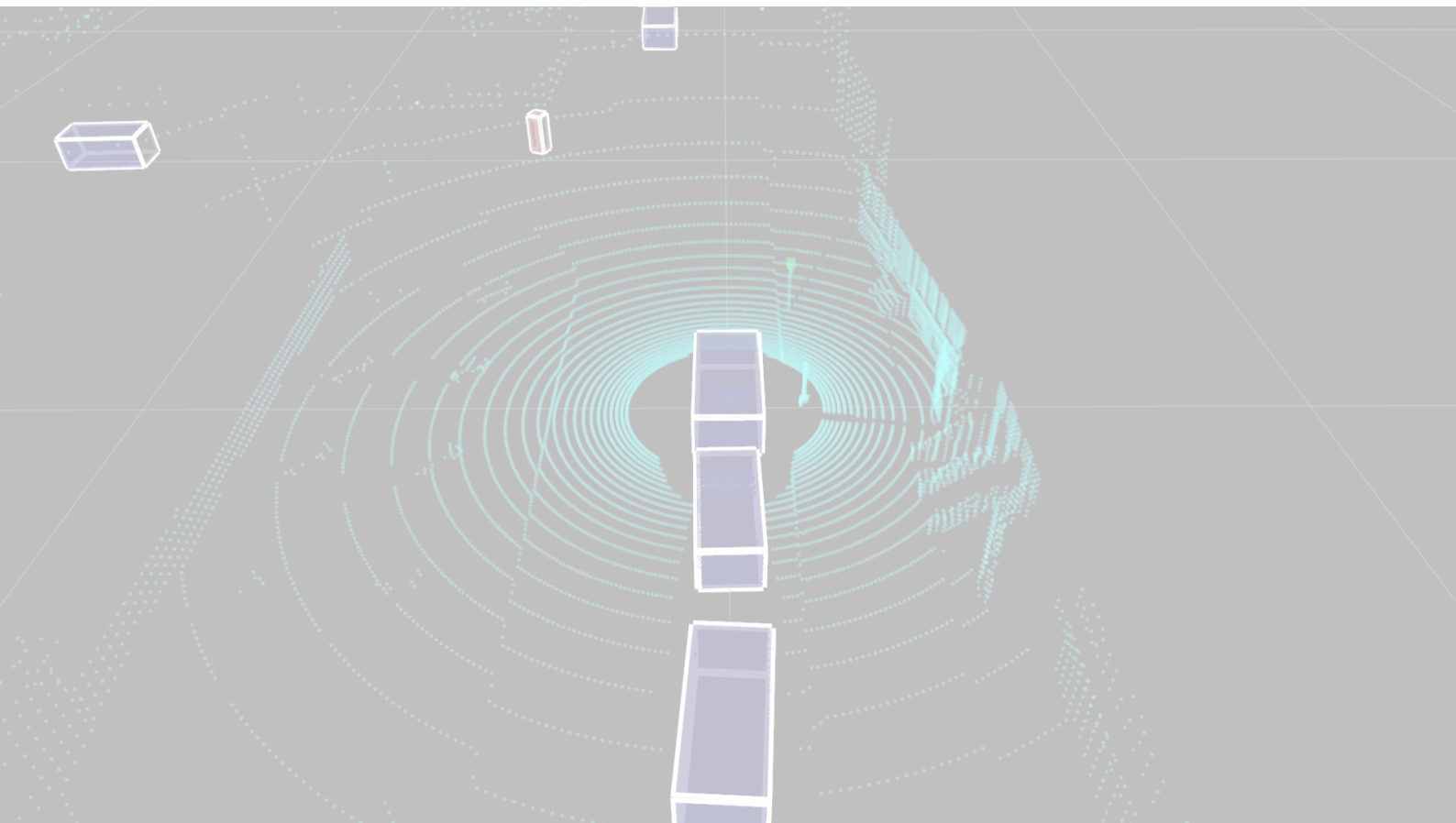


# Automatisierte Mobilität: Überblick über die technologischen Grundlagen



Version: 1.0



**BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL**



**HOCHSCHULE RUHR WEST**  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**BERGISCHE  
STRUKTUR-UND  
WIRTSCHAFTS-  
FÖRDERUNGS-  
GESELLSCHAFT**

**Geschäftsstelle Centrum für automatisierte Mobilität (CAMO)**

*c/o Bergische Universität Wuppertal*

*Rainer-Gruenter-Str. 21*

*42119 Wuppertal*

**Besucheradresse:**

*Lise-Meitner-Str. 27*

*42119 Wuppertal*

[www.camo.nrw](http://www.camo.nrw)

# AUTOMATISIERTE MOBILITÄT: ÜBERBLICK ÜBER DIE TECHNOLOGISCHEN GRUNDLAGEN

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>EINLEITUNG</b>	<b>7</b>
<b>AUTOMATISIERTE MOBILITÄT</b>	<b>8</b>
<b>VERKEHRSDATEN- UND UMFELDERFASSUNG</b>	<b>11</b>
<b>SENSORIK</b>	<b>13</b>
<b>VERNETZUNG</b>	<b>15</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>18</b>
<b>WAS KÖNNEN KOMMUNEN JETZT TUN?</b>	<b>19</b>
<b>LITERATUR</b>	<b>20</b>

## CAMO.NRW UNTERSTÜTZT KOMMUNALE AKTEURE

Die Entwicklung, Planung und Umsetzung der Mobilität von Morgen erfordert ein rasches Umdenken und Handeln, da der Transformationsprozess zu einem nachhaltigen Verkehrsraum der Zukunft langwierig sein wird.

Die Bewältigung dieser Aufgaben kann aber nur gelingen, wenn die verschiedenen Akteure im „Innovationssystem Mobilität“ (siehe Abbildung 1) zusammenwirken – von den Herstellern der Fahrzeuge und Technikkomponenten über die Kommunen, die Betreiber des ÖPNV und die Politik bis hin zu den Nutzer:innen der Mobilitätsangebote. Forschungs- und Beratungseinrichtungen liefern Grundlagenwissen, begleiten die Entwicklungen und geben wichtige Impulse für die Praxis. Intermediäre wie z. B. Wirtschaftsförderungen und Verbände unterstützen die Vernetzung der Akteure und vertreten deren Interessen.

Kommunen kommt in diesem andauernden Transformationsprozess eine zentrale Rolle zu. Eine ihrer Kernaufgaben ist es, bedarfsgerechte Mobilität für alle Bevölkerungsgruppen sowie die Wirtschaft sicherzustellen. Auf kommunaler Ebene müssen die Stadt- und Kreisverwaltungen zwei wichtige Aufgaben bewältigen:

- Zum einen übernehmen sie nach dem Regionalisierungsgesetz im Rahmen der Daseinsvorsorge die „Sicherstellung einer ausreichenden Bedienung der Bevölkerung mit Verkehrsleistungen im öffentlichen Personennahverkehr“ (§ 1 RegG).
- Zum anderen müssen sie die Finanzierung des ÖPNVs sicherstellen.

Kommunen sind somit zentrale Gestalter, Anbieter und Betreiber von Infrastruktur-, Verkehrs- und Mobilitätslösungen im Innovationssystem Mobilität.

Auch wenn die konkrete Zukunft der Mobilität in vielen Fällen noch unsicher ist, vernetzt und automatisiert wird sie auf jeden Fall sein. Da erfahrungsgemäß die damit verbundenen Planungs- und Umsetzungsprozesse langwierig sind, müssen sich Kommunen schon heute mit ihren spezifischen Mobilitätsbedarfen und Gestaltungsmöglichkeiten automatisierter Mobilität beschäftigen.

Gilt das nur für die Metropolen und Großstädte dieser Welt? Ganz sicherlich nicht. So zeigt eine Vielzahl von Beispielen von Städten und im ländlichen Raum, dass es auch in Deutschland sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten automatisierter und vernetzter Mobilität mit einer Vielzahl positiver Effekte gibt. Es geht dabei nie darum, Automatisierte Mobilität, um der Automatisierung oder der Vernetzung willen einzuführen. Das Ziel sollte immer sein, die (zukünftigen) kommunalen

Mobilitätsaufgaben mit Automatisierung und Vernetzung besser zu lösen, als dies mit traditionellen Mitteln möglich ist. Dabei gibt es nicht den einen richtigen Weg, nicht die eine richtige Lösung. Ausgehend von einer Bedarfs- und Potenzialanalyse muss jede Kommune ihre eigenen Ziele, Strategien und Maßnahmen einer zukunftsfähigen Mobilität erarbeiten – automatisierte Mobilität kann ein Teil davon sein.

In Nordrhein-Westfalen müssen Kommunen den Weg zu einem nachhaltigen Verkehrsraum der Zukunft, welcher auch Automatisierte Mobilität berücksichtigt, nicht alleine bestreiten. Dafür wurde als zentrale Anlaufstelle das interdisziplinäre und anwendungsorientierte Zentrum für automatisierte Mobilität (camo.nrw) geschaffen. Mit unserem Leistungsangebot möchten wir kommunale Akteure mit Informations-, Beratungs- und Weiterbildungsangeboten versorgen, um sie bei der Einführung automatisierter und vernetzter Mobilitätslösungen vorzubereiten und zu unterstützen.

Diese Publikation ist Teil einer Themenheftreihe, die kontinuierlich aktualisiert und erweitert wird. Mehr Informationen unter [www.camo.nrw](http://www.camo.nrw).

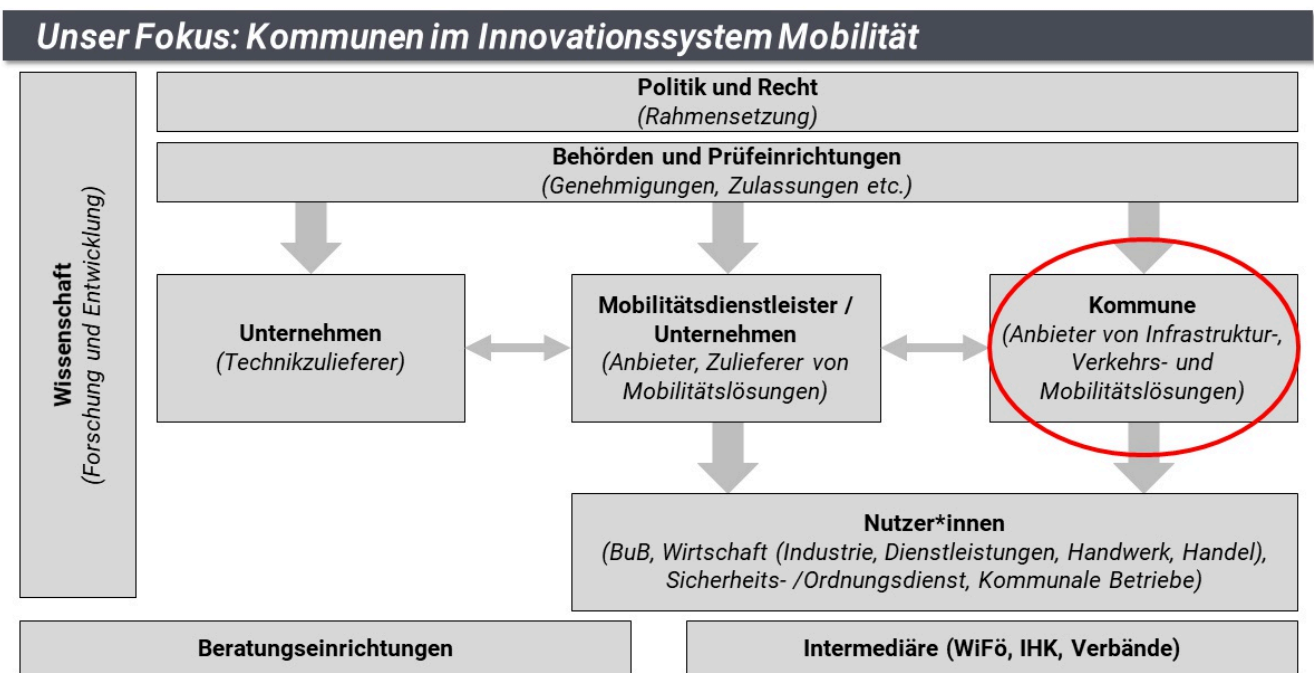


Abbildung 1: Akteure im Innovationssystem Mobilität.



## EINLEITUNG

Die Automatisierung und Vernetzung des Individualverkehrs, des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) und des Warenlieferverkehrs nehmen kontinuierlich zu. Automatisierung und Vernetzung von ÖPNV und Individualverkehr verfolgen dabei nicht nur das Ziel, den Verkehr sicherer und effizienter zu gestalten, sondern auch die Mobilitätsversorgung zu gewährleisten und die soziale Teilhabe zu fördern.

In diesem Kontext stehen Kommunen vor den Herausforderungen, Mobilitätsdaten, Automatisierung und Vernetzung für ein optimiertes Verkehrs- und Mobilitätsmanagement nutzbar zu machen, um auch in Zukunft bedarfsgerecht die Mobilitätsbedürfnisse ihrer Bürger und Bürgerinnen zu bedienen. Ein Kompetenzaufbau in den Kommunen zu den technischen Aspekten automatisierter und vernetzter Mobilität ist notwendig, um Potenziale neuer Technologien abschätzen und passgenaue Anforderungen an die Infrastruktur formulieren zu können.

Zu Beginn des Themenhefts werden zunächst verschiedene Stufen der Automatisierung von Fahrzeugsystemen erklärt. Im Anschluss wird auf die für die Automatisierung erforderliche zentrale Erfassung von Verkehrsdaten sowie auf die Möglichkeiten der dezentralen Umfelderkennung automatisierter Fahrzeuge und der dazu verwendeten Sensorik eingegangen. Dabei werden sowohl bereits weit verbreitete Sensoren betrachtet, als auch Sensoren, die derzeit im Rahmen von Pilotprojekten entwickelt werden. Die Erläuterung der Nutzung von Daten eines zentralen Servers sowie die Sammlung lokaler Umfelddaten wird schließlich durch die Möglichkeiten zum Austausch zwischen Verkehrsteilnehmern untereinander vervollständigt und anhand von Beispielen aus Pilotprojekten erläutert. Das Themenheft schließt mit einer Zusammenfassung der Potenziale automatisierter Mobilität in Kommunen.

# AUTOMATISIERTE MOBILITÄT

Automatisierte Mobilität wird vielfach als eine Teilantwort auf die Herausforderungen gesehen, vor denen sich Städte heute sehen. Die Automatisierung des privaten und öffentlichen Verkehrs ermöglicht den Bürgern neben einem Sicherheits- und Komfortgewinn auch die Lebensqualität – primär von beeinträchtigten Menschen, die nicht fahren können oder wollen – zu verbessern. Zusätzlich können durch die Optimierung des Verkehrsgeschehens die lokalen Emissionen reduziert werden.

Unter Automatisierung von Fahrzeugen ist der Einsatz von unterschiedlichen technischen Assistenzsystemen zu verstehen. Diese Systeme dienen dazu, dem Menschen bestimmte Fahraufgaben abzunehmen oder ihn in bestimmten Situationen zu unterstützen. Es gibt eine große Bandbreite von verbauten Assistenzsystemen, welche zu sehr unterschiedlichen Fähigkeiten eines Fahrzeugs führen. Die damit verbundenen Auswirkungen sind vielfältig und werden unsere Städte auf unterschiedlichen Ebenen massiv verändern.

## AUTOMATISIERUNGSSTUFEN

Die technische Entwicklung im Bereich der Fahrzeugautomatisierung ist in den letzten Jahren schnell vorangeschritten. Heute sind bereits in vielen Fahrzeugen Assistenzfunktionen vorhanden, die den Fahrer bei der Fahraufgabe unterstützen, und es werden immer mehr Assistenzsysteme, wie z. B. Parkassistenten, Notbremssysteme und Adaptive Cruise Control (ACC), in Neuwagen verbaut [1].

Während informierende und warnende Funktionen [2] dem Fahrer Hinweise oder Empfehlungen geben, greifen automatisierte Funktionen oder Notfallfunktionen unmittelbar in das Verhalten des Fahrzeugs ein. Konventionelle Fahrerassistenzsysteme, wie z. B. das Antiblockiersystem (ABS) oder das elektronische Stabilitätsprogramm (ESP), kümmern sich um eine stabile Fahrlage in Grenzsituationen. Dabei wird nur der Zustand des eigenen Fahrzeugs über die interne Sensorik (Raddrehzahl, Beschleunigungssensoren etc.) betrachtet. Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung hingegen betrachten auch das Fahrzeugumfeld für die Umsetzung einer assistierenden oder automatisierten Funktion.

Das automatisierte Fahren kann dabei als ein Oberbegriff gesehen werden, der die stufenweise Automatisierung des Fahrens bis hin zur vollständigen Autonomie beinhaltet. Für eine Umsetzung automatisierter Fahrfunktionen werden unter anderem die bordeigenen Mittel (fahrzeugeigene Sensorik), wie z. B. Kameras, sowie im Fahrzeug gespeichertes Kartenmaterial, zur Umfelderkennung und der darauf basierenden Verhaltens- und Bewegungsplanung genutzt. Hierdurch lassen sich Assistenzsysteme und automatisierte Fahrfunktionen realisieren, die den Fahrer bei der Fahraufgabe unterstützen oder diese gar vollumfänglich übernehmen. Erst wenn ein Fahrer

vollständig von seinen Pflichten entbunden ist, bezeichnet man das System als autonom.

Seit Jahren nimmt der Automatisierungsgrad durch technische Innovationen stetig zu und wird im Wesentlichen anhand der Fähigkeiten des Systems sowie der Rolle des Fahrers in verschiedene Stufen bzw. Kategorien eingeteilt. Der Automatisierungsgrad von Fahrzeugen reicht dabei von keiner Unterstützung bei der primären Fahraufgabe bis hin zur vollständigen Autonomie. In Anlehnung an die SAE Norm J3016 [3] wird der Automatisierungsgrad auch vom BMVI [4] in fünf Stufen unterteilt (siehe Abbildung 2).

Der Fahrer überwacht das Umfeld dauerhaft!		
<b>STUFE 0</b>	Keine Automatisierung	No Driving Automation
<b>STUFE 1</b>	Assistiertes Fahren	No Driving Automation
<b>STUFE 2</b>	Teilautomatisiertes Fahren	Partial Driving Automation
Das System überwacht das Umfeld!		
<b>STUFE 3</b>	Hochautomatisiertes Fahren	Conditional Driving Automation
<b>STUFE 4</b>	Vollautomatisiertes Fahren	High Driving Automation
<b>STUFE 5</b>	Autonomes Fahren	Full Driving Automation

Abbildung 2: Automatisierungsstufen. Quelle: Eigene Darstellung.

In den Stufen 1 („Assistiertes Fahren“) und 2 („Teilautomatisiertes Fahren“) überwacht der Fahrer die Umwelt und das System übernimmt in einigen Fahrsituationen das Steuern, Beschleunigen und Abbremsen (Stufe 1 Längs- oder Querführung, Stufe 2 Längs- und Querführung). Bei diesen Stufen wird der Fahrer durch Assistenzsysteme entlastet, beispielsweise um automatisch den Abstand zum Vorderfahrzeug zu regulieren. Ab der Stufe 3 („Hochautomatisiertes Fahren“) überwacht das System die Umwelt. In kritischen oder unsicheren Situationen (Ausfall der Sensorik, Fehlen von Spurmarkierungen, etc.) wird der Fahrer jedoch noch benötigt, um einzugreifen (Fallback). Eine Übernahme kann auch noch in Stufe 4 („Vollautomatisiertes Fahren“) angefordert werden, allerdings ist hier das Fahrzeug in der Lage, sich selbstständig aus einer kritischen Situation zu befreien, indem es beispielsweise auf dem Seitenstreifen anhält. Systeme der Stufe 4



sind in der Lage, die Fahraufgabe in definierten Anwendungsfällen, beispielsweise auf Autobahnen, zu übernehmen. In Stufe 5 („Autonomes Fahren“) ist das System in der Lage, nicht nur einige, sondern alle möglichen Fahrsituationen autonom zu handhaben und den Passagier ohne aktive Beteiligung an der Fahraufgabe zum Ziel zu befördern.

Aktuelle Serienfahrzeuge werden der zweiten Automatisierungsstufe zugeordnet, d. h. die Lenkung (sog. Querführung), der Antrieb und das Bremssystem (sog. Längsführung) des Fahrzeugs werden durch das System beeinflusst. Alle restlichen Aufgaben verbleiben beim Fahrer [5]. Ein einfaches Beispiel verdeutlicht den aktuellen Stand der Automatisierung:

*Karl aktiviert auf der Autobahn sein ACC und Spurhaltesystem. Das teilautomatisierte System hält das Fahrzeug in der Spur und stellt die gewünschte Geschwindigkeit ein. Ein vorausfahrendes Fahrzeug leitet ein Bremsmanöver ein und das eigene Fahrzeug reagiert, indem es die Geschwindigkeit anpasst. Da Karl Vertrauen in das System hat und sich auf dieses verlässt, nimmt er die Hände vom Lenkrad, um eine WhatsApp Nachricht an einen Bekannten zu schreiben. Das Fahrzeug bemerkt diese Unaufmerksamkeit. Es fordert Karl auf, die Hände wieder ans Lenkrad zu legen, da die Automatisierung sonst abgeschaltet wird. Karl folgt der Anweisung und kann weiterhin durch das System auf der Autobahn entlastet werden. Er überwacht aufmerksam das Fahrzeugumfeld und bemerkt eine voraus liegende Baustelle. Das System folgt weiterhin den normalen weißen Fahrbahnmarkierungen und übersieht die geänderte Verkehrsführung durch die gelben Markierungen in der Baustelle. Karl muss in die Lenkung eingreifen, um nicht von der Fahrbahn abzukommen.*

Der Begriff „autonomes Fahren“ bezeichnet also das selbstständige, zielgerichtete Fahren eines Fahrzeugs ohne die aktive Einwirkung (und somit Notwendigkeit) eines Fahrers. Es stellt damit den endgültigen Zustand der Automatisierung dar, bei dem ein System vollständig die Fahraufgabe bewältigt. Diverse Informationsquellen, wie Radar, LiDAR, Kamera und hochgenaues Kartenmaterial sowie der Austausch relevanter Informationen mit der Umwelt, ermöglichen es, intelligente Algorithmen in Form von Software zu realisieren, die eine entsprechende Reaktion des Fahrzeugs hervorrufen. Dabei ist die Entwicklung hin zum autonomen Fahren ein dynamischer Prozess, welcher sich aus dem automatisierten und dem vernetzten Fahren zusammensetzt und den Paradigmenwechsel weg vom Autofahrer hin zu einem Autopiloten einleitet.

Verschiedene Sensoren und eine Vernetzung unter den Verkehrsteilnehmern können den Fahrzeugsystemen Informationen bereitstellen, welche dem menschlichen Fahrer sonst nicht zugänglich wären. Beispielsweise können durch Nachsichtsysteme andere Verkehrsteilnehmer (oder auch Wildtiere) erfasst werden, die außerhalb des menschlichen Sichtbereichs liegen. Auch Kartenmaterial wird bereits unter dem Begriff „elektronischer Horizont“ für vorausschauende Assistenzfunktionen eingesetzt, z. B. kann aus dem Kartenmaterial eine optimale Geschwindigkeit für bevorstehende Kurven abgeleitet werden. Neben der zu erwartenden erhöhten Sicherheit bieten automatisierte Fahrzeuge mehr Komfort, sobald in den höheren Automatisierungsstufen die Fahrzeit für andere Aufgaben nutzbar gemacht wird, da sich

der Fahrer vom Straßenverkehr abwenden kann. Automatisiertes Fahren kann als ein Baustein für den hochintegrierten und intermodalen Verkehr von morgen betrachtet werden, der schrittweise durch eine Einführung von Mobilitätsdiensten, insbesondere On-Demand-Verkehr, eines vernetzten Verkehrssystems und einer übergreifenden Verkehrssteuerung/ Automatisierung entsteht.

### Automatisierung des Verkehrs

Auf dem Weg zum autonomen Fahren wird in Deutschland von verschiedenen Automatisierungsstufen gesprochen, die insbesondere beschreiben, welchen Anteil der menschliche Fahrer an der Fahraufgabe übernimmt. Durch eine steigende Automatisierung des Verkehrs wächst die Lebensqualität durch weniger Emissionen und die Teilhabe aller Bürgerinnen und Bürger an der Mobilität. Sie ermöglicht auch die Einführung neuer Mobilitätsdienstleistungen und kann als ein erster Baustein des hochintegrierten intermodalen Verkehrs verstanden werden.

### BETRACHTUNGSEBENEN DES AUTOMATISIERTEN FAHRENS

Mobilität entspricht der Fähigkeit, sich von einem bestimmten Startort an einen Zielort zu bewegen. Traditionell übernimmt der menschliche Fahrer die primären Fahraufgaben, d. h. die Navigation, Bahnführung und Stabilisierung des Verkehrsmittels. Je nach Automatisierung von Fahrzeugen müssen Teile dieser Fahraufgaben (siehe Abbildung 3) entsprechend selbstständig von dem Fahrzeug übernommen werden, um unter Zuhilfenahme der Verkehrsinfrastruktur die Transportaufgabe zu lösen. Die primären Fahraufgaben beschreiben dabei wichtige Entscheidungsebenen, die aufzeigen, wie z. B. eine intelligente Verkehrssteuerung Einfluss auf die Entscheidungen des automatisierten Fahrzeugs und gleichzeitig auf das Verkehrsgeschehen ausüben kann. Aus Sicht der Verkehrsplanung und -steuerung kann auf diesen Ebenen der Verkehrsablauf (Verkehrsfluss), die Verkehrssicherheit und die Mobilitätsnutzung verbessert werden. In gleicher Weise ist auf diesen Ebenen auch eine kooperative Abstimmung durch Vernetzung verschiedener Verkehrsteilnehmer möglich.

Navigation: Auf der obersten Entscheidungsebene geht es um die Navigationsaufgaben des Fahrzeugs und somit um die Planung der gesamten Transportmission [2]. Die strategischen Entscheidungen (Zeithorizont: einige Minuten bis Gesamtdauer der Fahrt) dieser Ebene beinhalten die Auswahl eines Zielstandortes und der Route (Routenplanung). Auf dieser Entscheidungsebene nimmt die digitale Referenzkarte eine besondere Rolle ein, da Straßenstatusdaten (z. B. Straßensperrungen, Baustellen) und Verkehrsdaten (z. B. Staus, Unfälle) bei einer Entscheidung berücksichtigt werden sollten. Mit dem Zukunftsbild eines vernetzten intermodalen Verkehrs wird die Navigationsaufgabe zu einer kooperativen Abstimmung verschiedener Verkehrsmittel (kooperativer Planungsprozess). Gleiches gilt auch für die Bahnführungsebene.

**Bahnführung:** Die Entscheidungsfindung auf Bahnführungsebene basiert auf taktischen Entscheidungen (Zeithorizont: einige Sekunden bis Minuten), die dazu dienen, vorausschauend Maßnahmen einzuleiten, um die Transportmission zielgerichtet ausführen zu können. Dabei geht es insbesondere um die Auswahl eines Fahrmanövers (Verhaltens- /Manöverplanung), welches im Sinne einer vorausschauenden Maßnahme eingeleitet werden soll. Beispielsweise kann ein Fahrstreifenwechsel zielführend für ein Abbiegemanöver an der nächsten Kreuzung oder ein Ausweichmanöver notwendig sein, um einen Unfall zu verhindern. Nachdem ein Manöver festgelegt wurde, wird im Anschluss der genaue Bewegungsablauf des Manövers in Form eines kollisionsfreien Weges bestimmt (Bewegungsplanung). Falls dieser geplante Weg eine zeitliche Komponente enthält, spricht man auch von einer Trajektorie und somit von einer Trajektorienplanung. Zukünftig nimmt die Bahnführungsebene auch eine Schnittstellenrolle in der Vernetzung ein, da in diesem Zusammenhang eine kooperative Abstimmung mit anderen Verkehrsteilnehmern und Infrastruktureinrichtungen möglich und sinnvoll ist. Beispiele: Kooperatives Einfädeln auf der Autobahn, frühzeitiges Abbremsen an der Ampel oder Grüne Welle, Platooning (ein System, bei dem mehrere Fahrzeuge in sehr geringem Abstand verkehrssicher hintereinanderfahren können).

**Stabilisierung:** Final wird auf der operativen Ebene (Zeithorizont: Millisekunden) das geplante Verhalten in die Tat umgesetzt. In einer geschlossenen Kette (Regelkreis, Regelung) werden Längs- und Querverführung eingestellt, um dem ge-

wünschten Weg zu folgen. Die geschlossene Kette ist dadurch erkennbar, dass die Wirklichkeit (z.B. aktuelle Fahrzeugposition) kontinuierlich mit dem geplanten Bewegungsablauf verglichen und daraus ein gezielter Stelleingriff abgeleitet wird.

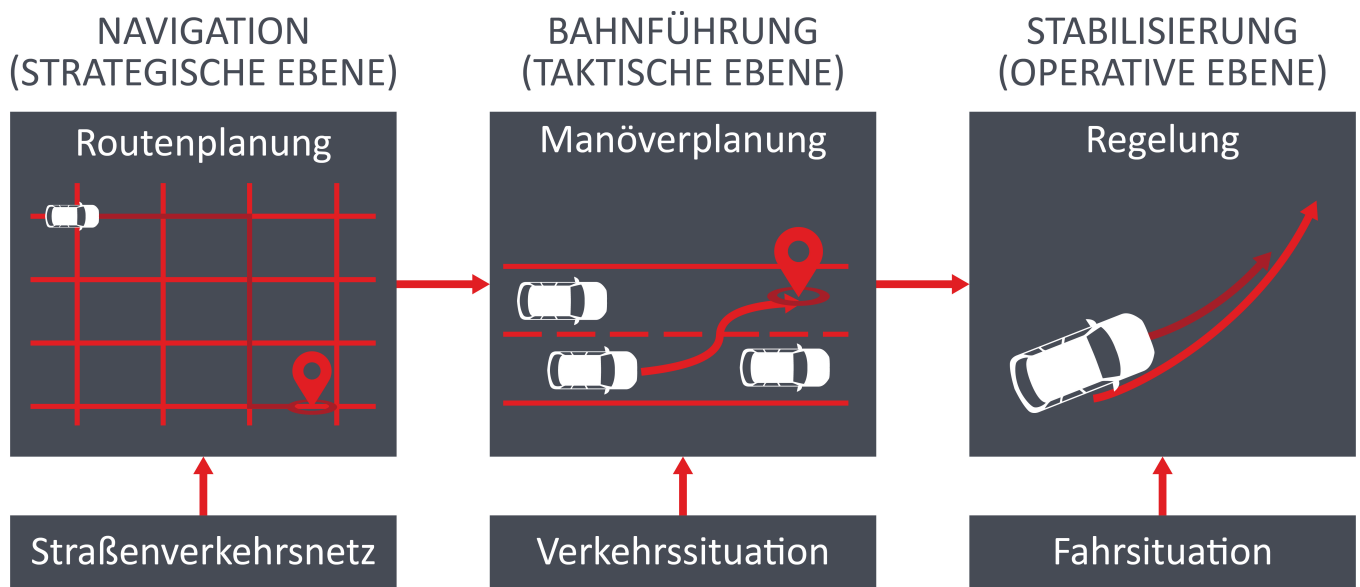


Abbildung 3: Teilaspekte einer Fahraufgabe und äußere Umwelteinflüsse. Quelle: Eigene Darstellung.

## VERKEHRSDATEN- UND UMFELDERFASSUNG

Damit in Zukunft autonomes Fahren möglich ist, müssen die Fahrzeuge ihr Umfeld wahrnehmen und die Verkehrssituation interpretieren können. Dafür müssen unterschiedliche Informationen erfasst und verarbeitet werden, die in einem digitalen Zwilling, d.h. einem aktuellen Abbild der Realität, zusammengeführt werden.

Dieser digitale Zwilling wird aus einer digitalen Referenzkarte, statischen Daten über die Infrastruktur und dynamischen Informationen (Verkehrsflüsse, Baustelleninformation) bestehen. Diese Daten werden mit den fahrzeugeigenen Sensordaten (LiDAR, Radar) abgeglichen und so ein Gesamtabbild der Verkehrssituation im Umkreis von 200 m und mehr realisiert. Die Informationslage kann für alle Verkehrsteilnehmer verbessert werden, etwa zur Erhöhung der Sichtweite des individuellen Fahrzeugs (z.B. Stauprognosen, Um-die-Ecke-schauen). Die Umfelddaten jedes Fahrzeugs werden dazu mit denen anderer Verkehrsteilnehmer und der Infrastruktursensorik vernetzt und zusammengeführt.

In Zukunft werden die Digitalisierung und Vernetzung von Fahrzeugen und Infrastruktur insbesondere zur hochgenauen Erfassung des Verkehrsgeschehens in Echtzeit dienen. Eine vernetzte und kooperative Erfassung ist dabei Voraussetzung für eine intelligente Verkehrssteuerung und wurde darüber hinaus für den Einsatz in der Fahrzeugautomatisierung erforscht [6]. Für eine Steuerung des Verkehrs und die Verkehrsplanung werden über die Infrastruktursensoren (siehe Sensorik) georeferenzierte Verkehrsdaten erfasst, wie z.B. Positionen und Geschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeuge. Diese mikroskopischen Daten werden anschließend über eine Aggregation zu makroskopischen Verkehrsdaten, wie mittlere Geschwindigkeit, Verkehrsfluss (Fahrzeuge pro Stunde) und Verkehrsdichte (Fahrzeuge pro Kilometer) zusammengefasst. Die makroskopischen Größen geben Aufschluss

über die Kapazität sowie die aktuelle Auslastung der Straße und werden in Modellen zur Vorhersage und Steuerung des Verkehrs eingesetzt [7].

Eine Voraussetzung hierfür ist eine flächendeckende Ausstattung mit Infrastruktursensorik. Die zukünftige Vernetzung bietet hier die Chance, zusätzliche Verkehrsdaten aus den im Verkehr „mitschwimmenden“ Fahrzeugen zu gewinnen. Diese sogenannten Floating-Car-Daten wurden beispielsweise im VAMOS Projekt [8] durch die Taxigenossenschaft bereitgestellt und in das Straßenverkehrsmanagementsystem der Stadt Dresden integriert.

Die Umfelderkennung automatisierter Fahrzeuge ist grundsätzlich so ausgelegt, dass eine Teilnahme am Verkehr auch ohne zusätzlichen Informationsaustausch mit anderen Verkehrsteilnehmern oder Infrastruktureinrichtungen möglich ist. Genau wie bei einem menschlichen Fahrer wird nach dem Paradigma Wahrnehmen-Planen-Agieren (Sense-Plan-Act) vorgegangen. Abbildung 4 zeigt eine exemplarische Grundstruktur und notwendige Komponenten für die technische Umsetzung automatisierter Fahrfunktionen.

Im Vergleich zu den bereits dargestellten Entscheidungsebenen (siehe Abbildung 3) ist zusätzlich eine Wahrnehmungskomponente zur Erfassung und Interpretation des lokalen Fahrzeugumfelds notwendig. Erst durch die Wahrnehmung kann die geschlossene Kette (Regelkreis) realisiert und angemessen auf das Verkehrsgeschehen reagiert werden. Unter der Umfelderkennung (auch Umfeldwahrnehmung) versteht man die Erfassung relevanter Verkehrsteilnehmer (Personen, Fahrzeuge, Radfahrer), Infrastrukturkomponenten (Trassierung, Fahrbahnmarkierungen, Leitpfosten, Ampeln, Verkehrsschilder), die zur Lösung der Transportaufgabe notwendig sind. Dabei erstellt das Fahrzeug auf Basis seiner Sensoren ein sogenanntes Umfeldmodell, welches zur anschließenden

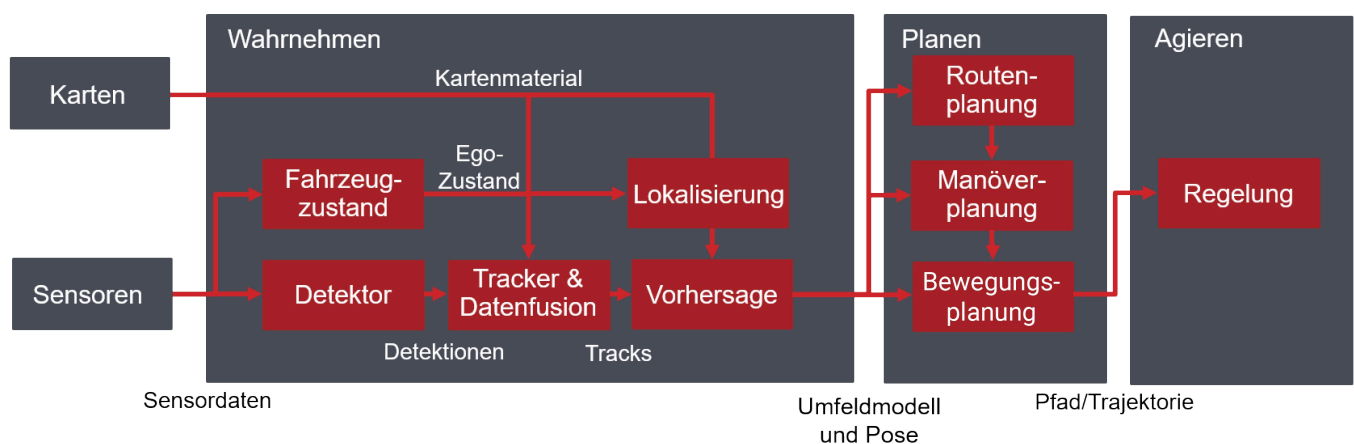


Abbildung 4: Grundstruktur und Komponenten automatisierter Fahrzeuge. Quelle: Eigene Darstellung.

Manöver- und Bewegungsplanung des Fahrzeugs genutzt wird. Ein Baustein für die Erstellung des Umfeldmodells ist die Erkennung der Verkehrsteilnehmer (Objekterkennung/Detektion) sowie die zeitliche Stabilisierung und Verknüpfung der Informationen mit sogenannten Trackingverfahren, die die Objekte und ihre Position über einen längeren Zeitraum eindeutig identifizieren und verfolgen. Keine Sensorart deckt allein die Anforderungen, die ein hochautomatisiertes System mit sich bringt, vollumfänglich ab. Erst durch die Kombinationen unterschiedlicher Sensorsysteme kann das Fahrzeugumfeld mit ausreichender Abdeckung, Redundanz und Zuverlässigkeit erfasst werden. Diese Sensordatenfusion kann je nach Zielsetzung verschiedene Ausprägungen (komplementär, konkurrierend, kooperativ [9]) besitzen. Werden in einem Fahrzeug etwa Informationen eines vorwärts gerichteten Radars mit denen eines seitlichen Radars kombiniert, vergrößert man die Abdeckung bzw. das Sichtfeld und man spricht von einer räumlich komplementären Fusion.

Eine genaue Planung der Bewegungsabläufe des automatisierten Fahrzeugs erfordert Wissen über die eigene Position und Ausrichtung (Pose) in dem Umfeldmodell, welches auch die befahrbaren Bereiche enthalten muss. Im einfachsten Fall werden die potenziell befahrbaren Bereiche für ein festes Szenario über ein GNSS (globales Navigationssatellitensystem, z. B. GPS) vor der Inbetriebnahme aufgezeichnet und im Anschluss im System gespeichert. Im Online-Betrieb erfolgt die Fahrzeuglokalisierung anhand der GNSS Informationen. In Forschungsfahrzeugen werden bereits die lokalen Sensorinformationen mit den Informationen aus hochgenauen digitalen Referenzkarten (HD-Karten) abgeglichen, um eine genauere Lokalisierung zu erreichen und das Umfeldmodell zu verbessern. Einige Kartenanbieter (z. B. Here [10]) stellen bereits HD-Karten zur Verfügung, die eine spurgenaue Abbildung der befahrbaren Bereiche enthalten. Zukünftig werden aus verschiedenen Informationsquellen hochgenaue, geschichtete digitale Referenzkarten mit temporären Merkmalen entstehen [11]. Die fahrzeugeigene Umfeldwahrnehmung kann im Kontext einer Vernetzung durch eine digitale Referenzkarte mit temporären Merkmalen und externe Daten anderer Verkehrsteilnehmer sowie Infrastruktureinrichtungen ergänzt werden.

## Verkehrsdaterfassung

Die Erfassung von Verkehrsdaten und die Umfeldfassung automatisierter Fahrzeuge kann durch eine Vernetzung und eine hochgenaue digitale Referenzkarte maßgeblich verbessert werden. Auch wenn automatisierte Fahrzeuge nur mit bordeigenen Sensoren agieren können, kann durch die Vernetzung ein genaueres Abbild des Fahrzeugumfelds erzielt werden und so die Sicherheit sowie Effizienz gesteigert werden. Kommunen können von einem optimierten Verkehrsfluss profitieren, für den eine flächendeckende Ausstattung mit Infrastruktursensorik notwendig wird.

# SENSORIK

Das automatisierte Fahren stellt hohe Anforderungen an die technischen Komponenten im Fahrzeug und an die Infrastruktur. Schon heute wird eine Vielzahl von Sensoren und Steuergeräten in den Fahrzeugen verbaut, um die Assistenzsysteme der Automatisierungsstufen 1 und 2 zu realisieren, die die Umwelt auf unterschiedliche Art und Weise wahrnehmen (siehe Abbildung 5).

Die in automatisierten Fahrzeugen und in der Infrastruktur eingesetzten Sensoren funktionieren mit akustischen, elektromagnetischen und optischen Signalen. Je nach verwendeter Sensorart ergeben sich verschiedene Anwendungsfelder.

## ULTRASCHALL

Über die Laufzeiterfassung (Time of Flight) ausgesendeter Ultraschallimpulse können diese Sensoren berührungslos Abstände zu einem Hindernis messen. Sie liefern nur den Abstand zu dem am nächsten liegenden Punkt in ihrem Sichtfeld. Durch die im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit langsame Ausbreitung von Ultraschall und die geringe Reichweite (max. 5 m), werden sie nur für die Erfassung des unmittelbaren Umfelds eingesetzt. Ein Beispiel sind Einparkhilfen. Die einfache Bauweise und geringen Kosten ermöglichen eine weite Verbreitung dieser Sensoren.

## RADAR

Im Gegensatz zum Ultraschallsensor senden Radarsensoren elektromagnetische Wellen aus, welche eine viel höhere Reichweite (in Fahrzeugen verbaute Sensoren ca. 250 m) haben. Durch die Phasenverschiebung und Frequenzänderung der reflektierten Wellen im Vergleich zu den empfangenen Wellen kann kontinuierlich die Entfernung und die relative Geschwindigkeit von Objekten gemessen werden. Da Radarsensoren unempfindlich gegenüber Lichteinflüssen sind und sich nur gering von schlechten Witterungsverhältnissen beeinflussen lassen, werden sie häufig für Abstandsregelautomaten und Kollisionswarnsysteme verwendet. Eine statische Fahrwegimplementierung für die Erkennung von Fahrzeugen an z. B. Ampeln und Kreuzungen ist auch denkbar.

## LIDAR

Mittels Laufzeitmessung von Laserstrahlen werden beim LiDAR (Light Detection And Ranging) Objekte auf weite Distanz (ca. 200 m) detektiert. Im Gegensatz zum Radar haben LiDAR-Sensoren eine gute Winkelauflösung, weshalb durch die Rotation des Sensors, dem Einsatz einer beweglichen Optik oder mit mehreren Laserstrahlen ein hochaufgelöstes Umfeldmodell erstellt werden kann. Äußere Umwelteinflüsse beeinträchtigen die Funktion des Sensors kaum und lassen sich sogar detektieren (Nebel, Gischt etc.).



Abbildung 5: Darstellung der Sichtweise verschiedener Sensorik und der jeweiligen KI-basierten Systeme für die Umfelderkennung. Quelle: Eigene Darstellung. Bildmaterial: Dosovitskiy et al. 2017.

## KAMERA

Kameras können hervorragend für die Interpretation des Umfeldes verwendet werden, da mit ihnen Objekte nicht nur erkannt, sondern auch kategorisiert werden können. Des Weiteren sind sie für viele der heutigen Fahrerassistenzsysteme – wie z. B. Spurverlassenswarner, Verkehrszeichenassistent und Fernlichtassistent – unerlässlich. Durch die günstige Produktion und kleine Bauweise lassen sich Kameras auch vielerorts am Fahrzeug unterbringen. Neben den Assistenzsystemen werden Kameras auch bereits als Ersatz für den Rückspiegel verwendet, um einen geringeren Luftwiderstand zu erhalten.

Zur Erfassung der Verkehrssituation können diese an Masten in Fahrbahnnähe befestigt werden. Durch die bildliche Erfassung ist eine Unterscheidung der einzelnen Verkehrsteilnehmer bzw. Verkehrsmittel leicht möglich und mikroskopische Verkehrsdaten können so für verschiedene Verkehrsmittel erfasst werden. Im Gegensatz zu LiDAR und Radar funktionieren Kameras in schwierigen Lichtverhältnissen (tief stehende Sonne, Gischt, Regen/Schnee etc.) allerdings nur sehr eingeschränkt. Je nach Auflösung können Objekte in etwa 100 Metern Entfernung detektiert werden.

## INFRASTRUKTURSEITIGE SENSOREN

Für die Erkennung von Fahrzeugen werden bereits seit vielen Jahren Untergrundsensoren, wie Induktionsschleifen und Funksensoren in der Fahrbahn, eingesetzt. Diese erkennen Fahrzeuge über eine Änderung des Magnetfeldes und können über die Stärke der Änderung auch zwischen LKW, PKW, Motorrädern und Fahrrädern unterscheiden. Allerdings können diese Sensoren nur die lokale Anwesenheit (und Position) eines Fahrzeuges erkennen. Um weitere mikroskopische Daten, wie Geschwindigkeit oder Abstände, zu erhalten, sind mindestens zwei solcher Sensoren (je Fahrbahn) nötig. Gegenüber Umwelteinflüssen sind diese Sensoren sehr robust. Fußgänger:innen und Fahrgäste lassen sich mithilfe von Lichtschranken, Drehkreuzen oder Infrarotsensoren [7] erfassen und zählen.

## Automatisierungsstufe 2 auf 3

Der Wechsel von Automatisierungsstufe 2 auf 3 stellt die Sensorik automatisierter Fahrzeuge vor große Herausforderungen. Durch die Verwendung redundanter Sensoren und deren Fusion kann eine sichere Erfassung des Umfeldes erzeugt werden.

## FUSION

Die genaue Erfassung der Umwelt in einem sich bewegenden System erfordert sowohl präzise als auch verschiedene, teilweise redundante Sensoren. In Abbildung 6 werden die Stärken und Schwächen der einzelnen Sensortypen schematisch dargestellt.

Je nach Automatisierungsstufe ist eine Vielzahl von sich ergänzenden Sensoren nötig, um die vorhandenen Schwächen einzelner Sensoren auszugleichen.

## FLOATING CAR DATA

Durch Positions- und Bewegungsinformationen, welche von den Fahrzeugen über Mobilfunk gesendet werden (FCD; Floating-Car-Data), kann ein sehr genaues Abbild der realen Verkehrssituation erstellt werden, ohne die hohen Investitionskosten in neue infrastrukturseitige Sensoren. Bei der erweiterten fahrzeugseitigen Verkehrserfassung (XFCD) werden zusätzliche Informationen, wie der Status der Beleuchtung und des Scheibenwischers, übertragen, um Rückschlüsse auf die Witterungs- und Straßenverhältnisse zu erhalten. Auch mobile Endgeräte (Mobiltelefone, Navigationsgeräte mit Mobilfunk) liefern ein genaues Abbild der Verkehrssituation (FCP; Floating-Phone-Data).

	Kamera	LiDAR	Radar	Ultraschall	Infrastrukturseitige Sensorik
Blickfeld	↑	↑	↗	→	↘
Messbereich, Reichweite	↗	↑	↑	↘	↘
Geschwindigkeitsauflösung	→	↗	↑	↘	→
Betrieb unter schlechten Witterungsbedingungen	→	↗	↗	→	↑
Betrieb bei Nacht, Störung durch Umgebungslicht	↗	↑	↑	↑	↑
Objektklassifizierung semantische Informationen	↑	↗	→	↘	↗

Abbildung 6: Vergleichende Darstellung der Eigenschaften verschiedener Sensoren. Quelle: Eigene Darstellung.

## VERNETZUNG

Allgegenwärtig wird vom automatisierten und vernetzten Fahren gesprochen. Beide Themenfelder sind zwar miteinander verbunden, doch kann ein automatisiertes Fahrzeug auch ohne Vernetzung auskommen und vernetzte Fahrzeuge sind nicht zwangsläufig automatisiert. Das volle Potential automatisierter Fahrzeuge im Kontext eines integrierten multimodalen Verkehrssystems setzt jedoch eine Vernetzung voraus. Man denke an automatisierte Shuttlebusse oder automatisiertes Valet-Parken, bei denen das Fahrzeug über eine App angefordert wird. Grundsätzlich wird für die Umsetzung automatisierter Fahrfunktionen das direkte Fahrzeugumfeld analysiert. In schwierigen Szenarien, wie insbesondere einem schlecht einsehbaren Kreuzungsbereich, ist es von Vorteil, die eigene Umfeldwahrnehmung mit Informationen anderer Verkehrsteilnehmer oder der Infrastruktur zu erweitern. Dadurch kann sowohl die Sicherheit als auch der Fahrkomfort erhöht und zu einer Optimierung des Verkehrsflusses beigetragen werden. Um die Informationen aus dem Umfeld des Fahrzeuges empfangen und senden zu können, ist eine Kommunikationsschnittstelle notwendig. Hinter dem Begriff Cooperative Intelligent Transport System (C-ITS), auch bekannt unter dem Kürzel V2X (Vehicle to everything), verbergen sich Kommunikationstechniken wie V2V (Vehicle to Vehicle) und V2I (Vehicle to Infrastructure). Eine Herausforderung für die Vernetzung ist der standardisierte, verlässliche und möglichst verzögerungsfreie Datenaustausch zwischen den Teilnehmer:innen. Ebenso spielt der Datenschutz eine zentrale Rolle, da unter anderem sensible Bewegungsdaten ausgetauscht werden können [12].

### DATENÜBERTRAGUNGSPROTOKOLLE

Für die Datenübertragung werden derzeit zwei Standards verfolgt. 5G im Bereich Mobilfunk und der auf dem auch im häuslichen Bereich eingesetzte WLAN Standard IEEE 802.11 basierende Standard IEEE 802.11p. Der WLAN-Standard 802.11p (WLANp) verzichtet dabei im Gegensatz zum ursprünglichen Standard 802.11 auf die Empfangsbestätigung für erhaltene Nachrichten. Dadurch sind wesentlich geringere Verzögerungen (Latenzzeiten) bei der Nachrichtenübertragung möglich. Der Standard 802.11p überbrückt auf Autobahnen zwischen 200 und 500 m, allerdings sind im innerstädtischen Bereich auch wesentlich kleinere Funkradien zu erwarten. Aufbauend auf IEEE 802.11p wurde das ITS-G5 Protokoll vom European Telecommunications Standards Institute (ETSI) entwickelt. Das Protokoll erlaubt die Kommunikation zwischen Fahrzeugen. Als Konkurrenz zum ITS-G5 [13] wurde das LTE C-V2X-Protokoll [14] entwickelt. Auch dieses Protokoll dient der Kommunikation eines Fahrzeugs mit seiner Umgebung (insb. anderen Fahrzeugen), jedoch basiert es – wie der Name nahelegt – in der Grundversion auf

dem Mobilfunkstandard LTE-A. Damit kann auf ein bereits existierendes Mobilfunknetz aufgesattelt werden. Das ist ein großer Vorteil, weil sowohl der WLAN-Standard als auch der Mobilfunkstandard auf entsprechende Infrastruktur in Form von Access-Points zurückgreifen muss. Um eine flächendeckende Versorgung entlang des Straßennetzes zu ermöglichen, werden entsprechend viele Zugangspunkte (Access-Points) benötigt, die wiederum an ein kabelgebundenes Breitbandnetz (i. d. R. Glasfaser) angebunden werden müssen. Diese existieren für den Mobilfunk an vielen Stellen bereits, WLAN-Access-Points müssen noch geschaffen werden. Zusätzlich kommuniziert die neueste Generation des Mobilfunks 5G mit deutlich höheren Datenraten (bis zu 10 Gbit/s) bei ähnlichen Latenzzeiten (<1 ms) wie IEEE 802.11p. Die C-Roads-Technologieplattform, das EU-Projekt SCOOP@F [15] oder das kooperative Projekt C-ITS-Corridor [16] zwischen den Niederlanden, Österreich und Deutschland folgen den Empfehlungen des ERTRAC (European Road Transport Research Advisory Council) [17] und nutzen für die Kommunikation einen hybriden Ansatz von sowohl Direktfunk (IEEE 802.11p) als auch Mobilfunk (5G). Den Startpunkt bildet eine Kombination von ITS-G5 und existierenden Mobilfunknetzen. Durch diese Redundanzen werden die Zuverlässigkeit und die Robustheit beim Übertragen von sicherheitskritischen Nachrichten verbessert. Auf europäischer Ebene wird die Förderung von C-ITS durch Projekte wie 5GCAR [18] und CCAM [19] weiter vorangetrieben. Mit dem flächendeckenden Ausbau des 5G-Netzes in Deutschland und der EU werden somit auch Voraussetzungen für das automatisierte Fahren entlang der Haupttransportwege geschaffen.

### DATEN UND DATENFORMATE

Die Infrastrukturdaten liegen bereits größtenteils in digitaler Form vor, jedoch ist noch eine einheitliche Standardisierung nötig, um den Datenaustausch zu fördern. Auf nationaler Ebene erlaubt der Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA [20]) den Austausch von Objektdaten (wie Straßennetz, Baustellen, Beleuchtung, Lichtsignalanlagen) im Verkehrswesen über das eigens dafür definierte OKSTRA-Datenschema. Über das Portal GDI-DE [21] können Geodaten aus Bund, Ländern und Kommunen abgerufen werden. Auf europäischer Ebene existiert das Portal INSPIRE [22]. Neben den statischen Daten müssen selbstverständlich auch die dynamischen Verkehrsdaten zwischen den Verkehrsleitzentralen (TCC, Traffic Control Center) ausgetauscht werden können. Dazu dient der europaweite Standard DATEX II [23]. Mit diesem Standard werden insbesondere Informationen über Unfälle, Staus und Tagesbaustellen zwischen den Verkehrsleitzentralen ausgetauscht. Für

eine Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und/oder Sendeeinheiten am Straßenrand, sogenannte Roadside Units (RSU), sind bereits verschiedene Nachrichtentypen auf europäischer Ebene standardisiert. Dazu gehört etwa die CAM Nachricht, mit der Informationen über Fahrzeugposition und -geschwindigkeit ausgetauscht werden können. Eine Übersicht der Nachrichtentypen wird in Tabelle 1 dargestellt.

Die o.g. Daten werden hauptsächlich von den öffentlich-rechtlichen Anbietern im Rahmen der OpenData-Bewegung kostenlos angeboten. Vorwiegend für den dynamischen Teil gibt es aber auch (ausschließlich) kostenpflichtige Angebote. Ein Marktplatz wird über die Datenportale MDM [24] oder mCLOUD [25] bereitgestellt. Diese Datenportale dienen als Vermittler zwischen den Verkehrsbetrieben, den Kommunen sowie den Automobilherstellern und erlauben ein kostenpflichtiges Abonnement aktueller Datensätze.

### Vernetzung und Datenportale

Auch wenn die fahrzeugeigenen Sensoren für eine sichere Umfelderkennung sorgen, erlaubt eine Vernetzung das „Um-die-Ecke-schauen“. Somit können z. B. Gefahren erkannt werden, welche sich nicht im eigenen Sichtfeld befinden. Für Kommunen ergibt sich durch eine Vernetzung und Nutzung von Datenportalen ein hohes Potential, die anfallenden Daten für eine optimierte Verkehrssteuerung und weitere Mobilitätsdienstleistungen einzusetzen.

Name	Inhalt	Zeitpunkt
CAM (Cooperative Awareness Message)	Fahrzeugeigene Parameter (Position, Geschwindigkeit, Richtung, Priorisierung, ...)	periodisch
MAP	Topologie der Straße und Fahrspuren von Kreuzungen	periodisch
SPaT (Signal Phase and Timing)	Status und die verbleibende Zeit der Signalphase von Lichtsignalanlagen (LSA)	periodisch
IVI (In Vehicle Information)	Inhalt von Verkehrszeichen	periodisch
DENM (Decentralized Environmental Notification Message)	Warnmeldungen	eventbasiert

Tabelle 1: Übersicht über populäre Nachrichtenstandards.



## PILOTPROJEKTE

Im folgenden Abschnitt werden aktuelle Pilotprojekte vorgestellt, welche sich mit der Vernetzung von Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsteilnehmern befassen.

Der Großteil der Pilotprojekte hatte zur Aufgabe, die Emissionen und Reisezeiten zu reduzieren. Das Projekt Travolution [26] setzte im Jahr 2008 in Ingolstadt eine intelligente und vernetzte Verkehrssteuerung um. Durch eine Vernetzung von Fahrzeugen und Lichtsignalanlagen konnte den Fahrer:innen eine Geschwindigkeit vorgeschlagen werden, um die nächste Lichtsignalanlage ohne Geschwindigkeitsverlust überqueren zu können.

Seit 2016 werden in einigen Städten der USA erste intelligente Lichtsignalanlagen (LSA) mit V2I installiert. Das Projekt der AUDI AG [27] ist damit das Erste, welches ein solches System in Serienfahrzeugen umsetzt. 2019 und 2020 folgte die Einrichtungen intelligenter LSA in Ingolstadt und Düsseldorf. Die Informationen der einzelnen LSA werden von den städtischen Verkehrsleitzentralen (VLZ) an einen Server der AUDI AG gesendet und von dort an Fahrzeuge entsprechend ihrer Position übermittelt. Die Fahrzeuge zeigen dem Fahrer durch optische Hinweise eine optimale Geschwindigkeit zum Erreichen der grünen Ampel oder die verbleibende Zeit der Rotlichtphase an. Letzteres wird auch genutzt, um den Motor bei längeren Standzeiten automatisch auszuschalten.

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) initiierte im Jahr 2017 das „Sofortprogramm Saubere Luft 2017–2020“ [28] zur Verbesserung der Luftqualität in deutschen Kommunen. 64 Kommunen, darunter 19 aus Nordrhein-Westfalen, nahmen daran teil. Das Projekt hatte drei Schwerpunkte, von denen einer die Digitalisierung der kommunalen Verkehrssysteme war.

Im Projekt KoMoD [29] arbeiteten 16 Partner aus Industrie, Forschung und Verkehrsbetreiber zusammen, um in Düsseldorf ein Testfeld für automatisiertes und vernetztes Fahren zu erproben. Dabei wurden auch intelligente LSA eingerichtet, welche mittels Kommunikation mit Verkehrsteilnehmern und dem Einsatz von künstlicher Intelligenz den Verkehr regelten. Dies geschah durch Roadside Units, welche den Fahrzeugen die Karteninformationen (MAP) sowie die Signalphasen (Signal Phase and Time; SPAT) übermittelten.

Das darauffolgende Projekt KoMoD next [30], welches im April 2022 abgeschlossen wurde, richtete seinen Fokus auf die Entwicklung und Anwendung neuartiger Konzepte der funktionalen Sicherheit zur Absicherung der Kommunikation zwischen Infrastruktur und Verkehrsteilnehmern sowie von Steuerungsverfahren des hochautomatisierten Fahrens. Hierfür wurden Teile des bereits bestehenden Testfeldes des Vorgängerprojekts KoMoD mit Roadside Units erweitert sowie neue Verkehrswege hinzugefügt.

Im Bereich des automatisierten ÖPNV-Betriebs erprobt das Projekt a-Bus Iserlohn – New Mobility Lab [31] den Einsatz eines automatisiert fahrenden Fahrzeugs zur Personenbeförderung. Hierbei wird das automatisierte Fahren auf einer 1,5 km langen Strecke getestet sowie die Einbindung einer intelligenten Kommunikationsinfrastruktur erprobt. Der Shuttle-Verkehr ist bis zum Projektlaufzeitende im Juni 2023 kostenlos für Interessierte nutzbar.

Vorteile von LiDAR-Sensorik zur datenschutzkonformen Verkehrserfassung präsentierte das Teilprojekt KI-basiertes Traffic Management von bergisch.smart\_mobility [32] der Bergischen Struktur- und Wirtschaftsförderungsgesellschaft mbH. Hier wurden in einer vierwöchigen Testphase zwei LiDAR-Sensoren an einer LSA installiert, welche Daten zur Verkehrsflussanalyse aufzeichneten.

# ZUSAMMENFASSUNG

## **SENSORIK ERMÖGLICHT DIE AUTOMATISIERTE MOBILITÄT**

Die Weiterentwicklung der Sensortechnik und der dazugehörigen Algorithmen zur Umfelderkennung ist ein Kernbereich zur Verwirklichung automatisierter Fahrzeuge sowie zur Steigerung der Sicherheit im Straßenverkehr. Auch die Auswahl geeigneter Sensorik für den konkreten Anwendungskontext stellt eine große Herausforderung dar. Für Kommunen ist insbesondere der Kompetenzaufbau für eine Erfassung der Anforderungen an die Infrastruktursensorik von Bedeutung.

## **POTENTIAL DES VERNETZTEN FAHRENS**

Durch die Vernetzung von Verkehrsteilnehmern und Infrastruktur kann eine Reihe von neuartigen Konzepten umgesetzt werden. Der Austausch von Informationen hilft dabei, den Komfort und die Sicherheit zu erhöhen sowie Emissionen zu reduzieren. Des Weiteren kann die Vernetzung bei dem Aufbau eines bedarfsgerechten und automatisierten Verkehrssystems sowie bei der Einführung von Mobilitätsdiensten (z. B. On-Demand-Verkehr) förderlich sein.

## **DIGITALER ZWILLING**

Aus den Informationen von (vernetzten) Fahrzeugen und infrastrukturseitiger Sensorik kann ein digitales Abbild (digitaler Zwilling) der Realität erstellt werden. Dieses Abbild eignet sich nicht nur für die Verkehrssteuerung und -planung, um Schwachstellen im Straßennetz aufzudecken, sondern auch für Anwendungen in der Kommunalverwaltung. Aus dem digitalen Zwilling können wertvolle Informationen für unter anderem die Erschließung von Grundstücken und die Bebauungsplanung gewonnen werden.

## WAS KÖNNEN KOMMUNEN JETZT TUN?

### SENSORIK

In allen Kommunen finden nahezu ständig Aus- und Umbaumaßnahmen statt. Seien es Erhaltungsmaßnahmen in der Verkehrsinfrastruktur (Fahrbahnausbesserung, Ersatz von LSA, Einbau von Fußgängerüberwegen, Brückenneubau) oder Baumaßnahmen aufgrund anderer Großprojekte (z. B. Glasfaserausbau, Mobilfunkausbau, Stromtrassen). In allen diesen Fällen kann und sollte automatisierte Mobilität bereits jetzt mitgedacht werden. So werden neue Lichtsignalanlagen (LSA) von Straßen.NRW bereits jetzt mit Radar, Kamera und/oder Induktionsschleifen zur Datensammlung ausgestattet (vgl. [33]). Zusätzlich sollte bei der Planung der Steuerkästen eine (zukünftige) Anbindung an Rechenzentren bedacht werden, um die Daten intelligent auswerten zu können. Dies ist derzeit noch nicht der Fall und beeinträchtigt somit den späteren Ausbau zu einem intelligenten Ampelsystem.

### POTENTIALE ERKENNEN UND SICH VORBEREITEN

Derzeit läuft eine Reihe von Modellprojekten, die automatisierte Mobilität direkt oder indirekt fördern und fordern. Einerseits sind dies die bereits angeführten Pilotprojekte, andererseits werden im Zuge der „Smart City-Aktivitäten“ Mobilitätsaspekte fokussiert. Es gibt also eine Reihe von Fördermöglichkeiten (BMBF, KFW, Land) mit unterschiedlichem Fördervolumen und Rahmenbedingungen. Diese können genutzt werden, um gezielt finanzielle Mittel für die Umsetzung visionärer, aber auch sehr konkreter Projekte zu akquirieren. Ebenso wichtig ist jedoch die Weiterbildung des Personals in den Kommunen und angeschlossenen kommunalen Unternehmen. Dazu gehören neben den technischen und verwaltungsrechtlichen Kompetenzen im Bereich der Sensorik, des Datenschutzes und des Baurechts auch Kompetenzen im Bereich der Datensammlung, -aufbereitung, -analyse und -vermarktung (vgl. [34] Abschnitt 3.2), denn die gewonnenen Daten aus der Sensorik lassen sich vielfältig nutzen. Da der Kompetenzerwerb Zeit in Anspruch nimmt, ist eine frühzeitige Sensibilisierung für den Bedarf sowie eine längerfristige Planung der entsprechenden Weiterbildungskampagne zu empfehlen. So sollte beispielsweise eine entsprechende Koordinationsstelle auf Ebene der Kreise oder kreisfreien Städte eingerichtet werden, die neben einer Anlaufstelle für Fragen rundum automatisierte Mobilität für die angegliederten Kommunen auch entsprechende Weiterbildungsbedarfe identifiziert und Projekte (ggf. gemeindeübergreifend) vorantreibt.

### DATEN VIELFÄLTIG NUTZEN

Der digitale Zwilling ist üblicherweise ein Produkt, welches Daten aus vielen Abteilungen benötigt. Auch wenn im Kontext dieser Broschüre vor allem die Mobilität im Vordergrund steht, lassen sich die zusammengeführten Daten aus Kataster (Adressen, Grundstücke, Gebäudeumrisse), Tiefbau (Ver- und Entsorgungstrassen, Baustellenmanagement), Verkehrsamt (Schilder, LSA), Stadt- und Raumplanung, Meldewesen und weitere Quellen (datenschutzkonform) zusammenführen, um einen digitalen Zwilling der Gebietskörperschaft zu erstellen. Der Prozess, an dessen Ende ein solcher Digitaler (Daten-)Zwilling steht, ist koordinationsintensiv und bezogen auf ggf. notwendige Datentransformationen aufwändig. Jedoch lohnt sich der Aufwand, da die Nutzung des Zwillings für vielfältige Analysen und Steuerungsprozesse auch jenseits von Mobilitätsfragestellungen (z. B. Standortplanung, Versorgungsplanung etc.) nutzbar ist.

## LITERATUR

- [1] Bosch Media Service, Bosch-Auswertung: Fahrerassistenzsysteme sind weiter stark auf dem Vormarsch. Verfügbar unter: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/bosch-auswertung-fahrerassistenzsysteme-sind-weiter-stark-auf-dem-vormarsch-148032.html>. Zugriff am: 16. August 2021.
- [2] H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz und C. Singer, Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2009.
- [3] SAE On-Road Automated Driving (ORAD) Committee, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.
- [4] BMVI, „Bericht zum Stand der Umsetzung der Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren“, S. 82, 2017. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-avf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-avf.pdf?__blob=publicationFile)
- [5] Deutscher Bundestag, „Autonomes und automatisiertes Fahren auf der Straße-rechtlicher Rahmen Ausarbeitung Wissenschaftliche Dienste“, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/562790/c12af1873384bcd1f8604334f97ee4b9/wd-7-111-18-pdf-data.pdf>.
- [6] R. Wertheimer, „Forschungsinitiative Ko-FAS“.
- [7] E. Schnieder, Verkehrsleittechnik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. [Online]. Verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-48541-4>
- [8] Technische Universität Dresden, VAMOS Portal. [Online]. Verfügbar unter: <https://vamosportal.de/>.
- [9] K. Tischler, „Informationsfusion für die kooperative Umfeldwahrnehmung vernetzter Fahrzeuge“, 1613-4214, Jg. 029, doi: 10.5445/KSP/1000038048.
- [10] HERE, „HERE HD Live Map - The most intelligent sensor for autonomous driving“, 2017. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.here.com/sites/g/files/odxslz166/files/2018-11/HERE\\_HD\\_Live\\_Map\\_one\\_pager.pdf](https://www.here.com/sites/g/files/odxslz166/files/2018-11/HERE_HD_Live_Map_one_pager.pdf).
- [11] K. Lemmer, „Neue autoMobilität II: Kooperativer Straßenverkehr und intelligente Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft“, acatech, 11. Sep. 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.acatech.de/publikation/neue-automobilitaet-ii/>.
- [12] M. Mitteregger et al., „Automatisierter und vernetzter Verkehr im Langen Level 4“ in AVENUE21. Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, S. 57–99, doi: 10.1007/978-3-662-61283-5\_4.
- [13] ITS, „EN 302 663 - V1.2.0 - Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band“. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/302663/01.02.00\\_20/en\\_302663v010200a.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302663/01.02.00_20/en_302663v010200a.pdf)
- [14] Cellular V2X - IEEE Future Networks. [Online]. Verfügbar unter: <https://futurenetworks.ieee.org/tech-focus/june-2017/cellular-v2x> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).
- [15] Ministère de la Transition Ecologique, 2014-EU-TA-0669-S - Innovation and Networks Executive Agency - European Commission. [Online]. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/inea/en/connecting-europe-facility/cef-transport/2014-eu-ta-0669-s> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).
- [16] Die Autobahn GmbH des Bundes, C-ITS (Kooperative intelligente Verkehrssysteme). [Online]. Verfügbar unter: <https://www.autobahn.de/cits> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).
- [17] ERTRAC, „ERTRAC Automated Driving Roadmap Status“, 2015. [Online]. Verfügbar unter: [https://connectedautomateddriving.eu/wp-content/uploads/2019/04/ERTRAC-CAD-Roadmap-03.04.2019-1.pdf?fbclid=IwAR3ynV7OpUc07zO3Y1PqQKe4S5xgY\\_sW8kMbnocwTZ7S78Cfz8upjPKRKpo](https://connectedautomateddriving.eu/wp-content/uploads/2019/04/ERTRAC-CAD-Roadmap-03.04.2019-1.pdf?fbclid=IwAR3ynV7OpUc07zO3Y1PqQKe4S5xgY_sW8kMbnocwTZ7S78Cfz8upjPKRKpo)  
[http://www.ertrac.org/uploads/documentssearch/id38/ERTRAC\\_Automated-Driving-2015.pdf](http://www.ertrac.org/uploads/documentssearch/id38/ERTRAC_Automated-Driving-2015.pdf).
- [18] 5GCAR – 5G Communication Automotive Research and innovation. [Online]. Verfügbar unter: <https://5gcar.eu/> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).
- [19] CCAM, „Homepage - CCAM“, CCAM, 10. Feb. 2021, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ccam.eu/>. Zugriff am: 6. Dezember 2021.
- [20] interactive instruments GmbH, [www.okstra.de](http://www.okstra.de). [Online]. Verfügbar unter: <https://www.okstra.de/> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).
- [21] Geoportal.de. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.geoportal.de/> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).
- [22] INSPIRE | Welcome to INSPIRE. [Online]. Verfügbar unter: <https://inspire.ec.europa.eu/> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).

- [23] Homepage | DATEX II. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.datex2.eu/> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).
- [24] MDM Portal, Mobilitäts Daten Marktplatz MDM - MDM Portal. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mdm-portal.de/> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).
- [25] mCLOUD. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mcloud.de/> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).
- [26] S. Ingolstadt, TRAVOLUTION. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ingolstadt.de/Rathaus/Aktuelles/Meldungs-Archiv/Travolution.php?object=tx,2789.5.1&ModID=7&FID=465.2437.1&NavID=2789.737&La=1> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).
- [27] Audi launches first Vehicle-to-Infrastructure (V2I) technology in the U.S. starting in Las Vegas - Audi Newsroom. [Online]. Verfügbar unter: <https://media.audiusa.com/en-us/releases/92> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).
- [28] BMDV - Sofortprogramm Saubere Luft. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Urbane-Mobilitaet/Sofortprogramm-Saubere-Luft/sofortprogramm-saubere-luft.html> (Zugriff am: 6. Dezember 2021).
- [29] BMVI - Kooperative Mobilität im digitalen Testfeld Düsseldorf – KoMoD. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/AVF-projekte/komod.html> (Zugriff am: 18. Juni 2021).
- [30] komodnext, Kooperative Mobilität im digitalen Testfeld Düsseldorf - komodnext. [Online]. Verfügbar unter: <https://komodnext.org/> (Zugriff am: 4. Apr 2022).
- [31] #4 a-BUS Iserlohn. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iserlohn.de/iserlohn-digital/smart-city-in-iserlohn/a-bus-iserlohn> (Zugriff am: 4. Apr 2022).
- [32] bergisch.smart\_mobility, LiDAR-Sensorik in Solingen. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bergischsmartmobility.de/lidar-sensorik-in-solingen/> (Zugriff am: 4. Apr 2022).
- [33] Smarte Ampeln für den Verkehr. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.strassen.nrw.de/de/presse/meldungen/meldung/smart-ampeln-fuer-den-verkehr-strassen-nrw-beteiligt-sich-an-forschungsprojekt-zur-verbesserung-der-ampelschaltung-mit-kuenstli.html> (Zugriff am: 29. Apr 2022)
- [34] Datenstrategien für die gemeinwohlorientierte Stadtentwicklung. Nationale Dialogplattform Smart Cities. 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2021/datenstrategien-gemeinwohl-stadtentwicklung-dl.pdf> (Zugriff am: 29. Apr 2022)

## IMPRESSUM

Herausgeber

**camo.nrw**  
CENTRUM FÜR AUTOMATISIERTE MOBILITÄT

**Geschäftsstelle Centrum für automatisierte Mobilität (CAMO)**  
c/o Bergische Universität Wuppertal  
Rainer-Gruenter-Str. 21  
42119 Wuppertal

**Besucheradresse:**  
Lise-Meitner-Str. 27  
42119 Wuppertal



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung



**EFRE.NRW**

Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung

Diese Studie wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

## **Autoren**

**Kronenberger, Jan, M.Sc.**

Hochschule Ruhr West  
Institut Informatik

**Trelenberg, Kevin, B.Sc.**

Hochschule Ruhr West  
Institut Informatik

**Detjen, Henrik, M.Sc.**

Hochschule Ruhr West  
Institut Positive Computing

**Geisler, Stefan, Prof. Dr. rer. nat.**

Hochschule Ruhr West  
Institut Positive Computing

**Handmann, Uwe, Prof. Dr.-Ing.**

Hochschule Ruhr West  
Institut Informatik

**Haselhoff, Anselm, Prof. Dr.-Ing.**

Hochschule Ruhr West  
Institut Informatik

**Malzahn, Nils, Dipl.-Inform.**

Hochschule Ruhr West  
Institut Positive Computing

Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle kann seitens des camo.nrw keine Garantie oder Haftung für Vollständigkeit, Richtigkeit und Aktualität der Angaben übernommen werden.

Die in diesem Themenheft dargestellten Ergebnisse basieren auf Recherchen bis einschließlich April 2022.

Dieses Themenheft wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

**camo.nrw**  
CENTRUM FÜR AUTOMATISIERTE MOBILITÄT



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung



EFRE.NRW  
Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung

Geschäftsstelle Centrum für automatisierte Mobilität (CAMO)  
c/o Bergische Universität Wuppertal  
Rainer-Gruenter-Str. 21  
42119 Wuppertal

Besucheradresse:  
Lise-Meitner-Str. 27  
42119 Wuppertal

+49 202 / 439 1164  
kontakt@camo.nrw



HOCHSCHULE RUHR WEST  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

BERGISCHE  
STRUKTUR-UND  
WIRTSCHAFTS-  
FÖRDERUNGS-  
GESELLSCHAFT