

Erarbeitung von Simulationsszenarien und Entwicklung eines Pooling-Algorithmus für SUMO mit TraCI zur Bewertung von On-Demand-Mobilitätskonzepten

Kathrin Karola Viergutz (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrssystemtechnik)

Inhalt

Inhalt	1
1 Einführung und Ziel	2
2 On-Demand-Mobilitätskonzepte	2
3 Parameter, Szenarien und Merkmale	2
4 Simulationsumgebung und Schnittstellen in SUMO	4
5 Entwicklung eines Pooling-Algorithmus für SUMO mit TraCI	4
6 Herausforderungen bei der Simulation von On-Demand-Mobilitätskonzepten	6
7 Fazit	7
8 Literatur	7

1 Einführung und Ziel

On-Demand-Mobilitätskonzepte sehen die Bündelung unterschiedlicher Fahrtwünsche vor. Die daraus resultierende dynamische Route kann während der Fahrt an weitere, von anderen Fahrgästen vorgebrachte Fahrtwünsche angepasst werden. Diese Mobilitätskonzepte können international sowie in mehreren deutschen Groß- und Mittelstädten bereits genutzt werden. Zur Konzeption erfolgreicher On-Demand-Mobilitätskonzepte ist das vollständige Verständnis des Systems hilfreich. Eine besondere Herausforderung besteht dabei in der Identifikation von Ursachen-Wirkungs-Zusammenhängen. Eine Simulation kann zur Beantwortung aufkommender Fragen bezüglich des optimalen Bedienkonzepts beitragen und bei der Auseinandersetzung mit den Rahmenbedingungen des Betriebs sowie den daraus resultierenden Wirkungen unterstützen.

In diesem Beitrag wird die Erarbeitung einer Simulation von On-Demand-Verkehren am Beispiel einer Simulation mit der Software SUMO und der Schnittstelle TraCI beschrieben. Dafür werden Anregungen für die Erarbeitung sinnvoller Simulationsszenarien gegeben und ein Entscheidungsschema vorgestellt, das als Grundlage für den anzuwendenden Pooling-Algorithmus dienen soll, der unterschiedliche Bedingungen berücksichtigen soll. Hierfür wird mithilfe eines Flow Charts die Funktionsweise eines Pooling-Algorithmus veranschaulicht.

Ziel des Beitrags sind die Diskussion und die Bewertung von Vorschlägen zur Konstruktion einer Simulation von On-Demand-Verkehren. Damit soll der Beitrag zur Sicherstellung der Qualität wissenschaftlicher Untersuchungen beitragen.

2 On-Demand-Mobilitätskonzepte

On-Demand-Mobilitätskonzepte, auch Demand-Responsive Transport (DRT) oder Ridepooling genannt, sind digitale bedarfsorientierte Mobilitätskonzepte, bei denen zeitlich und räumlich korrespondierende Fahrtwünsche unterschiedlicher Fahrgäste im Sinne einer Shared Mobility in Echtzeit gebündelt werden (Viergutz 2019).

Neben dieser Eigenschaft des Poolings zeichnen sich On-Demand-Mobilitätskonzepte durch ihr nachfrageorientiertes Bedienkonzept aus, bei dem Fahrten, im Gegensatz zum klassischen, angebotsorientierten Linienverkehr, nur dann stattfinden, wenn seitens der Nutzer der Bedarf besteht. Die Routen, die sich aus der Bündelung mehrerer Fahrtwünsche ergeben, entstehen dynamisch und werden während der Fahrt angepasst (Ronald et al. 2015). Damit sind On-Demand-Mobilitätskonzepte betrieblich in der Schnittmenge zwischen individuellen und öffentlichen Verkehrssystemen (Laws et al. 2009) beziehungsweise zwischen den Verkehrsmitteln Bus und Taxi (Navidi et al. 2018) anzusiedeln.

3 Parameter, Szenarien und Merkmale

Eine Simulation kann in vielerlei Hinsicht nutzenstiftend sein und zum Erkenntnisgewinn beitragen. Je nach Ausrichtung der Simulation kann damit unterschiedlichen Fragestellungen nachgegangen werden. Damit die Ergebnisse der Simulation nach deren Durchführung für die jeweiligen Forschungsfragen auswertbar sind, ist eine vorhergehende Auseinandersetzung mit den Zielen der Untersuchung sowie mit der konkreten Ausrichtung der Simulation notwendig. Die wesentlichen Elemente dabei sind dabei die Rahmenbedingungen und Szenarien der Simulation sowie die Input- und Outputparameter.

Outputparameter stellen das quantifizierte Ergebnis der Simulation dar. Soll eine Simulation beispielsweise Erkenntnisse zu Umwelteinflüssen eines Mobilitätskonzepts liefern, so könnten als angestrebte Outputparameter Lärm- und Schadstoffemission wie CO₂ oder Stickoxide oder der Energieverbrauch vorgesehen werden. Ist das Ziel die Untersuchung verkehrlicher und betrieblicher Wirkungen, so kommen als Outputparameter beispielsweise

se Reisezeit, Reisegeschwindigkeit, Flächenverbrauch, Anzahl und Kapazität eingesetzter Fahrzeuge oder Verkehrsfluss und -aufkommen infrage.

Besteht Klarheit über die gewünschten Outputparameter, so bedarf es weiter der benötigten *Inputparameter*, damit dieses definierte Ziel erreicht werden kann. Diese Inputparameter können auf realen Daten basieren oder durch Kalibrierung realistischer Annahmen generiert werden. Ein wesentlicher Inputparameter besteht häufig in der Nachfrage beziehungsweise im Verkehrsaufkommen. Hierbei ist die notwendige Granularität, in der diese Daten vorliegen müssen, eine Grundvoraussetzung zur Konzeption einer aussagekräftigen Simulationsumgebung. Um ein Verkehrsaufkommen in einem Untersuchungsraum darzustellen, sind häufig eine stundengenaue Nachfrage oder eine Tagesganglinie ausreichend. Soll untersucht werden, ob sich – wie hier am Beispiel von On-Demand-Verkehren – Fahrtwünsche zeitlich und räumlich miteinander kombinieren lassen, so wird eine feingranulare (minutengenaue) Nachfrage benötigt.

Häufig lassen sich Parameter je nach gewünschter Ausrichtung der Simulation sowohl als Annahmen (Inputparameter), als auch als Ergebnis (Outputparameter) einsetzen. Ein Beispiel dafür ist das Zusammenspiel aus der Nachfrage und der Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge. Ist die Anzahl der Fahrzeuge vorgegeben, so kann durch die Simulation ermittelt werden, welche maximale Nachfrage dadurch bedient werden kann – andersherum kann bei einer fixen zu bewältigenden Nachfrage die dafür notwendige Anzahl an Fahrzeugen ermittelt werden (Armellini 2019).

On-Demand-Verkehre sind in unterschiedlichen Eigenschaften und Bedienkonzepten denkbar, daher ist die Auswahl der *Rahmenbedingungen und Szenarien* der Simulation relevant. Als Vorüberlegung bei der Erarbeitung eines Bedienkonzeptes, beziehungsweise eines Simulationsszenarios ist unter anderem die Frage nach dem fokussierten Migrationsgrad interessant. So können On-Demand-Verkehre als zusätzliches Angebot zum Linienverkehr angeboten werden und damit die bereits bestehenden Mobilitätsmöglichkeiten ergänzen. Daneben sind auch Stand-alone-Lösungen denkbar, bei denen der konventionelle, fahrplan- und liniengebundene Verkehr ganz oder teilweise ersetzt wird (VDV 2019; Enoch et al. 2004). Ein Ersatz oder eine Ergänzung des bestehenden Linienverkehrs können dabei sowohl räumlich (gleiches oder erweitertes Bediengebiet) wie auch zeitlich (während derselben oder anderer Bedienzeiten) erfolgen.

Neben unterschiedlichen Migrationsgraden können auch unterschiedliche Bedienformen in der Simulation berücksichtigt werden. Dabei sind insbesondere die Dichte und Verteilung möglicher Zustiegs- und Ausstiegs- punkte, sogenannter Pick-up-drop-off-Spots (PUDOS) von Interesse. Diese PUDOS können so wie die Haltestellen des Linienverkehrs festgelegte vordefinierte Haltestellen sein oder als vollständig flexible Zustiegspunkte einer Haustürbedienung entsprechen.

Für das Ergebnis einer Simulation kann die Auswahl der angenommenen Durchdringungsrate des On-Demand-Verkehrs besonders prägend sein. So kann der On-Demand-Verkehr (gegebenenfalls als Ergänzung zum Linienverkehr) als eine von mehreren Mobilitätsmöglichkeiten simuliert werden. Denkbar sind aber auch Extremszenarien, bei denen die gesamte Verkehrsnachfrage im Untersuchungsraum durch den On-Demand-Verkehr bewältigt wird. Die in der Simulation angenommene Nachfrage stellt eine weitere Einflussgröße bei der Einrichtung einer Verkehrssimulation dar. Hierbei kann einerseits von einer statischen, über die Zeit gleichmäßigen oder auch ungleichmäßig verteilten Nachfrage ausgegangen werden. Andererseits besteht auch die Möglichkeit, durch die Integration eines Mode Choice Modells eine dynamische und an zu definierende Verkehrsmittelwahlkriterien der simulierten Agenten geknüpfte Nachfrage zu berücksichtigen.

Zur strukturierten Erstellung und Auswahl geeigneter Simulationsszenarien sind unterschiedliche methodische Ansätze denkbar. Eine Herangehensweise besteht in der Durchführung einer Trendanalyse nach Viergutz und Scheier (2019), um infrage kommende Szenarien mittels einer Trendanalyse zu priorisieren.

4 Simulationsumgebung und Schnittstellen in SUMO

An der Simulation, deren Vorbereitung im vorliegenden Beitrag beschrieben wird, sind im Wesentlichen das Verkehrssimulationstool Simulation of Urban Mobility (SUMO) und die Schnittstelle Traffic Control Interface (TraCI) beteiligt.

SUMO ist eine Open-Source Software zur mikroskopischen Verkehrssimulation (Alvarez Lopez et al 2018), die über Funktionalitäten zur Simulation unterschiedlicher Verkehrsträger und Mobilitätskonzepte verfügt und ständig weiterentwickelt wird. Derzeit werden verschiedene Pooling-Algorithmen zur Abbildung bedarfsorientierter Mobilitätskonzepte entwickelt und getestet.

TraCI ist eine Schnittstelle, über die in die SUMO-Simulation eingegriffen werden kann (DLR o.J.). Dadurch kann ein Algorithmus unabhängig von der Simulationsumgebung entwickelt und an SUMO gekoppelt werden, um das Simulationsgeschehen zu manipulieren. Häufig werden solche Algorithmen als Skripte in Python implementiert. Im Zusammenhang mit dem hier vorgestellten Algorithmus kommt TraCI die Aufgabe zu, die Berechnungen einzelner Bedingungen durchführen zu lassen und das Ergebnis an den Ablaufplan zurückzumelden.

5 Entwicklung eines Pooling-Algorithmus für SUMO mit TraCI

Damit On-Demand-Verkehre mit gebündelten Fahrten in der Simulation abgebildet werden können, bedarf es der Erarbeitung eines Pooling-Algorithmus, der auf Basis der bestehenden Fahrtwünsche die optimale Route eines Fahrzeugs berechnet (Armellini 2019). Dem Algorithmus liegt ein Ablaufschema zugrunde, das die Abfolge der Bedingungen vorgibt, nach denen entschieden wird, ob eine Bündelung („Gruppierung“) der jeweils betrachteten Fahrtwünsche durchgeführt wird. Dabei sind die Bedingungen an das jeweilige Ziel der Untersuchung anpassbar. Hier soll anhand eines beispielhaft aufgebauten Algorithmus eine Anregung für mögliche Bedingungen sowie deren Abfolge gegeben werden.

Abbildung 1 zeigt ein Flussdiagramm, welches diese hier fokussierte Abfolge als Ablauf eines möglichen Pooling-Algorithmus für On-Demand-Verkehre beschreibt. Das Prinzip besteht darin, dass nacheinander mehrere Bedingungen überprüft werden, die darüber entscheiden, ob eine Bündelung von Fahrtwünschen erfolgt. In Falle des hier beschriebenen Algorithmus resultiert eine Verneinung einer Bedingung stets in einer Exklusivfahrt für den hier beispielhaft fokussierten Fahrgast P1.

Pooling-Algorithmus für Shared Taxis für Sumo mit TraCI in Python Bedingungen für Gruppierungen

Notation:
 x^E = Exklusivfahrt (Fahrt ohne Gruppierung)
 x^G = Gruppierung
 $P_{1,2,n}$ = Person (Fahrgast)
 $V_{1,2,n}$ = Vehicle (Taxi)
 $t_{P_{1,2,n}}$ = Fahrzeit von $P_{1,2,n}$ (TimeSteps)
 $s_{P_{1,2,n}}$ = Strecke von $P_{1,2,n}$ (Kilometer)
 $d_{1,2,n}$ = Abfahrtszeit (Restzeit, Estimated Time to Departure) (TimeSteps)
 TimeSteps entsprechen hier Sekunden

Jeder Fahrgast soll eine Wartezeit von 3 bis 15 Minuten haben.

*Jede gruppierte Fahrt soll also maximal 1,5 mal so lange dauern wie eine Exklusivfahrt.
Berechnet durch TraCI/Python.*

*Die gruppiert gefahrene Strecke soll also kleiner gleich der Summe der Exklusivfahrt-Strecken sein.
Berechnet durch TraCI/Python.*

Im Fahrzeug sollen zu keinem Zeitpunkt mehr als insgesamt drei Fahrgäste (inkl. $P_{1,n}$) sitzen. (Plus Fahrer)

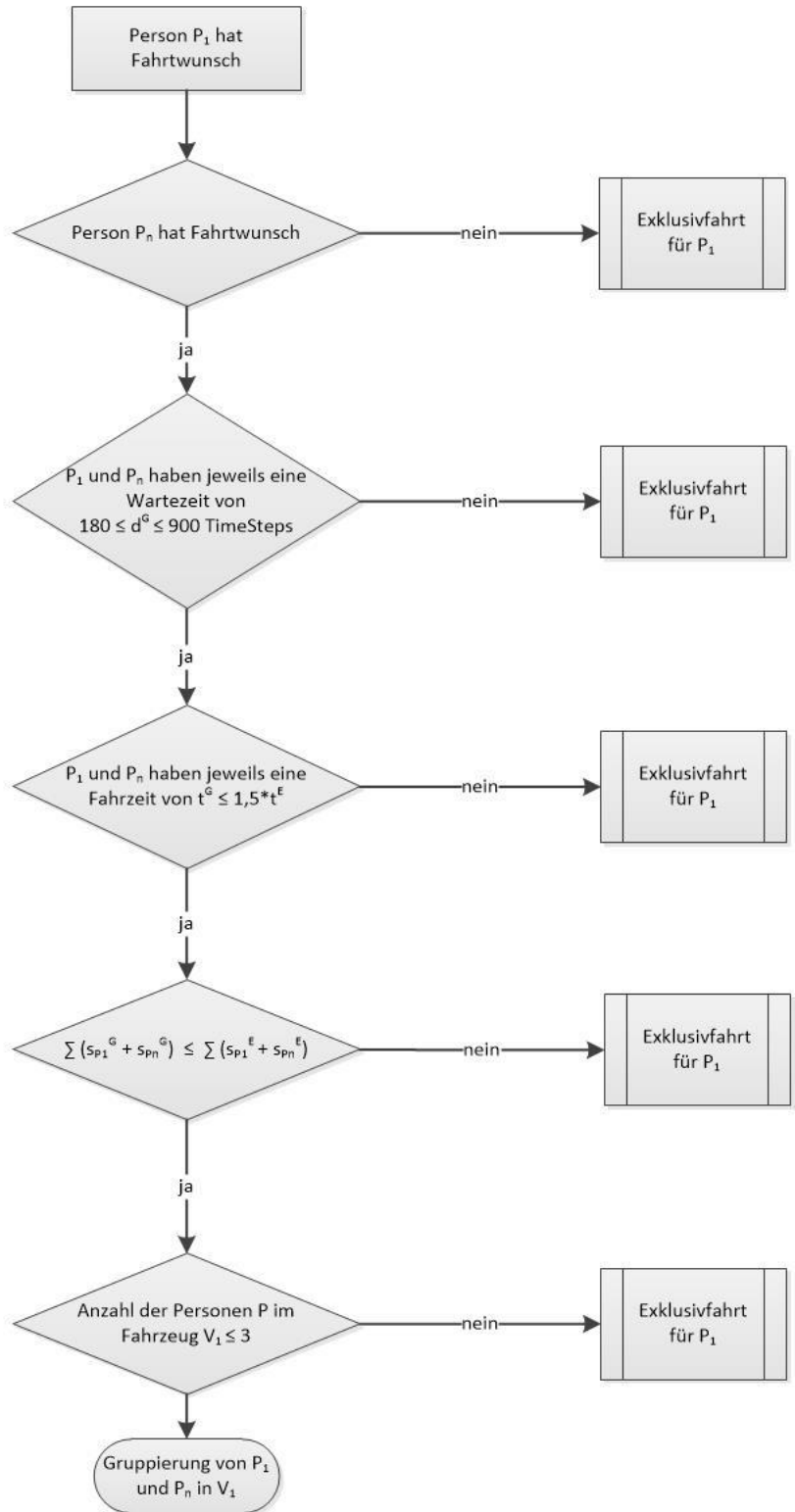


Abb. 1: Ablaufplan eines exemplarischen Pooling-Algorithmus für On-Demand-Verkehre (eigene Darstellung)

Nachdem mit dem Start der TimeSteps die Simulation in Sumo gestartet ist, und der Fahrtwunsch von Fahrgast P1 aufgekommen ist, erfolgt als erste Entscheidung die Abfrage, ob eine weitere Person Pn ebenfalls einen Fahrtwunsch besitzt. Sofern dies verneint wird, wird P1 mit einer Exklusivfahrt, d.h. ohne Bündelung, direkt zum Ziel befördert. In der zweiten Frage wird die Estimated Time of Departure (ETD) der Fahrgäste fokussiert. Die ETD beschreibt die Zeitspanne zwischen der Buchung einer Fahrt und deren Beginn und kann ungefähr als Äquivalent der Wartezeit im fahrplanbasierten Linienverkehr interpretiert werden (Viergutz und Scheier 2019). In diesem Beispiel soll die ETD eines jeden potenziell gruppierten Fahrgastes von 180 bis 900 TimeSteps betragen, was drei bis 15 Minuten entspricht.

Damit die Fahrzeit der Fahrgäste nicht unzumutbar lang wird, soll außerdem ein zeitlicher Umwegfaktor berücksichtigt werden, der durch Python berechnet und durch TraCI zu SUMO zurückgespielt wird. Dieser gibt das Reisezeitverhältnis zwischen der gruppierten Fahrt und der korrespondierenden Exklusivfahrt an und soll in diesem Beispiel nicht höher als 1,5 liegen. Im Sinne der Schaffung eines nachhaltigen, umweltbewussten Mobilitätsangebots sind eine Verringerung von Schadstoffausstößen und damit eine Reduzierung der Verkehrsleistung sinnvoll. Aus diesem Grund soll als weitere Bedingung die Summe der gefahrenen Strecke der gruppierten Fahrten nicht größer sein als die Summe der gefahrenen Kilometer, die bei der Durchführung von Exklusivfahrten anfallen würden. Diese Bedingung wird ebenfalls mithilfe von TraCI berechnet und an den Algorithmus zurückgespielt.

In diesem Beispiel wird davon ausgegangen, dass zum Betrieb des On-Demand-Verkehrs Pkw mit insgesamt fünf Sitzplätzen eingesetzt werden. Um eine angenehme Reise in diesen Fahrzeugen zu ermöglichen und um außerdem die Reise durch im Verlauf der Fahrt zusteigende Fahrgäste nicht zu stark zu unterbrechen, soll die Anzahl der für Fahrgäste zur Verfügung stehenden Sitzplätze auf drei beschränkt werden. Diese Abfrage ist auch Teil des Ablaufplans des beschriebenen Algorithmus.

Ein Durchlauf des Ablaufplans, bei dem alle Bedingungen erfüllt sind, hat eine Gruppierung der betrachteten Fahrtwünsche und eine Zuordnung zu einem zur Disposition stehenden Fahrzeug zur Folge. Die Route des Fahrzeugs wird dann wiederum durch die Position und zeitliche Abfolge der Fahrtwünsche determiniert. Diese Abfolge von Bedingungsüberprüfungen erfolgt für jede weitere Kombination aus den Fahrtwünschen der Fahrgäste P1 und P2...n, solange, bis alle Kombinationen ausgeschöpft sind beziehungsweise bis die Disposition der Fahrzeuge vollständig ist. Da in diesem Beispiel die Bedingungen linear und unverschachtelt sind und für eine Gruppierung die Beantwortung aller Bedingungen mit „ja“ notwendig ist, hat die Reihenfolge der Bedingungen keinen Einfluss auf das Ergebnis und kann daher variiert werden.

6 Herausforderungen bei der Simulation von On-Demand-Mobilitätskonzepten

Ein wesentliches Merkmal einer zielführenden und damit aussagekräftigen Simulation besteht in der vorhergehenden Auseinandersetzung mit den Rahmenbedingungen und Annahmen der Simulation sowie in der Schaffung eines wohlüberlegten zu simulierenden Bedienkonzeptes. Dies dient außerdem dazu, die Übertragbarkeit und Reproduzierbarkeit von Untersuchungsergebnissen als zentrale Gütekriterien der Wissenschaftlichkeit sicherzustellen.

Der Untersuchungsraum muss so gewählt werden, dass durch ihn die zu untersuchenden Aspekte abgedeckt werden. Besonderheiten wie beispielsweise dichte Straßennetze, limitierende Faktoren wie Brücken, Tunnel oder Sperrungen müssen in ihrer Wirkung repräsentiert oder – bei geringer Relevanz dieser Faktoren, beziehungsweise bei abstrahierten, generischen Simulationen – begründet vernachlässigt werden. Bei zu starker Präsenz von Besonderheiten des Untersuchungsraumes besteht die Gefahr, dass die Ergebnisse lediglich für

den Einzelfall gelten und nur in geringem Maße auf andere Untersuchungsräume übertragbar sind. Ohnehin ist die Extrapolation von Ergebnissen gerade aus komplexen Simulationsumgebungen auf andere Untersuchungsgebiete und -fälle häufig schwierig. Soll hingegen der Fokus einer Untersuchung auf eben dieser Besonderheit liegen, so soll diese selbstverständlich fokussiert werden. Die Simulation eines Basisszenarios, mit deren Ergebnissen die simulierten Experimentalszenarien verglichen werden, ermöglicht die Darstellung von Veränderungen im System durch bestimmte Maßnahmen. Eine Sensitivitätsanalyse, um die Stabilität der Ergebnisse und des Einflusses einzelner Parameter zu überprüfen, kann sinnvoll sein.

Die getroffenen Annahmen, beispielweise bezüglich der Anzahl und Kapazität der eingesetzten Fahrzeuge, müssen realistisch gewählt werden und skalierbar sein. Insbesondere gilt dies auch für die angenommene Nachfrage. Diese Nachfrage sollte zudem in der entsprechend notwendigen Granularität, beispielsweise als minuten-genaues Aufkommen von Fahrtwünschen, vorliegen.

Szenarien sollten so gewählt sein, dass ein Szenario jeweils nur einen Aspekt zum Mittelpunkt haben sollte, der isoliert betrachtet wird. Beispielsweise sollte nicht versucht werden, mit einem einzigen Szenario in einem einzigen Untersuchungsraum gleichzeitig mehrere unabhängige verkehrliche Fragestellungen zu simulieren. Zur zielgerichteten Gewinnung belastbarer Ergebnisse ist eine Fokussierung auf wesentliche Aspekte und Parameter notwendig. Das bedeutet, dass all jene Faktoren, die keine zentrale Rolle spielen, ausgeschaltet, beziehungsweise konstant gehalten (*ceteris paribus*) werden. Dies ermöglicht den fundierten Rückschluss von Ergebnissen auf die getroffenen Annahmen.

Dem bei der Simulation von On-Demand-Verkehren zugrundeliegenden Algorithmus kommt eine besondere Bedeutung zu, da dieser die Regeln für die Bündelung von Fahrtwünschen vorgibt und daher großen Einfluss auf das Ergebnis der Untersuchung hat. Die Funktionsweise und Bedingungen des Algorithmus sollten daher in die Bewertung der Untersuchungsergebnisse einbezogen werden.

Einer Simulation liegt immer ein Modell zugrunde, das als Abbild der Realität dient. Eine Bewertung der Untersuchungsergebnisse muss daher immer vor dem Hintergrund der Rahmenbedingungen und Annahmen der Untersuchung betrachtet und deren Interpretierbarkeit und Übertragbarkeit kritisch hinterfragt werden.

7 Fazit

In diesem Beitrag wurde der Aufbau eines Simulationsszenarios mit dem Simulationstool SUMO unter Zuhilfenahme der Schnittstelle TraCI beschrieben. Ziel des Beitrags waren die Diskussion und die Bewertung von Vorschlägen zur Konzeption einer Simulation von On-Demand-Verkehren. Dabei zeigte sich, dass eine der Simulation vorausgehende, gründliche Auseinandersetzung mit den Zielen sowie den Rahmenbedingungen der Untersuchung notwendig ist. Das Herzstück einer Simulation von On-Demand-Verkehren bildet der Algorithmus, der die Regeln, nach denen Fahrtwünsche gebündelt und Fahrten durchgeführt werden sollen, vorgibt und anwendet. Dieser Algorithmus hat in seinem Ablauf einen starken Einfluss auf das Ergebnis der Simulationsläufe und sollte daher bei der Bewertung und Interpretation der Ergebnisse stets berücksichtigt werden. Werden diese Grundsätze berücksichtigt, so können durch eine Simulation mit SUMO aussagekräftige Ergebnisse generiert werden. Diese können dazu genutzt werden, um Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge von On-Demand-Verkehren zu untersuchen und zudem als Grundlage für weitergehende Untersuchungen dienen.

8 Literatur

Alvarez Lopez, Pablo; Behrisch, Michael; Bieker-Walz, Laura; Erdmann, Jakob; Flötteröd, Yun-Pang; Hilbrich, Robert; Lücken, Leonhard; Rummel, Johannes; Wagner, Peter; Wießner, Evamarie (2018): Microscopic

- Traffic Simulation using SUMO. In: *The 21st IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 4.-7. Nov. 2018, Maui, USA. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*, Seiten 2575-2582. Abrufbar unter: <https://elib.dlr.de/127994/> (13.06.2020)
- Armellini, Maria Giuliana (2019): Optimierung der Buslinie 450 in Braunschweig durch On-Demand-Zubringer. Masterarbeit. Abrufbar unter: <https://elib.dlr.de/128614/> (15.06.2020)
- DLR (o.J.): TraCI – SUMO Documentation. Abrufbar unter: <https://sumo.dlr.de/docs/TraCI.html> (12.06.2020)
- Enoch, M.; Potter, S.; Parkhurst, G.; Smith, M. (2004): *Intermode: Innovations in Demand Responsive Transport*. Department for Transport and Greater Manchester Passenger Transport Executive, June 2004, Final Report. Abrufbar unter: <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/3372/1/Intermode%20final%20June%202004.pdf> (12.06.2020)
- Laws, R.; Enoch, M.; Ison, S. and Potter, S. (2009). Demand Responsive Transport: A Review of Schemes in England and Wales. *Journal of Public Transportation*. 12 (1), pp. 19-37
- Navidi, Zahra, Ronald, Nicole; Winter, Stephan (2018): Comparison between ad-hoc demand responsive and conventional transit: a simulation study. *Public Transp* 10, 147–167 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12469-017-0173-z>. Abrufbar unter: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12469-017-0173-z> (16.06.2020)
- Ronald, Nicole; Thompson, Russel; Winter, Stephan (2015): Simulating Demand-responsive Transportation: A Review of Agent-based Approaches, *Transport Reviews*, 35:4, 404-421, DOI: 10.1080/01441647.2015.1017749
- Viergutz, Kathrin Karola (2019) *Quality of Service von Demand-Responsive Transport: Wie kann die Dienstleistungsqualität individuell abrufbarer Mobilitätskonzepte im öffentlichen Personennahverkehr bewertet werden?* In: *Mobilität und digitale Transformation* Springer Fachmedien Wiesbaden. Seiten 123-131. ISBN 978-3658261061. Abrufbar unter: <https://elib.dlr.de/119130/> (16.06.2020)
- Viergutz, Kathrin Karola; Scheier, Benedikt (2019) *Das „COSSTA-Verfahren“: Vorschläge für Zukunftsszenarien zur Bewertung integrierter intermodaler Mobilitätskonzepte*. 11. Wissenschaftsforum Mobilität 2019, 23.05.2019, Duisburg
- VDV Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (2019): *Ridepooling als Teil des ÖPNV*. Hg. v. AG "Multi-modale Mobilität" (VDV-Mitteilung, 9067).