



Vernetzen, bewegen,
transportieren

Auf dem Weg zu
einem intelligenten
Mobilitätsraum

Handlungsfelder,
Chancen und
Herausforderungen

Bericht der AG
Mobilität und
intelligente
Verkehrssysteme



Die Plattform Lernende Systeme

Lernende Systeme im Sinne der Gesellschaft zu gestalten – mit diesem Anspruch wurde die Plattform Lernende Systeme im Jahr 2017 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) auf Anregung des Fachforums Autonome Systeme des Hightech-Forums und acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften initiiert. Die Plattform bündelt die vorhandene Expertise im Bereich Künstliche Intelligenz und unterstützt den weiteren Weg Deutschlands zu einem international führenden Technologieanbieter. Die rund 200 Mitglieder der Plattform sind in Arbeitsgruppen und einem Lenkungskreis organisiert. Sie zeigen den persönlichen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Nutzen von Lernenden Systemen auf und benennen Herausforderungen sowie Gestaltungsoptionen.

Inhalt

| | |
|--|----|
| Zusammenfassung | 2 |
| 1. Einleitung | 4 |
| 2. Lernende Systeme im Mobilitätsraum | 6 |
| 2.1 Potenziale und Herausforderungen von KI | 6 |
| 2.2 Lernende Verkehrsflusssysteme | 11 |
| 2.3 Verkehrsträger: Straße, Schiene, Luftfahrt, Wasserstraße | 12 |
| 3. Primäre Handlungsfelder für Lernende Systeme im Mobilitätsraum | 19 |
| 3.1 Sicherheit in intelligenten Verkehrssystemen | 19 |
| 3.2 Vernetzung und Interaktion von Systemen | 21 |
| 3.3 Verfügbarkeit der Verkehrsflotte und -infrastruktur | 24 |
| 3.4 Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) | 26 |
| 3.5 Gesellschaftliche Aspekte | 29 |
| 4. Ausblick: Eine intelligent vernetzte Mobilitätsplattform | 34 |
| Über diesen Bericht | 37 |
| Literatur | 38 |

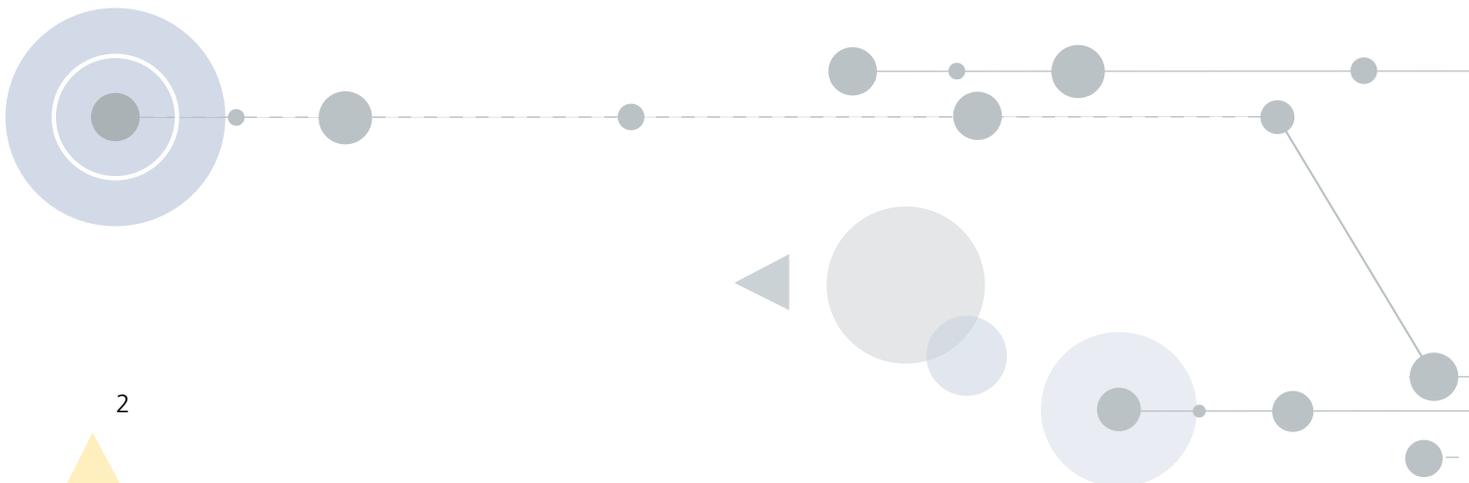


Zusammenfassung

Ein sichereres, flexibleres und kostengünstigeres Fortbewegen auf der Straße, der Schiene oder dem Wasser – Künstliche Intelligenz (KI) kann einen wichtigen Beitrag dazu leisten. Denn KI-basierte Assistenzsysteme tragen dazu bei, Verkehrssysteme intelligenter und zukunftsfähig zu machen. Möglich wird dies durch das Zusammenspiel von Sensoren, Kameras sowie intelligenten Infrastrukturen und Plattformen, die Verkehrsdaten aufnehmen, verwalten und teilen. Mit immer leistungsfähigeren Verfahren des maschinellen Lernens (ML) werden die gesammelten Daten verarbeitet und daraus Aktionen abgeleitet, die entweder von Menschen oder von den Systemen selbst umgesetzt werden.

Auf dem Weg zu einer KI-basierten inter- und multimodalen Vernetzung der Verkehrsströme sind eine Vielzahl von Herausforderungen zu lösen. Dazu zählen erstens wissenschaftlich-technische Fragen, die bei der Erforschung und Entwicklung von KI-basierten Technologien für den Mobilitätssektor auftreten. Ebenso müssen Lösungen gefunden werden, die die Integration und Interaktion von Lernenden Systemen über verschiedene Verkehrsträger und gemeinsame Datenplattformen hinweg ermöglichen. Gleichzeitig sollten alle KI-basierten Mobilitätslösungen die Ansprüche der Gesellschaft und des Einzelnen erfüllen und gesellschaftlich akzeptiert sein. Herausforderungen zeichnen sich hier insbesondere im Hinblick auf Sicherheit und Bedienbarkeit ab. Nicht zuletzt muss der Gesetzgeber die rechtlichen Regularien anpassen. Diese Aspekte spielen gerade in einer Übergangszeit von der herkömmlichen zu einer komplett automatisierten Mobilität eine Rolle. In einem komplexen Mischverkehr bewegen sich dann nicht-automatisierte und automatisierte Fahrzeuge ebenso wie Radfahrer und Fußgänger.

Die Arbeitsgruppe „Mobilität und intelligente Verkehrssysteme“ der Plattform Lernende Systeme analysiert im vorliegenden Bericht die Komplexität des Einsatzes von KI-basierten Systemen im Bereich der Mobilität. Dazu definiert sie zunächst den Mobilitätsraum: Er bildet ein System, das aus einer Infrastruktur sowie unterschiedlichen Verkehrsmitteln besteht. Dieses System ist in der Lage, alle Mobilitätsanforderungen der Anwenderinnen und Anwender zu erfüllen. Optimierungen durch KI sind innerhalb des Mobilitätsraums für sämtliche Ver-



kehrsträger wie Straße, Schiene, Luftfahrt, Wasserstraße, aber auch in den Verkehrsflusssystemen denkbar.

Parallel zu diesem Bericht entwickelt die Arbeitsgruppe ein Umfeldszenario für eine intelligente Mobilität der Zukunft. Am Beispiel einer Individualreise und eines Logistikprozesses zeigt das Szenario verschiedene Anwendungen, die durch KI-basierte intelligente und vernetzte Verkehrsträger und -systeme möglich werden. Die interaktive Grafik zum Umfeldszenario ist auf der Website der Plattform Lernende Systeme zu finden unter: <https://www.plattform-lernende-systeme.de/anwendungsszenarien.html>

In der Arbeitsgruppe „Mobilität und intelligente Verkehrssysteme“ der Plattform Lernende Systeme haben Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft und Wirtschaft die Chancen und Herausforderungen Lernender Systeme für verschiedene Verkehrsträger diskutiert. Die Arbeitsgruppe hat für ihren ersten Bericht fünf Handlungsfelder identifiziert, mit denen sich Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft auseinandersetzen sollten, um eine KI-basierte Mobilität und intelligente, nachhaltige und bedarfsorientierte Verkehrssysteme gezielt voranzutreiben. Diese Handlungsfelder sind:

- Sicherheit in intelligenten Verkehrssystemen
- Vernetzung und Interaktion von Systemen
- Verfügbarkeit von Verkehrsflotten und -infrastrukturen
- Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) im Mobilitätsraum
- Gesellschaftliche Aspekte

Zu allen Handlungsfeldern skizziert der vorliegende Bericht Potenziale, Herausforderungen und notwendige Voraussetzungen für die Entwicklung und Umsetzung von selbstlernenden KI-basierten Systemen im Mobilitätsraum. Daraus leitet er Maßnahmen ab, die Forschung und Entwicklung, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft auf dem Weg zu einem intelligenten Mobilitätsraum ergreifen sollten.

Auf Grundlage dieser Analyse regt die Arbeitsgruppe an, eine übergreifende Mobilitätsplattform zu entwickeln. Die Arbeit der AG ist auf weitere drei Jahre angelegt und in dieser Zeit soll von den Expertinnen und Experten ein entsprechendes Konzept – zumindest in den wesentlichen Grundzügen – entwickelt werden. Ziel ist es, in einer solchen Plattform die Angebote unterschiedlicher Mobilitäts-Dienstleister sowie Verkehrs- und Infrastrukturinformationen zu bündeln und zu orchestrieren, zielgruppengerecht aufzubereiten und heterogenen Nutzergruppen zur Verfügung zu stellen. Dabei werden auch weitere Aspekte wie Nachhaltigkeit und Sicherheit detaillierter erörtert werden.

1. Einleitung

Im Jahr 2015 hat sich die internationale Staatengemeinschaft in Paris darauf verständigt, dass in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts eine weitgehende Treibhausgasneutralität erreicht werden soll. In Orientierung daran hat Deutschland das Ziel definiert, seine Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 bis 95 Prozent zu vermindern. Die Verkehrswende ist eine der zentralen Herausforderungen auf dem Weg zu den internationalen und nationalen Klimazielen. Eine wachsende Herausforderung: Denn die Stadtbevölkerung könnte sich bis 2050 weltweit von heute knapp 4 Milliarden auf dann 6,5 Milliarden Menschen vergrößern (WGBU 2016). Es sind intelligente Mobilitätslösungen erforderlich, um Menschen und Güter zukünftig ressourcen- und flächeneffizient transportieren zu können.

Bereits heute ist die Automatisierung fester Bestandteil der Verkehrsträger Straße, Schiene, Wasserstraße und Luft. So gibt es etwa Autopilotfunktionen im Flug- und Bahnverkehr oder PKW-Fahrassistenzsysteme im individualisierten Personenverkehr (MIV). Zudem existieren unterschiedliche Plattformen, die Echtzeit- bzw. echtzeitnahe Daten nutzen und analysieren: So zeigen Car-sharing-Angebote den Standort ihrer Fahrzeuge, E-Mobility-Plattformen bieten die tatsächlich verfügbaren Mobilitätsservices an, und Verspätungsmelder informieren über Abweichungen im Fahrplan von Bahn und Bus. Die Verkehrsträger können sowohl untereinander als auch mit der IT- und Verkehrsinfrastruktur vernetzt werden. Dies erlaubt es, die Verkehrsströme sowie das Nutzerverhalten der Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer digital zu erfassen, mittels intelligenter (KI-)Verfahren zu analysieren und weiterzuverarbeiten.

Lernende Systeme werden zunehmend zum Treiber der Digitalisierung in Wirtschaft und Gesellschaft. Sie basieren auf Technologien und Methoden der Künstlichen Intelligenz, bei denen derzeit große Fortschritte hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit erzielt werden. Lernende Systeme sind Maschinen, Roboter und Softwaresysteme, die abstrakt beschriebene Aufgaben auf Basis von Daten, die ihnen als Lerngrundlage dienen, selbstständig erledigen, ohne dass jeder Schritt spezifisch programmiert wird.

Auf dieser Grundlage entwickeln sich Lernende Systeme im Mobilitätsraum in unterschiedlichen Sektoren wie Flug-, Schienen- oder Automobilverkehr stetig weiter. Sie nehmen unterschiedliche Formen an: von vernetzten Schienensystemen mit hochautomatisierten Lokomotiven, über intelligente Mobilitätsformen im öffentlichen Nahverkehr und im Carsharing, bis hin zu hochautomatisierten Automobilen. Diese neuen Lösungen werden alle im existierenden Straßen- und Schienennetz eingesetzt und stehen teilweise in Konkurrenz zueinander – etwa Carsharing und intelligente Routenplanungen für ÖPNV.

Lernende Systeme bieten ein großes Potenzial, den heutigen Herausforderungen des Mobilitätssektors zu begegnen. Mit Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) können vernetzte Fahrzeuge ihre Umfeldwahrnehmung, Manöverplanung und Selbstallokation verbessern und so die Verkehrssicherheit erhöhen. Vernetzte Automobile können außerdem Verkehrsströme in Echtzeit analysieren, Staus vermeiden und durch eine effizientere Fahrweise Schadstoffemissionen reduzieren. Automatisiertes Fahren und Vernetzung tragen im Schienenverkehr dazu bei, Strecken effizienter nutzen zu können und Fahrprozesse zu optimieren. Mit der Technologie des Platooning werden LKW zukünftig verstärkt in sehr geringem Abstand zueinander kraftstoffsparend in Kolonne fahren können, ohne dass die Verkehrssicherheit beeinträchtigt wird. Dennoch stehen diesen Erfolgchancen auch Herausforderungen gegenüber, wie beispielsweise ethische Entscheidungsprozesse auf Grundlage KI-gestützter Systeme oder die Absicherung echtzeitfähiger Systeme.

Der „Mobilitätsraum“ ist ein frei skalierbarer Raum aller möglichen Interaktionen und Beziehungen zwischen Verkehrsträgern, Verkehrsteilnehmerinnen und -nehmern sowie der beteiligten Verkehrs- und IT-Infrastruktur im Personen- und Güterverkehr.

In diesem Bericht verortet die Arbeitsgruppe „Mobilität, intelligente Verkehrssysteme“ der Plattform Lernende Systeme die unterschiedlichen Verkehrsträger und Infrastrukturen im **Mobilitätsraum**. Darauf aufbauend werden die nächsten Schritte auf dem Weg zu einem intelligenten, vernetzten Mobilitätsraum abgeleitet.

Für den vorliegenden Bericht hat die Arbeitsgruppe fünf primäre Handlungsfelder in den Vordergrund gestellt: Die Sicherheit in intelligenten Verkehrssystemen, die Vernetzung und Interaktion von Systemen, die Verfügbarkeit von Verkehrsflotte und -infrastruktur, Mensch-Maschine-Interaktionen sowie gesellschaftliche Aspekte. Andere Themenfelder, wie etwa ethische Aspekte und Verhaltensnormen, gesellschaftliche Erwartungen an die Mobilität der Zukunft, Datenschutz, IT-Sicherheit und Geschäftsmodelle weisen Schnittstellen mit der Expertise anderer Arbeitsgruppen der Plattform Lernende Systeme auf. Daher ist in Zukunft eine Zusammenarbeit geplant, um jene Themen vertieft erörtern zu können, beispielsweise Anwendungsszenarien oder mögliche Geschäftsmodelle. Auch weitere Treiber für eine intelligent vernetzte Mobilität, insbesondere die möglichen positiven Nachhaltigkeitseffekte, werden im Rahmen dieses Berichts punktuell berührt. In der weiteren Ausarbeitung der Handlungsfelder und des Konzepts der Mobilitätsplattform werden sie eingehender erörtert.

2. Lernende Systeme im Mobilitätsraum

2.1 Potenziale und Herausforderungen von KI

Dieser Bericht definiert Mobilität als die Gesamtheit des Personen- oder Warenverkehrs von allen potenziellen Ausgangspunkten bis zu allen potenziellen Zielen. Ein Mobilitätssystem besteht aus einer Infrastruktur, unterschiedlichen Verkehrsmitteln sowie den mobilen Teilnehmerinnen und Teilnehmern. Es ist in der Lage, alle Mobilitätsanforderungen der Anwenderinnen und Anwender zu erfüllen.

Der Mobilitätsraum umfasst alle möglichen Interaktionen und Beziehungen zwischen Verkehrsträgern, der jeweiligen Infrastruktur, deren Neu- und Ausbau, Betrieb, Wartung, Weiterentwicklung, Überwachung sowie deren Nutzung im Personen- und Güterverkehr. Unterschieden wird einerseits zwischen den Verkehrsträgern Straßen-, Schienen-, Luftverkehr und Schifffahrt; differenziert wird außerdem innerhalb der Verkehrsträger zwischen Personen- und Güterverkehr. Der Bericht nimmt jedoch auch intermodale und kombinierte Verkehre (z. B. zwischen dem Straßen- und Schienenverkehr) in den Blick.

Lernende Systeme dienen im Mobilitätssektor der Unterstützung bzw. Modellierung und Absicherung von:

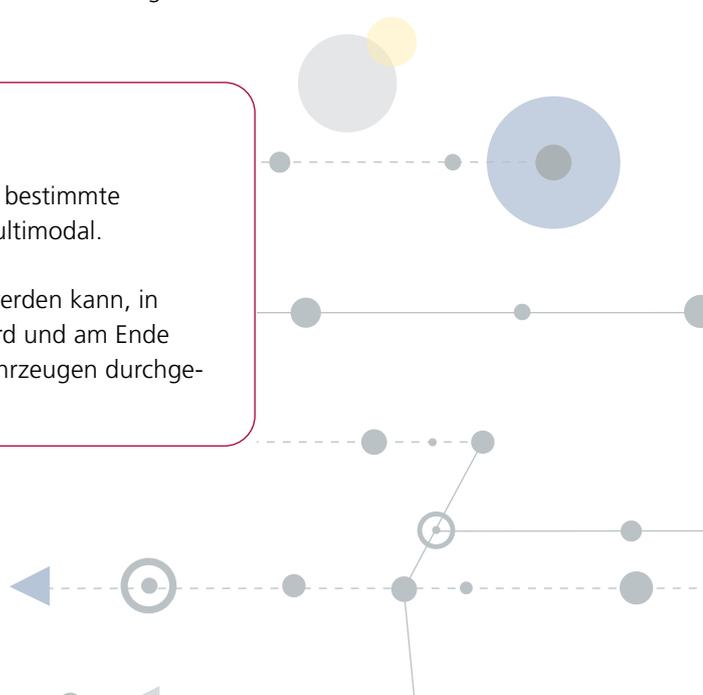
- Individualverhalten
- Kollektivverhalten
- Kombination von beiden Verhaltensformen (hybrid)

Unter Individualverhalten versteht man das Verhalten einer einzelnen Verkehrsteilnehmerin bzw. eines einzelnen Verkehrsteilnehmers oder auch das von Teilnehmergruppen (Gruppen von Individuen, professionelle Kollektive wie Logistikdienstleister oder Zulieferkettensysteme). Das Kollektivverhalten bezieht sich auf die Optimierung von Verkehrsflüssen, die Koordination von speziellen Geschäftsprozessen mit betriebswirtschaftlichem Hintergrund sowie die Optimierung der Bewegungen von Wartungsteams im regionalen und überregionalen Raum.

Multimodale und intermodale Systeme

Bietet das Mobilitätssystem mehr als eine Möglichkeit, eine bestimmte Mobilitätsanforderung zu erfüllen, so gilt das System als multimodal.

Wenn eine Mobilitätsanforderung in Segmente unterteilt werden kann, in denen jeweils ein bestimmter Verkehrsträger verwendet wird und am Ende eines jeden Abschnitts Wechsel zwischen verschiedenen Fahrzeugen durchgeführt werden, dann gilt das System als intermodal.



Ein Mobilitätssystem, das eine ganze Stadt oder sogar ein ganzes Land bedient, ist komplex: Es hat sich nicht nach einer vordefinierten Top-Down-Strategie entwickelt, sondern im Laufe der Jahre aus einer Kombination verschiedener – oft widersprüchlicher – Interessen, Verhaltensweisen sowie öffentlicher und privater Angebote gebildet.

Ein Mobilitätssystem lässt sich hinsichtlich Sicherheit, Nachhaltigkeit, Lebensqualität und Wirtschaftlichkeit optimieren.

- Sicherheit: Unfälle vermeiden, vor allem solche, die auf Unaufmerksamkeit oder eindeutig menschliches Fehlverhalten zurückzuführen sind
- Nachhaltigkeit: Umweltbelastungen reduzieren (Emissionen, Lärm), Verkehrsinfrastruktur effizienter nutzen
- Lebensqualität: Individuelle Anforderungen der Nutzerinnen und Nutzer besser erfüllen; verkehrsbedingten Stress reduzieren
- Wirtschaftlichkeit: Kosten- und Zeitaufwand durch bessere Planung reduzieren; Betriebsmittel einsparen, insbesondere Kraftstoff; Verkehrsdurchsatz optimieren; Effizienz- und Kostenvorteile innerhalb und zwischen den Verkehrsträgern schaffen

KI-Algorithmen und -Methoden können eine wichtige Rolle spielen, dieses Potenzial auszuschöpfen. Insbesondere gilt das für die folgenden Bereiche:

- Vorhersage von Mobilitätsanfragen und Zustand der Mobilitätssysteme, um eine bessere Abstimmung zwischen Mobilitätsbedarf und Angebot zu ermöglichen
- Berechnung global optimaler Pläne (Routen, Modalitäten etc.) für jede Mobilitätsanforderung, um die Kosten der Mobilität (monetär, sozial, ökologisch und volkswirtschaftlich) zu minimieren
- Optimale Bündelung von Mobilitätsanforderungen als Grundlage für die Planung von Nahverkehrsangeboten und Infrastruktur
- Identifizierung neuer Modalitäten (z. B. Lieferdrohnen) zur Abdeckung von Mobilitäts-White-Spots oder zur Kostensenkung bestehender Lösungen

Um das Optimierungspotenzial von Mobilitätssystemen voll auszuschöpfen, sind die folgenden Schritte notwendig:

- Definition der Gesamtkosten des Transports (TCT, Total Cost of Transportation). Diese zu optimierende Variable umfasst die direkten und indirekten Kosten für alle Komponenten eines Mobilitätssystems. Um einen Gesamtwert zu erhalten, müssen für jede der Kostenarten geeignete Gewichte in einem Prozess ermittelt werden, der die Politik und alle beteiligten gesellschaftlichen Akteure einbezieht.
- Anwendung der TCT-Metriken zur objektiven Bewertung von Änderungen am Mobilitätssystem; Auswahl der Änderung mit dem höchsten Optimierungspotenzial

Besondere Voraussetzungen für die Einführung Lernender Systeme im Mobilitätsraum

- **Lernfähigkeit und Adaptierbarkeit:** Lernende Systeme zeichnen sich insbesondere durch ihre zum Teil automatische Lernfähigkeit aus (Machine Learning), also durch die Fähigkeit, sich aus Daten – und ggf. eigener Beobachtung – (selbstständig) weiterzuentwickeln und anzupassen (Adaptierbarkeit). Der Grad der Automatisierung und Selbstständigkeit und entsprechende Kontrollmöglichkeiten sollten gesellschaftlich diskutiert und dann entsprechend festgelegt werden.
- **Selbstwahrnehmung:** Lernende Systeme sollten zudem über die Fähigkeit verfügen, sich selbst sowie die Interessen der anderen Beteiligten im Mobilitätsraum wahrzunehmen. Dadurch können die Auswirkungen des eigenen Verhaltens auf andere Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer sowie auf Systeme antizipiert und bei der Handlungsplanung berücksichtigt werden. Eine Selbstwahrnehmung erlaubt dem Lernenden System, eigene Systemzustände und Konfigurationen sowie die Veränderungen derselben über zeitliche Abläufe zu registrieren, zu verwalten und mit externen, z. B. benutzerinitiierten Aktionen in Zusammenhang zu bringen. Diese Funktionalität ist nicht nur Grundvoraussetzung, um adaptives Verhalten lernen zu können. Es kann auch eine systemstabilisierende Wirkung und somit höhere Resilienz gegenüber Angriffen oder Bedienungsfehlern bewirken.
- **Datenschutz und Akzeptanz:** Lernende Systeme stellen Entwicklerinnen und Entwickler sowie die Gesellschaft vor ganz neue Herausforderungen. Es gibt KI-Algorithmen, beispielsweise „tiefe neuronale Netze“, deren Funktionsweise auf Grund ihrer Komplexität nur sehr schwer nachvollzogen und verstanden werden kann. Des Weiteren besteht bei datenbasierten Lernverfahren das Risiko einer verzerrten Datengrundlage: Unerwünschte implizite Annahmen in den Daten selbst oder eine unausgewogene Auswahl der Daten können Ergebnisse beeinflussen. Es muss daher sichergestellt werden, dass KI und Lernende Systeme Gesetze, gesellschaftliche Werte und die Privatsphäre respektieren und einhalten.
- **Systemseitige Voraussetzungen des Lernens:** Systemseitig müssen für die individuellen und kollektiven Verhaltenssteuerungen von lernenden Mobilitätssystemen (hochautomatisierte Fahrzeuge, lernende Mobilitätseinheiten im Allgemeinen und lernende Mobilitätsnetzwerke) die Voraussetzungen erfüllt sein, um aus Erfahrungen zu lernen, Interaktionsmuster zu antizipieren und sich adaptiv und selbstkorrigierend auf diese einzustellen. Dazu müssen die anfallenden und entstehenden Daten, die die Grundlage für maschinelles Lernen darstellen, kontinuierlich auf geeignete Weise ausgewertet und für das weitere Lernen zugänglich gemacht werden (z. B. durch „Labeling“). Der Fokus liegt hier auf dem Lernen von Optimierungsmustern im Zusammenspiel der zugehörigen Optimierungskriterien und der damit verbundenen Zielkonflikte. Es gibt hierzu hybride Ansätze, die Optimierungstechniken, erweiterte Fuzzylogik, Künstliche Neuronale Netze und weitere KI-Techniken verbinden.

Herausforderungen für den Einsatz Lernender Systeme im Mobilitätsraum

Die Risiken und Herausforderungen liegen zunächst in der Technik selbst: Für jeden Verkehrsträger ist die Frage zu beantworten, für welche Teilfunktionen die aktuelle Technik einen zuverlässigen, sicheren und robusten selbstlernenden Betrieb gewährleisten kann. KI-basierte Systeme müssen kontinuierlich lernen, welche Interaktionen in welchen Teilbereichen des Mobilitätsraums auf welche Weise stattfinden. So kann ihr Zusammenwirken im Mobilitätsraum verstanden und kontinuierlich angepasst werden.

Folgende zentrale Herausforderungen zeichnen sich bei einem Einsatz Lernender Systeme im Mobilitätsraum ab:

- **Verhaltensmodelle:** In Zukunft werden verstärkt Verhaltensmodelle für Systeme benötigt, auch schon in der Forschung und Entwicklung. In der Folge werden Realdaten oftmals noch nicht vorhanden sein, wenn das Lernen mittels KI beginnt. Dementsprechend wird insbesondere mit synthetischen Daten gearbeitet werden. Daher sollten Verfahren entwickelt werden, die qualitativ hochwertige Verhaltensmodelle für die jeweilige Lernaufgabe ermöglichen bzw. sollten Mittel zur Qualifizierung von Verhaltensmodellen bereitgestellt werden.
- **Synthetische Daten:** Für Verhaltensmodelle werden realitätsnahe synthetische Daten durch Simulationen erstellt. Ein Lösungsweg kann darin bestehen, das Verhalten auch von Teilsystemen anhand von Güte- und Qualitätskriterien auf Basis der Kennzahlensysteme, die den Simulationen zu Grunde gelegt werden, zu optimieren. Existieren die Prozessmodelle, so kann aus den Gütekriterien ein synthetischer Optimierungsprozess mit synthetischen Daten entstehen, der die Erzeugung weiterer synthetischer Daten unterstützt. Eine wesentliche Herausforderung kann genau darin bestehen, solche Prozesse systematisch in Gang zu setzen und zu verstehen.
- **Datenverfügbarkeit und -qualität:** Qualität, Verlässlichkeit und Verifizierbarkeit von Daten sind unabdingbar für Lernende Systeme im Mobilitätsraum. Um zufriedenstellende und nicht zufriedenstellende Systemzustände des Mobilitätsraumes unterscheiden zu können, wird es verstärkt darauf ankommen, sowohl reale als auch synthetische Daten geeignet (selbstlernend) zu qualifizieren und die Qualifizierungen auf den Daten in Form von Labels festzuhalten. Durch das Labeln der Daten unter den relevanten Gesichtspunkten der Mobilität entsteht eine geeignete qualitative Bewertungsebene für das Lernen im Mobilitätsraum.
- **Lernen:** Organisation des Lernens und dessen Überwachung anhand geeigneter Qualitätskriterien und Regeln, sodass sich auch für unbekannte Szenarien ein gewünschtes, sicheres Verhalten ergibt. Als besondere Herausforderung sind dabei der Mischverkehr und die Interaktionen zwischen bereits hochautomatisierten und konventionellen (nicht oder nur wenig automatisierten) Verkehrsmitteln zu betrachten. Wenn sich beispielsweise unterschiedliche Zielkonflikte durch Zufallsentscheidungen ergeben, so werden manche von ihnen auch in Zukunft als wünschenswert bewertet.



Andere Entscheidungen werden sich als nachteilig erweisen. Ohne ein System von Qualitätskriterien ist aber nicht zu entscheiden, was als vorteilhaft oder nachteilig anzusehen ist. Damit das Lernen kein zufallsgesteuerter Prozess wird, ist die Entwicklung normativer Qualitätskriterien notwendig.

- **Harmonisierung von Individual- und Kollektivzielen im Mobilitätsraum:** Die Entwicklung von Richtlinien und Kennzahlensystemen, die die Harmonisierung der Qualitätskriterien messen und bewerten, wird entscheidend beeinflussen, welche Resultate das Lernen hervorbringt.
- **Sicherheit und Robustheit:** Gewährleistung von Sicherheit und Robustheit gegen Fehler, Störungen und Angriffe. Es bedarf genauer Anforderungen für durchweg definierte Betriebszustände, auch muss es Konzepte für den Notbetrieb und die Wiederaufnahme des Betriebs nach Störungen oder Ausfällen geben. Wesentliche Komponenten, die eine Form von Intelligenz oder Lernfähigkeit implementieren, müssen verifizierbar sein und ihr Anwendungsspektrum muss klar definiert sein. Wenn Systeme selbstständig weiterlernen, bzw. kontinuierlich lernen, müssen geeignete Verfahren (Lernprozess in isolierter, virtueller Lernumgebung) sicherstellen, dass sie keine Gesetze oder gesellschaftlichen Werte verletzen. In Frage kommen hierfür etwa Sandboxing und Validierung. Es muss Methoden für das Erkennen und Vermeiden eines Einsatzes neu gelernten Verhaltens außerhalb sicher gelernter Kontexte geben. Ebenso bedarf es zugehöriger Architekturmechanismen, die im Zweifelsfall sicherstellen, dass auf „bewährtes“ Verhalten zurückgegriffen wird.

Abgrenzung „Lernende Systeme“ und „Autonome Systeme“

Der Begriff „Lernende Systeme“ ist nicht identisch mit dem Begriff „Autonome Systeme“. Lernende Systeme sind weiter gefasst: Ein Regler kann beispielsweise autonom im funktionalen Sinne sein, muss aber nicht zwangsläufig lernen. Eine Abstandsregelung in einem Fahrzeug kann selbsttätig, also autonom funktionieren. Sie muss aber nicht lernend sein, weil die Kriterien des Reglers in einer Berechnungsformel fest kodiert sind und sich im Laufe der Zeit nicht ändern. Ein Lernendes System kann zwar auch vorkonfiguriert sein, ist aber in der Lage, selbst die eigenen Kriterien im Laufe der Zeit anzupassen, beispielsweise durch Interaktion mit anderen Systemen. Insofern ist eine der Autonomie anhaftende Intelligenz weniger umfassend als eine dem Lernenden anhaftende Intelligenz. Andererseits kann die Autonomie eines Systems im engeren Sinne mit dessen automatisiertem Funktionieren gleichgesetzt werden – das wiederum erleichtert die Vorhersagbarkeit des Verhaltens und ist gegebenenfalls unter sicherheits- und zertifizierungsbezogenen Aspekten einfacher zu behandeln. Insofern könnten zukünftig Systeme technischer Art, wie Fahrzeuge oder Schiffe, eher im Sinne der Autonomie mit Künstlicher Intelligenz auszustatten sein. Interagierende kollektive Systeme eines Mobilitätsraums wie beispielsweise Verkehr- oder Logistiksysteme könnten eher im Sinne von Lernenden Systemen mit Künstlicher Intelligenz auszustatten sein. Die Ausarbeitung der Unterschiede zwischen autonomem und lernendem Verhalten im engen und im weiteren Sinne ist als eine wesentliche Herausforderung für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz im Mobilitätsraum zu betrachten.

2.2 Lernende Verkehrsflusssysteme

Verkehrsflusssysteme umfassen die Verkehrsinfrastruktur sowie alle Verkehrselemente, die aktiv oder passiv am Verkehrsfluss teilnehmen. Da die Verkehrselemente auf den Verkehrsfluss einwirken, sind Verkehrsflusssysteme grundsätzlich rückgekoppelt.

Potenziale

Lernende Verkehrsflusssysteme können die individuelle Perspektive einer Verkehrsteilnehmerin oder eines Verkehrsteilnehmers mit der Kollektivperspektive von Organisationen verbinden. Das bedeutet nicht nur, dass sie den Verkehrsfluss unter Berücksichtigung der unterschiedlichen individuellen und kollektiven Zielsetzungen sowie der vorliegenden Infrastruktur lenken können. Sie vermögen es auch, die Infrastruktur aus dem gelernten Verhalten des Verkehrsflusses und gegebenenfalls gar die Zielsetzungen selbst zu verbessern. So kann beispielsweise die Verkehrsplanung in urbanen und suburbanen Räumen basierend auf gelernten Fakten versachlicht und verbessert werden. Simulationsstudien können mit Lerntechniken angereichert werden. Damit entstehen beachtliche Potenziale, den Verkehrsfluss genauer steuern und die Verkehrsinfrastruktur hinsichtlich der Abläufe effizienter managen zu können. Weil Individualziele und Kollektivziele mit verschiedenen Perspektiven einhergehen, sind unterschiedliche und potenziell konfliktive Interessen zu beachten. Individualziele sind vielfältig. Im Vergleich dazu sind Kollektivziele von Organisationen jedoch komplexer. Individualziele reflektieren primär den Wunsch Einzelner oder kleinerer Gruppen, sich möglichst effizient und komfortabel von einem Punkt zum anderen zu bewegen. Kollektivziele von Organisationen stellen eher Effizienz an die erste Stelle. Jedoch variieren Kollektivziele abhängig von der Organisationsart: Grundsätzlich kann zwischen Organisationen mit öffentlichem Interesse (Kommunen, Länder, Bund etc.) und solchen mit kommerziellen Interessen unterschieden werden. Zum kommerziellen Sektor zählen logistische Organisationen (Logistikdienstleister, Infrastrukturbereitsteller) und Organisationen, die bestehende Mobilitätsinfrastrukturen als Liefernde und Belieferte nutzen. Eine Mischform stellen öffentliche und private Verkehrsbetriebe sowie Unternehmen dar, die über einen Mix aus Individual- und Kollektivzielen auf den Mobilitätsraum einwirken.

Herausforderungen

Die unterschiedlichen Individual- und Kollektivzielsysteme gehen mit verschiedenen Herausforderungen für die Organisation von Verkehrsflusssystemen mittels Lernender Systeme einher: So müssen technische Umsetzungen gefunden und Kennzahlensysteme (kurz KPI-Zielsysteme oder KPIs für „Key Performance Indicators“) definiert werden. Entwickelt werden müssen ebenso Behandlungsmöglichkeiten für Zielkonflikte, die den Mobilitätsraum inhärent prägen. So z. B. zwischen dem Wunsch, eine bestimmte Strecke so schnell wie möglich zurückzulegen, was entweder durch den Ausbau von Straßen- oder Schieneninfrastruktur zu erreichen wäre. Hier muss eine Abwägung der Argumente, die für den Individualverkehr sprechen, gegen die von öffentlicher Infrastruktur abgewogen werden. Darüber hinaus werden die Individual- und Kollektivzielsysteme einem steten Wandel unterliegen. Um die Veränderungen durchgehend begleiten zu können, sollte ein maschinell gestützter Lernprozess

etabliert werden. Er soll die Systeme in die Lage versetzen, die kontinuierlich stattfindenden Entscheidungs- und Optimierungsprozesse geeignet zu steuern sowie anpassbar und transparent zu halten.

Ausblick

Da die Verknüpfung von Individual- und Kollektivzielen sowohl technisch als auch regulatorisch große Herausforderungen birgt, stellt sie einen zeitaufwendigen, langfristigen Prozess dar. Sie bedeutet, Neuland zu betreten – und das gleich in mehrfacher Hinsicht: Aus technischer Perspektive sind flexible KI-Lösungen umzusetzen, die auf Grund von Daten Zielkonflikte ausbalancieren oder zumindest Entscheidungsunterstützung geben können. Aus regulatorischer Sicht ist die Gewichtung der zu balancierenden KPIs zu definieren und kontinuierlich anzupassen. Über diese KPIs geschieht die Steuerung des Gesamtsystems. Eine intelligente Kompromissfindung von Individual- und Kollektivzielen ist unumgänglich, wenn die Systeme nicht sich selbst überlassen bleiben sollen. Dafür können Lernende Systeme eine wesentliche Rolle spielen. Da diese aber datengetrieben sind, müssen große Datenmengen geeignet verarbeitet werden können. Voraussetzung sind folglich Datenaufbereitungsalgorithmen (Labeling), die das Datenmanagement und die Entscheidungsfindung unterstützen. Auf diese Weise ermöglichen sie es, die Komplexität der KPI-Zielsysteme zu beherrschen.

2.3 Verkehrsträger: Straße, Schiene, Luftfahrt, Wasserstraße

| | Verkehrsinfrastruktur | Beförderte Personen pro Jahr | Personenkilometer pro Jahr | Fracht pro Jahr | Tonnenkilometer pro Jahr |
|---|---|---|---|--------------------------|--|
|  Straße | 830.000 km Straßen, ca. 45,1 Mio. Pkw, ca. 16,6 Mio. weitere Kraftfahrzeuge und Anhänger ³ | 59,5 ¹ Mrd. ⁸ | Individualverkehr: 965,5 Mrd. Öffentlicher Nahverkehr: 236,4 Mrd. ¹ | 3,63 Mrd. ¹ | 470 Mrd. ¹ |
|  Schiene | 33.400 km, 5.676 Personenbahnhöfe ³ | 2,8 Mrd. ⁹ | 95,8 Mrd. ⁹ | 365 Mio. t ¹ | 119 Mrd. ¹ |
|  Luftfahrt | 12 Hauptflughäfen, ca. 12.500 Luftfahrzeuge ⁷ | 225 Mio. ⁵ | 105,3 Mrd. ² (468 km über Dtl. pro Fluggast) | 4,7 Mio. t ⁶ | 1,3 Mrd. ¹ |
|  Wasserstraße | Seewasserstraßen: 23.000 km ³ Binnenwasserstraßen: 7.300 km ³ | Seeverkehr: 31.000 ¹ Binnenverkehr: 237.500 | N. A. | 66,4 Mio. t ⁴ | Binnenschiffahrt: 53 Mrd. ¹ |

Quellen: 1 Statistisches Jahrbuch 2017, S. 601 2 Statistisches Bundesamt, Verkehr auf einen Blick, 2013 3 Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 61, 2015, S. 182 4 BMVI 2017a, S. 57 5 BMVI 2017a, S.89 6 BMVI 2017a, S. 91 7 BMVI 2017a, S. 118 8 BMVI 2017a, S. 215ff. 9 BMVI 2017a, S.54–55

Straße

Potenziale

Auf der Straße kommen schon heute immer mehr automatisierte und vernetzte Anwendungen zum Einsatz. So geben etwa personalisierte Navigationssysteme individualisierte Routenempfehlungen. Dadurch kann der Verkehr sicherer und effizienter werden: Insbesondere kooperative Funktionen, die mehrere Verkehrsteilnehmer umfassen, können zukünftig Unfälle und negative Umweltauswirkungen reduzieren. Die Menschen müssen perspektivisch immer weniger selbst lenken beziehungsweise das Fahren überwachen und gewinnen dadurch an frei nutzbarer Zeit im Fahrzeug – sowohl für die Erholung als auch für Produktivitäten. Der individuelle Zeitgewinn sowie die Verringerung von Staus und Umweltverschmutzung können die gesellschaftliche Produktivität steigern. Beispielsweise ist denkbar, dass nicht alle Verkehrsteilnehmer den gleichen Zeitdruck haben, an ihr Ziel zu gelangen. Wenn dies über die Vernetzung der Verkehrsteilnehmer transparent wäre, könnte ein freiwilliges Vorfahrtgewähren gegen Vergütung erfolgen; geeignete Mikrotransaktionen zwischen Verkehrsteilnehmern könnten diesen Handel sowie Bezahlvorgänge ermöglichen. Autofahren könnte so komfortabler und mit weniger Stress behaftet sein als heute.

Sowohl im Personen- als auch dem Warenverkehr ergeben sich Optimierungspotenziale: So können Effizienz und Flexibilität etwa dadurch zunehmen, dass Arbeitszeitregelungen entfallen, die für menschliche Fahrerinnen und Fahrer unabdingbar waren. Die Digitalisierung und Vernetzung des Verkehrsraums ermöglichen es außerdem, die physische Infrastruktur kosteneinsparend zu reduzieren sowie Nutzung weiter zu flexibilisieren.

Herausforderungen

Eine zentrale Aufgabe besteht darin, die Interaktion der Lernenden Systeme mit anderen Verkehrsteilnehmern in einem Mischverkehr sicher zu gestalten, etwa bei Spurwechseln, dem Eingliedern in den Verkehr oder dem Überqueren von Fahrbahnen. Sicherheitsnachweise und Freigaben müssen so gestaltet werden, dass sie mit geltenden Regelungen im Einklang sind. Dennoch gibt es einen weiten Bereich nonverbaler Kommunikation der Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer untereinander, der sich einer expliziten Regelung nicht vollständig erschließt. Grundsätzlich muss die Interaktion mit dem Menschen antizipierbar sein, Verhaltensweisen der Fahrzeuge müssen für Menschen auch verständlich und konsistent sein. „Will“ ein hochautomatisiertes Fahrzeug einem menschlichen Fahrer Vorfahrt gewähren, so muss es dies in irgendeiner Form anzeigen bzw. kommunizieren können. Daher wären explizite Interaktionen mithilfe von Anzeigen, Tönen o.ä. oder andere implizite Interaktionen eine mögliche Herangehensweise, um dieses Problem zu lösen.

Die Integration von automatisierten Systemen, die einem einmal gelernten Handlungsmuster folgen, in den vorhandenen Mobilitätsraum stellt bereits hohe Anforderungen. Noch komplexer gestaltet sich die Situation, wenn man hochautomatisierten Systemen erlaubt, auf Basis eigener Erfahrung dazuzulernen und ihr Verhalten dann entsprechend zu verändern.

Diese Veränderungen müssten dann beispielsweise für Sicherheitsnachweise antizipiert werden. Das könnte bedeuten, dass für Sicherheitsnachweise neue

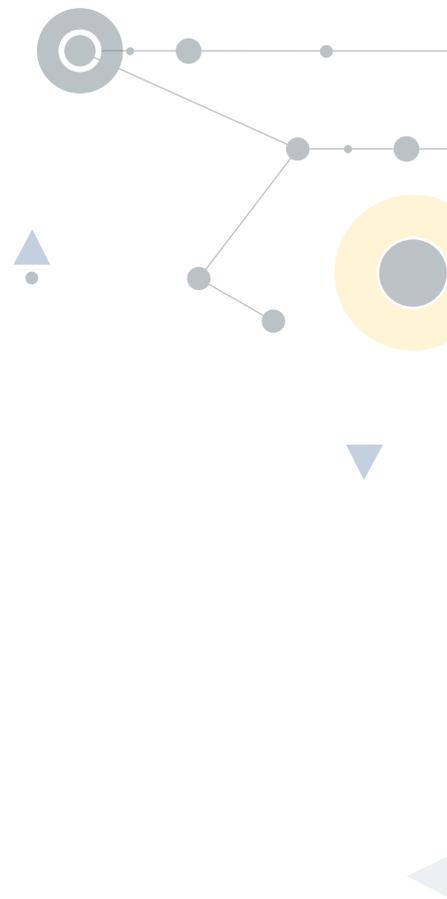
Prozeduren erarbeitet werden müssen: für Funktionen, die zum Zulassungszeitpunkt noch nicht existieren. Genauso müssen Szenarien abgedeckt sein, die zum Designzeitpunkt nicht erwartet und vom System selbst erlernt wurden. Resilienz herzustellen und zu bewahren stellt bei Systemen, die sich im Betrieb anpassen, Potenzial und Herausforderung zugleich dar. Dementsprechend müssen Freigabeverfahren angepasst werden, um Updates und Veränderungen während der gesamten Lebensdauer, ggf. sogar während der Fahrt, kontinuierlich aufnehmen zu können und zu ermöglichen.

Dieses Szenario birgt neben technischen Hürden und komplexen Designentscheidungen auch beachtliche regulative Herausforderungen. So müssen die Straßenverkehrsordnung (StVO) und die Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) angepasst werden. Viele Regularien sind sowohl auf einen menschlichen Fahrer als auch auf einen einmaligen Zeitpunkt der Sicherheitsüberprüfung bei einem zeitstabilen Systemverhalten ausgelegt. Verkehrsregeln müssen daher nicht nur digital, sondern auch logisch so aufbereitet werden, dass sie mit Mehrdeutigkeiten umgehen und Zielkonflikte ausbalancieren können.

Ausblick

Die Automatisierung und Digitalisierung erobern immer komplexere Umgebungen wie den Stadtverkehr. Die Fahrzeugautomatisierung wird in Zukunft durch den Einsatz Lernender Systeme empathisch werden: Die Systeme werden in der Lage sein, die Auswirkungen ihres eigenen Verhaltens zu antizipieren und zu berücksichtigen, um beispielsweise auf Bewegungsreaktionen oder auch emotionale Zustände anderer Verkehrsteilnehmer einzugehen. Sie werden auf diese Weise das kooperative Zusammenspiel der Verkehrsteilnehmer begleiten und sogar optimieren. Automatisierte, vernetzte Fahrzeuge können nicht nur PKW ersetzen, sondern zugleich werden auch neue Angebotsformen im öffentlichen Personen- sowie Güterverkehr möglich. Automatisierung und Vernetzung können den Personen- und Güterverkehr diametral verändern. Denn hochautomatisierte ÖV-Shuttles sowie Warentransporte können nach aktuellem und präzisiertem Bedarf gesteuert werden, um beispielsweise einen Linienverkehr zu einem hochverfügbaren und deutlich flexibleren System zu erweitern, das den Menschen ins Zentrum des Angebots rückt. In Randzeiten sind in einem gemischten Waren- und Güterverkehr eine optimierte Auslastung und erhöhte Effizienz möglich. Durch die Integration verschiedener Serviceangebote in eine Mobilitätsplattform sind auch neue Geschäftsmodelle und Finanzierungsvarianten denkbar. Intelligente Verkehrsknoten, sogenannte Smart Hubs, ermöglichen zudem verkehrsträgerübergreifend einen nahtlosen Verkehrsfluss von Personen und Gütern. Durch die domänenübergreifende Vernetzung und Koordination werden aber nicht nur intermodale Wegeketten optimiert, sondern auch Funktionalitäten verbessert. So kann zum Beispiel die Situationsinterpretation durch eine verteilte Erfassung von mehreren Straßenfahrzeugen, lokaler Infrastruktur und Drohnen optimiert werden, wenn diese Einzelinformationen über ein übergreifendes System konsolidiert und zur Verfügung gestellt werden.

Auf Verkehrsleitstellen kommen ggf. neue Aufgaben zu: Unterstützt von lernenden Assistenz- und Automationssystemen, ist der Operator verantwortlich für Entstörung, Überwachung, Notfallmanagement, Fahrgastservices oder Dispositionsentscheidungen. Er übernimmt damit sowohl lokale, fahrzeugspezifische Aufgaben als auch eine globale Verkehrssteuerung und deren Wechselwirkungen.



Schiene

Potenziale

Ein wichtiges Einsatzgebiet von Lernenden Systemen im Schienenverkehr ist das automatisierte bzw. fahrerlose Fahren. Automatisierte und fahrerlose Straßenbahnen, Metros, S-Bahnen und Züge des Personen- und Güterverkehrs ermöglichen nicht nur eine höhere Kapazität des Schienennetzes. Darüber hinaus ermöglichen sie es, das Verkehrssystem auf den Kundenbedarf zuzuschneiden und dadurch zu optimieren, etwa durch flexiblere und kürzere Taktungen des öffentlichen Verkehrs und eine angepasste Beförderungskapazität.

Schon heute existieren automatisierte, fahrerlose Schienensysteme, z. B. bei Metros oder an Flughäfen. Auch gibt es infrastrukturintensive Sicherungssysteme (wie z. B. das European Train Control System – ETCS), welche die Automatisierung im Schienenverkehr adressieren. Dies betrifft im Wesentlichen infrastrukturseitig ausgestattete und abgeschlossene Systeme, d. h. solche, die keine Wechselwirkung mit anderen Transportmodalitäten besitzen. Hochautomatisiertes bzw. fahrerloses Fahren im Mischverkehr oder auf Strecken, die mit weniger Sicherungsinfrastruktur ausgestattet sind, benötigt derweil jedoch auch Intelligenz am Fahrzeug. Diese wird notwendig sein, um entsprechend der heutigen Tätigkeiten des Triebfahrzeugführers die Umgebung zu beobachten und zu erfassen, die Entwicklung der Verkehrssituationen vorherzusagen und das Schienenfahrzeug entsprechend zu steuern.

Ein Spezialfall für die Bahnautomatisierung sind sogenannte Driver Advisory Systems. Diese intelligenten Assistenzsysteme, die auf Basis neuer Algorithmen funktionieren, erlauben effiziente Fahrstrategien. Auf diese Weise lassen sich Energieeffizienz, Streckenkapazität, Betriebsstabilität und Systemzuverlässigkeit optimieren. Durch intelligente Automatisierung wird der Betrieb flexibler – ähnlich wie im Straßenverkehr kann der Schienenverkehr bedarfsorientiert bedient werden, indem stillgelegte Strecken mit kleinen, hochautomatisierten Schienenfahrzeugen wiederbelebt werden. Darüber hinaus können moderne KI-Methoden verlässlichere Informationen darüber geben, welche Elemente der Verkehrsflotte bzw. der Verkehrsinfrastruktur verfügbar sind (siehe Kapitel 3.3).

Herausforderungen

Die Automatisierung des Schienenverkehrs muss das Zusammenspiel der Fahrzeuge mit Infrastruktur und Leittechnik im gesamten System berücksichtigen. Aktuelle Regularien, die beispielsweise die Sicherheit im Schienenverkehr regeln, setzen meist die bisher eingesetzte Technologie voraus. Technologische Veränderungen werden voraussichtlich auch Anpassungen von entsprechendem Regelwerk im Bahnbetrieb erfordern. Insbesondere eine nicht-rückwirkungsfreie Vernetzung mit anderen Systemen, zum Beispiel durch ein gesteuertes Gesamt-Verkehrsmanagement, stellt ein potenzielles Sicherheitsrisiko dar. Wenn beispielsweise mehrere Züge aufeinander warten, weil sie Zubringer für einander sind, dann kann das Warten einen unauflösbaren Rückstau auslösen oder Strecken zeitweise überbelasten.

Moderne KI-Methoden können als elementare Komponenten in der gesamten Verarbeitungskette des hochautomatisierten Fahrens eine wesentliche Rolle

spielen. Sie können zum Beispiel in der Perzeption und Szeneninterpretation zum Einsatz kommen, bei der Lokalisierung, bei der Prädiktion, bei der Planung und Umsetzung der optimalen Fahrstrategie und bei weiteren Entwicklungsinfrastrukturthemen wie z. B. dem Aufbau und der Verwaltung der notwendigen großen Datensätze oder dem genauen Kartographieren der Umgebung. Besonderes Potenzial liegt auch in online-lernenden Systemen. Noch stärker als offline-lernende Systeme müssen bei diesen – insbesondere bei sicherheitskritischen hochautomatisierten Systemen – sicherheitsrelevante Systemeigenschaften und Zielerreichung begleitend abgesichert werden.

Ausblick

Der intelligente und automatisierte Schienenverkehr der Zukunft wird durch flexible Anpassungen an den Beförderungsbedarf gekennzeichnet sein. Digitalisierung und Automatisierung werden sowohl den Betrieb als auch die Wartung und die Instandhaltung der Fahrzeuge sowie der Infrastruktur verändern.

Die Kapazität der Strecken wird in Zukunft durch sogenanntes dynamisches Flügeln (analog zum Platooning auf der Straße, also dem In-der-Kolonnen-Fahren von LKW) erhöht: Züge werden über eine direkte Kommunikationsverbindung virtuell gekoppelt, sodass die Kapazitätsbegrenzung der aktuellen Blocksicherung (Streckenaufteilung in Blöcke als Sicherheitszonen) überwunden wird. Durch eine „Rail2X-Vernetzung“ wird analog zu „Car2X“ (d. h. Kommunikation der Schieneninfrastruktur mit der Umwelt analog zu der des Autos mit der Umwelt) auch eine domänenübergreifende Kommunikation ermöglicht, sodass beispielsweise Autos an unbeschränkten Bahnübergängen vor nahenden Zügen gewarnt werden können. Manche physischen Infrastrukturen, wie zum Beispiel Balisen (Informationspunkte im Eisenbahngleis), können durch bordeigene Sensorik „virtualisiert“ und kostensparend zurückgebaut werden. Neue Zugbildungs- und -sicherungssysteme führen in Verbindung mit optimierten, lernenden Logistiksystemen und neu gestalteten automatisierten Umschlagsterminals zu Effizienzgewinnen und Verlagerung von Verkehr von der Straße auf die Schiene. Entsprechend werden sich zukünftig auch Arbeitsplätze von Fahrdienstleitern verändern. Mithilfe Lernender Assistenz- und Automatisierungssysteme gestalten sie ihre Aufgaben effizienter und sicherer.

Luftfahrt

Potenziale

Das wirtschaftliche Potenzial der Automatisierung im Luftverkehr liegt laut einer Studie von UBS bei 35 Milliarden US-Dollar jährlich – für die gesamte Branche (UBS 2017). Die Einsparungen sollen zwar durch Prozessoptimierung – insbesondere durch kleinere Crews, Reduzierung der Ausbildungskosten und weniger Pilotinnen und Piloten – realisiert werden. Eingeschlossen dabei sind aber auch bereits reduzierte Versicherungsprämien durch die prognostizierte höhere Flugsicherheit (UBS 2017).

Herausforderungen

Die rechtlichen und regulatorischen Herausforderungen sind mit denen der Seeschifffahrt zu vergleichen. Pilotinnen und Piloten lassen sich nicht auf ihre

rein fliegerischen Aktivitäten reduzieren. Darüber hinaus verantworten sie Crew, Passagiere, Maschine und Ladung und sind die bestimmende Autorität an Bord. Die nationale Luftverkehrsordnung, die Vorschriften der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation (International Civil Aviation Organization, ICAO) und auch die Luftraumordnung basieren auf der Annahme, dass Menschen Verantwortung innehaben. Dies spiegelt sich beispielsweise in der Rolle der Sichtweite (Bodensicht, horizontaler und vertikaler Abstand zu den Wolken) in den Lufträumen (LuftVO 2015, §10) sowie in der Verwendung optischer Signale als Fall-Back-Mechanismus bei einem Ausfall der Funkverbindung wider.

Komplett autonome Luftfahrzeuge stoßen derzeit auf wenig gesellschaftliche Akzeptanz: Einer Studie zufolge äußerten 54 Prozent von 8000 Befragten, dass sie nicht ohne Piloten fliegen wollten. Lediglich 18 Prozent konnten sich dies vorstellen (UBS 2017).

Ausblick

Da die regulatorischen Hürden relativ hoch sind, finden viele Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im unkontrollierten Luftraum statt. So tragen etwa Drohnen zu individuellen Mobilitätslösungen bei oder unterstützen logistisch. Die Teilnahme hochautomatisierter Systeme am Luftverkehr birgt hohe Risiken. Deswegen scheint es – ähnlich wie in der Schifffahrt – sinnvoll, noch mehr Erfahrungsdaten über die Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Sensoren sowie von zur Autonomie befähigten Systemen zu erlangen, bevor die rechtlichen und regulatorischen Aspekte bearbeitet werden.

Wasserstraße

Potenziale

Es existieren verschiedene Faktoren, die die Entwicklung von hochautomatisierten Schiffen im zivilen Bereich vorantreiben. Zunächst versprechen hochautomatisiert fahrende Schiffe einen Sicherheitsgewinn. Denn die meisten Unfälle und Kollisionen in der Schifffahrt werden durch menschliches Versagen verursacht (EMSA 2016). Zweitens könnten hohe Lohn- und Betriebskosten reduziert werden und das Fehlen geeigneter Nachwuchskräfte ausgeglichen werden (AMS 2017). Darüber hinaus könnten durch ein verändertes Antriebssystem und die Bauform des Schiffes weitere Einsparungen erzielt werden (Kretschmann et al. 2017).

Autonomie und intelligente Assistenzsysteme ermöglichen es auch, neue Methoden der Schiffsführung anzuwenden und die vorhandene Infrastruktur effizienter zu nutzen. Kontrovers diskutierte und teure Infrastrukturprojekte wie Flussvertiefungen werden weniger benötigt.

Erste hochautomatisierte Schiffe gibt es bereits: Die norwegische Reederei Kongsberg baut den Frachter „Yara Birkeland“, der innerhalb der 12-Meilen-Zone Norwegens – also in Küstengewässern – eingesetzt werden soll (Kongsberg 2018). In Großbritannien ist bereits 2017 das hochautomatisierte Schiff „C-worker-7“ (Paton 2018) registriert worden. Es soll in Küstengewässern zur Forschung und Exploration eingesetzt werden. Im zivilen Bereich sind die Aktivitäten zurzeit im Wesentlichen auf nationale Gewässer beschränkt. Zudem gibt es umfangreiche weitere Initiativen unter anderem in Südkorea und China.

Herausforderungen

Für den internationalen Einsatz erarbeitet die Internationale Seeschiffahrts-Organisation (International Maritime Organization, IMO) zurzeit geeignete Spezifikationen. Die Regeln und Verhaltensweisen, die durch die IMO festgelegt sind, basieren auf guter seemännischer Praxis: der sogenannten Seemannschaft, wie sie beispielsweise in der „Kollisionsverhütungsordnung“ (COLREG) festgehalten ist. Sie beinhaltet bestimmte Grundannahmen, die im Falle hochautomatisierter Systeme nicht mehr erfüllt wären. So sehen die Regelwerke etwa eine Kapitänin oder einen Kapitän vor. Sie verantworten Schiff, Besatzung und Ladung und können gegenüber allen Autoritäten als Bevollmächtigte auftreten. Eine Auflistung regulatorischer Hemmnisse, die über die IMO gelöst werden müssten, wurde in einer Studie der dänischen Marineautorität erstellt (DMA 2017).

Technische Risiken, Betrieb und Wartung von empfindlichen, sensorbasierten Systemen unter extremen Einsatzbedingungen stellen derzeit noch weitere Hürden auf dem Weg zur hochautomatisierten Schifffahrt dar. Zu lösen gilt es zudem Fragen der Langzeitautonomie und der Resilienz bei technischen Störungen.

Ausblick

Aufgrund des harten Wettbewerbs in der internationalen Schifffahrt steht die Branche unter Kostendruck und Innovationszwang. Hochautomatisierte Systeme versprechen eine Entlastung: Einer Studie zufolge können mit einem hochautomatisierten Frachter über eine Dauer von 25 Jahren 4,3 Millionen US-Dollar im Vergleich zu einem traditionell bemannten Schiff eingespart werden (Kretschmann et al. 2017). Es ist aber fraglich, ob die Risiken und Betriebskosten der Technologie adäquat eingeschätzt wurden, da es keine hinreichend abgesicherten Beispiele gibt, die zur Bewertung herangezogen werden können. Bevor internationale Regeln neu gefasst oder verändert werden, sollte die Datenbasis erweitert werden. Denn so können Potenziale und Grenzen hochautomatisierter Systeme in der Schifffahrt besser beurteilt werden.

3. Primäre Handlungsfelder für Lernende Systeme im Mobilitätsraum

3.1 Sicherheit in intelligenten Verkehrssystemen

Lernende Systeme und weitere KI-Methoden haben das Potenzial, Aufgaben zu übernehmen, deren Komplexität oder mangelnde Formalisierbarkeit bislang technische Lösungen vor immense Herausforderungen gestellt haben. Lernende Systeme ermöglichen es, die Hochautomation neuer Funktionen technisch umzusetzen sowie existierende Funktionen sicherer und effizienter zu gestalten. Verbessert werden können existierende Funktionen wie etwa die vorausschauende Umgebungswahrnehmung, die Koordination des Verkehrs und die Selbstbeobachtung von Fahrzeugkomponenten. Ziel ist es, die Fahrzeugführung zu unterstützen.

Die inhärenten Eigenschaften von Lernenden Systemen sowie die Komplexität der Aufgaben und deren Lösungen erfordern es, die Sicherheit der Lernenden Systeme mit neuen Methoden zu prüfen. Damit Lernende Systeme in sicherheitskritischen Bereichen einsatzfähig sind, müssen Technologien, Mechanismen, Standards, Prozesse etc. für deren Absicherung, Überwachung, Bewertung und Zulassung geschaffen werden. Das Verhalten Lernender Systeme ist auf Grund der Komplexität der darunter liegenden Techniken oftmals schwierig oder gar nicht vorherzusagen oder erklärbar. Daher wird eine begleitende Absicherung von sicherheitsrelevanten Systemeigenschaften benötigt. Für Absicherungs- und Zulassungsbehörden müssen relevante Indikatoren (Geltungsbereich, Performance, nicht-funktionale Eigenschaften) beschrieben werden. Solche Indikatoren sind – Stand heute – kaum existent und müssen daher noch erarbeitet werden.

Fortschritte sind derzeit im Wesentlichen bei weniger komplexen Aufgaben zu verzeichnen: etwa bei einer Bilderkennung, die nur einen kleinen Input verarbeiten muss und bei reinem Fokus auf Singleframe-Bildverarbeitung mit nur einer Kamera arbeitet. Es zeichnet sich noch nicht ab, inwiefern eine Skalierbarkeit auf Zeitabhängigkeit, hohe Komplexität, schwierige Aufgaben, multisensoriellen Input etc. möglich ist. Im Straßenverkehr müsste das System beispielsweise gleichzeitig die Bewegungen von mehreren Verkehrsteilnehmern erfassen und interpretieren. Eine besondere Herausforderung – möglicherweise aber auch eine Chance – liegt in der Notwendigkeit der Selbstwahrnehmung eines Lernenden Systems (siehe Seite 8). Diese Selbstwahrnehmung kann Sicherheit erhöhen, indem das Lernende System sich selbst und seine Services einschätzt und hinsichtlich Integrität, Datensicherheit bzw. Vertraulichkeit und Serviceverfügbarkeit bewertet. Diese „Innensicht“ eines Systems könnte mit verfügbaren Daten anderer Systeme, d. h. Außensichten, kontrastiert werden. Unterschiedliche Einschätzungen der eigenen Sicherheitslage und jener von Systemen, die in ähnlichen Kontexten operieren, könnten so frühzeitig auf mögliche Probleme – oder Fehlfunktionen hinweisen.

Potenziale

- Lernende Systeme können die Sicherheit und Effizienz des Verkehrs deutlich steigern.
- Verlässliche, erklärbare Lernende Systeme bieten neue Lösungsansätze für Funktionalitäten wie automatisches Fahren oder automatisierte Verkehrsüberwachung und -steuerung.
- Sinnvolle und nachvollziehbare Sicherheitsstandards sorgen für gesellschaftliche und politische Akzeptanz sowie industrielle Umsetzbarkeit. Sie sind die Grundlage für einen wirtschaftlichen und akademischen Fortschritt im Bereich KI.
- Der Wirtschaftsstandort Deutschland kann Vorreiter im Bereich „sicherer und zuverlässiger KI“ oder Zertifizierung von KI werden.

Herausforderungen

- Mit Daten trainierte Systeme sind für Angriffe, die durch die Daten geschehen, besonders verwundbar. Herkömmliche Methoden der Validierung und Verifikation von Eingabedaten können dafür nicht verwendet werden. Somit sind auch bestehende Verfahren für die Verifikation und Zertifizierung von Software nicht einfach auf Lernende Systeme übertragbar.
- Es fehlen allgemeine Referenzdatensätze bzw. Szenariensammlungen, die als Benchmark für Lernende Systeme im Mobilitätsraum gelten könnten. Diese müssten auch nach Änderungen von Umweltbedingungen (z. B. Änderungen von Regularien, Änderungen von Umgebungsinfrastruktur) weiterverwendet werden können.
- Es gibt viele offene Fragen zur Zulassung und Zertifizierung von Lernenden Systemen. So ist es beispielsweise unklar, ob inkrementelle Updates von Funktionen möglich sein sollen oder ob stets Gesamtsysteme zertifiziert werden sollen.
- Eine spezielle Herausforderung stellt auch das Weiterlernen von Systemen nach der Inbetriebnahme dar. Einerseits erlaubt dies einem System, aus Erfahrung zu lernen. Andererseits könnten Angreifer gezielt Situationen auslösen, damit Lernende Systeme ein bestimmtes, gefährliches Verhalten erlernen.
- Um Lernerfahrungen zwischen Systemen kommunizieren zu können, wird ein definierter Prozess (und geeignete Technologien, wie Abstraktionsmechanismen) notwendig, um gelernte Zusammenhänge etwa von einem Fahrzeug auf die Flotte übertragen zu können.



Gestaltungsoptionen

Auf dem Weg zu einem intelligenten, vernetzten Mobilitätsraum sollen einheitliche Sicherheitsstandards für KI-Systeme entwickelt werden:

- Grundlagen schaffen:
 - Verstärkt Untersuchungen anstrengen, die die Erhebung und Bereitstellung von Daten bezüglich des Verhaltens von KI in verschiedenen (komplexen) Situationen erforschen
 - Rechtliche Grundlagen zur Festlegung der Verifikations-, Validierungs- und Zertifizierungskriterien einer KI schaffen
- Sicherheitsstandards gestalten:
 - Sicherheitsrelevante Systemeigenschaften für Online-Lernende-Systeme begleitend absichern
 - „Selbstwahrnehmung“ einer KI
 - Festlegung und Schaffung geeigneter Abstraktionsmechanismen zur einheitlichen Datenverarbeitung und Kommunikation bei Systemen mit mehreren, unterschiedlich technisch ausgestatteten Akteuren (z. B. Autos im Straßenverkehr)
 - Kriterien und Zielsysteme für Lernverhaltensstandards entwickeln, z. B. dürfen seltene kritische Situationen (Rare-Events) nicht verdrängt werden
 - Normierung der Beschreibung von KI-Software
 - Inhalte einer solchen Beschreibung festlegen
 - Beweisführung standardisieren/Beschreibung darlegen

3.2 Vernetzung und Interaktion von Systemen

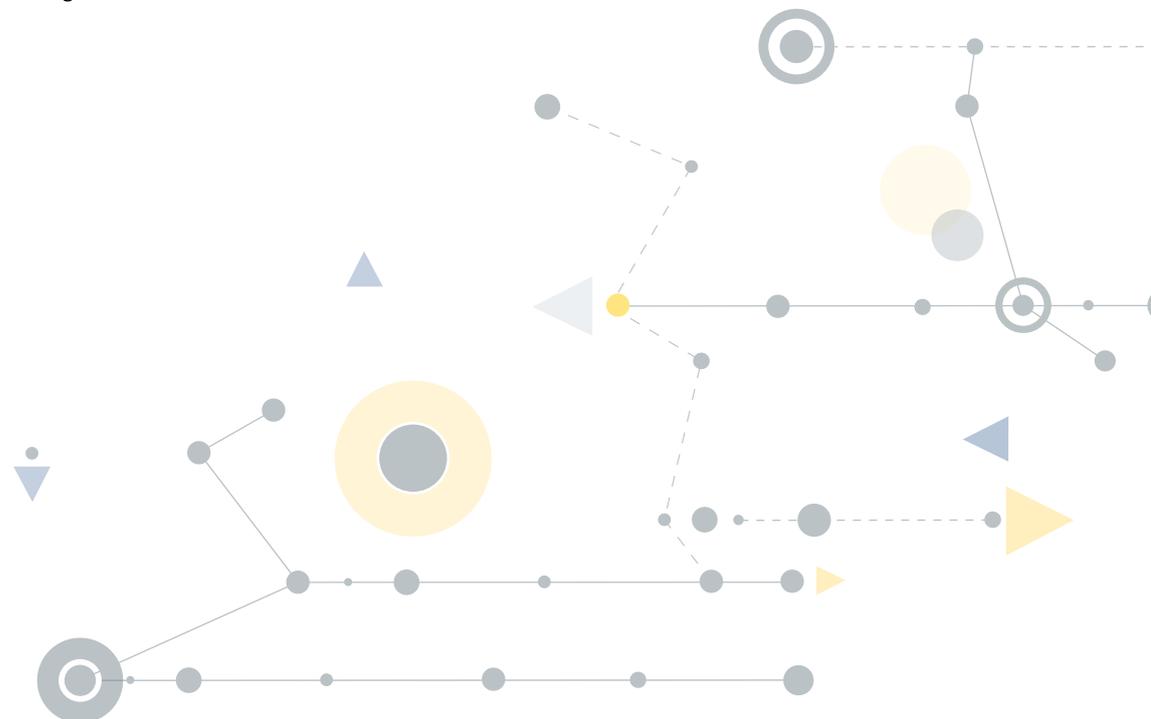
Künstliche Intelligenz kommt im Mobilitätsraum bereits heute in verschiedenen Ausprägungen vor: Erstens sind Assistenz- und Automatisierungssysteme Bestandteil in jedem einzelnen Verkehrssystem. Zweitens nutzen Mobilitätsdienstleister KI für den Betrieb, die Planung und das Assetmanagement. Die bestehenden Anwendungen und Plattformen sind auf die spezifischen Anforderungen optimiert, die eine exakte Position innerhalb des Mobilitätsraums erfordert. Die Kundenschnittstellen zielen darauf ab, die Nutzung des eigenen Mobilitätsangebotes einfach und attraktiv zu machen. Dementsprechend gibt es entweder keine Schnittstellen zu den Systemen anderer Anbieter, oder nur solche, die eingeschränkte Funktionalitäten zur Nutzung anbieten: z. B. ist das Rail&Fly-Angebot der Lufthansa auf Flug und Bahn beschränkt. Der Mehrwert für den Anbieter liegt darin, dass bestehende Verkehrsinfrastrukturen bei steigendem Verkehrsaufkommen optimal genutzt werden können und dadurch weniger Neubau notwendig wird.

Ziel ist es, multimodale Mobilität effektiv und benutzerfreundlich zu gestalten und dadurch ein anbieterübergreifendes Optimierungspotenzial zu adressieren. Dies setzt eine wesentlich stärkere Koppelung der beteiligten Systeme voraus. So könnte dann auf die zum Planen und Lernen notwendigen Daten verschiedener Anbieter zugegriffen werden. Prinzipiell kann dies auf zweierlei Wegen erreicht werden: Entweder durch ein zentrales System, das alle bestehenden Systeme orchestriert und auf die Daten der einzelnen Systeme zugreifen kann (im Folgenden als Orchestrator bezeichnet). Oder durch verteilte, miteinander kommunizierende und interagierende Systeme (Contributors), die über definierte Service- und Kommunikationsschnittstellen Daten austauschen, einschließlich der aktuellen Selbstwahrnehmung und der wahrgenommenen Interessen anderer Verkehrsteilnehmer in dem Kontext.

Bei Geschäftsmodellen innerhalb des Internet of Things (IoT) wird die Rolle eines Orchestrators gemeinhin als höherwertiger und somit attraktiver eingeschätzt als die Rolle eines Contributors. Daher besteht in der Praxis allerdings wenig Motivation, geeignete Schnittstellen zur Anfrage von Services bzw. Transportdienstleistungen zur Verfügung zu stellen, die auch von anderen Orchestrators benutzt werden könnten. Auf diese Problematik wird im Folgenden zunächst nicht eingegangen. Es besteht allerdings die Möglichkeit, dass durch die Selbstwahrnehmungsfähigkeit und die Kapazität, die Interessen anderer Beteiligten wahrzunehmen, eine zusätzliche Dimension besteht, die Geschäftsmodelle im Mobilitätsbereich erlaubt.

Zu den notwendigen Voraussetzungen und Bedingungen, die in beiden Fällen gegeben sein müssen, um eine gewisse Intelligenz, d. h. Kommunikations- und Lernfähigkeit, zu implementieren, gehören im Wesentlichen:

- **Verfügbare Infrastruktur-Daten:** Dies umfasst die grundsätzlichen Daten über Straßen-, Schienen-, Wasserstraßennetz und Flugverbindungen sowie die jeweiligen Zugangsmöglichkeiten. Diese Daten liegen den Betreibern der entsprechenden (öffentlichen) Infrastruktur vor.
- **Verfügbare Daten zu Mobilitätsereignissen:** Dies umfasst Daten über Verkehrsbewegungen über die genannte Infrastruktur in einem Detailgrad, der die Erfassung von (anonymisierten) Bewegungsprofilen ermöglicht. Mobilitätsdienstleister, Flottenbetreiber, aber auch Automobilhersteller und Privatpersonen verfügen über Daten, die hierfür relevant sind.



- **Verfügbare Daten zu temporären Ereignissen auf der Infrastruktur**, die die Mobilitätsereignisse beeinflussen, beispielsweise Staus, Baustellen oder Unfälle. Dienstleister im Betrieb von Infrastruktur (einschl. Straßenmeistereien, Bauunternehmen), mit der Sicherheit befasste Stellen (Polizei, Zoll etc.) sowie Kommunikationsdienstleister (floating car data) generieren diese Daten oder haben Zugang zu ihnen.
- **Daten mit geringen Latenzzeiten zur Verfügung stellen:** Das stellt hohe Anforderungen an die zugrundeliegende Telekommunikationsinfrastruktur (z. B. 5G). Im Wesentlichen können mehrere Latenzklassen unterschieden werden. Ultrakurze (>5 ms) Round-Trip-Zeiten (RTT) werden beispielsweise für Achsensteuerungen benötigt. Für Bewegungsplanungen sind RTT zwischen 50 und 80 ms akzeptabel. Koordination- und Routenplanung können RTTs über 300 ms tolerieren. Diese Anforderungen beeinflussen Architekturentscheidungen insofern, als Dinge lokal, auf Edge Devices oder in der Cloud berechnet werden können.
- Die Entwicklung von globalen und lokal erweiterbaren, transparenten **Zielkriterien und KPI-Zielsystemen** sowie Mechanismen, die der Zielerreichung dienen (Bonus-/Malusregeln, Nudging/Interaktionen mit Verkehrsteilnehmern).

Innerhalb der genannten Bereiche sind Daten häufig nur in proprietären Systemen vorhanden, in denen bestimmte Stakeholder die Daten besitzen. Es bestehen Inkompatibilitäten zwischen Systemen, und nicht alle relevanten Objekte (z. B. im Baustellenbereich) sind bereits vernetzt. Eine Vernetzung von Bausystemen könnte viele Vorteile für Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer bringen: Fahrerinnen und Fahrer könnten künftig über Routenplanungen und gegebenenfalls über direkte Kommunikation mit Assistenzsystemen präzisere Informationen erhalten; folglich könnte der Durchfluss zunehmen und Staus abnehmen. Ein besseres Assetmanagement könnte möglicherweise sogar die Dauer von Baustellen deutlich reduzieren.

Um datengetriebene Ansätze, d. h. lernfähige und intelligente Systeme, auf Basis dieser Daten zu entwickeln, müssen somit Daten in einem konsolidierten Format vorliegen. Unter Berücksichtigung bestehender Regulierungen (z. B. die Datenschutz-Grundverordnung) muss es eine verteilte Verarbeitung (Bewertung, Konsolidierung, Labeling) erlauben. Nur dann können entsprechende Algorithmen und Zielkriterien für Lösungen entwickelt werden, die alle Stakeholder einbeziehen.

Bei allen Herausforderungen müssen relevante Cybersicherheitsaspekte betrachtet werden. Ein breiter gesellschaftlicher Dialog ist Voraussetzung dafür, dass die Bevölkerung hochautomatisierte Systeme akzeptiert. Zudem sollten Schulungsangebote für das Personal eingerichtet werden.

Gestaltungsoptionen

- Stärkere Kopplung der einzelnen Systeme im Mobilitätsraum: So kann Zugang zu den Daten geschaffen werden, die für eine optimale Funktionsweise nötig sind
 - Schaffung von Anreizsystemen für Softwarebetreiber und -entwickler, die entsprechenden Schnittstellen und Techniken (wie bspw. Selbstwahrnehmung der Systeme) zu implementieren, um auf dieser Grundlage den benötigten Datenaustausch zu ermöglichen
 - Bereitstellung der Daten in einem konsolidierten Format
- Entwicklung von globalen und lokal erweiterbaren, transparenten Zielkriterien, KPI-Zielsystemen und -Mechanismen
- Schulungsmaßnahmen, die das Personal im Umgang mit diesen Systemen unterrichten
- Ausbau der Infrastruktur, um die erforderlichen geringen Latenzzeiten der Systemkommunikation zu gewährleisten (5G u. Ä.)
- Verfügbarkeit von Netzabdeckung und Breitband: 5G in der Fläche einführen, um im Verkehrssektor neue Mobilitätsservices und Assistenzfunktionen durch Echtzeitdatenerfassung und -verarbeitung realisieren zu können
- Auf- und Ausbau einer deutschlandweiten vernetzten Forschungsplattform für Mobilität als Entwicklungs-, Demonstrations- und Testumgebung, die von Forschungseinrichtungen und Industrie genutzt wird
- Erhöhung der Forschungsetats im Bereich KI und Digitalisierung in Forschungseinrichtungen und Industrie (Kompetenzzentren für Lernende Systeme etablieren, Leuchtturmprojekte fördern und verstetigen)

3.3 Verfügbarkeit der Verkehrsflotte und -infrastruktur

Für einen effizienten und wirtschaftlichen Betrieb des öffentlichen Personen- und Güterverkehrs bzw. auch des wachsenden Felds der As-a-service-Mobilität ist die Verfügbarkeit der Flotte bzw. auch deren Infrastruktur unerlässlich. Je komplexer die Verkehrsträger, desto höher ist jedoch die grundsätzliche Fehleranfälligkeit der Verkehrssysteme – zumindest, wenn sie nicht intelligent gewartet werden. Denn mechanische Komponenten leiden unter Verschleiß und moderne Technik fällt aus, wenn Fahrzeuge oder Infrastruktur aufgrund unvorhergesehener Wartungsarbeiten kurzfristig nicht verfügbar sind. So nimmt nicht nur die Zuverlässigkeit der Verkehrssysteme ab. In der Folge sinkt auch die Akzeptanz für bestimmte Verkehrsträger: Das zeigt sich etwa bei Störungen oder dem Ausfall von Zügen, Weichen, Signalsystemen, die schließlich auch Verspätungen im Bahnverkehr verursachen.

Mithilfe intelligenter Zustandsüberwachungen, vorausschauender Wartungen und intelligenter, adaptiver Problembekämpfung kann die Verfügbarkeit der Assets (Verkehrsflotten) erhöht bzw. vorausschauend gestaltet werden. Dafür benötigen die Lernenden Systeme laufend Daten aus unterschiedlichen Quellen, aus denen sie typische Ausfallszenarien prognostizieren und so proaktiv in

Wartung und Instandhaltung eingreifen können. Konkret sollen eine laufende Inspektion, das Monitoring und die Auswertung von aufgenommenen Sensor- und Telemetriedaten stattfinden, zum Beispiel Temperaturen, Zeitmessungen, Bildaufnahmen etc.

Gerade im Mobilitätssektor gibt es viele Möglichkeiten für eine intelligente Zustandsüberwachung: Sensoren können direkt an Infrastruktur und Fahrzeugen zur Überwachung installiert werden. Zusätzlich kann eine weitere mobile Sensorik, z. B. über Drohnen, die Infrastruktur überwachen. Eine infrastrukturseitig verbaute Sensorik kann Fahrzeuge monitoren, indem geeignete Zählpunkte und Zählmethoden aus der Aggregation der Daten abgeleitet werden. Dies gibt ein weites Anwendungsfeld für eine Mobilitätsplattform, Daten intelligent zu kombinieren, durch KI zu verarbeiten und Schlüsse für eine optimierte prädiktive Wartung zu ziehen. Ziel ist es, eine hundertprozentige Verfügbarkeit der Mobilität zu gewährleisten.

Exakte Prognosen sollen nicht ausschließlich für gegenständliche Ressourcen wie etwa Waggons oder Triebwagen erstellt werden. Verfügbarkeit betrifft genauso personelle Ressourcen. Lernende Systeme können zu einer zuverlässigen Personaleinsatzplanung in vielfältiger Weise beitragen: Sie können die Personaleinsatzplanung kontinuierlich und in Echtzeit optimieren, indem sie laufend aktuelle Daten erfassen und berechnen. Darüber hinaus liefern sie Verfügbarkeitsprognosen, die stets aktuelle Informationen beinhalten und die Personaleinsatzaspekte vorausschauen. Dafür berechnet die KI aus Vergangenheitsdaten mittels Zeitreihenanalyse Prognosen. Solche Prognosen können sich beispielsweise auf saisonale krankheitsbedingte Ausfallmuster beziehen. Ebenso können sie Qualifikationsprofile darstellen, die Hand in Hand mit der Fortentwicklung der technischen Ressourcen und der Wartungsbedarfe einhergehen. Lernende Systeme können die Fortentwicklung der Verkehrsflotte und der Verkehrsinfrastruktur kontinuierlich beobachten, relevante Belange der Personaleinsatzplanung automatisch lernen und damit helfen, den Personaleinsatz auf die Verkehrsflotte und auf die Verkehrsinfrastruktur kontinuierlich abgestimmt zu halten.

Gestaltungsoptionen

Um den Betrieb eines Mobilitätssystems mittels KI effizienter und wirtschaftlicher zu gestalten, müssen unterschiedliche Voraussetzungen geschaffen werden:

- Nutzung von KI-basierten Lösungen für die intelligente Kombination und Verarbeitung der gesammelten Daten
 - Vorhersage typischer Ausfallsituationen mittels Lernender Systeme
 - Intelligente Zustandsüberwachung, vorausschauende Wartung und intelligente, adaptive Problembehebung, um die Verfügbarkeit der Assets zu erhöhen bzw. um sie vorausschauend zu gestalten
- Integration von KI-basierten Lösungen in die Personaleinsatzplanungen, um Verfügbarkeitsprognosen und Qualifizierungsbedarfe und -profile zu erstellen

3.4 Mensch-Maschine-Interaktion (MMI)

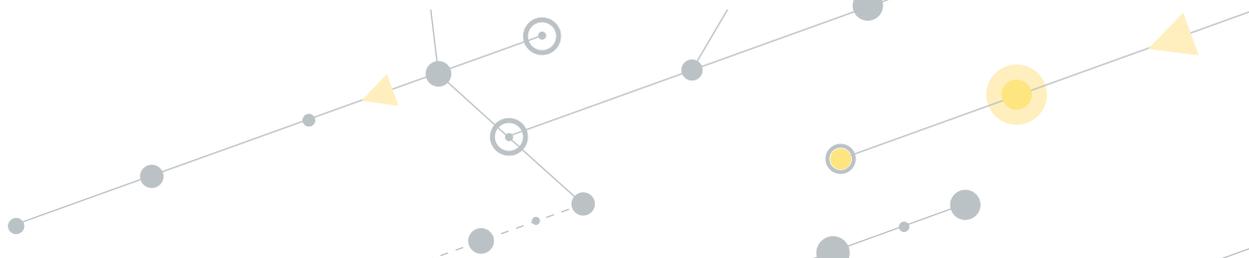
Menschen interagieren mit technischen Systemen im Mobilitätsraum auf vielfältige Weise und in verschiedenen Rollen. Als Pilotinnen und Piloten, Fahrgäste, Fußgängerinnen und Fußgänger oder Radfahrerinnen und Radfahrer sind sie direkte Verkehrsteilnehmer. Darüber hinaus beteiligen sich Menschen in verschiedenen Rollen an der Mobilitätsplanung, -überwachung und -steuerung, etwa als Verkehrsingenieurinnen und -ingenieure, Stadtplanerinnen und -planer, Politikerinnen und Politiker oder Anwohnerinnen und Anwohner. Zudem bieten sie verschiedene Services auf Plattformen an oder nutzen diese. Damit die Interaktion zwischen Mensch und Maschine erfolgreich ist, müssen die Mensch-Maschine-Schnittstellen von Beginn an passgenau und nutzerfreundlich gestaltet sein.

Dementsprechend befinden sich wichtige Mensch-Maschine-Schnittstellen überall im Mobilitätssystem: an professionellen Arbeitsplätzen, in Leitstellen oder Verkehrsmanagementzentralen, an Arbeitsplätzen für professionelle Fahrerinnen und Fahrer oder Pilotinnen und Piloten, bei Anwendungen für die Buchung von Carsharing-Fahrzeugen, für den Ticketverkauf oder für das Suchen von Fahrtverbindungen im ÖPNV bis hin zur Drucktaste an Ampelanlagen.

Beispiele für Mensch-Maschine-Schnittstellen im Mobilitätsraum

Durch Lernende Systeme entstehen im Mobilitätsraum neue Mensch-Maschine-Schnittstellen, die Menschen im Umgang mit komplexen Systemen oder Zusammenhängen unterstützen. Beispiele hierfür sind multimodale Reiseassistenten für Individualreisende, neue Leitstellen für die Verkehrssteuerung oder komplexe Interaktionen im Straßenverkehr, insbesondere in einem Mischverkehr mit automatisierten und nicht-automatisierten Fahrzeugen.

Reiseassistenten in einem vernetzten Verkehrssystem stehen vor einer komplexen Herausforderung. Aus einer großen, sich dynamisch verändernden Auswahl sollen sie Reisenden genau nach individuellem Bedarf Reiseoptionen und Unterstützung entlang der Reisekette bieten. Dafür müssen die Anwendungen zahlreiche Systeme und Funktionen integrieren – von der Buchung bis zum automatischen Haltewunsch und der Innenraumnavigation in Bahnhöfen. Voraussetzung dafür ist der Zugang zu den relevanten Daten. Die Funktionen von Reiseassistenten sind weniger sicherheitskritisch und haben eine starke Komfortorientierung. Das Potenzial Lernender Systeme besteht darin, insbesondere individuelle Nutzerpräferenzen zu lernen. Auf dieser Basis können sie Angebote und Hilfestellungen während der Reise exakt an die Präferenzen anpassen, um so eine sehr große Anzahl von Optionen und möglichen Funktionen ergonomisch passend aufzubereiten. Dabei können sie auch individuelle Einschränkungen oder Behinderungen sehr gut berücksichtigen. Auch die aktuelle Situation, den Kontext und sogar die Gemütslage der Nutzerin oder des Nutzers vermögen sie einzubeziehen – immer unter der Bedingung, dass Daten dazu vorliegen. Vorschläge berücksichtigen in der Folge das Wetter, den Terminkalender sowie den identifizierten physischen und emotionalen Zustand einer Anwenderin oder eines Anwenders. Das Resultat: Eine lernende Assistenz, die empathisch erscheint und intuitiv die Bedarfe der Menschen erfüllt.



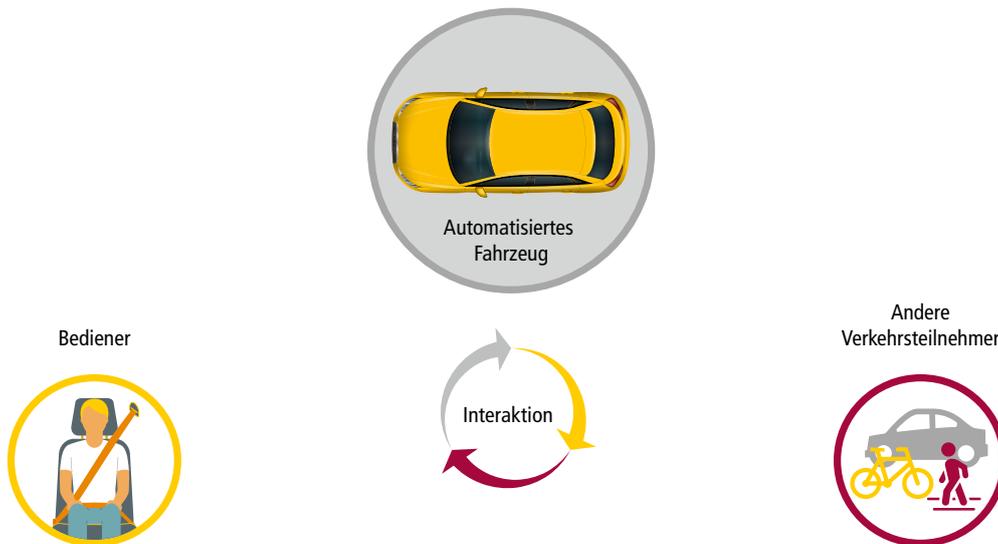
Wenn Verkehrsangebote immer diversifizierter und automatisierter werden, ergeben sich im Bereich neuer **Leitstellen** möglicherweise zahlreiche neue Aufgaben: beispielsweise im integrierten Flottenmanagement, wo ein Leitstand die Überwachung der automatisierten Disposition, das Routing und Lademanagement sowie die Remote-Steuerung einzelner oder mehrerer Fahrzeuge in Problemfällen erfüllen könnte. Über MMI kann die Bedienerin oder der Bediener insbesondere darin unterstützt werden, die Auswirkungen verschiedener Handlungsoptionen in vernetzten und stark gekoppelten Systemen zu überblicken und geeignet zu wählen. Das System kann nicht nur aus technischen Messdaten und Simulationen lernen. Darüber hinaus besteht das Potenzial, dass die technischen Systeme durch geeignete Interfaces direkt von den professionellen Bedienerinnen und Bedienern lernen können, um insbesondere nicht-normative Situationen zu lösen und immer passendere Optionen vorzuschlagen.

Besondere Herausforderungen ergeben sich bei der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstellen für die komplexen **Interaktionen im Straßenverkehr** mit automatisierten und nicht-automatisierten Fahrzeugen. Die Interaktionen beziehen Infrastruktur, Fahrzeuge, Fahrerinnen und Fahrer sowie alle anderen Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer ein. Mensch-Maschine-Schnittstellen existieren einerseits im Fahrzeug, zu FahrerIn oder Fahrer sowie zu Fahrzeugnutzerin oder -nutzer. Andererseits gibt es Schnittstellen nach außen zu anderen Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern. Bereits heute stellt die Vielzahl neuer Funktionen im Fahrzeug eine Herausforderung für die Ergonomie dar. Durch die vielen Aufgaben und Möglichkeiten, die den Fahrerinnen und Fahrern bzw. Bedienerinnen und Bedienern zur Verfügung stehen, sinkt deren Aufmerksamkeit für das Umfeld. Die Folge: Trotz Unterstützungs- und Assistenzsystemen begehen sie Fehler, die häufig in Unfälle münden. Das Vorhandensein der Assistenzsysteme vermittelt oft ein trügerisches Gefühl von Sicherheit. Darüber hinaus kennen viele Bedienerinnen und Bediener die Funktionen und Möglichkeiten der Systeme nicht hinreichend, sodass sie sie nicht oder falsch einsetzen. Gerade hier können Lernende Systeme sehr viel bewirken, wenn sie die komplette Fahrzeugsteuerung übernehmen. Zudem variiert die Bedienung von einem Fahrzeug zum nächsten. Gerade bei einem voraussichtlich steigenden Anteil von wechselnder Fahrzeugnutzung (z. B. durch Car-sharing) ist es wichtig, dass Nutzerinnen und Nutzer nicht überfordert werden und insbesondere sicherheitskritische Abläufe korrekt bedienen können.

Je höher der Automatisierungsgrad ist, desto wichtiger ist, dass die Nutzerin oder der Nutzer ein korrektes Verständnis von der Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Fahrzeugautomation hat. Eine gut gestaltete MMI muss ein Kontrollvakuum vermeiden. Dies ist insbesondere der Fall, wenn der Automationsgrad durch Systemgrenzen oder gezielte Eingabe wechselt.

Mit der Fahrzeugautomation werden Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern komplexer. Denn sowohl die Automation als auch die FahrerIn oder der Fahrer bzw. die Nutzerin oder der Nutzer können nun beispielsweise mit einer Fußgängerin oder anderen Autofahrern in Interaktion treten. Den anderen Verkehrsteilnehmern ist aber nicht unbedingt klar, „wer“ gerade welche Aufgabe in der Fahrzeugführung innehat. Dadurch werden insbesondere die hohen Anforderungen an die Konsistenz zwischen fahrzeuginterner und fahrzeugexterner MMI evident. Sowohl die explizite als auch die implizite Kommunikation müssen konsistent sein. Das Bewegungsverhalten des Fahrzeugs ist dabei Teil der impliziten Kommunikation nach innen und außen.

Automatisierte Fahrzeuge im Mischverkehr



Das Potenzial Lernender Systeme liegt unter anderem darin, eine empathisch wirkende Automation zu erzeugen, die die Auswirkungen ihrer Interaktion auf alle Beteiligten vorhersehen, berücksichtigen und sich kontextsensitiv anpassen kann. So können Lernende Systeme beispielsweise den Nutzzustand (kognitiv und emotional) erkennen und mit der jeweiligen Verkehrssituation in Beziehung setzen. In der Folge können die MMI im Fahrzeug und das Verhalten der Fahrzeugautomation angepasst werden. Aus den Reaktionen anderer Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer lernt KI kontinuierlich, in ähnlichen Situationen deren Verhaltensweisen vorherzusagen und Interaktionen anzupassen.

Große Herausforderungen liegen darin, dass sich mehrere Lernende Systeme in Interaktion befinden (Fahrerinnen und Fahrer, Fahrzeugautomation bzw. MMI, andere Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer). Denn gerade durch deren Lern- und Anpassungsfähigkeit werden die Interaktionen immer komplexer. Ausreichende, verlässliche Datengrundlagen für das Lernen von menschlichen Zuständen und Verkehrssituationen sind unabdingbar.

Potenziale und Herausforderungen

Der Nutzen von guter MMI besteht darin, den Menschen zu entlasten: Sie soll Bedienungen und Interaktion erleichtern, die Multimodalität durch Vernetzung vielfacher Systeme vereinfachen bzw. überhaupt nutzbar machen. Wie das gelingen kann, haben die Beispiele „Reiseassistent“ und „Interaktionsgestaltung im Straßenverkehr“ veranschaulicht. Eine gelungene MMI erhöht die gesellschaftliche Akzeptanz, den Komfort und nicht zuletzt die Sicherheit der Systeme.

Die Herausforderungen der MMI bestehen darin, die Einführung hochkomplexer Systeme so sicher wie möglich zu gestalten, die einzelnen Systeme zu vernetzen und die Interaktion so zu gestalten, dass Menschen

- die Systeme verstehen,
- den Nutzen der Systeme verstehen sowie
- die Systeme akzeptieren und einsetzen.

Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine sollte in beide Richtungen so intuitiv wie möglich geschehen. Die Maschinen sollen aus dem individuellen Verhalten der Menschen lernen, individuell unterstützen und automatisieren.

Gestaltungsoptionen

Auf dem Weg zu einem intelligenten und vernetzten Mobilitätsraum wird sich die Interaktion zwischen Menschen und Technik verändern. Um die Mobilität der Zukunft menschenzentriert zu gestalten, sollten folgende Schritte unternommen werden:

- MMIs klar und intuitiv gestalten, sodass ein optimaler Nutzen der Systeme und eine größtmögliche Akzeptanz erreicht werden können
- MMIs individuell gestalten:
 - Komfortorientierte MMIs können individuell angepasst und hochdynamisch kontextadaptiv und lernend gestaltet sein.
 - In öffentlichen MMIs sind Konsistenz und Eindeutigkeit maßgebend.
- Gesetzliche Vorschriften zur Einführung der Systeme überdenken:
 - Sicherstellen gemeinsamer und konsistenter Interaktionsprinzipien in sicherheitskritischen Bereichen
 - Gewähren von Freiräumen, um Ideen zu verwirklichen, Testphasen zu verkürzen und MMI-Systeme schneller marktreif zu machen
- Entwicklung von Ansätzen, um die Beherrschbarkeit und Fehlerresilienz in MMI sicherzustellen, sodass Fehlbedienung und Missverständnisse auch in hochdynamischen Umgebungen (bspw. Straßenverkehr) nicht zu sicherheitskritischen Systemzuständen führen
- Ausbau der vernetzten Verkehrs- und IT-Infrastrukturen als Grundlage für Lernende Systeme im Verkehrssektor (Beispiel „Digitales Testfeld A9“)

3.5 Gesellschaftliche Aspekte

Um einen multimodalen Mobilitätsraum zu etablieren, der auf intelligenten Verkehrssystemen aufbaut, sind neben der Lösung technischer Fragen auch gesellschaftliche, rechtliche und ethische Aspekte zu berücksichtigen. Ein Mobilitätsraum mit Lernenden Systemen lässt sich nur dann erfolgreich umsetzen, wenn die Gesellschaft ihn akzeptiert und Vertrauen in neue, KI-basierte Mobilitätslösungen hat. Hierbei spielen insbesondere ethische Aspekte eine zentrale Rolle. Darüber hinaus müssen neue Mobilitätskonzepte auch die Bedarfe der Gesellschaft abdecken: sowohl im städtischen und ländlichen Verkehr als auch bei Individualreisen.

Im europäischen Rahmen wurde eine „High Level Expert Group on AI“¹ konstituiert, die die EU-Kommission bei der Formulierung einer europäischen KI-Strategie unterstützt und den Dialog mit relevanten Stakeholdern auf europäischer

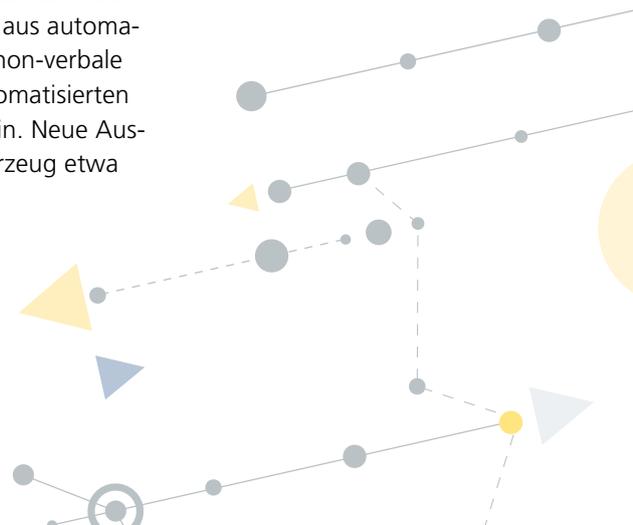
¹ <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/high-level-expert-group-artificial-intelligence>

Ebene führt (EC 2019). Im April 2019 veröffentlichten die Expertinnen und Experten Ethik-Leitlinien, die für Europa eine führende Rolle in der Entwicklung von vertrauenswürdigen KI-Produkten und -Services vorsehen. Gleichzeitig thematisieren die Leitlinien aber auch kritische Aspekte, wie etwa den Verlust oder die Verlagerung von Arbeitsplätzen. Auch im Mobilitätssektor könnten ganze Berufsgruppen (Kraftfahrerinnen und Kraftfahrer, Lokführerinnen und Lokführer, aber auch Pilotinnen und Piloten und Seeleute) von automatisierten Verkehrssystemen ersetzt werden.

Die Gestaltung einer vertrauenswürdigen KI ist ein zentrales Anliegen der Plattform Lernende Systeme. Vertrauen und Akzeptanz können entstehen, wenn ethische Fragen frühzeitig in der Entwicklung und Anwendung Lernender Systeme berücksichtigt werden. Sie sollten dazu in einem offenen gesellschaftlichen Diskurs adressiert werden. Ethische Aspekte sowie gesellschaftliche Bedarfe und Werte können bereits in der Forschung und Entwicklung von Lernenden Systemen mitgedacht werden (siehe value-sensitive Design). Im Betrieb muss sichergestellt werden, dass maschinell getroffene Entscheidungen durch Menschen revidiert werden können. Bildungsangebote können einen Beitrag zu einigen dieser Fragen leisten, etwa zur Gestaltung und Funktionsweise von Mensch-Technik-Interaktionen. Andere Herausforderungen hingegen, z. B. im Bereich des Datenschutzes, bedürfen rechtlicher Regularien.

Für intelligente Mobilitäts- und Verkehrssysteme sind folgende ethische und gesellschaftliche Fragen zu klären:

Verhaltensnormen und value-sensitive Design: Im Mobilitätsalltag entstehen viele Situationen, in denen sich Menschen intuitiv oder auch empathisch verhalten: etwa, wenn sie in bestimmten Situationen anderen Verkehrsteilnehmerinnen oder -teilnehmern aus Rücksichtnahme die Vorfahrt gewähren oder wenn sie in uneindeutigen Situationen (z. B. bei Ausfall einer Ampel) über soziale Kommunikation die Vorfahrt regeln. Solche nicht-regelkonformen Situationen entstehen im Alltag häufig. Je nach Kulturkreis folgen die Menschen verschiedenen Sitten, Verhaltensnormen und Mustern, um sie zu lösen. In einem multimodalen, intelligent vernetzten Verkehrssystem müssen auch Lernende Systeme uneindeutige Situationen erkennen und darauf reagieren können. Umgekehrt ist es notwendig, dass der Mensch im Umgang mit Lernenden Systemen weiß, wie die Interaktion gestaltet ist, in welcher Form (virtuell oder physisch) und bis zu welchem Grad (z. B. Autonomielevel) eine Interaktion stattfindet. Daher ist ein value-sensitive Design notwendig, das bereits in Forschung und Entwicklung die Wertesysteme der Menschen berücksichtigt, die mit den Lernenden Systemen interagieren werden. Dabei müssen auch interkulturelle Unterschiede und Besonderheiten mitgedacht werden, gerade bei Lernenden Systemen wie hochautomatisierten Fahrzeugen, die für den internationalen Markt produziert werden. Zu bedenken ist, dass es in der Einführungsphase von automatisierten Systemen „Mischverkehr“ aus automatisierten und nicht-automatisierten Fahrzeugen geben wird. Eine non-verbale Kommunikation zwischen Fahrerinnen und Fahrern von nicht-automatisierten Fahrzeugen und automatisierten Gefährten wird nicht möglich sein. Neue Ausdrucksformen sind notwendig, mit denen ein automatisiertes Fahrzeug etwa die eigene geplante Trajektorie (Bewegungspfad) mitteilen kann.



Ethische Entscheidungen und Dilemmata: Verhaltensnormen und ein werte-orientiertes Design sind für den alltäglichen Mobilitätsgebrauch entscheidend. Darüber hinaus können jedoch beim automatisierten und autonomen Fahren Autos in Zukunft – wenn auch selten – Entscheidungen treffen, die zu ethischen Problemen und Dilemmata führen können. Das bekannteste Szenario ist dabei das sogenannte Trolley-Dilemma: Darin kommt ein autonom fahrendes Auto in die Situation, zwischen genau zwei Handlungswegen entscheiden zu müssen, die beide den Tod eines oder mehrerer Menschen bedeuten würden. In einem Fall würde das Fahrzeug eine Menschengruppe auf der Fahrbahn erfassen. Wenn es ausweicht, würde es eine Person auf dem Gehweg überfahren. In einer anderen Situation muss es entscheiden, ob es einen alten Menschen oder ein spielendes Kind überfährt. Das Trolley-Dilemma ist ein viel diskutiertes Problem der Philosophie und bietet keine eindeutige Lösung. Im ersten Fall würde ein menschlicher Entscheider eher utilitaristisch entscheiden und zugunsten der größeren Gruppe ausweichen. Doch wie würde sich der Mensch im zweiten Fall verhalten? Da auch hochautomatisiert fahrende Fahrzeuge mit solchen Unfallkonstellationen konfrontiert sein können, muss geklärt werden, wie sie in einem solchen Fall entscheiden sollen. Darf die Technik überhaupt moralische und ethische Entscheidungen treffen? Überlässt man die Entscheidung dabei einem Algorithmus, der nach dem Zufallsprinzip entscheidet, oder implementiert man den Fahrzeugen bereits vorab Verhaltensmuster, die dem menschlichen ähneln? Bestimmte ethische Regeln können Entwicklerinnen und Entwicklern als Handreichungen gegeben werden. Die **Datenethikkommission** hat bereits 20 „Ethische Regeln für den automatisierten und vernetzten Fahrzeugverkehr“ formuliert, die bei der Entwicklung und Anwendung von KI in Mobilitätslösungen berücksichtigt werden können (BMVI 2017b).

Zu ethischen Fragestellungen hat die Ethik-Kommission „Automatisiertes und Vernetztes Fahren“ in ihrem Bericht vom Juni 2017 Stellung bezogen. Die interdisziplinär ausgerichtete und plural besetzte Expertenkommission hat den Auftrag, „die notwendigen ethischen Leitlinien für das automatisierte und vernetzte Fahren zu erarbeiten“ (BMVI 2017b). Ihr Fokus liegt auf dem voll-automatisierten und fahrerlosen Fahren. Die Expertengruppe wurde 2016 vom Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur eingesetzt.

Datenschutz: Intelligente Verkehrssysteme und automatisiertes Fahren erfordern große Datenmengen: Lernende Fahrzeuge benötigen sie zum Training und für die Verarbeitung in Echtzeit; vernetzte Infrastrukturen oder multimodale Navigationsunterstützung nutzen ebenfalls große Datenmengen für das Machine Learning. In einem auf KI basierenden Mobilitätsraum, in dem Verkehrsträger sowohl untereinander als auch mit der Infrastruktur vernetzt sind, ist daher ein effektiver Datenschutz unabdingbar. Geschützt werden müssen nicht nur personenbezogene Daten, die etwa im Auto bei der Überwachung der Fahrerin oder des Fahrers oder bei der individuellen Mobilitätsassistenz von Sensoren erfasst werden. Auch für andere datenhaltende und datenerhebende Akteure ist ein klarer Rechtsrahmen notwendig, der die Datennutzung und -verarbeitung klar regelt.

Stufen des automatisierten Fahrens

| STUFE 0 DRIVER ONLY | STUFE 1 ASSISTIERT | STUFE 2 TEIL-AUTOMATISIERT | STUFE 3 HOCH-AUTOMATISIERT | STUFE 4 VOLL-AUTOMATISIERT | STUFE 5 FAHRERLOS |
|--|---|--|--|---|--|
| Fahrer führt dauerhaft Längs- und Querführung aus. | Fahrer führt dauerhaft Längs- oder Querführung aus. | Fahrer muss das System dauerhaft überwachen. | Fahrer muss das System nicht mehr dauerhaft überwachen. | Kein Fahrer erforderlich im spezifischen Anwendungsfall. | Von „Start“ bis „Ziel“ ist kein Fahrer erforderlich. |
| FAHRER | | | Fahrer muss potenziell in der Lage sein, zu übernehmen. System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall*. Es erkennt Systemgrenzen und fordert den Fahrer zur Übernahme mit ausreichend Zeitreserve auf. | System kann im spezifischen Anwendungsfall* alle Situationen automatisch bewältigen. | AUTOMATISIERUNG |
| Kein eingreifendes Fahrzeugsystem aktiv. | System übernimmt die jeweils andere Funktion. | System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall*. | | | Das System übernimmt Fahraufgabe vollumfänglich bei allen Straßentypen, Geschwindigkeitsbereichen und Umfeldbedingungen. |

* Anwendungsfälle beinhalten Straßentypen, Geschwindigkeitsbereiche und Umfeldbedingungen

 Fahrer  Automatisierungsstufe der Funktion

Quelle: nach BMVI 2017b, S.14

Verantwortung und Haftung: Intelligente Mobilitätslösungen stellen sowohl Nutzer als auch Entwickler vor neue rechtliche Herausforderungen – insbesondere, wenn Lernende Systeme mit ihren Entscheidungen oder Aktionen Schäden verursacht haben. In solchen Fällen stellt sich die Frage nach der Verantwortung, aber auch der Haftung: Sind Entwicklerinnen und Entwickler und Herstellerfirmen verantwortlich oder die Nutzerinnen und Nutzer (Kundinnen und Kunden), die die Technologie bewusst einsetzen? Sind spezielle Versicherungen für Lernende Systeme notwendig?

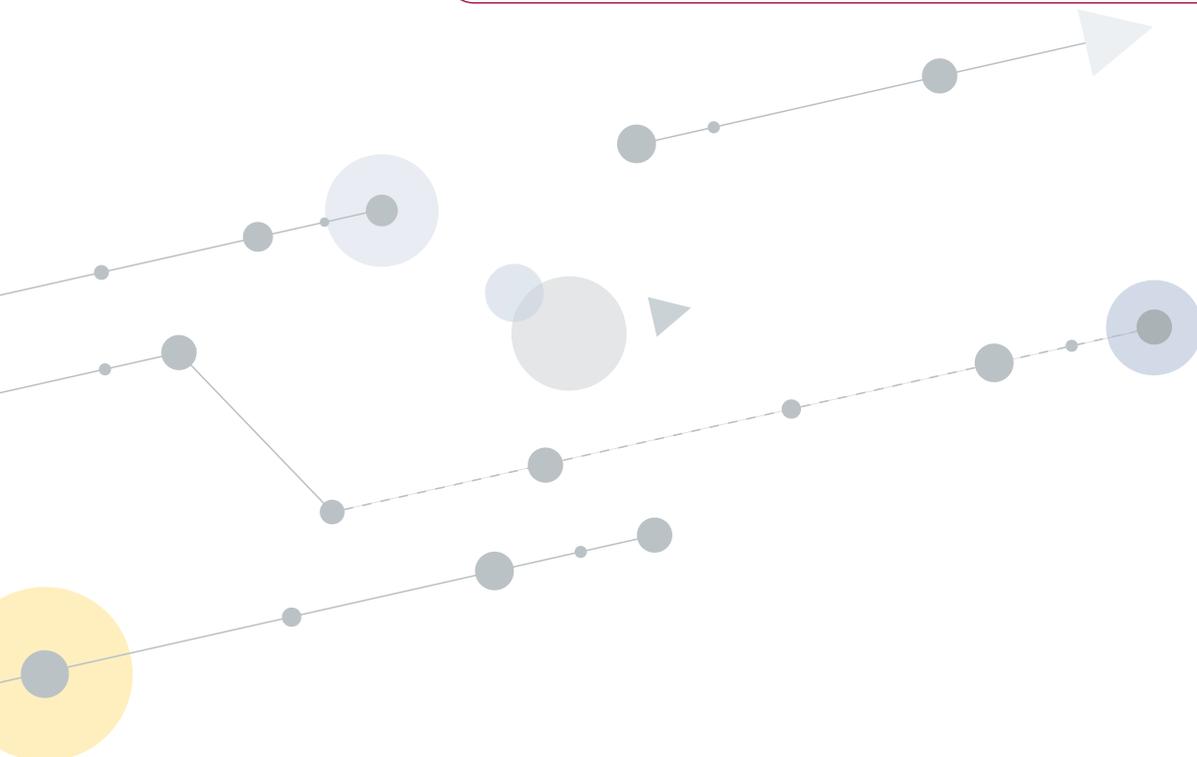
Wandel von Berufsbildern: Die Einführung von KI-basierten Technologien und Lernenden Systemen in den Mobilitätsraum verändert Arbeitsformen und Berufsbilder. Wandeln werden sich voraussichtlich Berufe und Tätigkeiten, die zur Steuerung und Wartung von Verkehrsträgern und Verkehrsinfrastrukturen beitragen, wie etwa LKW-Fahrer, Busfahrer, Lokführer, Positionen in Verkehrsleitstellen usw. Die sozialen Auswirkungen werden sich jedoch je nach Berufsbild stark unterscheiden. So hilft hochautomatisiertes Fahren und Platooning, den Mangel an LKW-Fahrern auszubalancieren. In Verkehrsleitstellen dagegen entstehen neue Anforderungen an Angestellte, die künftig KI-basierte Methoden einsetzen werden. Lernende Systeme verändern auch die Tätigkeiten in der Entwicklung und Produktion sowie in der Implementierung und Wartung KI-basierter Verkehrsträger und intelligenter Infrastrukturen. Neue Berufsprofile entstehen, die Kenntnisse in ML und KI voraussetzen. Der Wandel von

Berufsprofilen stellt schließlich auch neue Herausforderungen an Bildung und Qualifizierung des Personals in sämtlichen Branchen und Berufen, die mit dem Einzug der KI in die Mobilität zusammenhängen.

Gestaltungsoptionen

Ein Mobilitätsraum, der von Lernenden Systemen geprägt wird und so die Mobilität für den Menschen einfacher gestaltet, kann nur dann funktionieren, wenn gesellschaftliche Aspekte der Technikgestaltung von Beginn an mitgedacht werden. Folgende Schritte sind daher notwendig:

- **Bildung stärken**
Der Mensch muss z. B. in der Interaktion mit Lernenden Systemen wissen, wie diese gestaltet sind sowie in welcher Form und in welchem Grad eine Interaktion stattfindet.
- **Rechtliche Regularien anpassen (z. B. Datenschutz)**
 - Klare Regeln für die Verantwortung im Umgang mit Lernenden Systemen schaffen und diese so gestalten, dass der Mensch vor Kontrollverlust und Diskriminierung geschützt wird, dass Daten und menschliche Identitäten sicher sind und somit gesellschaftliches Vertrauen in die Systeme entstehen kann
 - Eine geeignete Übergangslösung und Verhaltensregeln für den Mischverkehr festlegen
- **Ethische Fragestellungen und Aspekte in die Gestaltung Lernender Systeme integrieren**
 - Value-sensitive Design: Ethische Aspekte, gesellschaftliche Bedarfe und Werte sowie Nutzeranforderungen bereits in der Forschung und Entwicklung von Lernenden Systemen mitdenken
 - Ethische Fragen bei der Entwicklung und Anwendung Lernender Systeme frühzeitig und in einem offenen gesellschaftlichen Diskurs adressieren
 - Im Betrieb sicherstellen, dass maschinell getroffene Entscheidungen durch Menschen revidiert werden können
 - Entscheidungskompetenz in ethischen Fragen klären



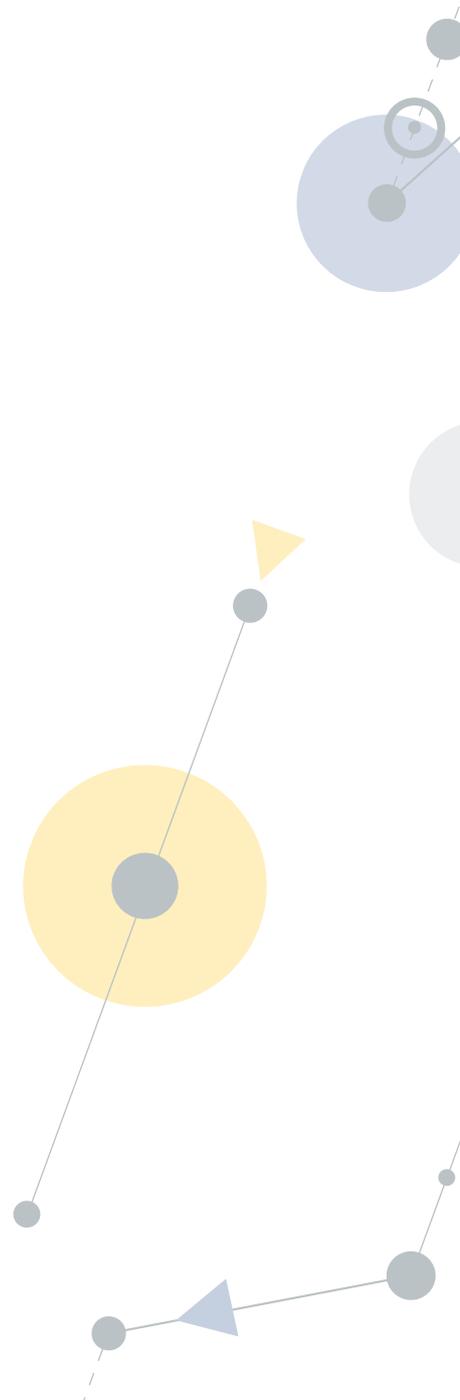
4. Ausblick: Eine intelligent vernetzte Mobilitätsplattform

Die Darstellung der vorangegangenen Kapitel zeigt, dass der Mobilitätsraum hohe Komplexität besitzt. Die einzelnen Verkehrsträger lassen sich nach unterschiedlichen Parametern, wie Bereitstellungs- und Betriebskosten von Verkehrsmitteln und Infrastruktur sowie Energie- und Betriebsstoffkosten, optimieren. Nutzerinnen und Nutzer der jeweiligen Verkehrsträger formulieren andere Kriterien: Sie wollen zeitliche Effizienz, Komfort und Kosten optimieren. Hinzu kommen übergeordnete Interessen, wie z. B. CO₂- und Schadstoffausstoß, die etwa durch Mobilitätsbeschränkungen oder Steuern reguliert werden können.

Wünschenswert wäre eine Multizieloptimierung: Diese würde die unterschiedlichen Ziele und Interessen in einer optimalen Lösung für eine Reiseplanung oder Transportplanung über unterschiedliche Verkehrsträger hinweg zusammenführen. Da derzeit keine der beteiligten Parteien ein vollständiges Bild über alle Parameter besitzt, ist dies bisher kaum möglich. Heutige Optimierungsansätze vergleichen einzelne Parameter, z. B. Preis, Energieeffizienz oder Zeit. Die inhärente Dynamik der Domäne berücksichtigen sie meist nicht, da die bestimmenden Parameter oft statisch sind – und damit wesentliche aktuelle Entwicklungen wie Staus, Baustellen, Unfälle, Unwetter oder tatsächlich zur Verfügung stehende Transportkapazitäten nicht widerspiegeln.

Dieses Problem könnte durch eine **übergreifende Mobilitätsplattform** gelöst werden, die Angebote unterschiedlicher Dienstleister sowie Verkehrs- und Infrastrukturinformationen integriert, orchestriert, zielgruppengerecht aufbereitet und heterogenen Nutzergruppen zur Verfügung stellt. Eine solche Plattform müsste demnach für alle Stakeholder offen sein, d. h. für Anbieter von Mobilitätsdienstleistungen, Betreiber von Infrastruktur, Repräsentanten von Nutzergruppen, Bund, Ländern und Kommunen, Unternehmen und Dienstleistern, Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Eine wesentliche organisatorische Grundvoraussetzung dafür ist es, Daten und Datenschnittstellen bzw. ein übergreifendes Datenformat und eine Verarbeitungslogik zu normieren, um den Datenaustausch zu gewährleisten. Das Kapitel 3.1. hat beschrieben, warum eine Normierung notwendig ist.

Um eine übergreifende Mobilitätsplattform aufzubauen und dauerhaft zu betreiben, bedarf es nicht ausschließlich technischer und datenschutzrechtlicher Voraussetzungen. Vielmehr nehmen auch ökonomische Anreize und Motivationsfaktoren eine zentrale Rolle ein (siehe Kapitel 3.2.) Wenn die datentechnischen Grundvoraussetzungen gewährleistet sind, kann die Plattform bereits in ihrer Aufbauphase als Nukleus dienen, in dem sich Stakeholder vernetzen können. Die Vision: Aus Nutzungsmustern lassen sich mögliche



Geschäftsmodelle ableiten. Sie zeigen Optionen auf, wie ein wirtschaftlicher Betrieb und der weitere Ausbau intelligenter Mobilität gestaltet werden können. Gelingt dies nicht, sollte alternativ geprüft werden, ob eine Mobilitätsplattform aufgrund ihres gesamtwirtschaftlichen Nutzens Teil staatlicher Daseinsvorsorge sein könnte.

Für die Konzeptualisierung einer Mobilitätsplattform zeichnen sich folgende ökonomische und wissenschaftliche Fragestellungen ab:

- Eine Ausdifferenzierung und Präzisierung des Konzepts von selbstwahrnehmenden Systemen im Mobilitätsraum. Dabei ist wissenschaftlich von besonderem Interesse, wie aus den spezifischen „Blickwinkeln“ der einzelnen Systeme ein robustes allgemeines Bild generiert werden kann und welche Transparenz und Erklärbarkeit von Empfehlungen sichergestellt werden kann. Weitere wichtige Aspekte sind Resilienz und Stabilität gegenüber Systemstörungen und ggfs. von Angriffen gegen das System (Kapitel 3.2.). Demnach müssten entsprechende Verifikations- und Validierungsmaßnahmen entwickelt werden, um die Sicherheit des Systems nachweisen und garantieren zu können.
- Die Entwicklung von geeigneten Kennzahlensystemen und die Identifikation der Parameter, nach denen die Multizieloptimierung vorzunehmen wäre. Die Kennzahlensysteme dienen dazu, die unterschiedlichen Perspektiven der Angebote im Mobilitätsraum zu beschreiben und zu bewerten. Gleichzeitig können die Kennzahlensysteme bestimmte Szenarien beschreiben und behandeln. Gemeint sind etwa Zielkonflikte, die zwischen den unterschiedlichen Blickwinkeln zu erwarten sind und aufgelöst bzw. in ein globales Optimum gebracht werden sollten. Die Entwicklung von Methodologien, nach denen individuelle Präferenzen gelernt und bei den Optimierungsprozessen als Parameter berücksichtigt werden können. Dabei stellt sich die Frage nach datenschutzkonformer Erhebung der Daten, dem entsprechenden Label der Daten und der Erzeugung von Trainings- und Testdatensätzen. Geklärt werden muss, ob die entsprechenden rechtlichen Rahmenbedingungen im Wettbewerbsrecht bereits vorliegen oder spezifische Restriktionen auf Grund von Regelungen und Gesetzen für einzelne Verkehrsträger derzeit ein Hindernis darstellen.
- Schließlich stellt sich die Frage, wie basierend auf einem solchen Datenkorpus entsprechende Services für Betreiberinnen und Betreiber sowie Nutzerinnen und Nutzer von Verkehrssystemen angeboten und die dahinterstehenden juristischen und organisatorischen Fragen zur Integration und zum Labeling neuer Daten, zu Betrieb, Haftung und Verantwortung geregelt werden können.

Über diesen Bericht

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

Die Arbeitsgruppe wird geleitet von:

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

Dr. Christoph Peylo, Bosch Center for Artificial Intelligence (BCAI)

Die Mitglieder der AG sind:

Prof. Dr. Dr. Albert Albers, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Dr. Claus Bahlmann, Siemens Mobility GmbH

Prof. Dr. Fabian Behrendt, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Dr. Astrid Elbe, Intel Corporation

Prof. Dr. Stefanos Fasoulas, Universität Stuttgart

Dr. Rudolf Felix, PSI FLS Fuzzy Logik&Neuro Systeme GmbH für PSI Software AG

Prof. Dr. Axel Hahn, OFFIS /Universität Oldenburg

Dr. Sören Kerner, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

Hans Kolß, FlixBus GmbH

Igor Neiva Camargo, Continental Automotive GmbH

Prof. Dr. Ilja Radusch, Fraunhofer FOKUS, TU Berlin/DCAITI

Dr. Peter Schlicht, Volkswagen AG

Prof. Dr. Phillip Slusallek, DFKI GmbH

Dr. Anatoly Sherman, SICK AG

Prof. Dr. J. Marius Zöllner, FZI Forschungszentrum Informatik

Die Arbeitsgruppe wird unterstützt durch:

Demetrio Aiello, Continental Automotive GmbH

Dr. Tim Gutheit, Infineon

Dr. Christian Müller, DFKI GmbH

Dr. Erduana Shala, Geschäftsstelle der Plattform Lernende Systeme

Redaktion

Dr. Erduana Shala, Geschäftsstelle der Plattform Lernende Systeme

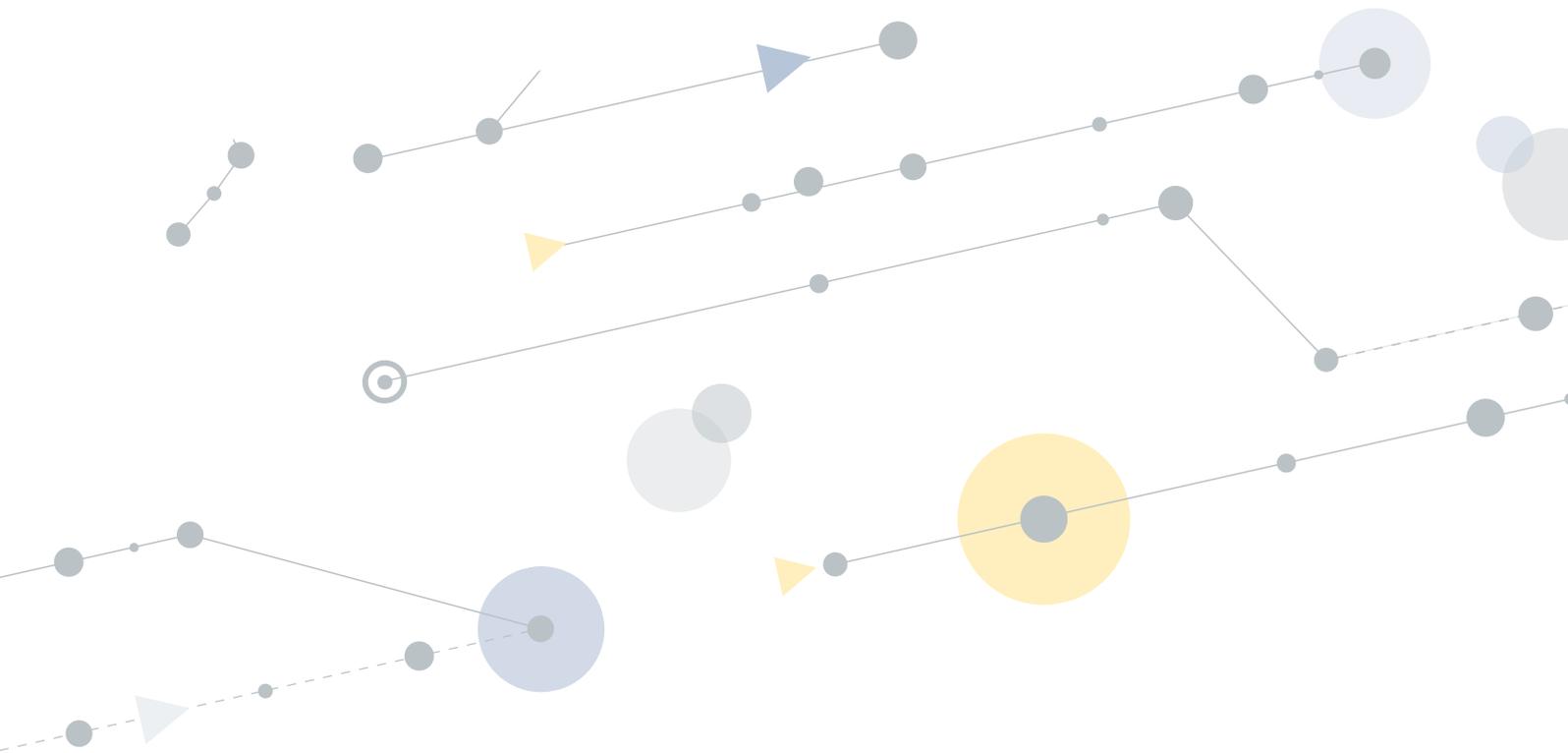
Eva Bräth, Geschäftsstelle der Plattform Lernende Systeme

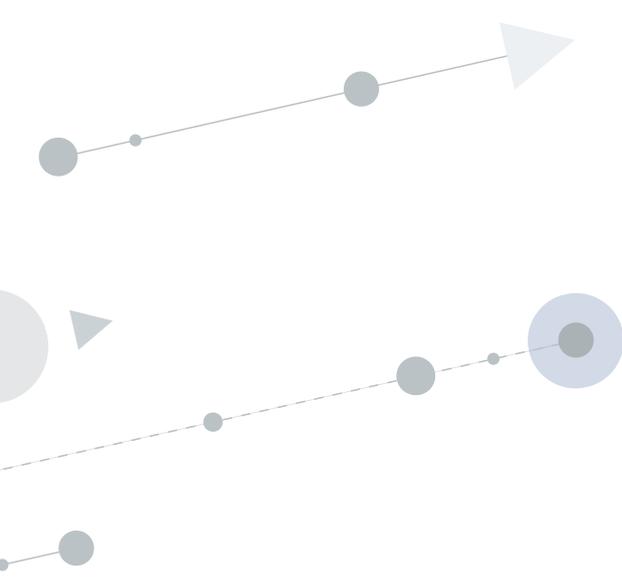
Linda Treugut, Geschäftsstelle der Plattform Lernende Systeme

Literatur

- acatech 2017** acatech/Fachforum Autonome Systeme im Hightech-Forum: Autonome Systeme – Chancen und Risiken für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft, Berlin: 2017.
- ADAC 2018** ADAC e.V. (Hrsg.): Staubilanz 2017 – Täglich 4.000 Kilometer Stau, 2018. <https://www.adac.de/der-adac/verein/aktuelles/staubilanz-2017> [Stand: 16.05.2018]
- AMS 2017** Lloyd's Register Group Ltd, QinetiQ and University of Southampton (Hrsg.): Global Marine Technology Trends 2030 – Autonomous Maritime Systems, Southampton: 2017. <https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/global-marine-technology-trends-2030-autonomous-systems> [Stand: 16.05.2018]
- BAG 2018** Bundesamt für Güterverkehr: Anteil der Luftfahrt am Personenverkehr in Deutschland in den Jahren von 2013 bis 2021 (laut Modal-Split), 2018. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12207/umfrage/anteil-der-flugzeuge-am-gueterverkehr-in-deutschland/> [Stand: 16.05.2018]
- BDB 2018** Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (BDB): Erholung auf deutschen Flüssen, 2018. <https://www.binnenschiff.de/system-wasserstrasse/fahrgastschifffahrt/> [Stand: 28.05.2018]
- BMVI 2018** Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Infrastruktur, 2018. <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/infrastruktur-statistik.html> [Stand: 16.05.2018]
- BMVI 2017a** Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 2017/2018, Hamburg: DVV Media Group GmbH 2017.
- BMVI 2017b** Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.): Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren, Berlin: 2017.
- DMA 2017** Danish Maritime Authority: Analysis of Regulatory Barriers to the Use of Autonomous Ships, Copenhagen: 2018. <https://www.dma.dk/Documents/Publikationer/Analysis%20of%20Regulatory%20Barriers%20to%20the%20Use%20of%20Autonomous%20Ships.pdf> [Stand: 30.04.2018]
- EC 2019** European Commission (Hrsg.): Ethics Guidelines for trustworthy AI – High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, Brüssel: 2019. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/high-level-expert-group-artificial-intelligence>
- EMSA 2016** European Maritime Safety Agency (Hrsg.): Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2016, Lissabon: 2016. <http://www.emsa.europa.eu/news-a-press-centre/external-news/item/2903-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2016.html> [Stand: 30.04.2018]
- Kongsberg 2018** Kongsberg: Autonomous Shipping, 2018. <https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/597733F8A1B8C640C12580AC0049C134?OpenDocument> [Stand: 30.04.2018]
- Kretschmann et al. 2017** Kretschmann, L./Burmeister, H./Jahn, T.: „Analyzing the economic benefit of unmanned autonomous ships: An exploratory cost-comparison between an autonomous and a conventional bulk carrier“. In: Research in Transportation Business & Management, 25. 2017, S. 76–86.
- Lemmer 2016** Lemmer, K. (Hrsg.): Neue autoMobilität – Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft (acatech STUDIE), München: Herbert Utz Verlag GmbH 2016.
- LuftVO 2015** Luftverkehrs-Ordnung, 2015.
- Paton 2018** Paton, G: UK's first fully autonomous vessel the C-Worker 7 is launched, 2018. <https://www.thetimes.co.uk/article/uk-s-first-fully-autonomous-vessel-the-c-worker-7-is-launched-86jwnzmr> [Stand: 30.04.2018]
- Randelhoff 2014** Randelhoff, M.: Automatisierter Bahnbetrieb und führerlose Züge: Eine Einführung (Technik, Vorteile, Hürden, Umsetzungszeitraum), 2014. <https://www.zukunft-mobilitaet.net/90799/schienerverkehr/eisenbahn/fuehrerlose-zuege-technik-zulassung-vorteile-nachteile-streik/#fn-90799-1> [Stand: 16.05.2018]
- SAE 2016** SAE International: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (J3016), 2016. https://www.sae.org/standards/content/j3016_201609/ [Stand: 16.05.2018]
- Statistisches Bundesamt 2018** Statistisches Bundesamt. Anzahl der beförderten Personen im Luftverkehr in den Jahren 2004 bis 2017 in Deutschland (Passagiere in 1.000), 2018. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12552/umfrage/befoerderte-personen-im-luftverkehr/> [Stand: 16.05.2018]
- UBS 2017** UBS Global Research: Flying solo – how far are we down the path towards pilotless planes?, 2017. <https://neo.ubs.com/shared/d1ssGmLAVeEB/> [Stand: 30.04.2018]
- UITP 2012** Internationaler Verband für Öffentliches Verkehrswesen: Press KIT – Metro Automation Facts, Figures and Trends, 2012. <http://www.uitp.org/sites/default/files/Metro%20automation%20-%20facts%20and%20figures.pdf> [Stand: 16.05.2018]
- VDA 2015** Verband der Automobilindustrie (Hrsg.): Automatisierung – Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren, Berlin: laf.li digital GmbH 2015.
- WBGU (2016)** Der Umzug der Menschheit: Die transformative Kraft der Städte. Berlin: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU).
- Volocopter 2018** Volocopter: Reinventing Urban Mobility, 2018. <https://www.volocopter.com/de/> [Stand: 16.05.2018]
- Wöste, Krüger 2014** Wöste, H./Krüger, R.: DHL zufrieden mit Paketdrohne, Bonn: 2014. <http://www.general-anzeiger-bonn.de/news/wirtschaft/region/DHL-zufrieden-mit-Paketdrohne-article1500031.html> [Stand: 30.04.2018]

A large rectangular area with rounded corners, outlined in red, containing horizontal lines for writing. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page, providing a template for taking notes.





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

Druck

Druck- und Verlagshaus Zarbock
GmbH & Co. KG, Frankfurt

Stand

Juni 2019

Bildnachweis

Westend61 / Getty Images | Titelbild
sumkinn / iStock | Hintergrundgrafik
kuroksta / Shutterstock | S.12
Yuri Schmidt / alphabe / popicon / Shutterstock | S. 28

Bei Fragen oder Anmerkungen zu dieser
Publikation kontaktieren Sie bitte Johannes Winter
(Leiter der Geschäftsstelle):
kontakt@plattform-lernende-systeme.de

Folgen sie uns auf Twitter: @LernendeSysteme

Empfohlene Zitierweise

Plattform Lernende Systeme (Hrsg.): Auf dem Weg
zu einem intelligenten Mobilitätsraum – Bericht der
Arbeitsgruppe Mobilität und intelligente Verkehrs-
systeme, München 2019.

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 Daten-
verarbeitungsanlagen, bleiben – auch bei nur auszugs-
weiser Verwendung – vorbehalten.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

