, welche die wichtigsten Teilabschnitte der Entwicklung begrenzen. Hierdurch sollte ein flexibler Entwicklungsprozess ermöglicht werden, der auch späte Änderungen an Anforderungen zulässt, um dem Forschungskontext gerecht zu werden. Innerhalb der Entwicklung wurde stark auf den zuvor geleisteten studentischen Arbeiten aufgebaut, damit Entwicklungsprozesse verkürzt und flexibler gestaltet werden konnten. Die regelmäßige Präsentation der Zwischenstände innerhalb des Projektteams erlaubte zudem ein frühes Testen der implementierten Funktionalitäten. Über mehrere Prototypen wurde dadurch die fertige Webanwendung geschaffen.

Digitale Anwendertests zum Ende des Projektes bestätigten die gute Nutzbarkeit der Applikation und zeigten technische und fachliche Verbesserungspunkte auf, welche vor Projektabschluss in großen Teilen behoben wurden. Die Veröffentlichung der Webapplikation erfolgt nach Projektende in Abstimmung mit allen Projektpartnern.

Das endgültige technische Design der Webanwendung ist in Abbildung 10 dargestellt. Für die Kernfunktionalitäten, wie der Präsentation von Räumen, Konzepten und Evaluationen bestehen eigene Darstellungskomponenten, die sowohl eine grobe als auch eine eingehende Betrachtung ermöglichen. Hinter diesen steht eine mehrschichtige Komponentenmenge, welche strikt nach Model-View-Controller getrennt wurde. Zusätzliche Komponenten für verschiedene technische Zuständigkeiten wurden in eigene Bereiche ausgegliedert, die allerdings an zu Grunde liegenden Architekturprinzipien orientiert wurden.

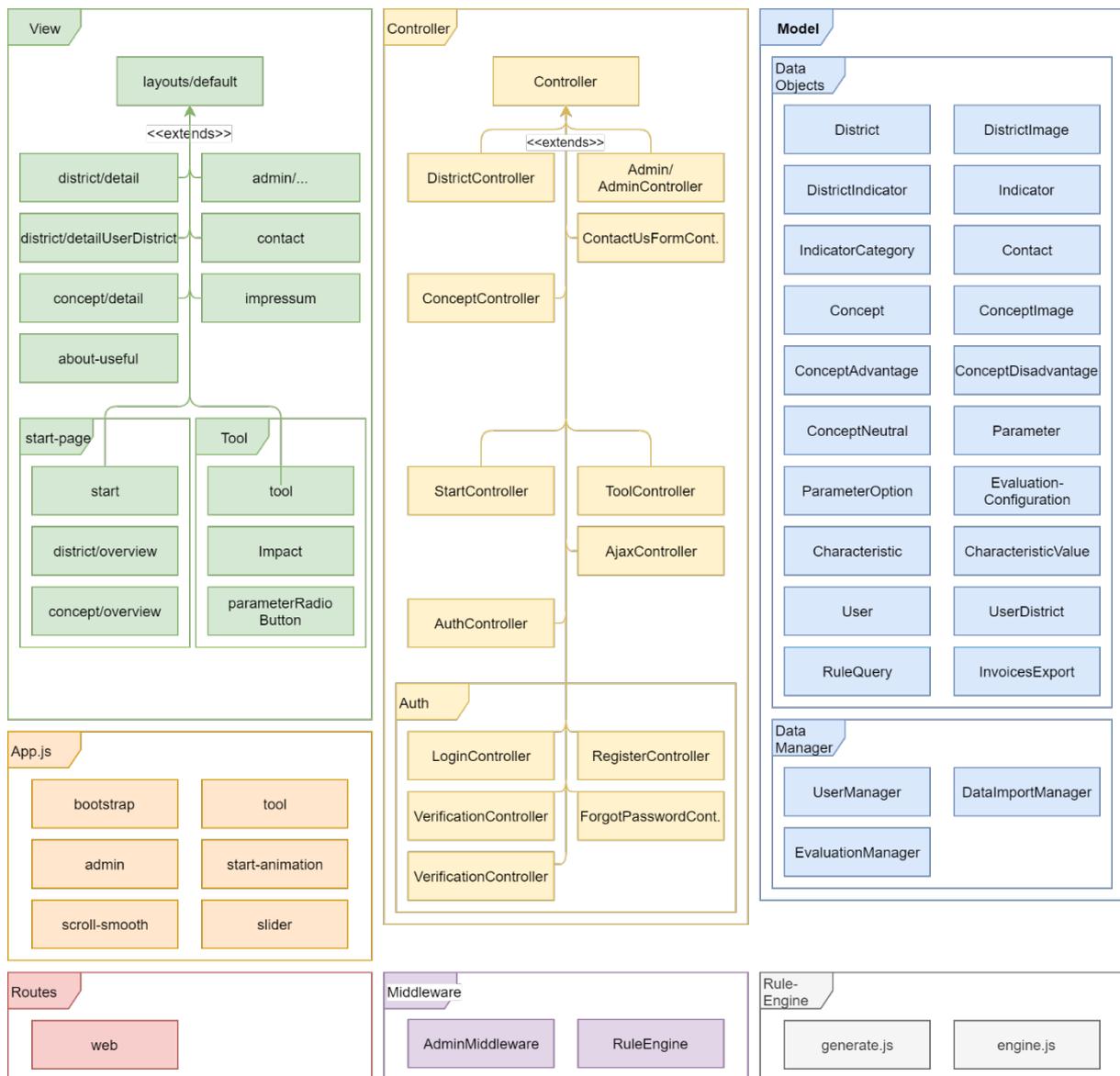


Abbildung 10: Vollständiges Komponentendiagramm der Webapplikation (Eigene Darstellung)

Zur Erleichterung des Betriebes wurde eine Docker-basierte Entwicklungsumgebung (vgl.: Abbildung 11) geschaffen, welche einfach in andere Softwaresysteme integriert werden kann und durch hohe Portabilität die Entwicklung durch neue Projektmitglieder stark vereinfacht. Zur Absicherung der verschiedenen Komponenten vor unbefugtem Zugriff wurde die Applikation in drei Teile geteilt, den Web-Server, welcher öffentlich ansprechbar die Applikation bereitstellt, einen Applikationscontainer, welcher Versionierung und wartungsrelevante Funktionen intern bereitstellt und eine nicht öffentlich zugängliche Datenbank zur sicheren Ablage der Projektergebnisse. Zur Verbesserung der Sicherheit wurden die Komponenten anhand von aktuellen Empfehlungen und best-practices der Industrie gehärtet. Dazu gehören unter anderem die Verschlüsselung mittels https, der Schutz gegen XSS-Angriffe und die Abweisung veralteter Verschlüsselungsverfahren.

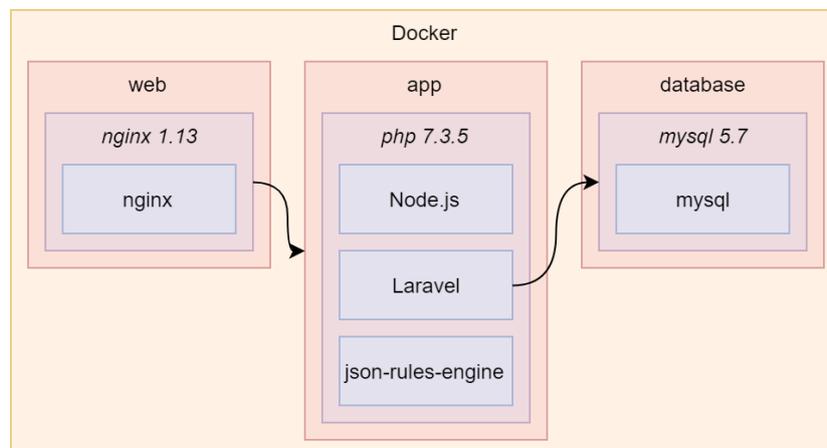


Abbildung 11: Docker-Container des web-basierten Entscheidungsunterstützungstools (Eigene Darstellung)

2.1.13 AP 5.3 Nutzerschulungen und Support

Um dem Ziel des Realbetriebs der Applikation gerecht zu werden und um deren adäquaten Einsatz sicherzustellen, waren im Rahmen von Arbeitspaket 5.3 umfangreiche Schulungen für zukünftige Nutzer*innen des Verkehrssimulationstools vorgesehen. Diese sollten durch IWI und HsH IV vorbereitet und umgesetzt werden. Da Nutzerschulungen die Anwesenheit zahlreicher Akteure implizieren, wurde als Reaktion auf die zunehmende Ausbreitung des SARS-CoV-2-Erregers beschlossen, für den Transfer von Anwendungswissen stattdessen ein dezidiertes Nutzerhandbuch für die Nutzung der Tool-Website zu erstellen.

In Form eines digitalen Foliensatzes wurde zukünftigen Nutzer*innen eine intuitive und einfach zugängliche Lösung zur Verfügung gestellt, die Funktionen der Applikation ohne interpersonelle Kontakte effektiv vermittelt. Mit Bereitstellung der digitalen Nutzungsanleitung wurde so eine einwandfreie und betreuungsunabhängige realbetriebliche Nutzung sichergestellt. Der 32 Textseiten umfassende Foliensatz beinhaltet eine Schritt-für-Schritt Anleitung, welche Nutzer*innen durch die Applikation geleitet und deren vielseitige Einsatzmöglichkeiten durch Erläuterungen und Hinweise zu unterschiedlichen Anwendungsfällen (Stadtteilspezifische Betrachtung, Vergleich verschiedener Stadtteile, oder Konzepte) vermittelt. Darüber hinaus werden weiterführende Informationen sowohl zum Verständnis der Ergebnisse als auch zu Rahmenbedingungen und -einstellungen, die diesen Ergebnissen zugrunde liegen, bereitgestellt. Dies schließt Informationen zu Datenerhebung, Simulationsprozess, Herleitung der Zielgrößen und Auswirkungen der Konzepte ein, weshalb das Nutzerhandbuch diese Aspekte ebenfalls prägnant und verständlich darstellt. Zur Gewährleistung einfacher Zugänglichkeit des digitalen Foliensatzes ist dieser mit einer Downloadfunktion in die Applikation integriert. Die zusätzliche Einbindung von Feedbackfunktion und Kontaktformular ermöglichen fundierte und schnelle technische Hilfestellungen (technischer Support).

2.1.14 AP 5.4 Evaluation und Übertragbarkeit der Webapplikation

Die Validierung des webbasierten Informationssystems bezieht die Prüfung der Übertragbarkeit und Nutzung durch Dritte, insbesondere hinsichtlich der funktionalen Anforderungen und einer intuitiven Erlern- und Bedienbarkeit der Web-Oberflächen sowie einer benutzerfreundlichen und interaktiven Realisierung für zukünftige Nutzer. Darüber hinaus wurde Feedback eingeholt, um neben der Haptik auch die Sinnhaftigkeit der Tendenzanzeigen zu überprüfen und ggf. zu ändern. Parallel bei der Modellentwicklung von AP 4 wurden regelmäßig Überprüfungen durchgeführt und Änderungen eingearbeitet. Additiv wurde zusammen mit der LHH und dem IKG mögliche Testpersonen für die Webapplikation identifiziert und das Feedback in die Webapplikation bzw. in die Modelle eingearbeitet. Außerdem wurden Anforderungen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse herausgearbeitet und bereitgestellt.

2.1.15 AP 5.5 Unterstützung Software-Qualitäts- und IT-Projektmanagement

Im Arbeitspaket 5.5 sollte die Unterstützung bei Software-Qualitäts- und IT-Projektmanagement fortgesetzt werden. Hierzu sollte ein umfangreicher Nutzersupport eingerichtet werden, um Fehler und andere Nutzeranfragen abzuarbeiten. Aufgrund des stark reduzierten Funktionsumfanges der Applikation konnte eine stabile, einfach zu bedienende Applikation geschaffen werden, sodass die Notwendigkeit eines umfangreichen Anwendersupports entfiel. Für die in AP 5.2 durchgeführten Anwendertests wurde eine Feedbackoption innerhalb der Webapplikation geschaffen, auf die asynchron reagiert werden kann.

Die Prozessqualität der Entwicklung wurde durch die Anwendung eines an einen industrieeüblichen Softwareentwicklungsprozess unterstützt. Hierbei wurde die Überprüfung der Softwarequalität als Komponente in den Entwicklungsprozess integriert, damit Softwarefehler und Anforderungsänderungen als Feedbackloop direkt die Entwicklungsprozessschritte beeinflussen. Weiterhin wurden die funktionalen Anforderungen, Rahmenbedingungen und Qualitätsanforderungen aus dem Fachkonzept verwaltet und durch schrittweise Verfeinerungen als überprüfbare User-Stories in den Entwicklungsprozess eingebracht.

Die Softwarequalität wurde nach jedem Meilenstein überprüft, indem sowohl die neuen Komponenten als auch bestehende Funktionen in explorativen und vordefinierten Tests auf korrekte Funktionsweise getestet wurden. Die aufgetretenen Probleme wurden im anschließenden Entwicklungszyklus behoben. Die finale Version der Webanwendung wurde weiterhin mit Anwendern aus der Landeshauptstadt Hannover und weiteren Projektbeteiligten und -Interessierten getestet um auch externes Feedback zu beachten.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Position	Entstandene Ausgaben	Gesamtfinanzierungsplan
Gesamtfinanzierungsplan		
Beschäftigte E12 – E15	490.232,94	473.858,10
Beschäftigte E1 – E12	0,00	0,00
Beschäftigungsentgelte	40.717,42	41.477,62
Gegenstände bis 410/400 EUR	1.362,63	1.350,00
Mieten und Rechnerkosten	0,00	0,00
Vergabe von Aufträgen	0,00	0,00
Sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben	3.726,48	3.700,00
Dienstreisen	7.864, 21	7.750,00
Gegenstände über 410/400 (Invest.)	8.256,10	8.300,00
Summe	552.159,78	536.435,72*

Tabelle 7: Übersicht der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises (Eigene Darstellung)

*Die zusätzlichen Kosten in Höhe von **15.724,06 EUR** wurden aus Mitteln der Hochschule Hannover übernommen.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

AP 2.1 - Wie gefordert konnten Kriterien zur Auswahl von logistikrelevanten Stadtteilen erörtert werden. Anhand der für die Analyse benötigten Daten konnten Kriterien definiert werden, anhand derer die Stadtteile Hannovers quantitativ bewertet wurden. Diese Auswahl an Pilotquartieren legte den Grundstein um innovative Logistikkonzepte zu erarbeiten, da sie das Untersuchungsgebiet am realitätsgenaueren widerspiegeln. Die Festlegung der Quartiere war einerseits notwendig, um eine nachfolgende Übertragbarkeit des Systems zu ermöglichen und andererseits, um eine performante simulationsgestützte Abbildung der Logistikkonzepte mit den (Teil-) Populationen effizient umsetzen zu können.

AP 2.3 - Mithilfe von Recherche und Onlineumfragen konnte das Mobilitätsbedürfnis unterschiedlicher Akteure in der Logistik (Bürger, Unternehmen, Stadtplanung) erfolgreich dargestellt und ausgewertet werden. Es zeigt Bedürfnisse und Herausforderungen für die zukünftige Logistik auf, ebenso wie Differenzen zwischen den einzelnen Akteuren, was zukünftiges Konfliktpotential bergen kann. Studien gaben bisher keinen fundierten Aufschluss über die Konzeptgegebenheiten und relevanten Simulationseingangsparameter, besonders mit direktem Bezug auf das Untersuchungsgebiet Hannover, weshalb die Erhebung von spezifischen Daten notwendig war, die als valide und reliabel für den Untersuchungsgegenstand angesehen werden können.

AP 2.4 - Um einen einheitlichen Vergleich zwischen den entwickelten Logistikkonzepten und den existierenden Operationsmodellen im Untersuchungsgebiet zu gewährleisten und so dem Nutzer im späteren Verlauf die Möglichkeit zu geben fundierte Entscheidungen auf Basis eines Benchmarking-Ansatzes zu treffen, wurde die logistikrelevante Nachfrage mittels verschiedener Simulationsmodelle zur Ist-Situation entwickelt. Aufgrund der spärlichen Verfügbarkeit von Realdaten zu den avisierten Auswirkungsgrößen (z.B. Verkehrsleistung) war dieser Modellierungsschritt unerlässlich, um aussagekräftige Vergleiche und somit stärkere Entscheidungsunterstützungsmechanismen zu gewährleisten.

AP 2.7 - Um einen Eindruck von der Akzeptanz in der Bevölkerung (im Vergleich zu AP 2.3) zu erhalten wurde nochmals eine Onlineumfrage durchgeführt. Diese gab erfolgreich Aufschluss, um einerseits ein geeignetes Akzeptanzmodell zu erarbeiten, als auch den Tenor der Bevölkerung bezüglich logistischer Änderungen in Erfahrung zu bringen. Diese Umfrage, bei der unter anderem ein großes Interesse an nachhaltigen Logistikkonzepten festgestellt werden konnte, wurde insbesondere deshalb notwendig, da entscheidende, konzept- und untersuchungsgebietsspezifische Daten nicht aus existierenden Studien bezogen werden konnten, da es sich bei vielen Konzepten und innovativen Lösungen handelte, die bisher nur wenig bis gar nicht erforscht wurden.

AP 3.1 - Zu den identifizierten innovativen Logistikkonzepten gibt es bisher weder bestehende Simulationsmodelle für den Untersuchungsraum dieses Forschungsprojekts noch prognostizierte Realauswirkungen. Aus diesem Grund war es essenziell entsprechende Simulationsmodelle zu entwickeln, mit deren Hilfe die betrachteten Logistikkonzepte zuverlässig im Hinblick auf ihre verkehrlichen, ökologischen, ökonomischen und sozialen (z.B. Akzeptanz) Auswirkungen zu quantifiziert und evaluiert werden können.

AP 3.2 - Aufgrund der gewählten Methodik der dynamischen Computersimulation und der damit verbundenen Notwendigkeit der empirischen Evaluation der hypothetisch geprägten Ergebnisse, war eine umfassende Verifikation und Validierung der einzelnen Simulationsmodelle sowie deren Ausgangsdaten unerlässlich, um reliable und valide Implikationen sicherzustellen. Gleichzeitig musste das gesamte Verkehrssimulationstool ebenfalls umfassend evaluiert werden um sowohl die Anwenderfreundlichkeit und Nutzerfreundlichkeit des Tools zu gewährleisten, als auch schnittstellenbedingte Fehler zwischen Simulationsmodellen/ -ergebnissen und Gesamtverkehrssimulationstool zu vermeiden.

AP 3.3/5.5 - Die Unterstützung des Software-Qualitäts- und IT-Projektmanagements erfolgte aufgrund der fehlenden stark fachlich-technischen Erfahrung bei der Neuentwicklung von Software durch die LHH. Hierbei wurde auf etablierte Best-Practices gesetzt, deren Anwendung in vergleichbaren Projekten elementarer Bestandteil der erfolgreichen Softwareentwicklung sind.

AP 4 - Durch das Erstellen von Zielgrößenmodellen konnte der Simulationsoutput aus AP 3 erfolgreich weiterverarbeitet und überprüft werden. Allen Konzepten konnten jeweils Werte zu den acht Zielgrößen zugeordnet werden und diese konnten untereinander miteinander verglichen werden. Diese Vergleichbarkeit macht den Kern dieser Arbeit aus. All diese Daten konnten erfolgreich in die Datenbasis der Webapplikation eingearbeitet werden. Da die direkte Einbindung von Live-Simulationsmodellen aufgrund der lizenzrechtlichen Rahmenbedingungen nicht möglich war, mussten umfassende, szenarienspezifische Simulationsergebnisse als Datengrundlage für die Web-Applikation bereitgestellt werden. Diese Datengrundlage wurde in zeitdiskreter sowie bilanzieller Abhängigkeit in AP 4 geschaffen.

AP 5.1 - Grundlage der erfolgreichen Softwareentwicklung ist die umfangreiche Analyse der zu entwickelnden Anwendung und das Management der erfassten Anforderungen. Über diese Vorgehensweise wird die Realisierung der Systemvision der Stakeholder möglich. Zur Umsetzung der Softwarevision ist der Einsatz geeigneter Architekturmuster, sowie deren Umsetzung in Form eines Designs etablierte Praxis, mit diversen Vorteilen. Durch intensive Arbeit in Analyse und Design können Problempunkte bei der Softwareentwicklung frühzeitig identifiziert und passende Strategien zum Umgang mit diesen entwickelt werden. Späteres Aufdecken von technischen Hürden führt in der Regel zum Nichteinhalten des geplanten Projektzieles (Zeit, Budget).

AP 5.2 - Die Realisierung des web-basierten Entscheidungsunterstützungstools erfolgte durch Eigenentwicklung, da kein vergleichbares Werkzeug von einem anderen Hersteller bekannt ist. Bei der Entwicklung wurde wo möglich auf etablierte Open-Source-Frameworks und Softwarebibliotheken gesetzt, da so auf viele externe Ressourcen zurückgegriffen werden kann. Dies beschleunigt die Entwicklung, erhöht die Softwarequalität und vereinfacht die Wartung über längere Zeiträume. Wiederverwertung von Softwarekomponenten ist etablierte Praxis in Entwicklungsprojekten.

AP 5.4 - Durch regelmäßiges Feedback zu AP 4 sowohl projektintern während der Erstellung sowie von extern nach Abschluss des APs konnte erfolgreich eine Evaluation und Änderungen durchgeführt werden. Dadurch konnte an den Modellen in einigen Punkten Werte spezifiziert und konkretisiert werden. Additiv wurden die Weichen für eine Übertragbarkeit im Folgeprojekt (USEful XT) gelegt werden, welche auch direkt Anwendung finden.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Das Ergebnis wird im Rahmen des Folgeprojekts USEful XT weiterentwickelt und verstärkt.

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

-Entfällt-

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6.

Ein großer Teil der Ergebnisse wurde/wird bei Konferenzen vorgestellt oder in Publikationen veröffentlicht:

Trott, M., Auf der Landwehr, M., & von Viebahn, C. (2019): A new Simulation Approach for Scheduling Consolidation Activities in Intralogistics - Optimizing Material Flow Processes in Industrial Practice. Präsentation bei der ASIM Fachtagung für Simulation in Produktion, Chemnitz. 18.-20.09.2019.

von Viebahn, C., Trott, M., & Auf der Landwehr, M. (2019): E-Grocery in Terms of Sustainability - Simulating the Environmental Impact of Grocery Shopping for an Urban Area in Hanover. Präsentation bei ASIM Fachtagung für Simulation in Produktion und Logistik, Chemnitz. 18.-20.09.2019.

Trott, M., Auf der Landwehr, M., & von Viebahn, C. (2019): E-Grocery in Terms of Sustainability - Simulating the Environmental Impact of Grocery Shopping for an Urban Area in Hanover. Präsentation bei 8th METRANS International Urban Freight Conference, Long Beach. 16.-18.10.2019.

Auf der Landwehr, M., Trott, M., & von Viebahn, C. (2019): CEP Services in Terms of Sustainability - Simulating the Impact of Urban Last-Mile Delivery Services in Terms of CO2 Emission Outputs. Präsentation bei 8th METRANS International Urban Freight Conference, Long Beach. 16.-18.10.2019.

Trott, M., Auf der Landwehr, M., & von Viebahn, C. (2019): A new Simulation Approach for Scheduling Consolidation Activities in Intralogistics - Optimising Material Flow Processes in Industrial Practice. In Simulation in Produktion Und Logistik 2019, herausgegeben von Matthias Putz and Andreas Schlegel, 325–334. Auerbach: Verlag Wissenschaftliche Scripten.

Auf der Landwehr, M., Trott, M., & von Viebahn, C. (2019): E-Grocery in Terms of Sustainability – Simulating the Environmental Impact of Grocery Shopping for an Urban Area in Hanover. In Simulation

in Produktion Und Logistik 2019, herausgegeben von Matthias Putz and Andreas Schlegel, 87–96. Auerbach: Verlag Wissenschaftliche Scripten.

Pump, R.; Baumann, M.; Bellok, J.T.; Ahlers, V. & Koschel, A. (2019): Kombinierte Simulation logistikrelevanter Verkehrszusammenhänge. In Wittmann, J. (ed.): Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften. Workshop Kassel 2019. ASIM Mitteilung AM 171: 55–66. Düren: Shaker.

Pump, R.; Baumann, M.; Bellok, J.T.; Ahlers, V. & Koschel, A. (2019): Kombinierte Simulation logistikrelevanter Verkehrszusammenhänge. In Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften. Workshop Kassel 2019. May 8–10, 2019, Kassel.

Pump, R.; Koschel, A. & Ahlers, V. (2019): Applying microservice principles to simulation tools. In Hausotter A (ed.) Service Computation 2019: The Eleventh International Conference on Advanced Service Computing. 6–9. IARIA.

Ahlers, V. (2019): Simulation and evaluation of new concepts for urban logistics. Talk at Tackling the Digital Challenge, International Week at University of Applied Sciences Technikum Wien, 21–24 Jan 2019, Vienna, Austria.

Trott, M., von Viebahn, C., & Auf der Landwehr, M. (2018): E-grocery of tomorrow – home delivery of food between profitability, customer acceptance and ecological footprint. Präsentation bei 3rd VREF Conference on Urban Freight, Götheborg. 17.-19.10.2018

Dünste, J.; Fünfkirchler, T.; Gusig, L.-O.: Urbane Mobilität - Klassifizierung von Stadtteilen für die Identifikation von Potentialen im städtischen Lieferverkehr. In: Angewandte Forschung für die Welt von morgen - Schriftenreihe der Hochschule Hannover; Band 1. Hannover, 2020. DOI: <https://doi.org/10.25968/opus-1528>

Dünste, J.; Fünfkirchler, T.; Gusig, L.-O.: Identifying city-representative areas for case studies, Hamburg International Conference of Logistics, Hamburg, Germany, 2019.

2.7 Im Rahmen dieses Schlussberichts verwendete Literatur

Arndt, H. (2010): Supply Chain Management: Optimierung logistischer Prozesse. 5. Auflage. 2010. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Chaturvedi, A.; Dolk, D.; Drenevich, P. (2011): Design Principles for Virtual Worlds. MIS Quarterly. Vol. 35. Nr. 3. 2011. S. 673-684.

Dudani, S. (1976): The Distance-Weighted k-Nearest-Neighbour Rule. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1976. S. 325-327.

Morgan, J.; Howick, S.; Belton, V. (2017): A toolkit of designs for mixing Discrete Event Simulation and System Dynamics. European Journal of Operational Research Vol. 257. Nr. 3, 2017. S. 907-918.

Nobis, C.; Kuhnimhof, T. (2018): Mobilität in Deutschland – MiD: Tabellenband: Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur. BMVI. 2018. URL: <https://www.mobilitaet-in-tabellen.de/mit/>, letzter Zugriff: 15.05.2020

Ntziachristos, L.; Samaras, Z. (2019): EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: 1.A.3.b.i-iv Road transport 2019. 2019. Luxembourg: European Environment Agency.

Ören, T. (1981): Concepts and criteria to assess acceptability of simulation studies: a frame of reference. Communications of the ACM. Vol. 24. 1981. S.180-189

Özgün, O.; Barlas, Y. (2019): Discrete vs. continuous simulation: When does it matter. Proceedings of the 27th international conference of the system dynamics society. Vol. 6. 2019.

Payne, J. (1982): Introduction to simulation: Programming techniques and methods of analysis. 1. Auflage. 1982. New York City: McGraw-Hill.

Seitz, C.; Pokrivčák, J.; Tóth, M.; Plevný, M. (2017): Online Grocery Retailing In Germany: An Explorative Analysis. Journal of Business Economics and Management. Vol. 18. 2017. S. 1243-1263.

VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik (1998): Konstruktionsmethodik - Technisch-wirtschaftliches Konstruieren - Technisch-wirtschaftliche Bewertung. VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Wilson, V. (2014): Research Methods: Triangulation. Evidence Based Library and Information Practice. 2014. S. 74-75.

3 Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN Geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel Abschlussbericht im Forschungsprojekt USEfUL (Untersuchungs-, Simulations- und Evaluations-Tool für Urbane Logistik)		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Johannes Staritz, Richard Pump, Sophie Gohde, Marvin Auf der Landwehr, Maik Trott, Prof. Dr. Christoph von Viebahn, Prof. Dr.-Ing. Lars Gusig, Prof. Dr. Volker Ahlers, Prof. Dr.-Ing. Arne Koschel	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2020	
	6. Veröffentlichungsdatum	
	7. Form der Publikation Druck und Digital	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Hochschule Hannover Ricklinger Stadtweg 120 30459 Hannover	9. Ber. Nr. Durchführende Institution	
	10. Förderkennzeichen 03SF0547	
	11. Seitenzahl 61	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 12	
	14. Tabellen 7	
	15. Abbildungen 11	
16. Zusätzliche Angaben		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		

18. Kurzfassung

Die steigenden Bedürfnisse und Verhaltensmuster der Bewohner*innen unserer wachsenden Städte, die Digitalisierung des Handels, die 24/7-Belieferung von Einzelhandel und Unternehmen führen zu einem steigenden Anteil städtischer Logistik. Das wiederum erfordert innovative und nachhaltige Zukunftskonzepte, um das Ziel einer CO₂-freien urbanen Logistik zu erreichen. Im Rahmen des Forschungsprojekts USEfUL wurde eine Web-Applikation entwickelt, mit der simulierte Logistikkonzepte individuell bewertet werden können. Die Simulation zeigt deren Auswirkungen unter anderem auf das Leben in der Stadt, den Verkehr, die Umwelt und die wirtschaftlichen Kosten. Die USEfUL-WebApp ist ein Angebot für kommunale Entscheidungsträger*innen, Politiker*innen und Unternehmen. Für interessierte Bürger*innen bietet sie verständliche Informationen über alternative Logistikkonzepte und ihre möglichen Auswirkungen. Mit der Simulation von Logistikkonzepten können Auswirkungen auf den Verkehr und die Umwelt sowie ihre Wirtschaftlichkeit analysiert und evaluiert werden. Um den passenden Raumbezug zu wählen, bietet USEfUL eine Auswahl an charakteristischen Stadtteiltypen. Mit dem passenden Raumbezug, der Auswahl des zu betrachtenden Logistikkonzepts und der Einstellung ausgewählter konzeptrelevanter Parameter wird eine individualisierte Betrachtung möglich. Das Tool zeigt Wirkungstendenzen auf. Darauf aufbauend können Anwender*innen entscheiden, inwieweit sie weitere, für den spezifischen Anwendungsfall vertiefende Untersuchungen vornehmen wollen oder ihr Konzept nicht weiterverfolgen möchten.

Im ersten Schritt hat das Verbundvorhaben charakteristische und auf andere Städte übertragbare Stadtteiltypen in Hannover identifiziert und bewertet. Im zweiten Schritt wurden sowohl bereits etablierte als auch innovative urbane Logistikkonzepte identifiziert. Anschließend wurden relevante Zielgrößen und Zielfelder bestimmt, um die Auswirkungen hierauf quantifizieren zu können. Dafür wurde der hannoversche Verkehr in ein agentenbasiertes Verkehrsmodell überführt und die unterschiedlichen Logistikkonzepte wurden simuliert, um Auswirkungen bestimmter Zielgrößen aufbereitet anzeigen zu können.

19. Schlagwörter

Urbane Logistik, Verkehrsmodellierung, Agentenbasierte Simulation

20. Verlag

Leibniz-Informationszentrum Technik und Naturwissenschaften und
Universitätsbibliothek (TIB)

21. Preis

4 Control Sheet

1. ISBN or ISSN planned	2. type of document (e.g. report, publication) Final report	
3. Title Abschlussbericht im Forschungsprojekt USEfUL (Untersuchungs-, Simulations- und Evaluations-Tool für Urbane Logistik)		
4. author(s) (family name, first name(s)) Johannes Staritz, Richard Pump, Sophie Gohde, Marvin Auf der Landwehr, Maik Trott, Prof. Dr. Christoph von Viebahn, Prof. Dr.-Ing. Lars Gusig, Prof. Dr. Volker Ahlers, Prof. Dr.-Ing. Arne Koschel	5. end of project 31.12.2020	
	6. publication date planned	
	7. form of publication Print and digital	
8. performing organization(s) (name, address) Hochschule Hannover Ricklinger Stadtweg 120 30459 Hannover	9. originator's report no	
	10. reference no 03SF0547	
	11. no. of pages 61	
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 12	
	14. no. of tables 7	
	15. no. of figures 11	
16. supplementary notes		
17. presented at (title, place, date)		
18. abstract The evolving demands and behavioral patterns of the inhabitants of our growing cities, digitalization of businesses and 24/7 delivery lead to an increasing share of urban logistics in overall traffic. This, in turn, requires innovative and sustainable future concepts to achieve CO2-free urban logistics. As part of the USEfUL research project, a web application was developed that allows simulated logistics concepts to be evaluated individually. The simulation shows resulting effects for example on urban life, traffic, the environment, and economic costs. The USEfUL web application is an initiative a tool for municipal decision-makers, politicians, and companies. For interested citizens, it offers comprehensible information about alternative logistics concepts and their possible impacts.		

With the simulation of logistics concepts, impacts on traffic, the environment and their economic efficiency can be analysed and evaluated. A customized assessment is possible through the selection of a suitable spatial reference in the form of characteristic district types, the selection of the logistics concept to be considered, and the setting concept-relevant parameters. The tool thereby gives impact tendencies. Based on this, users can decide to what extent they want further in-depth analyses for their specific application or whether they want to pursue their concept.

In a first step, characteristic district types that can be transferred to other cities were identified and evaluated in Hanover within the collaborative project. In a second step, both already established and innovative urban logistics concepts were identified. Subsequently, relevant target values and KPIs were determined in order to be able to quantify the effects on these. For this purpose, Hanover's traffic was transferred into an agent-based traffic model, and the different logistics concepts were simulated in order to reveal the effects on certain target values.

19. keywords Urban logistics, decision support, commercial transport, mobility analysis	
20. publisher Leibniz-Informationszentrum Technik und Naturwissenschaften und Universitätsbibliothek (TIB)	21. price