

Stellungnahme

Drucksache 18/10426

Straßenverkehr der Zukunft – die Potenziale von Digitalisierung und KI nutzen

Jan Kuchhäuser

27.11.2024

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Lehrstuhl für Güterverkehrsplanung und Transportlogistik

Bergische Universität Wuppertal

Das Lehr und Forschungsgebiet Güterverkehrsplanung und Transportlogistik (LuFG GUT) ist als Teil des Fachzentrums Mobilität & Verkehr an der Bergischen Universität Wuppertal angesiedelt und wird in Forschung und Lehre durch Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bert Leerkamp vertreten. Es befasst sich in der Forschung schwerpunktmäßig mit der Analyse und Berechnung der Verkehrsnachfrage, der Planung von Infrastrukturnetzen, der Berechnung und Bewertung von Erreichbarkeiten, dem Wirtschaftsverkehr in Städten, den Umwelteffekten und der Integration des Wirtschaftsverkehrs in die Gesamtverkehrsplanung.

Jan Kuchhäuser ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am LuFG GUT. Schwerpunkte seiner Arbeiten am Lehrstuhl liegen in der Emissionsmodellierung von Straßenverkehren, dem Aufbau von makroskopischen und mikroskopischen Verkehrsmodellen, der Datenauswertung und -evaluation sowie der modell- und datengestützten Lkw-Führung in Städten. Er hat sich durch seine bisherigen Projekte oft in der Schnittstelle zwischen Praxis und Forschung bewegt. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter hat er u. a. an der *Evaluation der Prozesskette der SEVAS-Daten des Landesprojektes „Effiziente und stadtverträgliche Lkw-Navigation“*, dem *Umsetzungskonzept Urbane Logistik in Mainz* im Auftrag der Landeshauptstadt Mainz sowie den Forschungsprojekten *NOX-Block – Aufbau einer leistungsfähigen Low-Cost-Ladeinfrastruktur in den Städten Dortmund, Schwerte und Iserlohn* gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz und der Studie *Case Study Research of Urban Logistics and Last Mile Delivery Processes in Germany*, gefördert durch die Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), gearbeitet.

Vor dem genannten Hintergrund beziehen sich die nachstehenden Ausführungen v. a. auf die Würdigung von Modellen und KI-Anwendungen hinsichtlich der Integration in verkehrsplanerische Prozesse sowie die Bedeutung der Digitalisierung und Daten für praktische Fragestellungen und die zugrundeliegenden Modelle und Anwendungen.

1. Verkehrsplanungsprozesse und die Rolle von (KI-)Modellen in der Verkehrsplanung

In Verkehrsplanungsprozessen werden verkehrspolitische Entscheidungen vorbereitet. Auslöser für die Einleitung von Planungsprozessen können beispielsweise Mängel, gesetzliche Vorgaben oder Entwicklungsvorstellungen sein. Dabei werden im Prozessablauf für das Planungsziel relevante Informationen erhoben und verarbeitet. Auf dieser Grundlage werden Lösungen entwickelt und hinsichtlich der relevanten Wirkungskriterien bewertet und abgewogen. Die Entscheidung für eine Lösung („Planfall“) erfolgt auf der Basis dieser Überlegungen und i. d. R. als Teil eines politischen und/oder öffentlichen Abstimmungsprozesses.^{1 2}

(Verkehrs-)Modelle stellen ein wichtiges Werkzeug in Verkehrsplanungsprozessen dar und werden eingesetzt, um vorhandene Zustände zu analysieren und die Wirkungen geplanter Maßnahmen und zukünftiger Entwicklungen einzuschätzen³. KI-Modelle unterscheiden sich von gewöhnlichen Modellen darin, dass sie auf maschinellem Lernen basieren, also aus großen Datenmengen automatisch Muster erkennen und daraus ohne weitere Eingabe bzw. Steuerung von außen Vorhersagen oder Entscheidungen ableiten und weiterentwickeln können. Konventionelle Modelle hingegen beruhen auf festgelegten mathematischen Regeln und Annahmen.⁴ Konventionelle als auch KI-Modelle stellen keinen Ersatz für Teile des oben beschriebenen Verkehrsplanungsprozesses dar, sondern können im Prozess der Informationsgewinnung und -verarbeitung sowie der Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden.

2. Anforderungen an Modelle und deren Risiken

Der geschilderte Aufbau von KI-Modellen birgt u. a. die Risiken, dass die Herleitung der Lösung des KI-Modells und damit die Beurteilung der Ergebnisgüte nicht in jedem Fall nachvollziehbar und transparent sowie maßgeblich von der Güte der Eingangsdaten abhängig ist. Die Nutzung von KI-Modellen zur Datengewinnung und Entscheidungsunterstützung in Verkehrsplanungsprozessen erfordert jedoch die Kenntnis über die erwartbare Qualität der erzeugten Ergebnisse. Dies gilt auch für andere nicht KI-basierte Anwendungen und Modelle⁵. Für den Einsatz von Modellen in der Verkehrsplanung existieren Richtlinien und Empfehlungen, die

¹ „Empfehlungen für Verkehrsplanungsprozesse: EVP,“ Ausgabe 2018, FGSV R2 - Regelwerke FGSV 116 (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2018), S. 8 ff.

² „Hinweise zu Einsatzbereichen von Verfahren zur Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung,“ Ausgabe 2010, FGSV W1 - Wissensdokumente FGSV 153 (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2010).

³ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, *Empfehlungen zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen für den Personenverkehr: EVNM-PV*, Ausgabe 2022, FGSV R2 168, 2 (Köln: FGSV Verlag GmbH, 2022).

⁴ „What Is an AI Model? | IBM,“ letzte Aktualisierung 15.11.2024, <https://www.ibm.com/topics/ai-model>.

⁵ E. Pestel et al., „Qualitätssicherung von Verkehrsnachfragemodellen: Quality Control of Travel Demand Models,“ (Universität Stuttgart, 2016), https://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publikationen/downloads/20161000_SVT_Pestel-Friedrich-Heidl-Pillat-Schiller-Schimpf_Qualitaetssicherung-von-Verkehrsnachfragemodellen.pdf.

den Stand der Technik darstellen^{6 7}. Die Grenzen, Einsatzbereiche und die Güte von KI-Modellen sind in diesen Richtlinien bislang nicht beschrieben. Die vorherige Evaluation von KI-Anwendungen zum Einsatz in der Verkehrsplanung ist daher eine Voraussetzung für die Nutzung dieser in bestehenden Verkehrsplanungsprozessen. Der Einsatz von nicht qualitätsgesicherten und nicht ausreichend transparenten Modellen und Modellergebnissen birgt das Risiko, dass verkehrsplanerische Entscheidungen auf der Basis fehlerhafter Annahmen getroffen werden. Aufgrund des Aufbaus von KI-Modellen (automatische Mustererkennung und selbstständige Ableitung von Vorhersagen und Ergebnissen, s. o.) ist die Gefahr von fehlerhaften Lösungen im Fall von KI-Modellen größer, schwerer zu kontrollieren und nachzuverfolgen als bei konventionellen Modellen.

3. Einsatz von KI-Modellen in der Verkehrsplanung

Bei der Etablierung von KI-Modellen sollte die Notwendigkeit des Praxistransfers berücksichtigt werden. Wie der Landtag feststellt, ist „eine ausreichende IT-Infrastruktur unerlässlich, um die Vorteile von KI im Straßenverkehr ausschöpfen zu können“. Die technischen Möglichkeiten bei der Entwicklung von KI-basierten Modellen und Anwendungen stehen zum Teil im Gegensatz zu den tatsächlichen technischen und prozessualen Strukturen in der Verkehrsplanung und den zuständigen Planungsstellen. Die Integration von neuen Modellen und KI-Anwendungen in Planungsprozessen ist daher von

- der Etablierung von homogenen qualitativ hochwertigen technischen Strukturen,
- der Integration der neuen Werkzeuge in bestehende Prozesse und Anwendungen,
- der erweiterten Befähigung von öffentlichen Stellen zur Nutzung dieser Werkzeuge und
- der begleitenden Evaluation

abhängig.

Insbesondere die Kompatibilität neuer Modelle und Anwendungen zu bestehenden „historisch gewachsenen“ digitalen Werkzeugen ist entscheidend für die praktische Umsetzung und die Anknüpfungsfähigkeit in den Planungsstellen. Gleichzeitig muss die technische und personelle Befähigung gegeben sein, um diese anzuwenden. Eine Vielzahl von ggf. proprietären Einzelösungen ist dabei für den effizienten Hochlauf in den Planungsstellen, die übergreifende Zusammenarbeit sowie die Anknüpfungsfähigkeit nicht zielführend.

Der Einsatz von KI kann unter den aufgeführten Voraussetzungen eine sinnvolle Ergänzung des digitalen Werkzeugkastens von Planungsstellen sein. Konkrete Anwendungsfälle für KI-Modelle in der Verkehrsplanung bestehen z. B. bei

⁶ „Empfehlungen für Verkehrserhebungen: EVE,“ Ausg. 2012, FGSV R2 - Regelwerke FGSV 125 (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2012).

⁷ Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, *Empfehlungen zur Konzeption und zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen im Wirtschaftsverkehr: EVNM-WiV*, Ausgabe 2020, FGSV R2 168, 1 (Köln: FGSV Verlag GmbH, 2020).

- Verkehrszählungen, bspw. durch den Einsatz von Kamerasystemen insb. mit KI-unterstützter Fahrzeugsegmentierung, (vgl. z. B. OpenTrafficCam)⁸,
- der (Zustands)-Erfassung von Straßenräumen und der Erstellung von „digitalen Zwillingen“^{9 10},
- Verkehrssicherheitsanalysen (z. B. KI4Safety)^{11 12}.

4. Bedeutung von Standardisierung, hochwertiger Daten und Infrastrukturen

Die Homogenisierung von technischen Strukturen, Anwendungen und Methoden fördert die Vergleichbarkeit, Übertragbarkeit sowie Skalierbarkeit dieser und ermöglicht die Zusammenarbeit und die transparente Nutzung der resultierenden Erkenntnisse. So könnten bereits in NRW erfolgreich umgesetzte digitale Lösungen die Blaupause für eine weitreichendere (bundesweite) Implementierung darstellen. Ein Beispiel aus der Logistik stellt das mit dem Deutschen Mobilitätspreis 2021 ausgezeichnete Projekt „Effiziente und stadtverträgliche LKW-Navigation für NRW“ (SEVAS) dar¹³. SEVAS digitalisiert Daten für die Routenwahl der Lkw-Verkehre. Restriktionen (Gewichts-, Höhen-, Längen- und Breitenbegrenzung sowie Lkw-Durchfahrtsverbote) in Form von Verkehrszeichenstandorten und deren Gültigkeitsbereich auf dem Straßennetz sowie Lkw-Vorrangrouten werden dabei über das Web-basierte Portal SEVAS durch die teilnehmenden Kommunen eingepflegt und über die Mobilithek des Bundes sowie Open.NRW in standardisierter Form als offene Daten der weiteren Wertschöpfungskette zur Verfügung gestellt. Von SEVAS profitieren sowohl Datennehmer (v. a. Lkw-Navigationsanbieter und Kartenhersteller) durch den vereinfachten Bezug und die Integration der Daten in die angebotenen Services als auch Planungsstellen durch die Vermeidung von fehlgeleiteten Lkw im Stadtgebiet und die Möglichkeit zur internen Datenhaltung über SEVAS. Somit kann SEVAS für die Kommunen dazu beitragen bestehende Maßnahmen und Plankonzepte umzusetzen und die Verträglichkeit der notwendigen Lkw Verkehre in der Stadt zu verbessern.

Qualitativ hochwertige Daten stellen für Anwendungen wie SEVAS als auch konventionelle Modelle sowie KI-Modelle (hier in Form von Trainings- und Validierungsdatensätzen) eine entscheidende Grundlage dar. Die Anwendungen können dabei, insbesondere bei KI-

⁸ OpenTrafficCam Mitwirkende, „OpenTrafficCam,“ platomo; Technische Universität Dresden, letzte Aktualisierung 04.11.2024, <https://opentrafficcam.org/>.

⁹ Nima Kargah-Ostadi, Ammar Waqar, und Adil Hanif, „Automated Real-Time Roadway Asset Inventory using Artificial Intelligence,“ *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2674, Nr. 11 (2020), <https://doi.org/10.1177/0361198120944926>.

¹⁰ „DATAFLEET - Automatisierte Datenerfassung,“ (REMONDIS Digital Services GmbH, o. D.).

¹¹ O. Böttcher et al., „Eingehende Darstellung: KI4Safety: Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz für die Verkehrssicherheitsarbeit,“ (SSP Consult Beratende Ingenieure GmbH; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., 2022).

¹² I. Katsarov und S. Penkov, „Application of artificial intelligence in road network inventory and network-wide road safety assessment,“ *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1297, Nr. 1 (2023), <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1297/1/012020>.

¹³ „Effiziente und stadtverträgliche LKW-Navigation für NRW,“ Verkehrsverbund Rhein-Sieg GmbH, letzte Aktualisierung 08.11.2024, <https://sevas.nrw.de/>.

Anwendungen, nur so gut sein, wie die zugrundeliegenden Daten¹⁴. Im Hinblick auf Mobilitätsdaten kommen Bereitstellungspflichten auf öffentliche Dateninhaber im Rahmen der Intelligente Verkehrssysteme-Richtlinie der EU zu.¹⁵ In diesem Zuge werden von der EU auch Vorgaben zu Bereitstellungsplattformen (National Access Points), Datenstandards (DATEX II) und Bereitstellungsprozessen (z. B. TN-ITS) gemacht bzw. sind auf dieser Ebene in der Diskussion. An diese Vorgaben kann bei der Entwicklung von Lösungen zur Datenerhebung angeknüpft werden.

KI-Anwendungen können in diesem Kontext zur (ressourcen-)effizienten Datenerhebung beitragen. Neben der Berücksichtigung der gesetzlichen Vorschriften sind die Prozesse vor der Maßgabe der an die Daten gestellten Anforderungen hinsichtlich ihrer Qualität zu würdigen. Daten im Verkehrssektor werden folgend dem Stand der Technik über die Dimensionen Vollständigkeit, Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Aktualität beschrieben.¹⁶

Diese oder ähnliche Qualitätskriterien können auch für Trainingsdatensätze für KI-Anwendungen gelten. Speziell KI-Anwendungen profitiert von der Verfügbarkeit hochwertiger Trainingsdatensätze. Die zentrale, qualitätsgesicherte Bereitstellung entsprechender Datensätze und Statistiken auch durch Planungsstellen kann als Multiplikator für weitere Entwicklungen und Bestrebungen dienen und einen Beitrag zur Homogenisierung der Datenlandschaft in Deutschland leisten.¹⁷ Als Beispiele für notwendige Eingangsdaten und Statistiken für Modelle des Wirtschaftsverkehrs können u. a. standortbezogene Daten (Betriebsstandorte und deren Wirtschaftszweige/Tätigkeitsfeld, Beschäftigtenzahlen), Verkehrs- und Infrastrukturdaten (statische sowie dynamische Verkehrsinformationen und -beschränkungen) sowie fahrzeugbezogene und fahrzeugverhaltensbezogene Daten (fein aufgelöste Mikrodaten aus bestehenden Statistiken, z. B. Güterkraftverkehrsstatistik, Mautstatistik, Kraftverkehr in Deutschland) angeführt werden¹⁸.

Die Datenlieferpflichten in Bezug auf Verkehrs- und Infrastrukturdaten auf Grundlage der bestehenden und zukünftigen Gesetzgebung liegen vorwiegend im Verantwortungsbereich der Kommunen und Kreisen.¹⁹ Übergeordnete Körperschaften können durch z. B. die zentrale Evaluation von geeigneten Lösungen und die Bereitstellung von zentralen Plattformen und Infrastrukturen als „Enabler“ für die Kommunen fungieren. Im Sinne einer Homogenisierung der Datenhaltung und des Datenangebots sollten dabei bestehende Datenstandards als auch

¹⁴ „Vielfältige Potenziale von Künstlicher Intelligenz in der Mobilität: Bericht zu den mFUND-Fachaustausch-Veranstaltungen Künstliche Intelligenz vom 2. Juli 2019 und 11. August 2020,“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur; Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste, 2020), 3.

¹⁵ Richtlinie 2010/40/EU zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr und für deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern, Ivs-richtlinie, Europäisches Parlament und Rat (2010).

¹⁶ „Empfehlungen für Verkehrserhebungen,“ (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2012), 7.

¹⁷ „German Traffic Sign Benchmarks,“ letzte Aktualisierung 11.12.2020, <https://benchmark.ini.rub.de/>.

¹⁸ Bert Leerkamp et al., „Datenanforderungen an die Weiterentwicklung kleinräumiger Verkehrsnachfragemodelle des Wirtschaftsverkehrs - Schlussbericht,“ (Bergische Universität Wuppertal; Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG, Aachen, Wuppertal und Aachen, 2013).

¹⁹ Gesetzentwurf der Bundesregierung Entwurf eines Gesetzes zur Bereitstellung und Nutzung von Mobilitätsdaten und zur Änderung des Personenbeförderungsgesetzes, Die Bundesregierung (2024).

Datenbedarfe der Planung sowie von Dritten berücksichtigt werden. Aktuelle Best-Practices von anderen nationalen und internationalen Aufgabenträgern können dazu eine Blaupause darstellen.

5. Entwicklung und Förderung von KI-Lösungen

Die Entwicklung und der Einsatz von KI-Lösungen sollte, wie vom Landtag festgestellt, nicht dem Selbstzweck dienen. Die Förderung von KI-Lösungen sollte aufgrund der Neuartigkeit der Ansätze die Evaluation der Nutzbarkeit und Qualität der Lösungen einschließen. Insbesondere die Evaluation von KI-Anwendungen hinsichtlich der Modellqualität, der Risiken sowie der Integration in Verkehrsplanungsprozesse, kann Aufgabe der Forschung sein. Zum aktuellen Zeitpunkt findet im Bereich der Verkehrsmodellierung und Datenerhebung u. a. für die Verwendung in der Planung international anerkannte Forschung in Deutschland statt.^{20 21} Diese Ansätze nutzen i. d. R. keine Form der KI. Die Nutzung von KI in der Verkehrsmodellierung stellt daher keinen „muss“ dar, um die an die Modelle gestellten Anforderungen zu erfüllen. Die Entwicklung des Einsatzes von KI im Mobilitätssektor ist allerdings dynamisch und hochaktuell. In der internationalen wie auch in der nationalen Forschungslandschaft laufen zur Zeit zahlreiche Studien, die sich mit dem Einsatz von KI-Anwendungen im Mobilitätssektor beschäftigen.²² KI-Lösungen werden weitreichende Potentiale zugesprochen. Die Förderung von skalierbaren und transparenten KI-Lösungen in Explorations-, Qualitätssicherungs- und Umsetzungsprojekten sollte daher, insb. vor dem Hintergrund transformativer Projekte, Bestandteil eines zukunftsfähigen Förderportfolios sein.

²⁰ Andreas Horni, Kai Nagel und Kay W. Axhausen, *The multi-agent transport simulation MATSim* (London: Ubiquity Press, 2016). <https://doi.org/10.5334/baw>.

²¹ Pablo A. Lopez et al., „Microscopic Traffic Simulation using SUMO,“ in *2018 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference: November 4-7, Maui, Hawaii* (Piscataway, NJ: IEEE, 2018).

²² Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur und Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste, „Vielfältige Potenziale von Künstlicher Intelligenz in der Mobilität.“

Quellenverzeichnis

- Böttcher, O., J. Fuchs, R. Hoffmann, R. Katzler, N. Kornfeld, A. Leich, und J. Meuter et al. „Eingehende Darstellung: KI4Safety: Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz für die Verkehrssicherheitsarbeit.“, SSP Consult Beratende Ingenieure GmbH; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., 2022.
- „DATAFLEET - Automatisierte Datenerfassung.“, REMONDIS Digital Services GmbH, o. D.
- „Empfehlungen für Verkehrserhebungen.“, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2012.
- „Empfehlungen für Verkehrserhebungen: EVE.“. Ausg. 2012. FGSV R2 - Regelwerke FGSV 125, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2012.
- „Empfehlungen für Verkehrsplanungsprozesse: EVP.“. Ausgabe 2018. FGSV R2 - Regelwerke FGSV 116, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2018.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. *Empfehlungen zur Konzeption und zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen im Wirtschaftsverkehr: EVNM-WiV*. Ausgabe 2020. FGSV R2 168, 1. Köln: FGSV Verlag GmbH, 2020.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. *Empfehlungen zum Einsatz von Verkehrsnachfragemodellen für den Personenverkehr: EVNM-PV*. Ausgabe 2022. FGSV R2 168, 2. Köln: FGSV Verlag GmbH, 2022.
- „German Traffic Sign Benchmarks.“ Letzte Aktualisierung 11.12.2020, <https://benchmark.ini.rub.de/>.
- Gesetzentwurf der Bundesregierung Entwurf eines Gesetzes zur Bereitstellung und Nutzung von Mobilitätsdaten und zur Änderung des Personenbeförderungsgesetzes. Die Bundesregierung. 2024.
- „Hinweise zu Einsatzbereichen von Verfahren zur Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung.“. Ausgabe 2010. FGSV W1 - Wissensdokumente FGSV 153, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2010.
- Horni, Andreas, Kai Nagel, und Kay W. Axhausen. *The multi-agent transport simulation MATSim*. London: Ubiquity Press, 2016. <https://doi.org/10.5334/baw>.
- Kargah-Ostadi, Nima, Ammar Waqar, und Adil Hanif. „Automated Real-Time Roadway Asset Inventory using Artificial Intelligence.“ *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2674, Nr. 11 (2020): 220–34. <https://doi.org/10.1177/0361198120944926>.
- Katsarov, I., und S. Penkov. „Application of artificial intelligence in road network inventory and network-wide road safety assessment.“ *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1297, Nr. 1 (2023): 12020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1297/1/012020>.
- Leerkamp, Bert, Benjamin Dahmen, Reiner Vollmer, und Theo Janßen. „Datenanforderungen an die Weiterentwicklung kleinräumiger Verkehrsnachfragemodelle des Wirtschaftsverkehrs - Schlussbericht.“, Bergische Universität Wuppertal; Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG, Aachen, Wuppertal und Aachen, 2013.
- Lopez, Pablo Alvarez, Evamarie Wiessner, Michael Behrisch, Laura Bieker-Walz, Jakob Erdmann, Yun-Pang Flotterod, Robert Hilbrich, Leonhard Lucken, Johannes Rummel, und Peter Wagner. „Microscopic Traffic Simulation using SUMO.“ In *2018 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference: November 4-7, Maui, Hawaii*, 2575–82. Piscataway, NJ: IEEE, 2018.
- Mitwirkende, OpenTrafficCam. „OpenTrafficCam.“ Letzte Aktualisierung 04.11.2024, <https://opentrafficcam.org/>.
- Pestel, E., M. Friedrich, U. Heidl, J. Pillat, C. Schiller, und M. Schimpf. „Qualitätssicherung von Verkehrsnachfragemodellen: Quality Control of Travel Demand Models.“, Universität Stuttgart, 2016. https://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/publikationen/downloads/20161000_SVT_Pestel-Friedrich-Heidl-Pillat-Schiller-Schimpf_Qualitaetssicherung-von-Verkehrsnachfragemodellen.pdf.

Richtlinie 2010/40/EU zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr und für deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern. IVS-Richtlinie. Europäisches Parlament und Rat. 2010.

Verkehrsverbund Rhein-Sieg GmbH. „Effiziente und stadtverträgliche LKW-Navigation für NRW.“

Letzte Aktualisierung 08.11.2024, <https://sevas.nrw.de/>.

„Vielfältige Potenziale von Künstlicher Intelligenz in der Mobilität: Bericht zu den mFUND-Fachaus-tausch-Veranstaltungen Künstliche Intelligenz vom 2. Juli 2019 und 11. August 2020.“, Bundesmi-nisterium für Verkehr und digitale Infrastruktur; Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste, 2020.

„What Is an AI Model? | IBM.“ Letzte Aktualisierung 15.11.2024, <https://www.ibm.com/topics/ai-model>.