

1. Hintergrund

Dem Mobilitätssektor steht ein tiefgreifender Wandel bevor. Das zunehmende Bewusstsein der Gesellschaft für Gesundheit, Umweltschutz, Sicherheit und Teilhabe trifft auf die innovativen Technologien und Geschäftsmodelle der digitalen Welt und ruft im Verkehrssektor, wie auch in vielen anderen Branchen, neue Nutzererwartungen und Produktversprechen hervor. Besonders im urbanen Umfeld, wo der Verkehr mit seinem Aufkommen und mit der Emission von Lärm und Schadstoffen für viele Menschen eine erlebbare und zunehmende Belastung darstellt, aber auch auf dem Land, versprechen der technische Fortschritt bei Automatisierung, Vernetzung und Elektrifizierung sowie die auf digitalen Plattformen beruhenden Nutzungskonzepte und Geschäftsmodelle wie z.B. Car- oder Ride-Sharing neue Mobilitätslösungen. Dies setzt Stadt- und Verkehrsplaner, Mobilitätsdienstleister und die Automobilindustrie gleichermaßen unter Innovationsdruck, denn tatsächlich sind viele Ideen noch Zukunftsmusik; insbesondere die Entwicklung der benötigten Infrastrukturen folgt langfristigen Zyklen. In diesem Papier werden aus der Sicht des eNOVA Strategiekreises Automobile Zukunft die wichtigsten Entwicklungen im Bereich der urbanen sowie der ländlichen Mobilität nachgezeichnet und die Aussichten und Konsequenzen für Stadt- und Technikentwicklung bewertet. Dazu wird zunächst eine Bestandsaufnahme relevanter förderpolitischer Aktivitäten vorgenommen. Dann werden im Hinblick auf die Rolle des Automobils für die urbane Mobilität Themen für Forschungs- und Entwicklungsprojekte aufgezeigt und für eine Umsetzung in Förderprogrammen empfohlen.

2. Förderpolitische Ausgangssituation

Das Thema nachhaltige urbane Mobilität trifft sowohl in Deutschland als auch international auf ein steigendes Interesse der Forschungs- und Innovationspolitik: Im Koalitionsvertrag von CDU/CSU und SPD werden die Erarbeitung einer Strategie „Zukunft der bezahlbaren und nachhaltigen Mobilität“ sowie die Umwandlung der Nationalen Plattform Elektromobilität in eine Plattform „Zukunft der Mobilität“ angekündigt. Der Agenda-Prozess Forschung für nachhaltige Entwicklung (FONA) des BMBF war bereits 2017 auf das Thema nachhaltige urbane Mobilität ausgedehnt worden.¹ BMU, BMWi und BMVI adressieren dieses Thema anteilig in Förderprogrammen wie „Erneuerbar Mobil“, „Sofortprogramm Saubere Luft“, „Green City Pläne“ und „Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme“, aus denen zum Teil bereits Forschungsvorhaben in den Bereichen Elektromobilität, Automatisierung und neuer Mobilitätskonzepte in urbanen Räumen gefördert werden. Zugleich beschäftigt sich die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) mit Fragestellungen bezüglich der Gestaltung des Verkehrs in der Zukunft, aber auch mit konkreten Aspekten wie der Transformation hin zu einer emissionsarmen und vernetzten Mobilität sowie den notwendigen Rahmenbedingungen für die Einführungen von Automatisierung der Ebenen 4 und 5 im Straßenverkehr. Das Thema urbane Mobilität findet sich auch in verschiedenen Studien,^{2 3 4} die den Status quo beschreiben, Zukunftsszenarien aufzeigen und Handlungsempfehlungen formulieren. Auf europäischer Ebene adressiert die im Januar 2018 vom European Institute of Innovation & Technology (EIT) veröffentlichte Ausschreibung Knowledge and Innovation Communities (KICs) Urban Mobility die Themen Verkehr (neue Mobilitätskonzepte, Verkehrsorganisation, Logistik, Sicherheitsaspekte des Verkehrssystems), Umwelt (Reduktion von Treibhausgasen, Luftverschmutzung, Lärm) und Städteplanung.

¹ Berliner Erklärung zu Forschung und Innovation für eine nachhaltige urbane Mobilität. FONA – Agendaprozess „Nachhaltige urbane Mobilität, 2017

² Integrated urban mobility roadmap. Joint ERTRAC-ERRAC-ALICE Working Group on Urban Mobility, 2017

³ Sustainable urban mobility and the smart city. Polis, 2016

⁴ Transition towards sustainable and liveable urban futures - The strategic research and innovation agenda of JPI Urban Europe. JPI Urban Europe, 2015

Die genannten Studien und Positionen bleiben jedoch zumeist auf einer allgemeineren, politischen, regulatorischen, und planerischen Ebene ohne konkrete Nennung der notwendigen Technikentwicklungen zur Umsetzung. Förderprogramme hingegen fokussieren in vielen Fällen auf technologische Detailfragen, blenden dabei aber häufig die Komplexität der gesamtsystemischen Herausforderungen und künftiger Entwicklungsszenarien aus. Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft plädiert dafür, die Lücke zwischen politisch-planerischen Ansätzen und der kurzfristig wie künftig nötigen Technologie für den Wandel hin zu einer nachhaltigen urbanen Mobilität systematisch zu schließen.

3. Urbane Mobilität im Wandel

Aktuelle Studien heben eine Vielzahl gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und ökologischer Treiber von Innovationen im Verkehrssektor hervor.^{5 6 7} In Bezug auf die Mobilität von Personen und Gütern in der Stadt sind dabei folgende Zielstellungen besonders relevant:

- Emissionsfreiheit, Ressourcen- und Energieeffizienz
- Optimierung der Verkehrsflüsse
- Gerechte Verteilung des öffentlichen Raums
- Nachhaltiger Transport von Personen und Gütern
- Multimodalität und Interoperabilität
- Digitalisierung
- Vermeidung von Unfällen
- Selbständigkeit im Alter
- Sicherheit von Daten und Netzen
- Smart Cities
- Personalisierung, Zugang und Inklusion

In der Konsequenz unterliegen die Erwartungen von Nutzern an Verkehrsmittel einem Paradigmenwechsel der Attribute von „schnell, sicher, erschwinglich“ hin zu „emissionsfrei, effizient, sicher, adaptiv, nahtlos, geschützt, zugänglich, flexibel und verlässlich“. Dabei darf der Reiz der Freiheit individuell erlebter Mobilität nicht unterschätzt werden, jedoch erscheint er im städtischen Umfeld nicht mehr hauptsächlich. Aus der Sicht der städtischen Verkehrsplanung ist es nicht nur interessant, dass Fahrzeuge an sich effizienter und sicherer sind, sondern ebenso, dass sich die Menge des Verkehrs verringert und öffentlicher Raum für die Allgemeinheit zurückgewonnen werden kann.

4. Integrierte und multimodale Mobilitätslösungen

Mobilitätslösungen zu schaffen, die zugleich individuell attraktiv und nachhaltig sind, gesellschaftliche Bedarfe erfüllen, eventuelle Vorbehalte hinsichtlich der Sicherheit des Betriebs und des Schutzes der dabei verwendeten Daten antizipieren und ein großes Umsetzungspotenzial besitzen, stellt eine große Herausforderung dar. Die Konzepte dafür unterscheiden sich grundlegend von individuellem Besitz, betonen kollektive Funktionen und zeichnen sich zudem durch eine multimodale und interoperable Durchlässigkeit zwischen den Verkehrsträgern aus, und zwar sowohl im Personen- wie im Güterverkehr. Häufig bauen die Konzepte auf automatisierten, vernetzten und elektrifizierten Funktionen auf und nutzen Technologien aus anderen Anwendungsfeldern, z.B. digitale Plattformen zur Integration und zur Abwicklung von Buchungs- und Zahlungsvorgängen sowie künstliche Intelligenz zur adaptiven Steuerung. Zudem steigt der Bedarf an passenden Infrastrukturen, sowohl in physikalischer Hinsicht bzgl. der Übergänge zwischen den Verkehrsträgern oder Tank- und Ladeeinrichtungen, als auch in digitaler Hinsicht bzgl. der Vernetzung zwischen Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern.

⁵ Context Map. Mobility4EU-Projekt, 2017

⁶ Integrated urban mobility roadmap. Joint ERTRAC-ERRAC-ALICE Working Group on Urban Mobility, 2017

⁷ Neue autoMobilität – Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft. acatech, 2016

5. Rolle des Automobils

Wo digitale Plattformen im Zusammenspiel mit smarten Technologien einen Wandel hin zu nachfrageorientierten Mobilitätsangeboten einleiten, lösen sich die Grenzen zwischen individuellen und kollektiven Verkehrsmitteln auf. Im städtischen Verkehr werden vor allem Mobility-on-Demand Angebote zunehmen, zuerst durch Car-Sharing und Ride-Sharing (und heute noch Taxi), mit der Einführung des autonomen Fahrens perspektivisch mit Robotaxis und -shuttles.⁸ In jüngster Zeit wird deutlich, dass das Zusammenspiel von elektrifizierten und automatisierten Funktionen Synergiepotenziale bietet, z.B. im Bereich der Systemintegration oder der Energieeffizienz, die einerseits das Automobil komplett verändern, indem sie es sicherer und leichter machen, und die andererseits zum systemischen Charakter von Car-Sharing und Ride-Sharing passen. Das Automobil zeigt sich in der Stadt künftig beispielsweise in der Form eines selbstfahrenden elektrischen Minibusses mit dazugehörigem Ökosystem, der im Sinne von Ride Sharing verschiedene Fahraufträge kombiniert und zugleich den Komfort und die Flexibilität eines individuellen Verkehrsmittels bietet, oder – als zweites Beispiel – zeigt sich das Automobil für den Stadt- und Überlandverkehr in einem sehr leichten und damit effizienten Elektrofahrzeug, das sich mit individualisiertem und universellem Funktionsumfang für das Fahren in der Stadt eignet. Darüber hinaus werden auf Dauer Mikromobile für eine Vielzahl von spezifischen Anwendungen entstehen.

6. Themen für Forschung und Innovation

Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft sieht seine Aufgabe darin, konkrete Vorschläge für Forschungs- und Innovationsprojekte zu erarbeiten, die dafür benötigten Technologiebedarfe für die erfolgreiche Entwicklung und Umsetzung neuer nachhaltiger Mobilitätskonzepte im (sub-) urbanen Raum zu identifizieren und die Themen nach einem Abgleich mit laufenden Förderprojekten für die Umsetzung in Förderprogrammen des Bundes vorzuschlagen. Dabei gilt es, nicht nur Technologien für beispielsweise automatisiertes und/oder elektrisches Fahren zu entwickeln, sondern diese in ein Gesamtkonzept der (sub-) urbanen Mobilität einzubetten. Dies ist umso mehr von Bedeutung, wie die Relevanz von Städten und der Gesellschaft in der Innovationspolitik zunimmt.

Auf der Grundlage seiner Kenntnisse von gesellschaftlichen Prozessen und Kundenerwartungen sowie der daraus abgeleiteten Innovationsbedarfe sieht der eNOVA Strategiekreis Automobile zunächst bei folgenden konkreten Themen die Möglichkeit, Forschungsaktivitäten und deren öffentliche Förderung zu bündeln:

- **Flexible Plattformen und Teilsysteme für automatisierte und elektrifizierte Fahrzeuge zum Personen- und Gütertransport mit Erprobung in der Stadt.**
Radikal neue Fahrzeugplattformen, die mittels multifunktionaler Teilsysteme z.B. für Antrieb und Steuerung und mittels variabler Aufbauten flexibel an bestimmte Mobilitätszwecke angepasst werden können, bieten die Möglichkeit, die Potenziale von Elektrifizierung und Automatisierung frühzeitig in konkreten Anwendungsfällen des urbanen Personen- und Güterverkehrs auszunutzen. Komplementär zu entsprechenden Projekten der akademischen Forschung ist die frühzeitige Überführung entsprechender Konzepte in konkrete Industrieprodukte für den realen Straßenverkehr von hoher innovationspolitischer Relevanz.
- **Konzepte für vollautomatisierte und elektrische Fahrzeuge zum Einsatz als individuelles oder kollektives Verkehrsmittel in suburbanen und ländlichen Gebieten.**
Vollautomatisierte Fahrzeugfunktionen (d.h. Ebene 4 und 5) erlauben perspektivisch die Einsparung passiver Sicherheitssysteme. Damit könnten Fahrzeuge mit stark reduziertem Gewicht hergestellt werden, welche aufgrund geringeren Energiebedarfs weitere Strecken rein elektrisch zurücklegen könnten und als individuelles oder kollektives Verkehrsmittel für ländliche Gebiete attraktiv wären. Neben der Notwendigkeit, die Zulassungsvorschriften für solche Fahrzeuge anzupassen, besteht Forschungsbedarf bei der Untersuchung geeigneter Synergiepotentiale von

⁸ Gereon Meyer, Susan Shaheen (Eds.): Disrupting Mobility – Impacts of Sharing Economy and Innovative Transportation on Cities. Springer 2017

Automatisierung und Elektrifizierung und deren technologischer Umsetzung sowie in der Weiterentwicklung bezüglich des Leichtbaus von Fahrzeugen.

- **Integriertes System von fahrzeug- und infrastrukturseitiger Sensorik und Intelligenz, das den vollautomatisierten Verkehr im komplexen Umfeld ermöglicht.**

Mit zunehmendem Grad an Automatisierung (v.a. auf den Ebenen 4 und 5) ändert sich die Bedeutung der Vernetzung von Fahrzeugen und Infrastruktur von einer unterstützenden hin zu einer sicherheitskritischen Funktionalität. Während beim hochautomatisierten Fahren (Ebene 3) in unübersichtlichen Situationen der Fahrer noch in die Verantwortung zurückgeholt werden kann, ist dies beim vollautomatisierten Fahren (Ebenen 4 und 5) nicht mehr vorgesehen. Um im komplexen städtischen Umfeld Fußgänger, Radfahrer oder sich von „um die Ecke“ nähernde Fahrzeuge erkennen zu können, sind zusätzliche sensorische Komponenten in der Infrastruktur erforderlich und mit den Kontrollfunktionen im Fahrzeug zu vernetzen. Eine bessere Wahrnehmung der Verkehrssituation und Steuerung der Verkehrsflüsse kann zudem mit künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen erreicht werden; auch diese erfordern eine integrierte Umsetzung. Neben dem Aufbau von Kommunikationsnetzen mit hoher Bandbreite und geringer Latenz besteht Bedarf an Forschung im Bereich der Fusion von Kommunikations- und Sensordaten sowie der Perzeption. Zudem ist die Feldtauglichkeit zu testen und zu verifizieren.

Für eine Konkretisierung der Forschungsaktivitäten in diesen Themen ist es nach Ansicht des eNOVA Strategiekreises Automobile Zukunft erforderlich, dass die Technologieentwicklungen von der Erhebung von Nutzererwartungen über die Anforderungsanalyse der dazugehörigen digitalen Dienste ausgehen und in die Konzeption von technischen Lösungen münden. Anschließend sind Phasen der Verifizierung und Erprobung in Realumgebungen vorzusehen.

7. Technologiebedarfe

Ausgehend von den o.g. konkreten Vorschlägen für Forschungsthemen sind die Partner des eNOVA Strategiekreises Automobile Zukunft davon überzeugt, dass Fahrzeuglösungen für die nachhaltige urbane Mobilität oft Neuentwicklungen auf der Ebene der elektronischen Komponenten, Architekturen und Systeme sowie der digitalen Plattformen als grundlegende Technologien erfordern.

Konkreter technologischer Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht insbesondere bei folgenden Querschnittsthemen:

Im Bereich der Automatisierung

- Robuste und zuverlässige Sensortechnologien und -fusion für Umfelderkennung, Navigation und Positionierung bzw. Lokalisierung inkl. permanenter Konsistenz- und Qualitätsüberprüfung
- Ausfallsichere (fail operational) Steuerungssysteme
- Kognitive Systeme mit künstlicher Intelligenz zur Steuerung autonomer Fahrzeuge
- Perzeptionssensorik in der Infrastruktur
- Mensch-Maschine-Interaktion
- Energieeffiziente und in Bezug auf Daten und Funktionen sichere Hardware- und Software-Architekturen
- Minimierung von Fahrzeugbewegungen, die zu Unwohlsein der Insassen führen könnten

Im Bereich der Elektrifizierung:

- Hocheffiziente Leistungselektronik-Module für integrierte elektrische Antriebe
- Resilienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit der elektrischen und elektronischen Architektur
- Speicherzellen und Batterien mit hoher Energie-/Leistungsdichte und Zyklfestigkeit, die mit geringem Verbrauch von Energie und Rohstoffen hergestellt werden
- Batteriesysteme und Infrastrukturen für eine Verkürzung der Ladezeiten
- Alternative Energiespeicher (z.B. Brennstoffzelle)
- Leichtbau von elektrischen Antriebskomponenten

Im Bereich der Vernetzung:

- Offene Plattformen für die Vernetzung und Bereitstellung von Ressourcen wie Energie (übergreifende und verkehrsträgerspezifische Datenanbindung und Autorisierung), Daten (Anbindung an ein übergeordnetes Datensystem, Kommunikation im Fahrzeug und von/zur Infrastruktur oder anderen Verkehrsteilnehmern), künstlicher Intelligenz (Vorhalten und Skalierbarkeit von Intelligenz im Fahrzeug und in zentralen Datenzentren unter Beachtung des sicheren Betriebes des Fahrzeugs über dessen Lebenszeit)
- Mechanismen der Absicherung aus Sicht der funktionalen Sicherheit, End-zu-End Datensicherheit (Privacy and Cybersecurity) und Verfügbarkeit von Ressourcen
- Standardisierung von Kommunikationsprotokollen- und schnittstellen
- Anwendung von Distributed-Ledger-Technologien wie Blockchain in der Mobilität
- Standards und technische Umsetzung zur Regelung des Datenbesitzes

Im Bereich der Fahrzeugkonzepte und Betreibermodelle

- Modularität und funktionsintegrierter Leichtbau von Fahrzeugen
- Synergien von Vernetzung, Automatisierung und Elektrifizierung von Fahrzeugen
- Fahrzeuge für den Einsatz in vernetzten und geteilten Nutzungsmodellen
- Substitution kritischer Rohstoffe und/oder Materialkreisläufe mit hoher Recycling-Rate im Fahrzeugbau
- Energiemanagement bzgl. der Konditionierung der Antriebskomponenten und zur Darstellung der Komfortfunktionen
- Sicherheit der Fahrgäste in kollektiven Verkehrsmitteln. Erkennen von Konflikten zwischen den Fahrgästen und Einleiten geeigneter Reaktionen.

Zur effektiven Gestaltung und Umsetzung nachhaltiger urbaner Mobilität gilt es außerdem, realistische Szenarien für eine automatisierte, vernetzte und geteilte urbane Mobilität zu entwickeln. Zusätzlich müssen geeignete Maßnahmen zur Förderung neuer Mobilitätsangebote und –dienste abgeleitet werden. Es sind konkrete Angebote und Steuerungsstrategien zu entwickeln und im urbanen Raum in Zusammenarbeit mit der öffentlichen Hand als Infrastrukturbetreiber des öffentlichen Straßenraums als auch mit dem öffentlichen Personen- und Nahverkehr zu pilotieren. Parallel dazu gilt es, geeignete Rahmenbedingungen und Regularien für den Einsatz neuer Mobilitätsdienstleistungen sowohl auf Basis autonomer als auch konventionell gesteuerter Fahrzeuge zu definieren und zu erproben. Hierbei dürfen auch ethische und gesellschaftliche Akzeptanzfragen nicht vernachlässigt werden. Dies gilt insbesondere für die Klärung von Haftungsfragen des automatisierten Fahrens sowie Betreibermodelle der Sharing Economy und die damit verbundenen Nutzungsverlagerungen zwischen den Verkehrsträgern.

8. Innovationspolitische Implikationen

Das beschriebene Paradigma einer integrierten und transformierten Mobilität drückt sich nicht nur in technologischen und organisatorischen Herausforderungen aus, sondern stellt zudem die Bedeutung von Synergien und Technologietransfers, die Rolle digitaler Plattformen und die Notwendigkeit, Nutzer frühzeitig einzubinden, heraus. Es impliziert einen agilen und ganzheitlichen Innovationsprozess, der unter Einbeziehung von Endnutzern mit einer Phase der Mitgestaltung (Co-Creation) von technischen Lösungen beginnt, daraus technologische Herausforderungen, regulatorische Erfordernisse, geeignete infrastrukturelle Maßnahmen und Forschungsbedarfe ableitet und schließlich die Erprobung dieser Lösungen in der Realumgebung umfasst. Damit wird einerseits eine neue Brücke zwischen der Verkehrsplanung und der Verkehrstechnik geschlagen, die auch Forschung und Entwicklung von technischen Systemen in einen größeren Argumentationskontext stellt, als auch eine Verbindung geschaffen zwischen Industrie, den Betreibern öffentlicher Verkehrsmittel und der Verwaltung, die eine Realisierung der notwendigen Angebotsveränderungen im Kontext urbaner Mobilität erst ermöglicht.

Des Weiteren birgt die integrierte Betrachtung der Querschnittsthemen und deren Synergien das Potenzial zur Umsetzung in hybriden Mischformen verschiedener Verkehrsträger. Als Ausblick können hier Drohnen genannt werden, bei denen sich vielfältige Möglichkeiten des Technologietransfers von Fahrzeugen am Boden zu „Fahrzeugen“ in der Luft bieten.

9. Über eNOVA

Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft ist eine Allianz relevanter Industrieunternehmen aus den Schlüsselbranchen Automobil, Batterien, Halbleiterkomponenten, Vernetzung, Elektrotechnik und Lösungen für den Leichtbau. Er erarbeitet im vorwettbewerblichen Dialog Empfehlungen für Programme der Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation in den Bereichen Elektrifizierung, Automatisierung und Vernetzung und stimmt diese mit der Wissenschaft und einem erweiterten Kreis von Unternehmen ab. Er konzentriert sich dabei auf das Gesamtsystem Fahrzeug und seine Schnittstellen für Strom und Daten.

Folgende Unternehmen gehören dem eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft als Partner an: Audi, BMW, Bosch, Continental, Elmos, Hella, Infineon, NXP, Porsche, Rehau, Schaeffler und ZF sowie Heraeus und Leoni als assoziierte Partner. eNOVA wird durch einen Wissenschaftskreis unterstützt.

Kontakt:

Dr. Gereon Meyer, Geschäftsstelle des eNOVA Strategiekreises Automobile Zukunft bei der VDI/VDE Innovation und Technik GmbH, Steinplatz 1, 10623 Berlin
Tel. 030 310078134, E-Mail: gereon.meyer@vdivde-it.de
www.strategiekreis-automobile-zukunft.de