



KI-basierte Verkehrs- und Mobilitätssteuerung in kommunalen Mobilitätssystemen

Impulspapier

Kurzgefasst

Künstliche Intelligenz gewinnt für Kommunen an Bedeutung, weil sie neue Wege eröffnet, Mobilität effizienter, nachhaltiger und sicherer zu gestalten. Städte und Gemeinden stehen vor Zielkonflikten: Verkehrsflüsse sollen verbessert, Emissionen gesenkt, Flächen neu verteilt und die Lebensqualität erhöht werden – bei begrenzten Ressourcen. KI kann helfen, bestehende Infrastrukturen intelligenter zu nutzen, Zielkonflikte sichtbar zu machen und Steuerungsentscheidungen datenbasiert zu verbessern.

Im Zentrum steht dabei eine neue Logik der Verkehrs- und Mobilitätssteuerung, die auf lernenden Systemen basiert. Drei Betrachtungsschwerpunkte sind entscheidend: Erstens klare kommunale Zielsetzungen, die politische Prioritäten in messbare Indikatoren übersetzen. Zweitens ein technisches Steuerungssystem, das diese Ziele kontinuierlich umsetzt. Besonders Reinforcement Learning rückt hierbei in den Fokus, da es erlaubt, Verkehrssteuerung im engeren Sinne – etwa an Lichtsignalanlagen oder im Netzmanagement – adaptiv zu optimieren und zugleich Perspektiven für eine umfassendere Mobilitätssteuerung zu eröffnen.

Drittens braucht es Strukturen, die kontinuierliche Innovation ermöglichen: Ein offenes Forschungs- und Entwicklungssystem ergänzt den laufenden Betrieb, indem Simulationen, neue Dienste und Steuerungsstrategien erprobt, bewertet und gezielt in das bestehende Steuerungssystem eingespeist werden können. So entsteht ein lernendes Gesamtsystem, das nicht nur effizient steuert, sondern Innovation beschleunigt und kommunale Mobilität langfristig gemeinwohlorientiert weiterentwickelt.

Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Herausforderungen und Zielbild für Kommunen.....	4
2.1	Erwartungen an Kommunen und bestehende Herausforderungen	4
2.2	Potenzielle KI-gestützter Verkehrssteuerung für urbane Mobilität	6
2.3	Zielbild: Drei Ebenen einer KI-basierten, lernenden Verkehrs- und Mobilitätssteuerung.....	8
3	Strategisch steuern: Ziele, Indikatoren und Umsetzung	11
3.1	Ziele, Indikatoren und kommunale Steuerungsverantwortung	11
3.2	Mit KPIs ganzheitlich planen und steuern.....	12
3.3	Orientierungshilfen für die Praxis.....	13
4	Technisches Fundament einer KI-basierten Verkehrs- und Mobilitätssteuerung legen.....	15
4.1	Optimierung der Verkehrssteuerung mit Reinforcement Learning	16
4.2	Modellbasiertes Lernen und digitale Zwillinge im Verkehrssystem	18
4.3	Technische KPIs: Verbindung von Zielsystem und Steuerung	21
4.4	Daten und Datenmanagement für KI-gestützte Verkehrssteuerung	24
5	Kontinuierliche Innovationskreisläufe ermöglichen – Anbindung an das Forschungs- und Entwicklungssystem.....	25
5.1	Datenzugang als Grundlage für KI-Innovationen	27
5.2	Strukturprinzipien eines offenen F&E-Systems	27
5.3	Bestehende Referenzrahmen und Best Practices für F&E-Systeme.....	29
5.4	Die Validierung neuer Dienste: Vom Datenzugang zur Anwendung	30
6	Impulse.....	32
	Literatur	34
	Über dieses Impulspapier	36

Empfohlene Zitierweise

Hesse, T., Bahlmann, C., Pfeiffer, M. (2026): KI-basierte Verkehrs- und Mobilitätssteuerung in kommunalen Mobilitätssystemen. Plattform Lernende Systeme, München. https://doi.org/10.48669/pls_2026-1

1 Einleitung

Im mobilitätspolitischen Diskurs über Künstliche Intelligenz (KI) wird anerkannt, dass KI genutzt werden kann, um die Verkehrssteuerung intelligenter, adaptiver, effizienter und klimafreundlicher zu gestalten – und damit zu lebenswerteren Städten beizutragen.¹ In technologischen Innovationen liegt auch ein erhebliches Wertschöpfungspotenzial. Die Entwicklung, Anwendung und Förderung von KI-Technologien im Bereich der Verkehrssysteme und ihrer Steuerung kann einen relevanten Beitrag zur industriellen Wertschöpfung in Deutschland liefern und neue Arbeitsplätze schaffen. Es ist deshalb für den Mobilitätssektor ratsam, die ökonomischen Potenziale von lokaler Datennutzung und technologischer Souveränität gezielt zu erschließen. Die umfangreichen deutschen und europäischen Investitionspakete für Infrastrukturen, Digitalisierung und Künstliche Intelligenz weisen in genau diese Richtung. Häufig fehlt jedoch eine Analyse der konkreten Mobilitäts Herausforderungen vor Ort und ihrer Wechselwirkungen mit KI-basierten Lösungen. Oft mangelt es an einem ganzheitlichen Zielbild, das erklärt, was KI-basierte Verkehrssteuerung bedeutet, welche technischen Aspekte sie umfasst und wie sie in bestehende Maßnahmen zur Verbesserung der Mobilität vor Ort eingebettet werden sollte. Das folgende Kapitel skizziert ein solches Zielbild und benennt drei zentrale Handlungsfelder für eine erfolgreiche Implementierung KI-basierter Verkehrssteuerung (Kapitel 3–5):

- **Erstens** ist die strategische Rolle einer KI-basierten Verkehrssteuerung als Teil der Mobilitätswende zu beleuchten und die Frage zu beantworten, wie Kommunen mit spezifischen Leistungsindikatoren handlungs- und wirkungsmächtige Akteure der Verkehrssteuerung sein können (Handlungsfeld 1).
- **Zweitens** werden die technischen Voraussetzungen für den Aufbau und Betrieb eines KI-gestützten Systems dargestellt (Handlungsfeld 2).
- **Drittens** wird gezeigt, wie Mehrwert für die Kommunen entstehen kann, indem ein offenes Forschungs- und Innovationssystem eingebunden wird (Handlungsfeld 3).

¹ Bereits die KI-Strategie der Bundesregierung 2018 geht davon aus, dass Staus und Verspätungen durch KI-optimierte Verkehrsflüssen vermieden werden können (Bundesregierung, 2018, S. 36). Auch der Aktionsplan „Digitalisierung und Künstliche Intelligenz in der Mobilität“ sieht in der intelligenten Verkehrslenkung und der erforderlichen verlässlichen Datengrundlage ein zentrales Handlungsfeld (BMVI, 2018). Auch die Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz hatte 2020 befunden: „Gerade hinsichtlich der Nutzung des maschinellen Lernens muss das Potenzial der Mobilitäts Optionen noch weiter und vernetzter gedacht werden. Sowohl bei der Verkehrssteuerung und Auslastung als auch bei Begleitfaktoren (...) können noch deutliche Effekte erzielt werden.“ (Deutscher Bundestag, 2020, S. 364) Der OECD-Bericht hebt die Rolle von KI im Verkehrssektor vor allem mit Blick auf Verkehrsvermeidung, erleichterte Inter- und Multimodalität sowie Reduktion im Personenverkehr durch digitale Mobilitätsdienstleistungen hervor. Er führt jedoch auch intelligente Verkehrssteuerung durch KI-gesteuerte Lichtsignalanlagen als bewährten Use Case auf (OECD, 2024, S. 130).

2 Herausforderungen und Zielbild für Kommunen

Den Kommunen kommt die zentrale Rolle zu, über die Gestaltung der Mobilität vor Ort gemeinsam mit den Bürgerinnen und Bürgern zu entscheiden. Deshalb ist es wichtig, das Thema ausgehend von den Bedürfnissen und Herausforderungen der Kommunen zu behandeln (Kapitel 2.1). Die Potenziale einer KI-basierten Verkehrssteuerung werden diesen gegenübergestellt (Kapitel 2.2). In diesem Kontext wird ein Zielbild skizziert, das als Bestandteil einer Lösungsperspektive dienen kann (Kapitel 2.3). Zwei Beispiele illustrieren dies abschließend.

2.1 Erwartungen an Kommunen und bestehende Herausforderungen

Um das Thema einzugrenzen, stehen in diesem Papier die Kommunen und Städte sowie Landkreise als zentrale Akteure der lokalen Verkehrssteuerung im Mittelpunkt. Dazu zählen auch die öffentlichen Verkehrsverbünde bzw. öffentlichen Mobilitätsanbieter mit der Betriebssteuerung ihrer Flotten. An die Städte richten sich **hohe Erwartungen**: Sie sollen eine leistungsfähige, zuverlässige, sichere, gerechte, klimafreundliche, inklusive, bezahlbare und möglichst nutzerfreundliche Mobilität als Teil der Daseinsvorsorge gewährleisten – im Kontext gesellschaftlicher Veränderungsprozesse und Krisen, die ihrerseits die Mobilitätsbedarfe verändern und auf die Erwartungen einwirken. Dazu gehören zum Beispiel der demografische Wandel oder eine pandemische Notlage. Deshalb nimmt dieses Impulspapier **ein responsiveres und adaptiveres Mobilitätssystem** in den Blick, das mehr Möglichkeiten erhält, **auf solche Erwartungen und veränderten Bedarfe einzugehen** – insbesondere **durch** den Einsatz von **KI-basierten Steuerungslösungen**.

Info-Box

Verkehrssteuerung & Mobilitätssteuerung

Mit **Verkehrssteuerung** ist hier die technisch-operative Steuerung des Verkehrs im engeren Sinne gemeint, z. B. durch Lichtsignalanlagen, Verkehrsmanagementsysteme, intelligente Leit- und Informationssysteme oder durch die Auslegung sowie Kapazitäts- und Fahrplangestaltung von Zug- und Buslinien. Sie umfasst alle Verkehrsmodi (motorisierter Individualverkehr, Schienenverkehr (Straßenbahn, S-Bahn, Regionalzüge), Bus-, Rad- und Fußverkehr sowie Güterverkehr) und zielt auf effiziente und sichere Verkehrsabläufe ab.

Mobilitätssteuerung geht weiter: Sie bezeichnet die strategische Steuerung des gesamten Mobilitätssystems einer Kommune – orientiert an ihren Zielen, entsprechenden Lenkungspräferenzen und gesetzten Anreizen. Sie bezieht sich umfassender auf Planung, Entwicklung und Vernetzung städtischer Räume, Mobilitätsangebote und Infrastrukturen. Sie ermöglicht, Mobilitätsbedarfe bereits in ihrem Ursprung zu steuern – das heißt auch durchaus zu vermeiden.

Kommunen stehen einer Vielzahl an **Herausforderungen** gegenüber. Bereits 2018 bekundeten die Kommunalverbände einen zunehmenden verkehrspolitischen Handlungsdruck (Horn, Kiel & Lojewski, 2018). Die zentralen Problemlagen dürften eher zu- als abgenommen haben:

- Bevölkerungswachstum und Verdichtung in Ballungsräumen mit steigendem Pendel-, Liefer- und Güterverkehr sowie damit verbundene Belastungen wie Staus, Emissionen und Lärm;
- rechtlich bindende Vorgaben zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors, Luftreinhaltung und Lärmschutz, bei inkrementellem Lösungsfortschritt;
- Verkehrssicherheit (Stichwort „Vision Zero“);
- zunehmende Raumkonkurrenz, insbesondere mit Blick auf den gewünschten öffentlichen sowie aktiven Fuß- und Radverkehr;
- Komplexität bei der Verknüpfung unterschiedlicher Verkehrsträger und das Erfordernis zur Gestaltung multimodaler Reiseketten.

Die **konkrete Aufgabe**, vor der viele Kommunen stehen, ist es, die verschiedenen Sektoren des eigenen Mobilitätssystems im Rahmen der Stadtentwicklung zu verknüpfen, **multi- und intermodale Reiseketten möglichst nahtlos** zu optimieren sowie regulatorisch zu **gestalten**. Üblicherweise werden diese Sektoren eingeteilt in öffentliche Verkehrsmittel, den motorisierten Individualverkehr, den Güter- und Lieferverkehr und den aktiven Sektor der Fußgängerinnen und Fußgänger sowie Radfahrerinnen und Radfahrer. Die Digitalisierung und der KI-Einsatz gehören unter dem Schlagwort „Smart City“ sowohl zu den kosten- und kommunikationsintensiven Herausforderungen als auch zu den vielversprechenden Lösungsansätzen für zukunftssichere Städte und sind äußerst mobilitätsrelevant.

Diese verkehrlichen, aber auch sektorübergreifenden Probleme lassen sich nicht isoliert lösen, sondern sind mit einem **ganzheitlichen Ansatz** zu adressieren. Dabei ist vor allem die **Integration von Stadtentwicklung und Mobilitätsplanung** ein wichtiger Stellhebel, um bestimmte Verkehrsprobleme gar nicht erst entstehen zu lassen beziehungsweise systematisch und nachhaltig zu beheben (Beckmann et al., 2024). Eine integrierte Stadtentwicklung und Mobilitätsplanung ist jedoch **abhängig von einem vorhandenen Datenmodell**, das bisher (oft) nicht vorliegt. Die hier thematisierte Datengrundlage für eine KI-basierte Verkehrssteuerung kann einen Beitrag für ein datenbasiertes Modell von Mobilität und Stadtentwicklung liefern. Umgekehrt ist es sinnvoll, im Zuge der Transformation von Städten zu Smart Cities mit entsprechendem Datenmanagement die Digitalisierung des Verkehrs als eine Anwendungsdomäne mitzudenken. Der Aufbau einer entsprechenden Datengrundlage stellt für die Städte und Kreise jedoch eine erhebliche Herausforderung dar.

Eine bessere Datengrundlage könnte die Betriebssteuerung von ÖPNV-Flotten – verbunden mit dem Einsatz von KI – deutlich optimieren. Allerdings stehen ihre Betreiber vor großen Herausforderungen wie dem zunehmenden Mangel an Fachkräften sowie der Frage einer nachhaltigen Finanzierung.

Zugleich muss beantwortet werden, wie **Verbesserungen unserer Mobilität und Logistik in der bestehenden, oft stark beanspruchten und überlasteten Verkehrsinfrastruktur** erreicht werden können. Hier bieten sich intelligente, **KI-basierte Steuerungsansätze** an, insbesondere durch **adaptive Signalsteuerung** oder **vorausschauende Netzoptimierung**. Dieses Impulspapier legt deshalb – im Bewusstsein der systemischen Herausforderungen und Lösungskonzepte – den Schwerpunkt auf den spezifischen Beitrag, den KI-basierte Verkehrssteuerungen leisten können.

Die besonderen Herausforderungen im Bereich der Verkehrssteuerung liegen häufig in:

- Pfadabhängigkeiten existierender Infrastrukturen mit oft jahrzehntelanger Einsatzdauer,
- großem Bedarf nach verlässlichen Leitlinien für zukunftsfeste Investitionen für langfristige Planungen von Verkehrsinfrastrukturen,
- der Sorge vor teuren Fehlentscheidungen, technologisch überholten Systemwechseln oder nicht erfüllten Wirkungsversprechen,
- den finanziellen Belastungen: Die Kommunen als nur einer der öffentlichen Straßenbaulastträger sind mit einer chronisch unterfinanzierten, nicht ausreichend instand gehaltenen Verkehrsinfrastruktur konfrontiert, die bei steigender Verkehrslast an Leistungsfähigkeit verliert. Hier geht es oft zunächst um die grundlegende physische Erhaltung, bevor die Vorteile technologischer Innovationen überhaupt erwogen werden können.

Ungeklärt ist zudem, was Kommunen selbst leisten können und was ausgelagert werden muss, etwa beim Betrieb von KI-Systemen oder dem Einsatz von Cloudlösungen, sowie ob es eine Verschiebung von Anschaffungskosten auf Betriebskosten gibt, beispielsweise durch erforderliche Rechenzentren oder Cloudservices. Denn aktuell läuft die Steuerung etwa von Lichtsignalanlagen lokal an der jeweiligen Kreuzung. Perspektivisch muss deutlich werden, ob und wie durch KI tatsächlich auch Einsparpotenziale erschlossen werden können.²

2.2 Potenziale KI-gestützter Verkehrssteuerung für urbane Mobilität

Den genannten Herausforderungen stehen beträchtliche **Potenziale** gegenüber. Wenn es gelingt, wiederverwendbare Modelle sowie auf andere Kommunen übertragbare Lösungen zu entwickeln, können Kosten und Entwicklungsaufwände reduziert werden. Dies erfordert einheitliche Kommunikations- und Datenstandards sowie Schnittstellen. Ein koordiniertes öffentliches Beschaffungswesen ermöglicht Effizienzgewinne durch Mengeneffekte und indem Parallelentwicklungen und -beschaffungen vermieden werden (Kussel, Pavleka & Schmidt, 2024). Idealerweise wird das Thema nicht isoliert in einzelnen Kommunen, sondern von Anfang an vernetzt und gemeinschaftlich gedacht. So können Kommunen beispielsweise in Innovationspatenschaften zwischen Vorreiter-Kommunen und solchen, die Unterstützung benötigen, voneinander lernen, Bewährtes übernehmen sowie Entwicklungskosten und -zeit sparen. Indem KI-Systeme verschiedener Kommunen bzw. Betreiber in räumlicher Nähe vernetzt werden, lassen sich Wertgewinne durch geteilten Datenaustausch und -zugriff erzielen.

Im engeren Sinne der Verkehrssteuerung liegen die größten Potenziale in der **situationsspezifischen Steuerung des Verkehrs**. Damit können **übergeordnete Ziele** erreicht werden, die die Kommune vorgibt – etwa eine höhere Attraktivität des Radverkehrs durch Grüne Wellen oder kürzere Wartezeiten an Ampeln (siehe Kapitel 3).

Ein wesentlicher gesellschaftlicher Mehrwert entsteht, wenn **gezielte Anreize zu verändertem Mobilitätsverhalten** führen – durch eine stärkere Nutzung emissionsarmer oder gemeinschaftlich genutzter Verkehrsmittel sowie des Umweltverbundes (Bus, Bahn, Fuß- und Fahrradverkehr). Dies kann sowohl durch eine **bessere Funktionalität** (etwa bessere Konnektivität, Pünktlichkeit, Komfort) als auch durch **verbesserte Teilhabemöglichkeiten** erzielt werden (z. B. durch die Verbesserung der Erreichbarkeit von Haltestellen, Taktung, räumlichen Abdeckung von Fahrdiensten oder durch optimierte On-demand-Systeme, also bedarfsorientierte Mobilitätsangebote).

² Zur Integrierbarkeit von KI-basierter Steuerung in Lichtsignalanlagen wurden bereits in einer Reihe an Projekten Erfahrungen gesammelt, z.B.: KI4LSA (BMV, 2022); KI4PED (BMV, 2023); KI-Testfeld Ellwangen (Land Baden-Württemberg, 2024); Forschungskreuzung Aschaffenburg (Technische Hochschule Aschaffenburg, 2023); KI-basierte Kreuzungssteuerung Essenbach (Yunex Traffic, 2024).

Insbesondere die individuelle **Digitalisierung der Verkehrsteilnehmenden**, die als Prosumenten ihre Mobilität selbst und kurzfristig organisieren, ermöglicht integrierte Mobilitätsdienstleistungen aus „einem Guss“ (Canzler, 2024, S. 9). Dies eröffnet auch dem Öffentlichen Verkehr **neue Chancen personalisiert gesteuerter Mobilität**. Barrieren in multimodalen Reiseketten können abgebaut werden, Nutzende durch nahtlose Mobilitätsangebote auf gewünschte Verkehrsmittel gelockt werden. Hier spielen vor allem kommunale On-demand-Dienste sowie das Angebot von Mobilität als Service (MaaS) eine wichtige Rolle.

Für die Betreiber vernetzter Mobilitätssysteme ergeben sich Vorteile durch **Echtzeit-Monitoring und adaptiv-responsives Controlling** aktueller Verkehrsströme sowie durch die **Auswertung und Analyse zukünftiger Verkehrsentwicklungen**. Hier eröffnen sich neue Möglichkeiten für Simulation, genauere Prognostik und Planung von Verkehrssystemen sowie für die Entwicklung von Infrastrukturen und öffentlichem Raum. Dies stärkt die kommunale Planungsfähigkeit und schafft Steuerungspotenziale – insbesondere für Verkehrsinfrastrukturen, Flächenentwicklung, Ansiedlungsentscheidungen und Stadtgestaltung. Diese Aspekte betreffen die Lebensbedingungen insgesamt und gehen weit über die reine Mobilität hinaus.

Auch aus **klima- und umweltpolitischer Perspektive** ergeben sich Potenziale: Durch intelligente Steuerung optimierte Verkehrsflüsse können zur Reduktion von Emissionen beitragen – und damit das Erreichen der Klimaschutzziele der Bundesregierung unterstützen (vor allem das Handlungsfeld Digitale Vernetzung des Verkehrsbereichs für das Bundesklimaschutzgesetz) (BMDV, 2023b). Im Rahmen eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements werden Umweltdaten, beispielsweise zur Luftqualität, Temperatur oder Lärmbelastung, in Echtzeit in die Verkehrssteuerung eingebunden, sodass Verkehrsflüsse in belasteten Gebieten aktiv beeinflusst werden können, damit die Umweltbelastung minimiert wird. **Die Digitalisierung schafft dafür die Voraussetzungen, indem sie Umwelt- und Verkehrsdaten** (z. B. aus Sensoren, Fahrzeugen, Wetterdiensten oder Verkehrsleitzentralen) **integriert, analysiert und operationalisiert** – insbesondere durch den Einsatz von KI. Dies eröffnet neue Möglichkeiten, Klima- und Umweltschutzziele im Verkehrssektor wirksam umzusetzen.

Ein **zentrales Innovationspotenzial** liegt in dem hier formulierten Vorschlag der **Anbindung eines Forschungs- und Entwicklungssystems**. In diesem können auf Basis umfangreich verfügbarer Daten neue Dienste von vielfältigen Akteuren eingebracht und neue Möglichkeiten der Simulation und des Testens bereitgestellt werden. **Ziel ist die Steigerung der Innovationsgeschwindigkeit durch ein offenes Innovationsökosystem** (siehe Kapitel 5). Vielversprechend für ein zunehmend multi- und intermodales Mobilitätssystem ist auch die intelligente Abstimmung zwischen Verkehrsmitteln – entsprechend den Steuerungspräferenzen der Stadt. Auf der Grundlage einer umfassenden digitalen Abbildung der Verkehrslage wird die KI-optimierte Steuerung von ÖPNV-Flotten in Abstimmung auf die weiteren Verkehrsmitteloptionen möglich. Die Kommune könnte im besten Fall statt einzelner Verkehrsbereiche das gesamte Mobilitätssystem entlang der von ihr gesetzten Ziele steuern und optimieren. Dazu gehört das wesentliche Ziel, den Modal Split zu verändern, also wie sich das Verkehrsaufkommen auf verschiedene Verkehrsmittel verteilt, und dabei den Nutzungsanteil umwelt- und klimafreundlicher Optionen zu erhöhen.

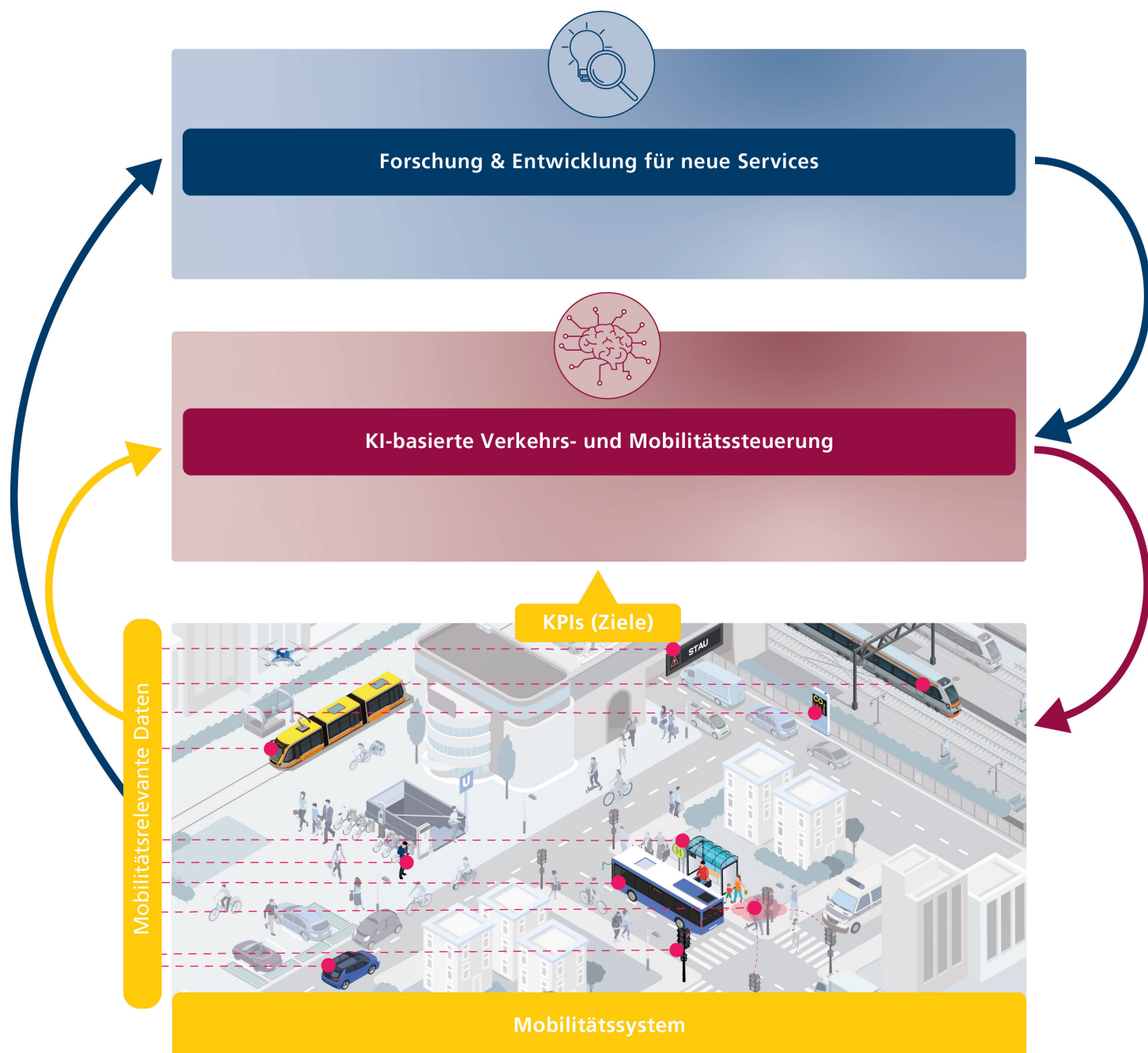
Nicht zuletzt können durch eine möglichst realitätsnahe digitale Repräsentation des Verkehrs hypothetische Szenarien von Verkehrsraum, -teilnehmenden und -infrastruktur deutlich schneller modelliert werden. Dies bietet neue Möglichkeiten der Kommunikation mit den Bürgerinnen und Bürgern – einem zentralen Erfolgsfaktor für die Transformation urbaner Mobilitätssysteme. Ihnen können dadurch entstehende Vor- oder Nachteile transparent und greifbar gemacht werden.

2.3 Zielbild: Drei Ebenen einer KI-basierten, lernenden Verkehrs- und Mobilitätssteuerung

Wie lassen sich die beschriebenen **Potenziale realisieren**? Dieses Papier entwickelt dazu ein **Zielbild für eine KI-basierte Verkehrs- und Mobilitätssteuerung in Deutschland. Drei funktional miteinander verbundene Ebenen sind dafür entscheidend**. Im Folgenden werden sie grafisch dargestellt und zusammenfassend erläutert. Die Kapitel 3 bis 5 vertiefen für jede Ebene das entsprechende Handlungsfeld und erweitern die Zielbildgrafik für Ebene zwei und drei.



Abbildung 1: Überblick Zielbild KI-basierter Verkehrs- und Mobilitätssteuerung



Quelle: Eigene Darstellung, Plattform Lernende Systeme.

- **Erste Ebene – Zielorientierung und Steuerungskriterien:**

In strategischer Hinsicht sollte die Zielsetzung der Kommune idealerweise in einer Mobilitätsstrategie mit **konkret formulierten Optimierungskriterien** definiert werden. Messbare **Key Performance Indicators (KPIs)** operationalisieren die kommunalen Ziele datenbasiert und bilden die Grundlage für die nachfolgenden Ebenen. In dieser ersten Ebene werden vielfältige **mobilitätsrelevante Daten** erhoben (etwa zur Verkehrslage, Umweltqualität oder zur Nutzung multimodaler Angebote) und bilden den Ausgangspunkt für datengetriebene Anwendungen und KI-basierte Dienste (→ gelber Bereich im Zielbild).

- **Zweite Ebene – Technisches Steuerungssystem:**

Zum technischen Fundament, das für die Umsetzung einer adaptiven, KI-gestützten Verkehrs- und Mobilitätssteuerung notwendig ist, gehören die **Erfassung und Integration verkehrsrelevanter Datenquellen** (z. B. Sensorik, ÖPNV-Daten, Bewegungsdaten) sowie der **Aufbau eines digitalen Lagebilds**. Zur **dynamischen Steuerung** wird in diesem Papier schwerpunktmäßig die Methode des **Reinforcement Learning** betrachtet. Die Steuerungssysteme orientieren sich direkt an den kommunalen KPIs. Die KPIs bestimmen, welche Steuerungseingriffe priorisiert werden (→ roter Bereich im Zielbild).

- **Dritte Ebene – Forschungs- und Entwicklungssystem:**

Damit aus der Einführung KI-basierter Systeme ein **kontinuierlicher Nutzen für Kommunen** entsteht, braucht es ein **offenes Innovationssystem**, ohne sich langfristig an proprietäre Systeme binden zu müssen. Die Offenheit eines solchen Innovationsraums fördert **sektorübergreifende Zusammenarbeit und beschleunigt Innovationszyklen**. Es sollte modular aufgebaut, vom operativen Steuerungssystem entkoppelt und für externe Akteure wie Forschungseinrichtungen, Start-ups oder Dienstleister zugänglich sein. Ziel ist es, auf Basis verfügbarer oder eigens generierter Mobilitätsdaten neue datenbasierte Dienste – ähnlich einer variablen Toolbox – entwickeln zu können (z. B. neue Lagebild-Services oder Steuerungsalgorithmen). Diese Ebene ist auch wichtig für den Aufbau digitaler Zwillinge und von Simulationen (→ blauer Bereich im Zielbild).

Stellt man sich die Realisierung dieses Zielbildes vor, so gelangt man zu etwa folgender **Vision**: Städte mit verkehrlicher Komplexität und Steuerungsinfrastruktur – wie sie in Mittel- und Großstädten anzutreffen ist – schaffen es innerhalb der nächsten zehn Jahre, ihre Verkehrssteuerung systematisch zu digitalisieren und durch KI-Methoden zu erweitern. So entstehen lernende, adaptive Systeme, die in der Lage sind, Verkehr in Echtzeit zu steuern und auf Veränderungen zügig zu reagieren. Konkret bedeutet dies, dass zentrale Anwendungsfelder der Verkehrssteuerung digitalisiert und weiterentwickelt werden:

- Kreuzungssteuerungen und Lichtsignalanlagen,
- Wechselverkehrszeichen und dynamische Beschilderung,
- besondere Verkehrssituationen wie Einsatzfahrten oder Großveranstaltungen,
- die Reduktion des Parksuchverkehrs durch intelligente Lenksysteme.

Darüber hinaus verfügen diese Kommunen über einen qualitativ hochwertigen und vernetzten Datenschatz, der umfassende Möglichkeiten der Mobilitätssteuerung eröffnet – etwa durch:

- kundenzentrierte Steuerung des ÖPNV mit optimierter Flottenplanung und -disposition,
- strategische Planung neuer Trassen und Strecken,
- eine integrierte Planung von Stadtquartieren und Mobilitätsangeboten zur Förderung des Modal Split in Richtung nachhaltiger Verkehrsmittel.

Dazu entwickeln die Kommunen Strategien bzw. ergänzen bestehende Mobilitätsstrategien um den Baustein der KI-basierten Steuerung. Sie setzen messbare Zwischenziele und priorisieren relevante Handlungsfelder. Wichtig ist dabei eine koordinierte, vernetzte Umsetzung: Nicht jede Kommune muss das Rad neu erfinden. Gemeinsam abgestimmt lassen sich Beschaffungsvorteile realisieren, Erfahrungen austauschen und erfolgreiche Entwicklungen beschleunigen.

Das Zielbild ist anschlussfähig für kleinere und mittlere Kommunen, die über entsprechend motivierte Teams oder Förderstrukturen verfügen. Kleine und mittlere Städte sind bisher weitgehend ausgeschlossen von Möglichkeiten heutiger Verkehrsmanagementsysteme, vor allem wegen der Kosten von rund um die Uhr besetzten Leitzentralen. Durch den KI-Einsatz könnten gerade sie profitieren, was erste Pilotprojekte bereits zeigen, wie etwa KIBO-NUM (KI-basierte Online-Verkehrsoptimierung – Nachhaltige Urbane Mobilität). Solche Pilotprojekte zeigen, dass auch Städte mit geringerer Größe vom Einsatz KI-gestützter Steuerungssysteme profitieren können (UMI [ui!], 2022). In großstädtischen Räumen ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass dort skalierbare Projekte entstehen, die auch anderen Kommunen als Vorlage dienen können.

USE CASE

AIAMO – Artificial Intelligence And Mobility

Das vom Bundesministerium für Verkehr geförderte [Modellprojekt AIAMO](#) vernetzt Mobilitäts- und Umweltdaten (etwa Verkehrsaufkommen und Luftqualität) mittels einer **Daten-Integrationszone**, dem „AIAMOnexus“: einer **KI-optimierten Datenplattform für multimodale Verkehrssteuerung**. Damit entstehen adaptive Systeme. So können Verkehrsströme, Ampelschaltungen und Pendlerbewegungen dynamisch und **vorausschauend optimiert** werden. Zudem wird ein digitaler Zwilling von Verkehr und Umwelt aufgebaut, der Prognosen und simulationsgestützte Steuerungsmöglichkeiten bietet. Ziel ist, sowohl den Verkehrsfluss zu verbessern als auch **umweltsensitives Verkehrsmanagement** zu ermöglichen.

Technische Innovationen:

- **Echtzeit-Verkehrsleitsysteme:** Ampeln passen sich automatisch an Staus oder Baustellen an, damit der Verkehr flüssiger läuft.
- **Umweltsensitives Verkehrsmanagement:** In Leipzig überwachen 50 Sensorstationen diverse Parameter zur Luftqualität und regeln Verkehrsströme gezielt, um Emissionen zu senken (DLR, 2025).
- **Multimodale Mobilitäts-Apps:** Bürgerinnen und Bürger bekommen smarte Routen angeboten – inklusive Bus, Bahn, Fahrrad und Carsharing.
- **Verkehrsprognosen und simulationsgestützte Szenarien**, unterstützt durch digitalen Zwilling.

Im Fokus stehen mit Landau i. d. Pfalz und Leipzig **mittlere und größere Städte** mit komplexeren Mobilitätssystemen. Die Technologie ist bewusst **bedarfsorientiert, modular und skalierbar** angelegt und von Anfang an mit dem Zweck der Nachnutzung durch kleinere Kommunen gestaltet (BMDV, 2023a; ITS Germany, 2025). In Leipzig wurden im Rahmen der Data Week 2025 vertiefende Einblicke in die Projektstruktur gegeben (Krumnow, 2025).

3 Strategisch steuern: Ziele, Indikatoren und Umsetzung

Kapitel 3 beschreibt das erste Handlungsfeld: Für Kommunen, die eine KI-basierte Verkehrs- und Mobilitätssteuerung aufbauen möchten, ist es elementar, Klarheit über ihre übergeordneten Ziele sowie die konkreten Handlungsziele im Mobilitätsbereich zu gewinnen und diese in handhabbaren Indikatoren abzubilden.

3.1 Ziele, Indikatoren und kommunale Steuerungsverantwortung

Die Einführung von KI-Anwendungen in die bestehenden Mechanismen der Verkehrs- und Mobilitätssteuerung ist kein Selbstzweck. Es geht nicht darum, die technische Raffinesse um ihrer selbst willen zu steigern, sondern Künstliche Intelligenz in den Dienst der Kommunen zu stellen, damit die Erwartungen an sie besser erfüllt und Potenziale effektiv gehoben werden können. KI-basierte Systeme können dann einen echten Mehrwert liefern, wenn sie auf **klar definierte und vorgegebene Ziele** ausgerichtet sind. Über die grundsätzliche Zielausrichtung herrscht gesellschaftlich bereits Konsens: Unsere vernetzten Mobilitätssysteme sollen unter dem Leitgedanken der **Nachhaltigkeit** transformiert werden. Ebenso spielen Sicherheit oder Bezahlbarkeit eine Rolle (siehe Kapitel 2). Wichtig ist es im Weiteren, die übergeordneten Leitziele in spezifischen Handlungszielen zu konkretisieren – so wie es oft bereits etwa in Mobilitätsstrategien oder -plänen geschieht.

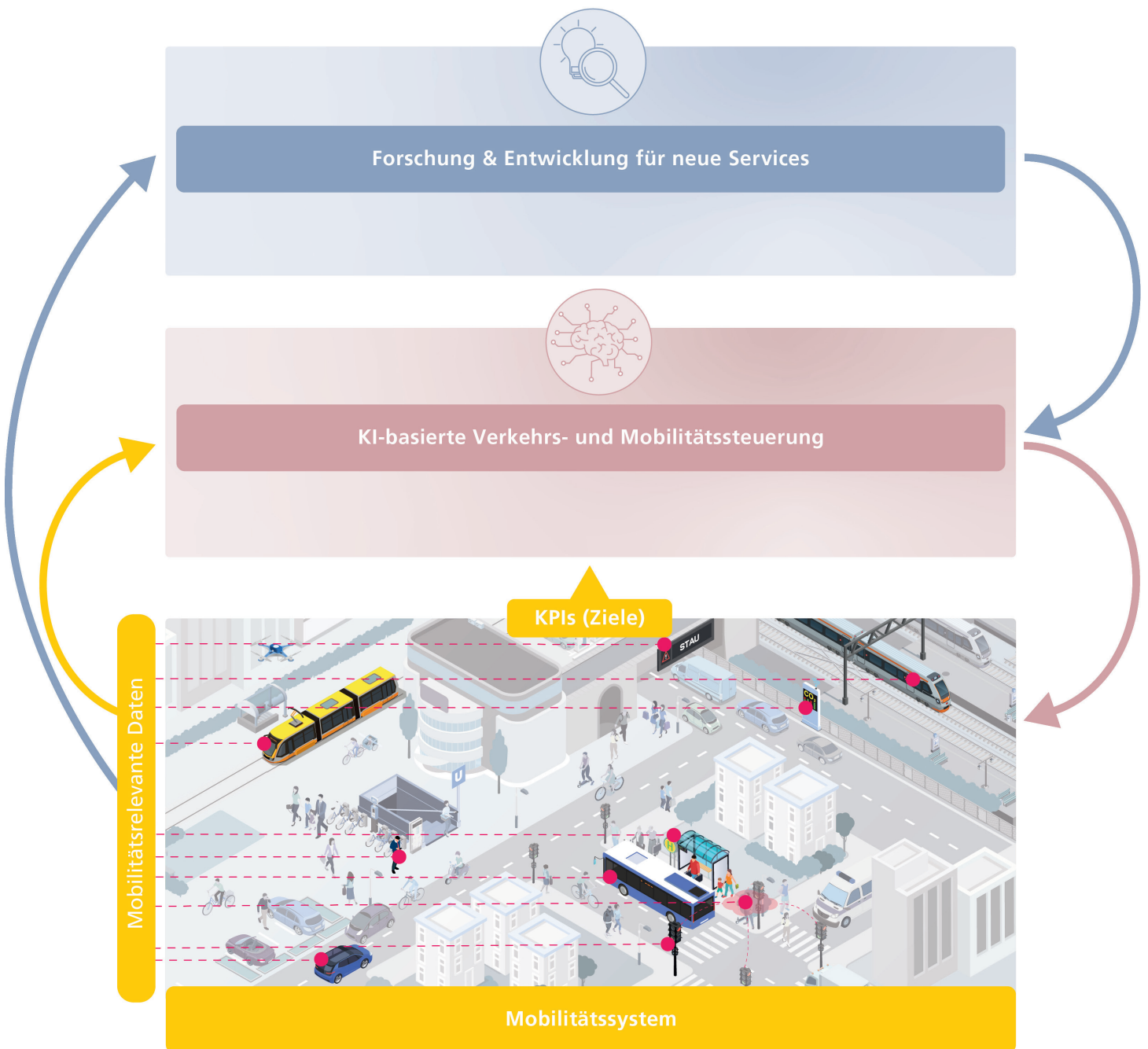
Die entscheidende Aufgabe der Städte liegt nun darin, die Ziele **in messbare Indikatoren** zu **übersetzen**. Das Ziel von solchen **Key Performance Indicators (KPIs)** ist es, eine fundierte Bewertungs- sowie Entscheidungsgrundlage zu schaffen (siehe Abbildung 2, nächste Seite). Denn durch Messbarkeit erreicht man (überprüf- und anpassbare) Optimierbarkeit. KPIs machen Status und Zielerreichung eines Mobilitätssystems quantifizierbar, somit messbar und optimierbar. Um dann von einem KI-System verarbeitet werden zu können, ist ihre Operationalisierung in technische KPIs nötig. In Kapitel 4.3 macht eine beispielhafte KPI-Systematik relevante Domänenziele sowie ihre Übersetzung in technische KPIs anschaulich und anhand möglicher Erfassungsmethoden etwas greifbarer.

Für die Kommune lohnt es sich, eine für sie plausible, prägnante und praktikable Indikatorik zu entwickeln, um den Zustand des Mobilitätssystems sowie die jeweiligen Effekte von Maßnahmen aufzuzeigen. Dies dient auch dazu, den **gesellschaftlichen Mehrwert** des Einsatzes von KI zu garantieren. An dieser Stelle kommt den Kommunen die im wörtlichen Sinne entscheidende Rolle zu, weil sie **über die Zieldefinition und Indikatorensetzung die Entscheidungsgrundlage für** Mobilitätssteuerungs- und **Planungsmaßnahmen schaffen** (sollten). Die jüngsten bundespolitischen Novellen des Straßenverkehrsgesetzes und der Straßenverkehrsordnung unterstützen dies. Sie zielen darauf ab, den Kommunen (und Ländern) mehr Entscheidungsspielräume zu eröffnen (BMV, 2025c). Die Kommunalverbände haben dies begrüßt und hätten sich sogar mehr Handlungsmöglichkeiten gewünscht (BVkom, 2025). Beide Entwicklungen bestätigen den hier beschriebenen Ansatz, die Gestaltungsmöglichkeiten bei der Verkehrs- und Mobilitätssteuerung anhand von KPIs datengetrieben und messbar voll auszuschöpfen. Dabei können Kommunen auf bestehende Grundlagen zurückgreifen (siehe Kapitel 3.3).



Abbildung 2: Zielbild KI-basierter Verkehrs- und Mobilitätssteuerung

Fokus auf Datenbereitstellung aus dem Mobilitätssystem sowie kommunale Vorgabe von Zielen und KPIs



Quelle: Eigene Darstellung, Plattform Lernende Systeme.

3.2 Mit KPIs ganzheitlich planen und steuern

Es ist wichtig zu beachten, dass die Aspekte, die mittels KPIs abgebildet werden sollen, sehr unterschiedlich sein können. Teils handelt es sich um **harte**, eindeutig messbare **Größen**, wie Wartezeit an Ampeln, Luftschadstoffkonzentration oder Unfallzahlen. Teils geht es um **weichere Faktoren** wie die Attraktivität einer Mobilitätsform oder Fragen sozialer Gerechtigkeit im Mobilitätssystem. Für eine KI-basierte Mobilitätssteuerung ist es daher entscheidend, dass KPIs nicht bloß auf gesteigerte Effizienz ausgerichtet

sind (ökonomisch), sondern auch die ökologischen und sozialen Ziele der Nachhaltigkeitstrias operationalisieren. Deshalb sollten die **KPIs systemisch gedacht** und **auf das Gesamtsystem bezogen** sein – also über alle Verkehrsträger hinweg und unter Einbezug physischer Infrastruktur, räumlicher Verteilung, Nutzerverhaltens und etwaiger (Neben-)Effekte. Denn verfolgt man keinen ganzheitlichen Ansatz, so kann das komplexe Mobilitätssystem im Ganzen leicht durch einseitige Optimierung von Teilsystemen gestört werden, etwa indem Ampelschaltungen lediglich für den motorisierten Verkehr optimiert werden, anstatt **den gesamten Modal Split mit allen Mobilitätsformen** inklusive der Fußgängerinnen und Fußgänger zu **berücksichtigen**. Erst wenn beispielsweise an Kreuzungen auch Aspekte wie Barrierefreiheit, Nutzbarkeit für vulnerable Gruppen und Wartezeit für Zufußgehende erfasst werden, kann eine Verbesserung für alle Verkehrsteilnehmenden erzielt werden. Die KPIs ganzheitlicher zu denken kann etwa bedeuten, die Ende-zu-Ende-Reisezeiten über verschiedene Verkehrsmittel hinweg zu erfassen und daraus gezielte Steuerungseingriffe abzuleiten. Hinsichtlich des ökologischen Nachhaltigkeitsaspekts gehören für mittlere und größere Städte die Veränderung des Modal Split und die Chancen eines nachfragebasierten ÖPNV zu wichtigen Elementen einer ganzheitlichen Zielsetzung. Gerade diese Elemente lassen sich durch KI-gestützte Systeme wirkungsvoll beeinflussen, etwa durch adaptive ÖPNV-Taktungen oder multimodale Routingdienste.

Die in Kapitel 1 beschriebenen Erwartungen an Kommunen und deren vielfältige Herausforderungen führen zu verschiedenen **Zielkonflikten**, die sich mit dem hier beschriebenen Ansatz nicht auflösen lassen, sondern im Zweifel politische Priorisierungen und Entscheidungen erfordern. Ein solches System der **ganzheitlichen Verkehrs- und Mobilitätssteuerung kann jedoch situativ differenzierter entscheiden** und hat mehr Möglichkeiten, auf die diversen Anforderungen, die an es gestellt werden, einzugehen: und zwar **datengetrieben, evidenzbasiert und dynamisch-adaptiv**.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich für eine **transparente und evidenzbasierte Kommunikation** mit den Bürgerinnen und Bürgern sowie deren Einbeziehung in die Transformation der Städte und Mobilitätssysteme. Weil Ziele messbar und belegbar sind, können Menschen besser überzeugt und zur Änderung ihres persönlichen Modal Split bewegt werden (bspw. durch das Ziel einer Mobilitätsgarantie oder durch konsequente Ende-zu-Ende-Reisezeit als KPIs). Dies hat hohe Relevanz für planerische Aspekte wie die nötige Klimaanpassung oder den Umgang mit hoher Verkehrsdichte.

3.3 Orientierungshilfen für die Praxis

Was bedeutet strategisches Steuern konkret? Für kleine und mittlere Kommunen ist es eine Herausforderung, ihre Mobilität systematisch, nachhaltig und zunehmend datenbasiert zu steuern. Besonders in kleineren Städten fehlen häufig die nötigen Daten, Werkzeuge oder personellen Kapazitäten, um systematische Zieldefinitionen mit passenden Indikatoren zu hinterlegen. Hilfreiche Grundlagen liefert das vom BMV geförderte **Forschungsprojekt „Indikatoren nachhaltiger urbaner Mobilität“** (BMV, 2025b). Aufbauend auf einer Analyse von 37 kommunalen Mobilitätsplänen und einer deutschlandweiten Kommunalbefragung, wurde eine modular nutzbare Ziel- und Indikatorenmenge entwickelt, die speziell auf die Anforderungen kommunaler Steuerungspraxis zugeschnitten ist. Dabei wurden sowohl Großstädte als auch Städte mit weniger als 50.000 Einwohnerinnen und Einwohnern berücksichtigt. Die Erkenntnisse zeigen: Viele Kommunen verfügen bereits über relevante Zielsysteme, setzen jedoch bisher nur punktuell Indikatoren zur systematischen Steuerung ein – vor allem zu CO₂-Emissionen, Luftschadstoffen oder multimodaler Mobilität. Diese Lücke adressiert das Projekt. Es stellt einen Satz an **Leit- und Handlungsindikatoren** zur Verfügung, der die wichtigsten Mobilitätsdimensionen abdeckt – wie Verkehrs-

sicherheit, Barrierefreiheit, Erreichbarkeit des ÖPNV oder Modal Split. Auch die Orientierung an europäischen Standards wie **Sustainable Urban Mobility Indicators (SUMI)** wurde mitgedacht, um langfristig Anschlussfähigkeit an europäische Vorgaben (z. B. TEN-V-Richtlinie) zu gewährleisten. Die Indikatoren sind so gestaltet, dass sie auf lokal verfügbare Datenquellen zurückgreifen können, beispielsweise aus Verkehrszählungen, kommunalen Haushaltsstatistiken, Umweltmessnetzen oder Bürgerbefragungen. Gerade **für ressourcenschwächere Verwaltungen** eröffnen sich so niedrigschwellige Wege, ein Monitoring aufzubauen und in Planungsprozesse zu integrieren. Die Indikatoren lassen sich flexibel in lokale Strategien einbetten, etwa durch Mobilitätsleitbilder, Smart-City-Konzepte oder Klimaschutzstrategien. So können Kommunen nicht nur den Status quo systematisch erfassen, sondern Fortschritte in der Umsetzung sichtbar machen – sowohl intern als auch gegenüber Politik und Bürgerschaft.

Im Ergebnis entsteht ein **strategisches Steuerungsinstrumentarium, das sich mit KI-Anwendungen weiterentwickeln lässt**: durch automatisierte Auswertung, Mustererkennung oder Trendanalysen. Damit schaffen Kommunen die Voraussetzung für ein datenbasiertes, adaptives und transparentes Mobilitätsmanagement und legen die Grundlage für eine wirksame und evidenzbasierte KI-basierte Verkehrssteuerung.

Info-Box

Praktische Tools für Kommunen

- **Berichte im Rahmen des oben genannten Forschungsprojekts**
Hilfreiche Informationen liefern die Projektbroschüren, die das Bundesverkehrsministerium herausgegeben hat, insbesondere die speziell an Kommunen adressierte Orientierungshilfe „[Indikatoren leicht gemacht](#)“ (BMDV, 2025).
- **Sustainable Urban Mobility Indicators (SUMI)**
SUMI bieten Kommunen einen europaweit anerkannten Satz an Indikatoren zur Bewertung nachhaltiger Mobilität. Sie sind eng verknüpft mit den EU-Leitlinien zu [Sustainable Urban Mobility Plans](#) (SUMP), die Städte mit mehr als 100.000 Einwohnerinnen und Einwohnern bei neuen Mobilitätsplänen verpflichtend berücksichtigen müssen. SUMI-Indikatoren helfen dabei, Mobilitätsziele systematisch zu definieren, Fortschritte zu messen und Strategien vergleichbar zu evaluieren.
- **BISKO**
Die Bilanzierungssystematik Kommunal ([BISKO](#)) unterstützt Städte und Gemeinden bei der Emissionsbilanzierung des Verkehrs. Es ermöglicht eine einfache Erfassung und Bewertung der Emissionen nach Verkehrsmitteln und -zwecken.
- **Tools zur Verkehrsmodellierung**
Software zur Verkehrsmodellierung unterstützt Kommunen bei der datenbasierten Analyse und Simulation von Verkehrsflüssen – etwa zur Bewertung von Maßnahmen oder zur Planung neuer Steuerungsstrategien. [PTV Visum](#) ist ein etabliertes Werkzeug zur multimodalen Modellierung auf Makroebene, während [SUMO](#) (Simulation of Urban Mobility) als Open-Source-Tool besonders für mikroskopische Simulationen im städtischen Raum geeignet ist.
- **Unfallatlas des Statistischen Bundesamtes**
Der [Unfallatlas](#) ermöglicht die Visualisierung des Unfallgeschehens auf Straßenebene und liefert wertvolle Daten zur Verkehrssicherheit.

4 Technisches Fundament einer KI-basierten Verkehrs- und Mobilitätssteuerung legen

Nachdem in Kapitel 3 für das Zielbild einer KI-basierten Verkehrs- und Mobilitätssteuerung die erste Ebene der Mobilitätsziele sowie ihre Übersetzung in messbare Indikatoren erläutert wurde, geht es nun um die zweite Ebene der **technischen Grundlagen** für deren Aufbau (rote Elemente der Darstellung).

Abbildung 3: Erweitertes Zielbild KI-basierter Verkehrs- und Mobilitätssteuerung
Fokus auf das operative KI-basierte Verkehrssteuerungssystem



Quelle: Eigene Darstellung, Plattform Lernende Systeme.

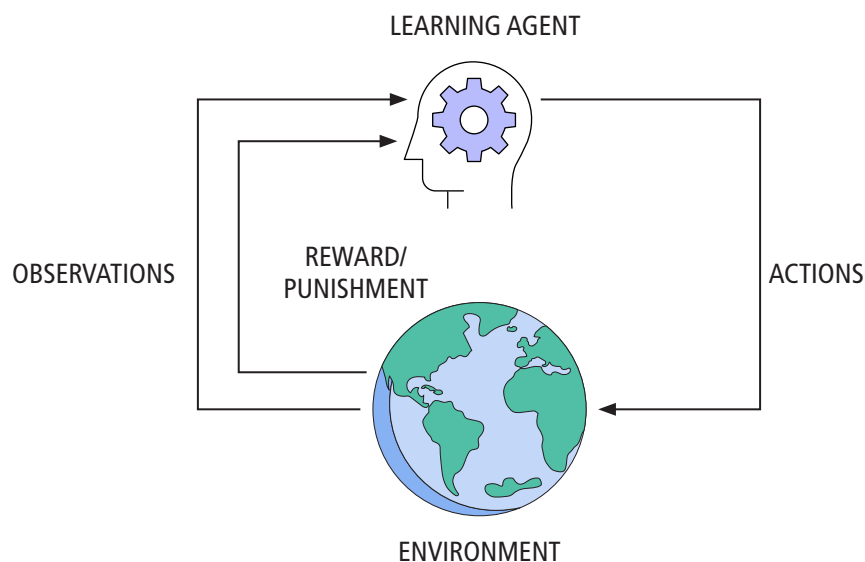
4.1 Optimierung der Verkehrssteuerung mit Reinforcement Learning

Das Zielbild lässt sich gut als Input-Output-Beziehung anhand eines Lernmodells verstehen. Für den Lernprozess bietet sich das **Paradigma des Reinforcement Learning (RL)** an. Es wird **in diesem Bericht als zentraler Optimierungsansatz für die Verkehrs- und Mobilitätssteuerung** verwendet. Andere Machine-Learning-Methoden bleiben bewusst außen vor, um fokussiert und möglichst konkret zu bleiben. RL hat in den letzten Jahren die Leistungsfähigkeit komplexer KI-Systeme signifikant gesteigert. Dies haben eindrucksvolle Beispiele demonstriert, etwa komplexe Spiele (AlphaGo), Anwendungen in der Robotik, bis hin zu Reasoning-Verfahren von Large Language Models. RL-Algorithmen haben **besonders bei der Verkehrsampelsteuerung große Fortschritte** erzielt und sowohl in Simulationen als auch in Pilotprojekten deutliche Effizienzgewinne gezeigt (Michailidis et al., 2025). Die grundsätzliche Mächtigkeit des RL-Ansatzes wurde auch durch die Verleihung des Turing Awards 2024 an Richard Sutton und Andrew Barto für ihre grundlegenden Arbeiten zu RL-Algorithmen deutlich (ACM, 2025).

RL-Algorithmen erlauben es software-basierten Agenten, aus Erfahrung durch Versuch und Irrtum „zu lernen, was wann zu tun ist, um ein langfristiges Ziel zu erreichen.“ (Görz, Schmid & Braun, 2021, S. 549) So lernen Agenten optimale Verhaltensweisen beziehungsweise Strategien. Klarer wird der RL-Kreislauf durch folgende Grafik³, die auch als Input-Output-Beziehung verstanden werden kann.



Abbildung 4: Die Komponenten eines Reinforcement Learning Framework



Quelle: Eigene Darstellung Plattform Lernende Systeme auf Basis von Da Schmoeller Roza, 2013; Sutton, Barto, 2014.

3 Zur deutschen Übersetzung siehe Abbildung 5 sowie die im Text in Klammern angegebenen Termini.

Beim RL beobachtet ein lernender Agent eine bestimmte Umgebung. Er kann durch seine Handlungen (Output) die Umgebung verändern. Wie seine Handlungen die Umgebung verändern, geht wieder als seine Beobachtung (Input) an ihn zurück. Er soll dies nun nicht beliebig, sondern auf eine bestimmte Weise tun. Er soll vorgegebene Ziele erreichen und bestimmte Effekte vermeiden. Deshalb erhält er für jede Handlung ein Feedback. Gewünschte Verhaltensweisen werden belohnt, unerwünschte erhalten negatives Feedback. Der Agent lernt so, wie er seine Handlungen am besten auf die Umgebung abstimmt, je nachdem in welchem Zustand sich die Umgebung jeweils befindet: Langfristig erlernt er auf diese Weise eine Entscheidungsstrategie (wann wie zu handeln ist). Er wird also immer besser darin, für alle denkbaren Zustände der Umgebung die optimale Handlung zu wählen, die die übergeordneten Ziele also bestmöglich erreicht. Optimale Strategien lassen sich demnach „als Sequenzen von Aktionen mit möglichst hoher Gesamtbelohnung definieren“ (Görz, Schmid & Braun, 2021, S. 550).

Das technische Fundament des Zielbilds der Optimierung der Verkehrs- und Mobilitätssteuerung lässt sich im Hinblick auf die Komponenten des Reinforcement Learning nun besser anhand der folgenden Grafik und der weiter unten erläuterten Begriffe verstehen:



Abbildung 5: Komponenten eines RL-Framework, bezogen auf KI-basierte Verkehrs- und Mobilitätssteuerung



Quelle: Eigene Darstellung Plattform Lernende Systeme auf Basis von Da Schmoeller Roza, 2013; Sutton, Barto, 2014.

- Die **Umgebung** (Environment) bezeichnet bei dem hier gewählten Thema das reale Verkehrs- und Mobilitätssystem. Informationen über den **Zustand** (State) dieses Systems können aus Messwerten von Sensoren, der Historie dieser Messwerte sowie Vorhersagen über das dynamische Verhalten des Verkehrssystems gewonnen werden.
- Die **Beobachtung** (Observation) der Umgebung entspricht einer quantitativen Darstellung der Mobilitätsumgebung auf Basis entsprechender Daten. Sie beschreibt also immer eine bestimmte Situation. In der Verkehrstechnik wird dieser räumlich und zeitlich definierte Umgebungszustand in der Regel durch ein digitales Verkehrslagebild repräsentiert, welches beispielsweise Verkehrsflüsse,

Geschwindigkeiten, Fahrzeiten etc. anzeigt. Diese Lagebildelemente werden wiederum aus diversen Datenlieferanten eingespeist, etwa aus Sensoren der Verkehrsinfrastruktur, Umweltsensorik, anonymisierten Bewegungsdaten, Navigationssystemen, Echtzeit-Fahrplandaten des ÖPNV usw.

- Der **lernende Agent** führt eine Entscheidungsstrategie (Policy) auf der Grundlage der aktuellen Beobachtung in einer Umgebung aus (bzw. erlernt diese und passt sie an). Im vorliegenden Zusammenhang handelt es sich um eine Verkehrs- und Mobilitäts-**Steuerungsstrategie**.
- Die **Handlung** (Action) ist eine konkrete, beobachtungsabhängige Verkehrs- und Mobilitätssteuerung des Agenten. Dies umfasst prinzipiell alle möglichen Änderungen von Stellgrößen im Mobilitätssystem, anhand derer Verkehr und Mobilität gesteuert werden können (wie die Anpassung von Ampelphasen oder perspektivisch die adaptive Echtzeitsteuerung autonomer ÖPNV-Shuttles).
- Im **Reinforcement Learning** führt jede Handlung zu einer **Belohnung** (Reward), abhängig vom ursprünglichen und erzielten Zustand der Umgebung sowie im Hinblick auf die vorgegebenen Ziele. Der Kern der Methode besteht darin, den **lernenden Agenten** aus unmittelbaren Belohnungen eigenständig eine Entscheidungsstrategie erlernen zu lassen, die zur langfristigen Maximierung der Gesamtbelohnung führt. Es wird also diejenige Verkehrs- und Mobilitäts-**Steuerungsstrategie** die Gesamtbelohnung langfristig maximieren, welche die definierten KPIs optimal erreicht.

Das Zielbild einer KI-basierten Verkehrs- und Mobilitätssteuerung lässt sich also tatsächlich gut als Input-Output-Beziehung anhand eines gelernten Modells verstehen: Der lernende Agent „empfängt“ den beobachteten Zustand der Mobilitätsumgebung als Input aus all den gegebenen Daten. Auf dieser Basis wählt er die Aktion aus, die verspricht, die Belohnungsfunktion zu maximieren. Dies ist diejenige Steuerungsentscheidung, mit der die beste KPI-Realisierung erreicht wird. Der Output ist immer eine sinnvolle Steuerungsentscheidung, die jeweils bestimmte Stellgrößen verändert. Dies kann sich zum einen auf die Echtzeitsteuerung des Verkehrs (im engeren Sinne) beziehen, etwa die Steuerung von Ampeln, Wechselverkehrszeichen oder dynamische Geschwindigkeitsbegrenzungen. Zum anderen ist aber auch der längerfristige und gesamtsystemische Output im Sinne der „Steuerung“ von Infrastrukturentscheidungen denkbar und wünschenswert, soll heißen der datenbasierten Evidenz, um diese zu treffen. Im weiten Sinne kann also auch die integrierte Planung und Entwicklung von städtischen Räumen und Mobilitätssystemen gesteuert werden. Das ist der entscheidende Punkt, weshalb in diesem Dokument nicht nur von der Verkehrs-, sondern auch von der Mobilitätssteuerung die Rede ist, die die Planung und Entwicklung von Lebensräumen, in denen wir uns (fort-)bewegen, beinhaltet.

4.2 Modellbasiertes Lernen und digitale Zwillinge im Verkehrssystem

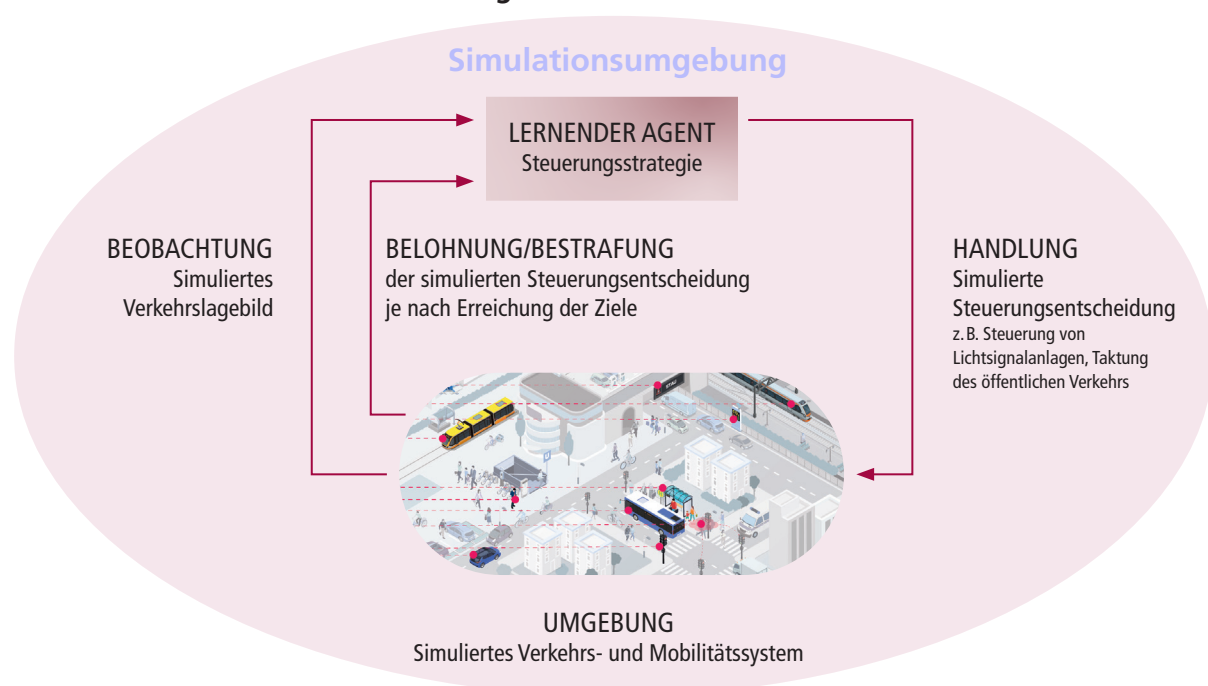
Beim urbanen Verkehr handelt sich um **sicherheitskritische und komplexe Kontexte**. Deshalb werden in Steuerungssysteme immer **Safety Layer** mit Steuerungs- und **Sicherungsbaugruppen** implementiert. Der Einsatz von KI betrifft nach vorliegendem Papier nie diese **Sicherheitsstellgrößen**, diese **bleiben** entsprechend einer üblichen Safety-Strategie **immer unangetastet**. Es geht ausschließlich um die Optimierung der Steuerungsbaugruppe, die **von der Sicherungsbaugruppe kontrolliert** wird.

Das „Experimentieren“ des RL kann überraschende oder nicht beabsichtigte Auswirkungen auf die Umgebung haben. In realen Verkehrsumgebungen ist das nicht wünschenswert. Daher unterscheidet man zwischen RL-Varianten, die in realen oder modellierten Umgebungen operieren.

Model-based Reinforcement Learning (MBRL) ist eine Variante des RL, bei der ein lernender Agent zunächst ein **Modell der Umgebung** aufbaut, **statt durch reale Interaktionen zu lernen**. Dieses Modell bildet Übergangsdynamiken ab, die angeben, wie sich der Zustand des Systems durch bestimmte Aktionen verändert. Es erlaubt dem Agenten, verschiedene Handlungsverläufe durchzuspielen, zu **simulieren**, somit seine Gesamtbelohnung zu maximieren und damit seine Entscheidungsstrategie (Policy) auf Grundlage der simulierten Auswirkungen seiner Handlungen zu optimieren. Für hochkomplexe Anwendungen wie die Verkehrs- und Mobilitätssteuerung einer Stadt sind auch Steuerungsstrategien (Policies) entsprechend komplex – mit MBRL können diese effizienter, das heißt schneller und besser gelernt werden, weil weniger reale Versuche nötig sind. Weiterhin nutzt der Agent das erlernte Modell, um mehrere Aktionen in die Zukunft zu planen und zu simulieren, welche Folgen Ketten von Steuerungsentscheidungen auf Staus, Reisezeiten oder Emissionen haben und welche Aktionsabfolgen vorteilhafter sind.



Abbildung 6: RL-Framework in Simulationsumgebung für KI-basierte Verkehrs- und Mobilitätssteuerung



Quelle: Eigene Darstellung Plattform Lernende Systeme auf Basis von Da Schmoeller Roza, 2013; Sutton, Barto, 2014.

Für die urbane Verkehrs- und Mobilitätssteuerung in Städten ist MBRL besonders geeignet, da auf diese Weise eine „Operation am offenen Herzen“ hochdynamischer Verkehrssysteme vermieden werden kann. Stattdessen kann der Agent ohne sicherheitskritische oder operative Folgen ausprobieren, wie sich bestimmte Steuerungsentscheidungen (z. B. eine geänderte Ampelschaltung oder die Priorisierung von Busspuren) auf den Gesamtverkehr auswirken. Besonders in komplexen Szenarien möchte man dies möglichst vermeiden und die Nutzenden unter Aspekten von Sicherheit und Ethik erst mit einem ausgereiften System in Berührung bringen. Auch schon aus Gründen der Nutzerfreundlichkeit ist eine

gewisse Reife der Systeme wichtig, beispielsweise, um für die Nutzenden im Betrieb unnötig längere Wartezeiten an Ampeln zu vermeiden. Ein besonderer Mehrwert liegt weiterhin darin, die Agenten verschiedener, insbesondere benachbarter Kommunen koordiniert lernen zu lassen, um sowohl lokale als auch systemweite bzw. systemübergreifende Verbesserungen zu erzielen.

Dabei ist es üblich, dass der RL-Agent das Modell vorab **offline lernt**, etwa auf Basis historischer Daten oder Simulationsumgebungen. In solchen Fällen bleibt es im Betrieb unverändert, dient also als statische Entscheidungsgrundlage. Alternativ kann das Modell fortlaufend oder in gewissen Zeitabständen (z. B. wöchentlich) online mit neuen Umgebungsdaten aktualisiert werden, um eine adaptive Steuerung zu ermöglichen. Der digitale Zwilling kann sowohl für offline als auch online RL verwendet werden. Beide Varianten haben Vor- und Nachteile: Offline-Modelle sind stabiler, besser validierbar und minimieren Risiken von unbeabsichtigten Änderungen im Echtbetrieb, während adaptive Modelle flexibler auf Systemveränderungen reagieren können. Hier entscheidet die konkrete Mobilitätsanwendung, welche Variante sich anbietet.

Im Kontext von Mobilität und Raumplanung sowie von MBRL wird häufig der **Begriff „digitaler Zwilling“** verwendet. Dabei ist es wichtig, zwei Ebenen zu unterscheiden, die funktional zwar zusammenarbeiten (können), aber konzeptionell und technisch unterschiedlich sind.

- Zum einen gibt es das **interne Modell des Agenten**, das dieser eigenständig im Lernprozess aufbaut, um Vorhersagen über Zustandsveränderungen zu treffen. Dieses Modell – etwa ein neuronales Netz, das Übergangswahrscheinlichkeiten oder Belohnungsschätzungen approximiert – ist **auf Effizienz, Komprimierung und Lernfähigkeit ausgelegt**. Es bildet nur diejenigen Aspekte der Umgebung ab, die für die Optimierung der Entscheidungsstrategie relevant sind.
- Zum anderen kann ein **äußeres, datengetriebenes** sowie möglichst umfassendes **Abbild der Mobilitätsumgebung** unabhängig vom Agenten aufgebaut und betrieben werden. Für KI-Anwendung im Verkehr ist ein **digitales Umgebungsmodell** ratsam, weil in digitalen Simulationen Eingriffe vom realen Verkehrsgeschehen getrennt werden sollten. Digitaler Zwilling in diesem Sinne meint also die **systemische, dynamische, digitale Repräsentation des realen Verkehrssystems**. Er speichert historische Verkehrsverläufe, aggregiert kontinuierlich Echtzeitdaten (z. B. von Sensoren, Kameras oder Fahrzeugflotten) und bildet eine **belastbare Grundlage für Monitoring und Prognosen** sowie **insbesondere für Simulationen**. Im Unterschied zu den Begriffen ‚digitales Modell‘ und ‚digitaler Schatten‘ ist bei ihm sowohl der Datenfluss vom physischen Objekt zur digitalen Abbildung automatisiert als auch umgekehrt, sodass er als Steuerungsinstanz fungieren kann. Der digitale Zwilling ist damit eine Art **„digitale Infrastruktur“**, die verschiedenen Systemkomponenten zur Verfügung steht:
 - An erster Stelle ist hier an den **lernenden Agenten** zu denken, der auf den digitalen Zwilling zugreift, um das eigene Modell und die eigene Entscheidungsstrategie zu verbessern. Hier fungiert der digitale Zwilling als **Simulationsumgebung**, die ein realitätsnahes Testen von RL-Modellen ermöglicht. Das Ziel dabei ist, optimierte Stellgrößen in die reale Anwendung zu überführen.

- Der digitale Zwilling ist jedoch nicht nur Trainingsunterlage für Agenten, sondern zugleich **zentrale Infrastruktur für das Forschungs- und Entwicklungssystem**, das in einer vollständigen Systemarchitektur gleich mitgedacht werden sollte (siehe dazu Kapitel 5).
- Im Hinblick auf einen weitgefassten Begriff von Mobilitätssteuerung bildet er geradezu eine **Voraussetzung, um aus Daten ganz unterschiedlicher Sektoren zu neuen Problemlösungen zu finden**. Man denke hier vor allem an die Koordination multimodaler Mobilität bestenfalls ohne Systembrüche. Der digitale Zwilling ist auch wichtig, um ein umweltsensitives Mobilitätsmanagement zu etablieren, indem er Messdaten der Luftqualität enthält und diese mit Verkehrsdaten korrelieren kann. Auch für die nachhaltige Stadt- und Mobilitätsplanung sind digitale Umgebungsmodelle sehr wertvoll, weil hypothetische Szenarien mit ihnen viel schneller durchgespielt werden und so Vor- und Nachteile für Bürgerinnen und Bürger greifbar gemacht werden können. Er wird insbesondere unter dem Gesichtspunkt zunehmend relevant, dass eine sektorenübergreifende Anpassung an die Effekte des Klimawandels immer wichtiger wird.

Info-Box

Modellprojekte zum Aufbau digitaler Zwillinge

Beim Aufbau eines digitalen Zwillings ist es sinnvoll, auf bestehenden Erfahrungen und Förderprojekten aufzusetzen. Im Rahmen der Entwicklung deutscher Städte und Kommunen zu Smart Cities gibt es eine Reihe an Förderinitiativen, unter anderem der Modellprojekte Smart Cities (BMWST, 2024a). Dazu gehört auch das Projekt **Connected Urban Twins (CUT)**, in dem die Partnerstädte Hamburg, Leipzig und München Urbane digitale Zwillinge für die Integrierte Stadtentwicklung entwickeln. Ein Schwerpunkt liegt auf dem operativen Einsatz von replizierbaren Urbanen Datenplattformen – einer zentralen Voraussetzung für die Implementierung von digitalen Zwillingen. Diese werden gleich einem Baukastensystem je nach Bedarf aus den erforderlichen Komponenten zu einer Instanz eines Urbanen Digitalen Zwillings zusammengestellt (CUT, 2025). Ein weiterer Schwerpunkt ist die **Replizierbarkeit und der Wissenstransfer**: Das Modellprojekt bietet sich somit besonders an, um überflüssige Neuentwicklung zu vermeiden und effizient aus Best Practices zu lernen.⁴

4.3 Technische KPIs: Verbindung von Zielsystem und Steuerung

In Kapitel 2 wurde erläutert, dass die Planungsbehörden und Fachstellen der Kommunen **Domänen-KPIs** formulieren, also Zielgrößen wie Luftqualität oder die Gleichbehandlung verschiedener Verkehrsteilnehmergruppen. Diese spiegeln die gesellschaftlichen und politischen Zielsetzungen wider. Für den Einsatz in KI-basierten Steuerungssystemen müssen diese Ziele jedoch **technisch operationalisiert**, das heißt **in präzise, messbare Größen übersetzt** werden. Dieser Schritt erfolgt derzeit noch überwiegend manuell

⁴ Dies ist als exemplarischer Bezug und Hinweis zu verstehen. In diesem Papier kann keine systematische Erhebung und Evaluation aller Förderprojekte und Auswahl geeigneter Initiativen für KI-basierte Verkehrssteuerung geleistet werden.

und erfordert das **Wissen von Fachexpertinnen und Fachexperten**. Die resultierenden numerischen **Messgrößen** bilden die Schnittstelle zur KI-gestützten Optimierung. Damit diese KPIs tatsächlich im RL-Prozess berücksichtigt werden können, bedarf es entsprechender **Datenquellen und Sensorik**. Digitale Zwillinge bieten hier die Möglichkeit, sich schwer direkt messbaren KPIs durch Simulation anzunähern.

Im Kontext lernender Systeme zur Verkehrssteuerung – insbesondere beim RL – übernehmen technische KPIs zwei zentrale Funktionen: Sie sind sowohl **Trainingsgrundlage** als auch **Bewertungskriterium** für die KI-basierten Steuerungsstrategien. Einerseits werden technische KPIs genutzt, um die **Belohnungsfunktion (Reward)** vorzugeben, über die der Agent seine Entscheidungsstrategie (Policy) optimiert. Die Belohnung des Agenten wird dabei eng an bestimmte KPIs geknüpft (z. B. minimale Reisezeit). Andererseits dienen sie zur Evaluation: Erst durch eine KPI-gestützte, quantitative Bewertung kann evidenzbasiert überprüft werden, ob die vom System gelernte Steuerungsstrategie zu den angestrebten Verbesserungen im Mobilitätsmanagement führt. Digitale Umgebungsmodelle (Zwillinge) können dabei eine unterstützende Rolle spielen, indem sie die Wirkung von Steuerstrategien in einer simulierten Umgebung anhand dieser KPIs abbilden und vergleichbar machen.

Darüber hinaus muss beachtet werden, dass viele Zielgrößen nicht isoliert betrachtet werden können, sondern häufig Zielkonflikte bestehen. Man spricht dann davon, dass **KPIs** auch **antikorreliert** sein können. Für den praktischen Einsatz bedeutet dies, dass diese Zielkonflikte nicht einfach technologisch aufgelöst werden können, sondern die Kommunen gefragt sind, **Prioritäten und Gewichtungen** festzulegen – abhängig von den lokalen Gegebenheiten, dem Problemdruck vor Ort und nicht zuletzt der demokratischen Willensbildung in der Kommune. Dafür benötigen sie entsprechenden politischen Handlungsspielraum, worauf etwa die Novellen des Straßenverkehrsgesetzes und der Straßenverkehrsordnung abzielen (siehe Kapitel 3).

In der technischen Modellierung wird dieser Prozess der Zielabwägung durch eine **Parametrisierung** der Zielgewichte abgebildet. Dabei werden **Gradienten oder Gewichtungsfaktoren** festgelegt, die bestimmen, in welcher Richtung und mit welcher Stärke sich die Belohnung (Reward) verändert, wenn einzelne Gewichtungparameter angepasst werden. Der Gradient zeigt also, wie „lohnend“ es für den Agenten ist, bestimmte KPIs stärker zu verfolgen. Diese Gewichtung ist entscheidend für die Entscheidungsstrategie, die der Agent im Lernprozess entwickelt – und letztlich für die ganzheitliche Optimierung des Mobilitätssystems.

Die folgende Tabelle stellt exemplarisch eine systematisierte Auswahl relevanter Domänenziele sowie ihre Übersetzung in technische KPIs samt möglichen Erfassungsmethoden dar. Eine derartige Systematisierung könnte die Grundlage bilden für die Ausgestaltung der Belohnungen, Simulation, Monitoring und Evaluation einer gelernten Steuerungsstrategie im Rahmen datengetriebener Verkehrs- und Mobilitätssteuerungssysteme.

Tabelle 1: Beispielhafte multidimensionale KPI-Systematik mit einer Auswahl relevanter Domänenziele sowie ihrer Übersetzung in technische KPIs und möglichen Erfassungsmethoden

Domänenziel	KPI bzw. technische Messgröße(n)	Messmethode, Erfassungstechnologie oder Indikatoren
Flusseffizienz / Reisezeitverkürzung	Durchschnittsgeschwindigkeit, durchschnittliche Fahrzeit, Wartezeit an Knotenpunkten	Induktionsschleifen, Kameras mit KI-Objekterkennung, Floating Car Data (Bewegungsdaten), Smartphone-Tracking, Adaptive Fahrplanoptimierung und -taktung von Straßenbahn-, Bus-, Regionalbahnlinien
Sicherheit / Unfallvermeidung	Konflikthäufigkeit, Anzahl kritischer Fahrmanöver, Bremsmanöver	Unfalldatenbanken, Sensorik (Lidar, Kamera ...), Time-to-Collision-Kennzahlen ⁵ , Adaptive Fahrplanoptimierung und -taktung von Straßenbahn-, Bus-, Regionalbahnlinien
Klimawirkung / Emissionsreduktion	CO ₂ -Äquivalente pro Verkehrsträger	Emissionsmodelle gekoppelt mit Verkehrszählern, Untersuchung von Anreizen für Straßenbahn-, Bus-, Regionalbahn
Umweltwirkung / Luftqualität	Emissionen von Stickoxiden, Feinstaub (PM2.5, PM10), Kohlenstoffmonoxid und Lärm; Ozonwerte	Messstationen, Sensornetzwerke
Kapazitätsauslastung Straße	Volume-To-Capacity-Ratio ⁶ Straße	Echtzeitpositionsdaten
ÖPNV-Qualität	Pünktlichkeit, Sitzplatzauslastung ÖPNV, Taktung, Haltestellenentfernung	Echtzeitpositionsdaten, Fahrgastzählung
ÖPNV-Nutzerzufriedenheit	Zufriedenheitsindex, Beschwerden pro 1.000 NutzerInnen	Umfragen, Feedback-Apps, CRM-Systeme
Modal Split: Steigerung aktiver Mobilität & Umweltverbund	Wechselhäufigkeit zwischen Verkehrsmitteln, Anteil kombinierter Wege	Smartphone-Tracking, Ticketdaten, Mobilitäts-Apps, Induktionsschleifen Fahrradwege, Verkehrszählungen, Adaptive Fahrplanoptimierung und -taktung von Straßenbahn-, Bus-, Regionalbahnlinien
Produktivität / Effizienz des Gesamtsystems	Eingesparte Wartezeit, Reisezeit oder gewonnene nutzbare Zeit (z. B. Arbeiten im Zug oder Shuttle)	Kombination aus Floating Car Data, ÖPNV-Nutzung, Nutzerfeedback und Systemmodellen
Parkraumeffizienz / Raumverträglichkeit	Auslastung Parkplätze, durchschnittliche Parkdauer, Parkplatzauslastung	Sensorik, App-basierte Parkraumerfassung, Smart-Parking-Sensorik

⁵ Time-to-Collision (TTC) bezeichnet den zeitlichen Abstand bis zu einem hypothetischen Zusammenstoß zweier Verkehrsobjekte, wenn sie ihre aktuelle Geschwindigkeit und Richtung beibehalten würden. Es handelt sich dabei um eine Kennzahl, die aus Mess- und Erfassungsdaten abgeleitet werden kann. TTC dient als Indikator für Konfliktslagen und Risiken, also wie sicher eine Verkehrssituation ist.

⁶ Die V/C-Ratio gibt das Verhältnis von Verkehrsvolumen (V) zur Kapazität (C) einer Verkehrsanlage (z. B. Straße oder Kreuzung) in einer bestimmten Zeit an, also die Auslastung. In einem KI-gestützten Steuerungssystem könnte z. B. ein technischer KPI definiert werden, um den Agenten zu veranlassen, Maßnahmen zu ergreifen (z. B. die Änderung von Ampelphasen), wenn die V/C-Ratio einen kritischen Schwellenwert überschreitet.

4.4 Daten und Datenmanagement für KI-gestützte Verkehrssteuerung

Für eine effiziente Umsetzung KI-basierter Verkehrssteuerung ist die **Verfügbarkeit vielfältiger Daten entscheidend**. Essenzielle Datenarten umfassen sämtliche mobilitätsrelevanten Informationen, wie sie unter anderem bereits in der obigen KPI-Systematik aufgeführt wurden, unter anderem:

- **Verkehrslagedaten** (z. B. Geschwindigkeit, Dichte, Flussrichtungen), erhoben über Floating Car Data (also Bewegungsdaten von Fahrzeugen über GPS) oder Smartphone-Bewegungsdaten,
- **ÖPNV-Betriebsdaten** (Fahrplandaten und IST-Zeiten),
- **Einsatz- und Sonderfahrtdaten**,
- **Historische Stellgrößenverläufe**, wie Signalzyklen oder vorherige Steuerungsanpassungen,
- **KPI-Zeitreihen** (z. B. Umwelt- oder Effizienzkennzahlen über Wochen und Monate),
- **Feiertage und Ferienzeiten** mit typischer Verkehrslast sowie
- **Wetterdaten** und verkehrsrelevante Ereignisse.
- Weiterhin erhöhen **synthetische Szenarien**, die im digitalen Zwilling erzeugt werden können, die Verfügbarkeit von steuerungsrelevanten Daten.

Bei der Digitalisierung dieser Daten ist eine **Priorisierung sinnvoll: Sensordaten**, darunter Verkehrs-, Umwelt- und Mobilitätsdaten in Echtzeit, sollten besonders frühzeitig erfasst werden, da sie unmittelbar für KI-bezogene Echtzeitsteuerung relevant sind.

Ein entscheidender Faktor ist die **Transformation von Rohdaten in technische Merkmalsrepräsentationen**, typischerweise in Vektorformate, die quantitative Zustände wie Fahrzeugfluss, Emissionslevel oder Wartezeiten abbilden und die Vorverarbeitung für KI ermöglichen. Damit KPIs in RL-basierten Steuerungsarchitekturen wirksam werden können, müssen **relevante Daten in Echtzeit oder nahezu Echtzeit** verfügbar sein. Typische Quellen sind Verkehrsdetektoren, Kamerasysteme, ÖPNV-Daten, Umweltmessstationen, FCD oder Smartphone-Daten. Eine enge Kopplung mit dem digitalen Zwilling ermöglicht die **testweise Simulation neuer Maßnahmen**, indem KPIs in simulierten Szenarien evaluiert und ggf. angepasst werden, bevor sie live gehen.

Ein entscheidender Schritt zur Vernetzung kommunaler und übergeordneter Daten liegt in der Integration in die **Mobilithek** und den **Mobility Data Space (MDS)**. Die Mobilithek ist der **nationale Zugangspunkt für Mobilitätsdaten**, betrieben vom Bundesministerium für Verkehr, mit offenen, verkehrspolitisch relevanten Daten – z. B. ÖPNV-Fahrplandaten, Echtzeitverkehrsinformationen oder Standorte von Leihfahrrädern. Der MDS ergänzt dieses Angebot als **Datenmarktplatz für nicht öffentliche, sensible Mobilitätsdaten**, wobei Datensouveränität gewahrt bleibt und Teilnehmer selbst steuern können, wer welche Daten empfängt. Ziel ist, durch die Verknüpfung beider Systeme ein umfassendes **Mobilitätsdaten-Ökosystem** zu bilden, das Transparenz, Sicherheit und Innovationsräume für datengetriebene Mobilitätslösungen schafft (BMV, 2025d).

5 Kontinuierliche Innovationskreisläufe ermöglichen – Anbindung an das Forschungs- und Entwicklungssystem

Angenommen, eine Kommune hätte bis hierhin die erläuterten Schritte perfekt umgesetzt. Sie hätte ihre Ziele definiert, als KPIs operationalisiert und entsprechende Daten in integrierter Form bereitgestellt (erste Ebene) sowie darauf aufbauend eine KI-basierte Mobilitätssteuerung etabliert (zweite Ebene). Dann stellt sich die zentrale Frage, wie diese Kommune nicht nur den laufenden Betrieb optimieren, sondern auch **dauerhaft innovationsfähig bleiben**, ja ihre **Innovationskreisläufe** sogar **beschleunigen** und nicht zuletzt ihre **Innovationsfähigkeit zugleich strukturell absichern** kann. Mit anderen Worten: Wie kann aus der Einführung KI-basierter Systeme in der Verkehrs- und Mobilitätssteuerung **kontinuierlicher Nutzen für die Kommunen** entstehen? Hier setzt die gezielte Verbindung zu einem offenen Forschungs- und Entwicklungssystem an, das über den laufenden Systembetrieb hinaus die strukturellen Weichen für kontinuierliche Innovationen stellt (siehe Abbildung 7 nächste Seite, dritte Ebene in blau).

Der Kern besteht in einem von dem KI-basierten Steuerungssystem **entkoppelten, modular andockbaren Innovationsraum**, in dem neue datenbasierte Dienste und Mobilitätssteuerungsstrategien (Policies) entstehen können. Der zentrale Gedanke: Statt eine technische Lösung lediglich bei einem Anbieter einzukaufen und sich mit langfristig laufenden Infrastrukturentscheidungen abhängig zu machen – auch von der Dauer der Innovationszyklen eines Anbieters –, ist **digitale Souveränität** der Kommunen **in Verbindung** mit Innovationsoffenheit Teil des Zielbilds. Wenn Daten aus dem Mobilitätssystem bereitgestellt werden, können viele Akteure – eigene, etwa kommunale Verwaltungen und Betriebe, aber auch externe, wie Forschungseinrichtungen, Start-ups und Unternehmen – auf dieser Basis und unabhängig vom Realbetrieb neue Services entwickeln, testen, simulieren, validieren und bei gegebener Reife bereitstellen.

Im Idealfall entstehen auf diese Weise nicht nur punktuelle technologische Neuerungen, sondern ein **dauerhafter Innovationskreislauf, der den Nutzen datenbasierter Verkehrssteuerung kontinuierlich erweitert**. Die **Kommune** bleibt in diesem Fall **nicht nur Nutzerin** von Technik, nur Kundin in einem geschlossenen System weniger Anbieter, **sondern** sie wird zur aktiven und souveränen **Betreiberin eines offenen Innovationsökosystems**. Sie ist nicht an die Entwicklungszyklen des jeweiligen Anbieters gebunden – mit entsprechenden zeitlichen, technischen und finanziellen Einschränkungen für die Kommune –, sondern sie entscheidet hoheitlich über die Datenbereitstellung und welche Neuentwicklungen übernommen werden. So wird aus einer Kommune, die Mobilität KI-gestützt steuert, eine Kommune, die zugleich datenbasiert lernt und offen für vielfältige Partnerschaften sowie Lösungsansätze ist.

Wichtig für dieses Zielbild ist sein kommunenübergreifender Charakter: Nicht nur finanzkräftige Städte mit guter Personalausstattung sollen diesen Weg beschreiten können, sondern es soll eine gleichberechtigte Teilhabe aller Kommunen geben. Deshalb sollten die unten beschriebenen Strukturprinzipien befolgt werden, von denen insbesondere die Übertragbarkeit für gemeinsame, kommunenübergreifende Fortschritte, einheitliche Standards und sich verstärkende Innovationscluster sorgen sollte (siehe Kapitel 5.2).



Abbildung 7: **Vollständiges Zielbild KI-basierter Verkehrs- und Mobilitätssteuerung**
Fokus auf Forschungs- & Entwicklungssystem



Quelle: Eigene Darstellung, Plattform Lernende Systeme.

5.1 Datenzugang als Grundlage für KI-Innovationen

Der **Zugang zu Daten** aus dem Mobilitätssystem ist der zentrale Hebel für die Anschlussfähigkeit einer Forschungs- und Entwicklungsebene. Nur wenn Kommunen die mobilitätsrelevanten Informationen in geeigneter Form bereitstellen – historisch, aktuell oder simuliert –, lassen sich daraus neue Dienste, Analysen und Steuerungslogiken entwickeln.

Im weiteren Sinne bietet sich hier jedoch auch das Potenzial einer **sektorenübergreifenden Datenplattform**, die **systemübergreifende Innovationen** und möglicherweise auch **Synergieeffekte** ermöglicht. Gerade im Sinne kommunaler Zukunftsfähigkeit ist es sinnvoll, das Forschungs- und Entwicklungssystem **nicht ausschließlich als verkehrsspezifische Einrichtung** zu verstehen. Viele datenbasierte Herausforderungen – etwa im Bereich **Stadtentwicklung, Energie, Umwelt, Gesundheit oder Logistik** – sind mit Fragen der Mobilität verknüpft. Entsprechend liegt ein großer Mehrwert darin, die dritte Ebene so zu gestalten, dass sie **sektorenübergreifend anschlussfähig** ist. Es ist gut möglich, dass **Kommunen auf dem Weg zur Smart City** auch nicht nur eine spezifische KI-basierte Mobilitätssteuerungslösung aufbauen möchten, sondern diese im Rahmen ihres sektorenübergreifenden Ansatzes verorten und integrieren können.

Diese Informationen müssen nicht immer in Echtzeit, aber in **strukturierten, technisch anschlussfähigen Formaten** zur Verfügung stehen. Ziel ist es, externen und internen Akteuren – etwa Forschungseinrichtungen, Mobilitätsdienstleistern oder kommunalen Innovationsabteilungen – zu ermöglichen, **auf dieser Datenbasis eigene Forschungsprojekte und Entwicklungen zu starten**: beispielsweise neue Lagebilddienste, Optimierungsalgorithmen oder Visualisierungsanwendungen. Dabei können verschiedene Zugriffsszenarien gewählt werden – von offenen Schnittstellen bis hin zu rollenbasierten Zugriffsmo-
dellen innerhalb geschützter Datenräume. Natürlich eignet sich solche Datenverfügbarkeit auch hervorragend für Forschungsthemen aus bereits jetzt öffentlich geförderten Projekten und Innovationsprogrammen wie dem Modernitätsfonds mFUND⁷ des BMV. Die Bereitstellung kann auch im Rahmen kommunaler Innovationspartnerschaften erfolgen und mit **Anreizen** verknüpft sein. So könnten Daten gegen Leistungen, Erkenntnisse oder neue Dienste getauscht werden. Gerade für kleinere und mittlere Kommunen ohne eigene Entwicklungsressourcen kann dies ein Hebel sein, um von externer Innovationsdynamik zu profitieren.

5.2 Strukturprinzipien eines offenen F&E-Systems

Damit das Forschungs- und Entwicklungssystem dauerhaft anschlussfähig und erweiterbar bleibt, muss es nach Prinzipien aufgebaut sein, die sowohl **technische Offenheit** als auch **kommunale Steuerbarkeit** gewährleisten. Vier Strukturprinzipien stehen dabei im Mittelpunkt: **Modularität, Offenheit, Übertragbarkeit und Souveränität**.

Modularität bedeutet, dass einzelne Komponenten – etwa Datenzugänge, Simulationsumgebungen, Visualisierungstools oder Analyse-Engines – unabhängig voneinander ergänzt, ersetzt oder angepasst werden können. So lassen sich neue Anforderungen oder Entwicklungen integrieren, ohne das Gesamtsystem umstrukturieren zu müssen. Zugleich können Kommunen Module auswählen, die zu ihrer jeweiligen Infrastruktur, Ressourcenlage oder strategischen Ausrichtung passen. Hierfür ist die Definition einer skalierbaren Architektur mit entsprechenden Schnittstellen notwendig.

⁷ Der mFund fördert eine Vielzahl datengetriebener Mobilitätsprojekte – darunter spezifische, die KI einsetzen, um Verkehr effizienter zu steuern und umweltsensitiv zu managen (BMV, 2025e).

Offenheit bezieht sich sowohl auf technische Schnittstellen als auch auf die institutionelle Logik: Externe Akteure – etwa Forschungseinrichtungen, Start-ups oder andere Städte – sollen auf definierte Daten und Entwicklungsumgebungen zugreifen können, ohne vollständig in bestehende Steuerungssysteme eingebunden zu sein. Dies schafft einen innovationsfreundlichen Raum, der auch Parallelentwicklungen, Experimente oder temporäre Testläufe ermöglicht.

Übertragbarkeit bedeutet, dass die gewählte Architektur nicht nur für eine einzelne Stadt, sondern auch für andere Kommunen oder Regionen nutzbar ist – sei es direkt über eine gemeinsame Datenplattform oder durch wiederverwendbare Komponenten, Standards und Schnittstellen. So lassen sich Synergieeffekte nutzen, Redundanzen vermeiden und Abhängigkeiten von proprietären Lösungen reduzieren.

Souveränität und kommunale Datenhoheit stellen sicher, dass die Kommune die Kontrolle über ihre Daten, technischen Infrastrukturen und die Rahmenbedingungen der Zusammenarbeit mit externen Akteuren behält. Dies ist nicht nur eine technische Designfrage, sondern Teil der umfassenden **gemeinwohlorientierten digitalen Transformation**, wie sie etwa die **Smart City Charta** formuliert. Dort wird gefordert, dass Kommunen Zugang zu Daten schaffen, sich selbst sichern und Hoheit über diese Daten behalten (BBSR, 2021, S. 19). Hier schließt sich auch der Kreis zur eingangs differenzierten Verkehrs- und Mobilitätssteuerung. Ihre intelligente und adaptive Umgestaltung mithilfe von KI sollte auch als Teil der smarten Stadtplanung und -entwicklung gedacht werden. Für geeignete Architekturen sind die **„Datenstrategien für die gemeinwohlorientierte Stadtentwicklung“** relevant. Sie betonen, dass Kommunen gezielt Datenkompetenz aufbauen, Datenquellen absichern und Bedingungen für ihre gemeinwohlorientierte Nutzung selbst festlegen müssen (Schweitzer, 2021).

Das hier vorgestellte Forschungs- und Entwicklungssystem sollte als strukturell geschützter Innovationsraum fungieren, in dem Kommunen die Regeln, Rollen, Lizenzmodelle und Zugriffsrechte definieren. Er trägt auch zur **Resilienz urbaner Räume** bei – etwa gegen Klimawandel oder bei technologischen Umbrüchen. Digitale Technologien sollten, wie in den **Leitlinien für die Entwicklung resilienter Städte im digitalen Zeitalter** betont, für eine vorausschauende, smarte Stadtentwicklung sowie als Wegbereiter zur Erreichung der Klimaziele genutzt werden (BBSR [BBR], 2023). Auch der aktuelle **Stufenplan Smarte Städte und Regionen** des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen unterstreicht die **Bedeutung offener Innovationsstrukturen** – besonders in Verbindung mit **Wissenschaft und Forschung**. Die dritte Ebene eines kommunalen Verkehrssteuerungssystems bildet dafür die notwendige Grundlage: Sie ermöglicht es, externes Wissen zu integrieren, ohne die Souveränität der Kommune aufzugeben.

Durch digitalisierte und KI-gestützte Mobilität zu resilienten Städten

Im Hinblick auf das Ziel resilienter Städte skizzieren die „**Leitlinien für die Entwicklung resilienter Städte im digitalen Zeitalter**“, wie sich neue **Flächennutzungspotenziale durch digitale, intelligent vernetzte Mobilität gewinnen** lassen: „Mit der gezielten Steuerung des Verkehrs (fließend und ruhend), verbunden mit dem Ziel einer Reduktion von Verkehrsflächen, entstehen neue Flächennutzungspotenziale für die gemeinwohlorientierte Stadtentwicklung. Dabei lassen sich einerseits durch Verkehrssimulationen, intelligente Echtzeitüberwachungen von Verkehrsströmen sowie gezielte Verkehrssteuerungen Verkehrsbelastungen reduzieren. Andererseits kann die Digitalisierung von Produkten des ÖPNV im Verbund mit anderen Mobilitätsoptionen einen Attraktivitätsgewinn gegenüber dem motorisierten Individualverkehr bedeuten. Digitale Optionen laden zur Gestaltung diversifizierter urbaner Mobilität mit einem starken Umweltverbund ein.“

Als konkrete Ideen werden genannt:

- On-Demand-Angebote zur Ergänzung und Erhöhung der Attraktivität des Nahverkehrs (etwa automatisierte Rufbusse)
- Visualisierung und Vergleich von Mobilitätszeiten, -kosten und Ressourcenverbrauch für Mobilitätsteilnehmende in Apps
- Digital gesteuerte räumliche Vernetzungsknoten (Mobility Hubs)
- Klimasensible intelligente Verkehrssteuerung und -planung auf Basis von digitalen Zwillingen
- Mobilitätsbudgets für ArbeitnehmerInnen

5.3 Bestehende Referenzrahmen und Best Practices für F&E-Systeme

Ein praxiserprobter Referenzrahmen für diese Anforderungen der Datenbereitstellung ist die **DIN SPEC 91357: Offene Urbane Plattform (OUP)** (DIN, 2017). Diese beschreibt ein modulares und interoperables Architekturmodell für urbane Datenplattformen, das die Grundlage für zahlreiche kommunale Digitalprojekte bildet. Städte wie Hamburg, Leipzig und München, die im Rahmen des Projekts **Connected Urban Twins (CUT)** mit OUP-basierter Plattform und digitalem Zwilling arbeiten, zeigen, wie sich diese Strukturprinzipien erfolgreich umsetzen lassen – in Verbindung mit datengetriebenen Innovationsprozessen.

Der digitale Zwilling im kommunalen Kontext ist mehr als ein technisches Tool – er ist ein zentrales Element urbaner Datenstrategie. Das in **CUT** entwickelte Konzept eines **Urbanen Digitalen Zwillings (UDZ)** beschreibt eine Umgebung, in der städtische Daten aus verschiedensten Quellen – Verkehr, Energie, Verwaltung, Umwelt – integriert, strukturiert und für Simulation und Analyse verfügbar gemacht werden. Dabei werden sowohl **physische Komponenten** (Infrastruktur, Gebäude, Verkehrsflüsse) als auch **logistische, soziale und institutionelle Strukturen** (Einrichtungen, Akteure, Verwaltungsprozesse) abgebildet. Ein UDZ ist **kein monolithisches System**, sondern wird bedarfsspezifisch aus verfügbaren Datenbereichen konfiguriert. Daraus entstehen **fachliche Zwillinge**, sogenannte **Instanzen**, die bestimmte Aufgabenbereiche oder Stadtausschnitte – z. B. Verkehrsknoten, Schulwege, Versorgungsnetze – realitätsnah und simulierbar darstellen. So können nicht nur Steuerungsalgorithmen, sondern auch **Verwaltungsvorgänge, Beteiligungsverfahren oder Planungsprozesse** digital modelliert und analysiert werden.

Die **DIN SPEC 91607** legt hierfür erstmals ein normatives Rahmenwerk vor (DIN, 2024). Ziel ist es, kommunalen Akteuren einen **praxisnahen Leitfaden** für Aufbau, Betrieb und Nutzung digitaler Zwillinge zur Verfügung zu stellen (DIN, 2022). Dabei geht es nicht nur um technische Interoperabilität, sondern auch um Aspekte wie **Datenzugriff, Visualisierung, Governance und Nachhaltigkeit**. Besonderes Gewicht erhalten Anwendungsszenarien, Betreiber- und Geschäftsmodelle sowie der Beitrag zur Erreichung der **Sustainable Development Goals (SDGs)**.

Ergänzend zu lokalen Plattformmodellen wie der OUP gewinnen **föderierte Datenräume (Data Spaces)** an Bedeutung (siehe Kapitel 4.4) – vor allem für den Austausch von Daten. Ziel ist kein Einbahnstraßen-Modell, in dem ausschließlich kommunale Daten „nach außen“ fließen. Vielmehr geht es um **einen vertrauensvollen, souveränen Datenaustausch zwischen verschiedenen Akteuren**: Kommunen sowie kommunalen Behörden und Fachstellen, Forschungseinrichtungen, Verkehrsunternehmen oder Mobilitätsanbietern, Flottenbetreibern und Fahrzeugherstellern. In einem solchen **Datenraum** – wie er z. B. durch die Gaia-X-Initiative, die Mobilithek und den Mobility Data Space angelegt ist – behalten alle Akteure die Kontrolle über ihre Daten, können aber gemeinsam Innovationen vorantreiben. Kommunale Plattformen wie die OUP können dabei als Datenquelle oder auch als Knotenpunkt innerhalb eines größeren Datenraums fungieren.

5.4 Die Validierung neuer Dienste: Vom Datenzugang zur Anwendung

Damit aus bereitgestellten Daten ein realer Mehrwert entsteht, z. B. in Form eines innovativen Lagebild-dienstes oder einer neuen Steuerungsstrategie, müssen neue Dienste einen **Validierungspfad** durchlaufen, der sicherstellt, dass neue Dienste iterativ geprüft, weiterentwickelt und im richtigen Moment in den operativen Betrieb überführt werden können.

Der Prozess umfasst vier zentrale Schritte:

1. Entwicklung und Simulation im digitalen Zwilling:

Auf Basis aggregierter, historischer oder auch in Echtzeit verfügbarer Daten entsteht zunächst eine digitale Repräsentation eines relevanten Stadtraums oder Verkehrsausschnitts – etwa einer Kreuzung oder eines Stadtteils. Diese Umgebung dient als Simulationsfeld, in dem neue Steueralgorithmen, Dienste oder Visualisierungen erprobt und anhand definierter KPIs bewertet werden können.

2. Test auf realer Steuerungstechnologie im Labor:

Nach positiver Bewertung in der Simulation erfolgt die technische Umsetzung auf realer Hardware – z. B. auf Steuergeräten, wie sie im städtischen Ampelnetz verwendet werden. So kann geprüft werden, ob der neue Dienst nicht nur theoretisch funktioniert, sondern auch mit bestehenden technischen Standards, Schnittstellen und Sicherheitsanforderungen kompatibel ist. Dieser Schritt erfolgt in einer Laborumgebung – isoliert vom Echtbetrieb, aber realitätsnah in Bezug auf die verwendeten Komponenten.

3. Schattenbetrieb im realen System:

Anschließend wird der Dienst in den laufenden Systembetrieb eingebunden, ohne dabei aktiv Steuerungsentscheidungen zu treffen. Er läuft parallel zum eigentlichen Steuerungssystem und zeichnet auf, welche Entscheidungen er unter den gegebenen Bedingungen getroffen hätte. Diese „Schattenlage“ erlaubt eine Validierung unter realen Bedingungen – mit echten Verkehrsdaten, echten Reaktionsmustern und echten Rahmenbedingungen.

4. Freigabe und Integration in den Livebetrieb:

Nach erfolgreichem Test im Schattenbetrieb – und gegebenenfalls in Abstimmung mit zuständigen Behörden – kann der Dienst durch die Kommune für den Livebetrieb freigegeben werden. Diese letzte Stufe schließt den Validierungspfad ab und führt zur tatsächlichen Integration des neuen Dienstes in die Steuerungsarchitektur oder andere Mobilitätsanwendungen.

Der beschriebene Validierungspfad stellt sicher, dass technische Lösungen **sicher, effizient und verantwortungsvoll** in den kommunalen Betrieb überführt werden können. Er erfüllt regulatorische Anforderungen und schafft Vertrauen bei Bürgerinnen und Bürgern, Verwaltung und Politik. Auf diese Weise erreichen Kommunen direkte Mehrwerte. Sie gewinnen neue Möglichkeiten, bestimmte Herausforderungen gezielt zu adressieren – wie die **Priorisierung von Einsatzfahrzeugen** im [Projekt SIRENE](#) (BMV, 2025a), die **Reduzierung verkehrsbedingter Emissionen** oder **adaptive Steuerungen bei Großveranstaltungen**. Solche Dienste können realitätsnah erprobt, angepasst und bei Reife sofort produktiv geschaltet werden – ohne lange Vorlaufzeiten oder Systemwechsel.

Lohnend erscheint aber vor allem der längerfristige **strategische Mehrwert** des hier vorgestellten Zielbilds: die Fähigkeit, **Innovationsprozesse aktiv zu gestalten** und **eigene Entwicklungswege** zu beschreiten – statt auf externe Anbieter oder proprietäre Systeme angewiesen zu sein. Die Kombination aus der Datengenerierung im Mobilitätssystem (erste Ebene), dem KI-basierten Verkehrssteuerungssystem (zweite Ebene) sowie dem offenen Forschungs- und Entwicklungssystem – mit offenen Datenplattformen, digitalen Zwillingen bis hin zum Validierungspfad – (dritte Ebene) **verwandelt technische Infrastruktur in eine strategische Ressource** für Kommunen. Durch die **Schaffung eines offenen, kooperativen Innovationsraums** können Kommunen schnellere Entwicklungszyklen ermöglichen, vielfältige Kooperationen fördern und übertragbare, skalierbare Lösungen schaffen. Gleichzeitig können sie eigene Ziele datenbasiert umsetzen und evaluieren sowie langfristig an Resilienz gewinnen.

6 Impulse

Das entworfene Zielbild einer KI-basierten Verkehrs- und Mobilitätssteuerung dient als **Impuls für die strategische Diskussion** mit Verantwortungsträgern in Kommunen, Planungsstellen und Politik. Es bietet eine **technologische und methodische Orientierung**, ohne abschließende Antworten zu geben.

KI-gestützte Verkehrs- und Mobilitätssteuerung ist mehr als ein Effizienzprojekt. Sie ermöglicht die **Erreichung kommunaler Ziele** in den Bereichen Mobilität, Stadtentwicklung, Umwelt- und Klimaschutz und schafft **wirtschaftliche Chancen** für Unternehmen und Forschungsakteure am Standort Deutschland – vor allem wenn offene Infrastrukturen und übertragbare Lösungen gefördert werden. Drei Handlungsfelder sind entscheidend, um diese **Wertschöpfungspotenziale** gezielt zu erschließen:

Handlungsfeld 1: Kommunales Zielbild festlegen

- Nur wer klare **strategische Ziele definiert** und in **messbare KPIs übersetzt**, kann KI-Systeme wirksam in den Dienst der kommunalen Mobilitäts- und Stadtentwicklungspolitik stellen. Mithilfe **technisch operationalisierter KPIs** lässt sich die **Erreichung kommunaler Ziele** optimieren. KI ist dann nicht Selbstzweck, sondern wird zum Werkzeug, um kommunale Prioritäten im Mobilitätssektor sichtbar und überprüfbar umzusetzen.
- **Zielkonflikte** werden sich nicht durch Technologie allein lösen lassen, sondern **erfordern bewusste politische Entscheidungen** bzw. **Gewichtungen von Zielen** – idealerweise unter **Einbeziehung von Bürgerinnen und Bürgern**. Nur durch **partizipative Abwägungsprozesse** (z.B. über digitale Beteiligungsformate oder Visualisierungen im digitalen Zwilling) lassen sich **akzeptierte Priorisierungen** treffen und Steuerungssysteme im Sinne kommunaler Nachhaltigkeits- und Lebensqualitätsziele optimieren.

Handlungsfeld 2: Technisches Fundament schaffen

- Die Einführung eines KI-basierten Steuerungssystems sollte **modellbasiertes Reinforcement Learning auf Basis integrierter, mobilitätsrelevanter Daten und digitaler Zwillinge** nutzen. Diese ermöglichen es, datenbasiert zu lernen, in Echtzeit zu reagieren und zukünftige Mobilitätsentwicklungen proaktiv zu simulieren.
- Die **Verfügbarkeit** strukturierter, qualitativ hochwertiger **Daten** ist die **Basis jeder KI-Anwendung**. Hierzu braucht es Investitionen in Sensorik, Datenmanagement und föderierte Plattformen sowie klare Regeln für den **vertrauensvollen Datenaustausch**. Dabei ist insbesondere die Schwierigkeit kleiner und mittlerer Kommunen zu adressieren, entsprechende Kapazitäten zu schaffen sowie **Mitarbeitende** dafür **aus- und fortzubilden**.

Handlungsfeld 3: Offene Forschungs- und Entwicklungssysteme integrieren

- Ein **offenes, modular aufgebautes Innovationsökosystem** schafft die Grundlage für unabhängige, kontinuierliche Verbesserungen sowie neue Dienste und skalierbare Geschäftsmodelle. Damit sichern Kommunen ihre **digitale Souveränität** und bleiben innovationsfähig, ohne sich langfristig an einzelne Anbieter binden zu müssen.
- Insbesondere kleinere und mittlere Kommunen profitieren dabei von **übertragbaren Architekturstandards, Best Practices und gemeinsamen Beschaffungen**. So müssen sie nicht alles neu entwickeln, sondern können auf übertragbaren Lösungen aufbauen und **teure Fehlentscheidungen vermeiden**. Dies ist vor allem aufgrund der **hohen Innovationsdynamik** von KI wichtig. Wichtig ist zudem der **Ansatz der Gemeinsamkeit**: Kommunen sollten gemeinsam übertragbare Modelle entwickeln, wo dies möglich ist, um Innovationssilos zu vermeiden und bestenfalls **übergreifende Innovationsökosysteme und -cluster** zu erreichen. Entscheidend ist unter anderem, dass Kommunen **bereits in Vergabeverfahren zentrale Strukturprinzipien** (wie **Übertragbarkeit, Offenheit und Modularität**) explizit in die Anforderungen aufnehmen.
- Die **Sichtbarkeit gesellschaftlicher Mehrwerte sowie Partizipation** entscheiden über die Akzeptanz von Transformation. **Digitale Zwillinge und realitätsnahe Simulationen** sind zentrale Werkzeuge, um neue Lösungen **verständlich** zu **kommunizieren** und **Bürgerinnen und Bürger** an der Mobilitätsentwicklung vor Ort zu **beteiligen**.

Literatur

ACM – Association for Computing Machinery (2025): Andrew Barto and Richard Sutton are the recipients of the 2024 ACM A.M. Turing Award for developing the conceptual and algorithmic foundations of reinforcement learning. Andrew Barto and Richard Sutton Recognized as Pioneers of Reinforcement Learning. Verfügbar unter: <https://awards.acm.org/about/2024-turing>

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2021): Smart City Charta. Digitale Transformation in den Kommunen nachhaltig gestalten. Bonn.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: Beschleunigter Wandel und Resilienz. Leitlinien für die Entwicklung resilienter Städte im digitalen Zeitalter; Nationale Dialogplattform Smart Cities (Stand: Juni 2023). Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Verfügbar unter: <https://www.smart-city-dialog.de/wp-content/uploads/2023/06/Leitlinien-Beschleunigter-Wandel-und-Resilienz-2023-Kurzfassung-Web.pdf>

Beckmann J. K./Holzapfel H./Zebuhr, Y./Blumthaler, W./Aschermayr, D. (2024): Ankommen statt unterwegs sein. Projekt Integrierte Stadtentwicklung und Mobilitätsplanung (acatech STUDIE). https://doi.org/10.48669/aca_2024-4

BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2023a): Artificial Intelligence and Mobility – AIAMO. Verfügbar unter: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/KI-Projekte/aiamo.html>

BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2023b): Überblick: Klimaschutz im Verkehr. Verfügbar unter: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/Klimaschutz-im-Verkehr/klimaschutz-im-verkehr-ueberblick.html>

BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2025): Indikatoren leicht gemacht. Wie können Kommunen Indikatoren auf ihrem Weg zu einer nachhaltigen urbanen Mobilität nutzen?

BMV – Bundesministerium für Verkehr (2022): Künstliche Intelligenz für Lichtsignalanlagen – KI4LSA. Verfügbar unter: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/ki4lsa.html>

BMV – Bundesministerium für Verkehr (2023): KI-basierte Optimierung von Fußgängerüberquerungszeiten durch smarte Lichtsignalanlagen – KI4PED. Verfügbar unter: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/KI4PED.html>

BMV – Bundesministerium für Verkehr (2025a): SIRENE. Beschleunigter Einsatz von Sicherheits- und Rettungsfahrzeugen durch optimiertes Routing und Ansteuerung von Lichtsignalanlagen. Verfügbar unter: <https://daten.plus/projekte/sirene>

BMV – Bundesministerium für Verkehr (2025b): Forschungsprojekt „Indikatoren nachhaltiger urbaner Mobilität“. Verfügbar unter: <https://www.bmv.de/DE/Themen/Mobilitaet/Urbane-Mobilitaet/Indikatoren-nachhaltiger-urbaner-Mobilitaet/indikatoren-nachhaltiger-urbaner-mobilitaet.html>

BMV – Bundesministerium für Verkehr (2025c): Kompromiss beim StVG. Verfügbar unter: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/kompromiss-beim-stvg.html>

BMV – Bundesministerium für Verkehr (2025d): Das Ökosystem für Mobilitätsdaten. Verfügbar unter: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/das-oekosystem-fuer-mobilitaetsdaten.html>

BMV – Bundesministerium für Verkehr (2025e): mFUND-Projektsteckbriefe. Überblick der Forschungs- und Entwicklungsprojekte im mFUND. Verfügbar unter: <https://daten.plus/projekte>

BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2018): Digitalisierung und Künstliche Intelligenz in der Mobilität. Aktionsplan (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur).

BMWSB – Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2024): Stufenplan Smarte Städte und Regionen – Gemeinsam digital handlungsfähig sein. Bonn.

Bundesregierung (2018): Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung.

BVkom – Bundesvereinigung der kommunalen Spitzenverbände (2025): Stellungnahme zum Entwurf einer Zwölften Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Änderung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung. Verfügbar unter: https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/Gesetze/Gesetze-20/zwolfte-allgemeine-vwv-zur-aenderung-vwv-stvo-stellungnahme-16.pdf?__blob=publicationFile

Canzler, W. (2024): Mobilitätswende – Stand und weitere Herausforderungen. In E.-P. Jeremias, N. Mertzsch & G. Pfaff (Hrsg.), Die Energiewende 2.0: Review zum Transformationsprozess des Energiesystems in Deutschland. Kolloquium der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften am 21.06.2024 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Band 165, Band 165). Berlin: trafo Wissenschaftsverlag.

CUT – Connected Urban Twins (2025): Das Baukastensystem – Connected Urban Twins. Verfügbar unter: <https://www.connectedurbantwins.de/urbane-digitale-zwillinge/das-baukastensystem/>

Da Schmoeller Roza, F. (Fraunhofer IKS, Hrsg.) (2013): Machine Learning – Sicheres Reinforcement Learning – Magazin des Fraunhofer-Instituts für Kognitive Systeme IKS. Verfügbar unter: <https://safe-intelligence.fraunhofer.de/artikel/sicheres-reinforcement-learning>

Deutscher Bundestag (2020): Bericht der Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz – Gesellschaftliche Verantwortung und wirtschaftliche, soziale und ökologische Potenziale. Drucksache 19/23700. Berlin.

DIN – Deutsches Institut für Normung (2017): DIN SPEC 91357-Referenzarchitekturmodell Offene Urbane Plattform (OUP). Verfügbar unter: <https://www.din.de/de/wdc-beuth:din21:281077528>

DIN – Deutsches Institut für Normung (2022): Der „Digitale Zwilling für Städte und Kommunen“ kommt! Erfolgreiche Konstituierung des Konsortiums zur DIN SPEC 91607. Verfügbar unter: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/aktuelles/der-digitale-zwilling-fuer-staedte-und-kommunen-kommt--858998>

DIN – Deutsches Institut für Normung (2024): DIN SPEC 91607-Digitale Zwillinge für Städte und Kommunen. Verfügbar unter: <https://www.din.de/de/wdc-beuth:din21:384414386>

DLR – Institut für Verkehrssystemtechnik (2025): Wichtiger Schritt im Projekt AIAMO: Leipzig und Landau in der Pfalz werden Modellstädte für KI-gestützte Verkehrssteuerung. Verfügbar unter: <https://www.dlr.de/de/ts/aktuelles/nachrichten/2025/wichtiger-schritt-im-projekt-aiamo>

Görz, G., Schmid, U. & Braun, T. (2021): Handbuch der Künstlichen Intelligenz (6. Auflage). Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110659948>

Horn, B., Kiel, T. & Lojewski, H. von. (2018): Nachhaltige städtische Mobilität für alle. Agenda für eine Verkehrswende aus kommunaler Sicht: Positionspapier des Deutschen Städtetages. Berlin, Köln: Deutscher Städtetag.

ITS Germany (2025): AIAMO – Artificial Intelligence and Mobility. Verfügbar unter: <https://aiamo.de/de>

Krumnow, M. (2025): Data Week Leipzig 2025 | Day 3: AIAMO Roadshow | Ratsplenarsaal. Verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=rX_4Do040jQ&t=1005s

Kussel, G., Pavleka, S., Schmidt, C. M. (2024): Innovationssystem Deutschland – Effizienz und Agilität der öffentlichen Verwaltung erhöhen (acatech STUDIE). München. https://doi.org/10.48669/aca_2024-10

Land Baden-Württemberg (2024): Land startet Testfeld mit KI-gesteuerten Ampeln. Verfügbar unter: <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/land-startet-testfeld-mit-ki-gesteuerten-ampeln>

Michailidis, P., Michailidis, I., Lazaridis, C. R. & Kosmatopoulos, E. (2025): Traffic Signal Control via Reinforcement Learning: A Review on Applications and Innovations. Infrastructures, 10(5), 114. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10050114>

OECD (2024): OECD-Bericht zu Künstlicher Intelligenz in Deutschland (OECD Publishing, Hrsg.). Paris. <https://doi.org/10.1787/8fd1bd9d-de>

Richard S. Sutton, Andrew G. Barto (2014): Reinforcement Learning: An Introduction.

Schweitzer, E. (Hrsg.) (2021): Datenstrategien für die gemeinwohlorientierte Stadtentwicklung. Nationale Dialogplattform Smart Cities (Oktober 2021). Bonn: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.

Technische Hochschule Aschaffenburg (2023): Künstliche Intelligenz gemacht in Aschaffenburg.

Urban Mobility Innovations (ui!) (2022): KI-basierte Online-Verkehrsoptimierung – Nachhaltige Urbane Mobilität. Verfügbar unter: <https://www.kibo-num.de/>

Yunex Traffic (2024): Yunex Traffic bringt die „Ampel der Zukunft“ nach Bayern. Verfügbar unter: <https://www.yunextraffic.com/de/newsroom/ampel-der-zukunft/>

Über dieses Impulspapier

Die Autoren des Impulses sind Mitglieder der Arbeitsgruppe Mobilität und intelligente Verkehrssysteme der Plattform Lernende Systeme.

Als eine von insgesamt sieben Arbeitsgruppen untersucht die Arbeitsgruppe Mobilität und intelligente Verkehrssysteme, wie Lernende Systeme unsere Mobilitätsstrukturen verändern und welche Eigenschaften sie haben müssen, um den größten Nutzen für das Individuum und die Gesellschaft zu erzielen. Die Arbeitsgruppe hinterfragt, wie Infrastrukturen und Systemarchitekturen im Mobilitätssektor weiterentwickelt werden müssen, um Lernende Systeme darin sinnvoll zu integrieren.

Autorinnen und Autoren

Tobias Hesse, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)

Claus Bahlmann, Siemens Mobility GmbH

Michael Pfeiffer, Bosch Center for Artificial Intelligence

Paul Beyer, FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH

Axel Hahn, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)

Remo Lachmann, IAV GmbH

Peter Schlicht, CARIAD SE

Eva Schweitzer, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Anatoly Sherman, SICK AG

Redaktion

Lennart Schultz, Geschäftsstelle der Plattform Lernende Systeme

Christine Wirth, Geschäftsstelle der Plattform Lernende Systeme

Impressum

Herausgeber

Lernende Systeme –
Die Plattform für Künstliche Intelligenz
Geschäftsstelle | c/o acatech
Karolinenplatz 4 | 80333 München
www.plattform-lernende-systeme.de

Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

Stand

Februar 2026

Bildnachweis

iStock: DrAfter123

Empfohlene Zitierweise

Hesse, T., Bahlmann, C., Pfeiffer, M. (2026): KI-basierte Verkehrs- und Mobilitätssteuerung in kommunalen Mobilitätssystemen. Plattform Lernende Systeme, München.
https://doi.org/10.48669/pls_2026-1

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Die Autorinnen und Autoren sind Mitglieder der Arbeitsgruppe Mobilität und intelligente Verkehrssysteme der Plattform Lernende Systeme.

Alle Publikationen der Plattform Lernende Systeme sind online verfügbar unter:

<https://www.plattform-lernende-systeme.de/publikationen.html>

Über die Plattform Lernende Systeme

Die Plattform Lernende Systeme ist ein Netzwerk von Expertinnen und Experten zum Thema Künstliche Intelligenz (KI). Sie bündelt vorhandenes Fachwissen und fördert als unabhängiger Makler den interdisziplinären Austausch und gesellschaftlichen Dialog. Die knapp 200 Mitglieder aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft entwickeln in Arbeitsgruppen Positionen zu Chancen und Herausforderungen von KI und benennen Handlungsoptionen für ihre verantwortliche Gestaltung. Damit unterstützen sie den Weg Deutschlands zu einem führenden Anbieter von vertrauenswürdiger KI sowie den Einsatz der Schlüsseltechnologie in Wirtschaft und Gesellschaft. Die Plattform Lernende Systeme wurde 2017 vom Bundesforschungsministerium auf Anregung von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften gegründet und wird von einem Lenkungskreis gesteuert. Die Leitung der Plattform liegt bei Dorothee Bär (Bundesministerin für Forschung, Technologie und Raumfahrt) und Claudia Eckert (Präsidentin acatech).