

**Auf dem Weg zur nachhaltigen und resilienten Mobilität:
Handlungsfelder für Forschung, Entwicklung und Innovation**

9. Juni 2022

1. Einleitung

Hoch dynamische und globale Herausforderungen wie der Klimawandel, die Pandemie, und die aktuelle weltpolitische Krise stellen Politik, Wirtschaft und Gesellschaft immer wieder neu vor die Notwendigkeit der Anpassung und Transformation in den Bereichen Nachhaltigkeit, Resilienz, Reduktion von Abhängigkeiten und Souveränität. Das betrifft auch die Mobilität von Menschen und Gütern und stellt damit nicht zuletzt den Automobilsektor vor die Notwendigkeit, neue Innovationspfade einzuschlagen und mit Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu untermauern.

Bei der Suche nach passenden automobilen Lösungen sind komplexe Wechselwirkungen von technischen, sozialen, ökologischen und wirtschaftlichen Entwicklungen zu beachten und mit den Bedarfen der Menschen in Einklang zu bringen. So ist bei Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Fahrzeugen eine tiefgreifende Änderung der Wertschöpfungskette hin zu nachhaltigem, ressourcenschonendem und kreislauffähigem Handeln erforderlich. Der Verbrauch insbesondere von fossiler Energie für die Förderung von Rohstoffen, die Produktion von Fahrzeugen und für den Antrieb selbst ist zu begrenzen und eine Unabhängigkeit von Quellen in politisch instabilen Weltregionen anzustreben. Ebenso muss mit der Nutzung erneuerbarer Energiequellen und mit Energieeffizienz die Emission von Treibhausgasen reduziert werden. Mit systemisch intelligenten Lösungen und Digitalisierung kann dafür gesorgt werden, dass alle am Verkehr Teilnehmenden gleichermaßen klimaschonend, sicher und barrierefrei unterwegs sind und dass die Flächenbedarfe für Mobilität mit denen für Wohnen, Freizeit, Natur und Gesundheit in Einklang stehen. Fortschrittliche Entwicklungen und Innovationen im Bereich des Automobils und der Mobilität tragen in vielerlei Hinsicht zu Nachhaltigkeit und Resilienz bei. Da Fortbewegung ein Grundbedürfnis der Menschen ist, entfaltet sich eine enorme Breitenwirkung und es bieten sich unzählige Möglichkeiten der Mitgestaltung.

Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft nimmt mit diesem Positionspapier die aktuellen Entwicklungen zum Anlass für eine Weiterentwicklung seiner Roadmap. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Jahr 2035, weil Ergebnisse von vorwettbewerblichen Forschungsprojekten der nächsten Jahre bis dahin den Weg in die Serienanwendung gefunden haben können. Es wird erläutert, wie der Wandel zur nachhaltigen und resilienten Mobilität bis dahin systematisch mit Forschung und Entwicklung im Automobilsektor unterstützt werden kann. Zudem wird ein Maßnahmenbündel vorgestellt, das drei wesentliche Entwicklungskorridore enthält: Kreislaufwirtschaft, Elektrifizierung der Antriebe für den Massenmarkt sowie Automatisierung und Digitalisierung der Mobilität. Es benennt jeweils die drängendsten Schlüsselthemen und begründet die damit zusammenhängenden notwendigen Bedarfe an öffentlicher Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation.

Angesichts der hohen Komplexität und Dringlichkeit, den Wandel proaktiv zu gestalten, stellt eNOVA in diesem Papier zudem einen Plan vor, um den mit dem Meilenstein 2035 verbundenen förderpolitischen Handlungsbedarf zu umreißen. Darin wird dargestellt, mit welchen Rahmenbedingungen Forschung, Entwicklung und Innovation im Bereich der Mobilität und des Automobils dazu beitragen können, die Ziele der Bundesregierung bezüglich Ressourceneffizienz und Klimaneutralität, 15 Millionen voll elektrischer PKW bis 2030 sowie globaler Wettbewerbsfähigkeit und Souveränität technisch zu erreichen. Zugleich wird in den Empfehlungen die Anschlussfähigkeit an die Umsetzung des Green Deals, der Taxonomie, der Digitalen Agenda und des „Fit for 55“-Programms der Europäischen Kommission unterstrichen und es wird an die Europäischen Partnerschaften „Towards Zero-Emission Road Transport“ (2Zero) und „Connected, Cooperative and Automated Mobility“ (CCAM) sowie die Mission „100 klimaneutrale Städte bis 2030“ der Europäischen Union angeknüpft.

Der eNOVA Strategiekreis legt mit diesem Positionspapier ein Gesamtpaket für Forschung, Entwicklung und Innovation im Bereich der nachhaltigen und resilienten Mobilität vor und bietet an, dieses übergreifend mit Politik und Verwaltung auf Bundes- und Länderebene zu diskutieren.

2. Weiterentwicklung des Meilensteins 2035 der eNOVA Roadmap

Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft denkt seit vielen Jahren das Auto in der Mobilität der Zukunft weiter, ermittelt agil, welche Technologien und Rahmenbedingungen dafür benötigt werden und zeigt begründet vorwettbewerblichen Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsbedarf auf. Er entwickelt dafür kontinuierlich seine Roadmap weiter, bezieht zielgerichtet Stellung und weist die Wirkung von umgesetzten Maßnahmen nach. Die Meilensteine der eNOVA Roadmap für 2025, 2030 und 2035 geben Zielbilder hinsichtlich der Funktionalität und Verfügbarkeit notwendiger Technologien und Systeme ab. Um frühzeitig die Notwendigkeit, Relevanz und Reife innovativer Lösungen zu erkennen und gleichzeitig Neuentwicklungen zu erfassen, werden die Meilensteine gemeinsam mit Fachleuten aus der Wissenschaft ermittelt, regelmäßig überprüft und weiter konkretisiert.

Zielbild: Resiliente, klimaneutrale, kreislauffähige sowie nutzerfreundliche Mobilität durch intelligentes Zusammenwirken von Fahrzeug, Infrastruktur, Umwelt und Mensch

Im Jahr 2035 verkürzen nachhaltige, intelligente und multimodale Mobilitätslösungen die Wege und lassen Stadt und Land zusammenwachsen.¹ Fahrzeuge und deren Fahrende und Nutzende nehmen an einem digital gesteuerten und vernetzten Verkehrssystem teil, in dem Ressourcen effizient (wieder-) genutzt, Emissionen vermieden und Mobilitätsdienstleistungen auf den persönlichen Bedarf zugeschnitten werden. Diese Services werden über Plattformen abgerufen und entweder durch automatisierte und nutzerübergreifende Flotten oder von Privatfahrzeugen erbracht. In übergreifenden Mobilitätskonzepten verschmelzen so individueller und öffentlicher Verkehr miteinander. Mobilität organisiert sich effizient, unmerklich und nahtlos. Um trotz wachsendem Mobilitätsaufkommen den Energie- und Platzbedarf zu senken, erfüllen neue passgenaue und flexible Fahrzeugdesigns unterschiedlicher Größen, von leichten und wendigen Mikromobilen bis zum geteilten People-Carrier und eine konfigurierbare Ausstattung entsprechend ihres Zwecks verschiedene Nutzungsanforderungen. Multifunktionale, modulare Fahrzeugkonzepte erlauben darüber hinaus die Kombination von Passagier- und Gütertransport. Für die Vielzahl der Einsatzzwecke stehen energieeffiziente und durable batterieelektrische Fahrzeuge hoher Reichweite zur Verfügung, die durch alltagstaugliche wasserstoffbetriebene Fahrzeuge sinnvoll ergänzt werden.

Der Meilenstein 2035 sieht vor, dass der Straßenverkehr in Stadt und Land vollautomatisiert gesteuert wird und somit Emissionsbelastungen gezielt reduziert und die Verkehrssicherheit erheblich gesteigert werden. Geographische, technische und rechtliche Rahmenbedingungen sind so angepasst, dass die „Operational Design Domains“ des vollautomatisierten Fahrens (Level 4) in immer größerem Umfang ohne Zutun eines/r Fahrers/in Sicherheit, Effizienz und Zuverlässigkeit bieten. Das automatisierte Fahrzeug bleibt mittels gradueller Funktionsreduktion und Übergabe der Fahrfunktion sowie seiner agil anpassungsfähigen informationstechnischen Architektur auch dann noch voll fahrtauglich, wenn es einen Bereich befährt, der kein vollautomatisiertes Fahren erlaubt, von Systemausfällen betroffen ist oder dem/der Fahrer:in ein größeres Maß an Mitwirkung einräumt. Passive und aktive Sicherheitsfunktionen greifen dafür optimal ineinander. Fahrende und Nutzende werden mittels geeigneter Mensch-Maschine-Schnittstellen in das Geschehen einbezogen. Darüber hinaus ist die bidirektionale Kommunikation automatisierter Fahrzeuge mit Personen, die Rad fahren oder zu Fuß gehen bzw. Mikromobilität nutzen, und zur elektronischen Verkehrsaufsicht entwickelt.

Das elektrische, vernetzte, automatisierte Automobil der Zukunft wird entlang des gesamten Lebenszyklus in die verschiedenen Kreisläufe der Produktion, Mobilität und Energie integriert und dadurch selbst kreislauffähig. Dafür werden nachhaltige Materialien eingesetzt, die sich durch faire und umweltfreundliche Herstellung und Wiederverwertung aus anderen Materialkreisläufen sowie durch Leichtigkeit, Langlebigkeit und selbstheilende wie intelligente Eigenschaften auszeichnen. Materialien und Komponenten werden mittels Lieferkettenverfolgung sowie mit vorausschauenden und CO₂-neutralen Produktions-, Wartungs- und Verwertungsverfahren kreislauffähig. Um die verwendeten Ressourcen während der Betriebsphase optimal zu nutzen und Standzeiten zu reduzieren, kann das Fahrzeug dank Modularisierungs-, Automatisierungs- und Sharing-Funktionen mit intelligenten

¹ eNOVA-Positionspapier „Zukunft des Automobils in der nachhaltigen (urbanen) Mobilität“, 29. März 2018, <https://www.strategiekreis-automobile-zukunft.de/public/oeffentliche-dokumente/enova-positionspapier-urbane-mobilitaet>

Schnittstellen zu Mobilitätsplattformen- und -hubs sowie dem Energienetz für verschiedene Nutzungsprofile zur Verfügung gestellt werden.

Der Einsatz geteilter Fahrzeuge stellt aufgrund der dauerhaften Nutzung zugleich neue Anforderung an Robustheit, Hygiene, Langlebigkeit bei gleichzeitiger individueller Konfigurierbarkeit von Funktionen. Durch Update- und Upgrade-Fähigkeit von Komponenten und Software wird der automobiler Lebenszyklus insgesamt verlängert und eine resiliente Anpassung an veränderte äußerliche Gegebenheiten ermöglicht. Für Standby qualifizierte Elektroniksysteme und auf Haltbarkeit optimierte mechanische Aufbauten und Verbindungen tragen dem veränderten Nutzungsprofil eines „always on“-Einsatzes Rechnung. Das kreislauffähige Automobil der Zukunft senkt den ökologischen Fußabdruck maßgeblich. Auf diese Weise können vor allem wachsende Ballungsräume in Bezug auf Verkehrsvolumen, Schadstoffe, Ressourcen- sowie Platzverbrauch und Lärm entlastet werden. Städte werden damit auf dem Weg zur Nachhaltigkeit, Klimaneutralität und Anpassung an die Folgen des Klimawandels maßgeblich unterstützt.

3. Auf dem Weg zum Meilenstein 2035

Um den Weg zur Erreichung der Ziele des Meilensteins 2035 zu charakterisieren, werden drei Entwicklungskorridore abgeleitet. Sie geben technologieoffen an, wie mit vorwettbewerblicher Forschung, Entwicklung und Innovation die Potenziale und Kompetenzen von Automobilherstellern und Zulieferunternehmen in Deutschland und Europa bei der Umsetzung einer klimaneutralen, kreislauffähigen und intelligenten Mobilität gestärkt werden können.

15 Millionen Elektrofahrzeuge² in Deutschland auf die Straßen bringen: Optimierung der Fahrzeugtechnologien für die Herausforderungen des Massenmarktes, des Klimaschutzes und der Diversifizierung der Energiequellen

Für die Erreichung der Klimaneutralität sind elektrische Antriebe unerlässlich, weil sie die Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen im Straßenverkehr erlauben. Nachdem der Markthochlauf der Elektromobilität gelungen ist, rücken die hohen Anforderungen an Materialien, Speicher- und Energiemanagement, Energieeffizienz und Bedienfreundlichkeit sowie Ladeinfrastruktur in den Vordergrund, die mit der nachhaltigen Anwendung im Massenmarkt verbunden sind. In Asien und Nordamerika adressieren neue Fördermaßnahmen bereits diese Herausforderung der „Elektromobilität 2.0“, z.B. der „New Energy Vehicle Industrial Development Plan for 2021 to 2035“ Chinas, der eine Energieeffizienz von 120 Wh/km ermöglichen soll.³

Um die Technologieoffenheit zu wahren, ökonomische Rebound-Effekte zu vermeiden sowie Standortvorteile in Deutschland für den Ausbau des Leitmarktes für Elektromobilität zu nutzen und zu erhalten, lassen sich aus dem Meilenstein 2035 der eNOVA Roadmap folgende Schlüsselthemen für Forschung, Entwicklung und Innovation ableiten:

- Kontinuierliche Steigerung der Gesamtenergieeffizienz von Elektrofahrzeugen
- Diversifizierung der Energieträger (Batterie, Wasserstoff, PTX) in Abwägung mobiler und stationärer Verfügbarkeit mit der Effizienz von Herstellung, Transport und Nutzung und unter Abwägung von Technologietransferpotenzialen und Spillover-Effekten
- Verbesserung der Lebensdauer von Speichern
- Modulare und langlebige Leistungselektronik- sowie Antriebs- und Speicherkomponenten
- Einsatz von KI und Automatisierung bei der energieeffizienten Leistungssteuerung
- Zweckoptimierte Antriebe mit komplementärer und modularer Ladeinfrastruktur
- Digitalisierung sowie zunehmende Vernetzung und Einsatz von Software im Fahrzeug
- Beherrschung der steigenden Variantenvielfalt und Komplexität im Fahrzeug

² Gemeint sind voll elektrische Fahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb oder Brennstoffzelle.

³ <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/12/China-new-vehicle-industrial-dev-plan-jun2021.pdf>

Kreisläufe umfänglich schließen und Resilienz schaffen: Klima-, natur- und ressourcenschonende Herstellung, Nutzung und Verwertung des Automobils

Kernaufgaben von Forschung und Entwicklung sind es, sicherzustellen, dass das Automobil der Zukunft ressourcensichernd und nachhaltig hinsichtlich der Produktionsmethoden, des Materialeinsatzes sowie der Verwertung und Rückführung von Altstoffen in die Produktion hergestellt werden kann und zugleich eine lange Haltbarkeit und hohe Anpassungsfähigkeit für verschiedene Nutzerprofile bietet. So werden für die energieeffiziente Elektromobilität vermehrt Leichtbauteile zum Einsatz kommen, aber auch mehr Elektronik benötigt. Diese Komponenten müssen wiederverwertbar hergestellt werden, sodass eine Nachnutzung ermöglicht werden kann. Zugleich können generische und softwaredefinierte Funktionen der Elektronik die Auswirkungen unterbrochener Lieferketten verringern. Um die Zirkularität für die Automobilität ganzheitlich zu erreichen, müssen die Fahrzeuge für den Einsatz in der Sharing Economy optimiert werden. Das heißt, dass wiederverwendbare, hygienische, selbstreinigende Materialien in inklusiven, zweckoptimierten Modulen eingesetzt, für Robustheit, Langlebigkeit und Flexibilität ausgelegte elektrische und mechanische Komponenten, Aufbauten und Verbindungen sowie sichere, digitale Schnittstellen zur Produktion geschaffen werden. Damit können Produktionsnetzwerke vorausschauend die Wartung, Verfügbarkeit von Ersatzmaterialien, aber auch die Weiterverarbeitung der vernetzten Fahrzeuge planen.

In Forschung, Entwicklung und Innovation müssen dahingehend folgende Themen betrachtet werden:

- CO₂-reduzierte Werkstoffe, Materialsubstitution und -reduktion zur Erreichung von Gewichtseinsparung, Langlebigkeit und Wiederverwertbarkeit, auch hinsichtlich grüner, zirkulärer, haltbarer und ausfallsicherer Elektronik in intelligenten Produktionsnetzwerken
- Intelligente, energiesparende Methoden für die Wartung und Weiternutzung von Materialien
- "Circular by Design: Steigerung der Reparierbarkeit und Modularität von Materialien und Komponenten sowie Verankerung von Second-Use sowie Recycling- und Upcyclingfähigkeit für Materialien und Komponenten des Fahrzeugs im Design
- Robuste und langlebige Bauweise für die geteilte Nutzung optimierter Fahrzeuge
- Aufbau resilienter, möglichst räumlich naher, fairer Lieferstrukturen, Nachhaltigkeitsnachverfolgung (CATENA-X, Batteriepass), Methoden der CO₂-Life-Cycle-Bewertung, Wirtschaftlichkeitsbewertung

Automobilität menschenzentriert, digital und systemisch transformieren: Potenziale für Sicherheit, Effizienz und Individualität intelligent ausschöpfen

Um die Verkehrssicherheit weiter zu steigern und den individuellen Bedürfnissen der Menschen in der Mobilität gerecht zu werden, konzentriert sich der dritte Entwicklungskorridor auf die Potenziale der Automatisierung und ihre Synergien mit der kreislauffähigen Elektromobilität. Über die durch Automatisierung und Elektrifizierung ermöglichten neuen Fahrzeugkonzepte können Dienste erbracht werden, die auf Nutzerprofile angepasst, effizient und barrierefrei sind. Die Digitalisierung eröffnet zudem die zirkuläre Organisation der Mobilität, aber auch der Produktion, Wartung sowie Reparatur und späteren Verwertung von Fahrzeugteilen und -technologien über cyber-physische Netzwerke.

Vordringliche Themen von Forschung, Entwicklung und Innovation sind in diesem Bereich:

- Ausschöpfung der Synergien des automatisierten und vernetzten Fahrens sowie Elektromobilität auf Technologie- und Anwendungsebene
- Universelles, barrierefreies und nutzerzentriertes Design von Fahrzeugen und Mobilitätsangeboten
- Elektronik-/Software-/Daten-Architekturen für das Kontinuum von Fahrzeug, Edge und Cloud
- Quantumcomputing und digitaler Zwilling
- Optimierung von KI für Entscheidungsfindung, Betriebsführung und Gewährleistung der Sicherheit
- Intelligente Schnittstellen der Fahrzeuge zu cyber-physischen Produktionsnetzwerken sowie Mobilitätssystemen
- Kombination der realen und virtuellen Entwicklungsumgebung für alle Arten von Fahrzeugen und Mobilitätsformen
- Technische Lösungen für Cyber-Sicherheit

4. Förderpolitischer Handlungsbedarf

Der im Meilenstein 2035 der eNOVA-Roadmap beschriebene Paradigmenwechsel hin zu einer nachhaltigen und resilienten Mobilität erfordert eine Abstimmung unter Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Politik nicht nur über die Schwerpunkte, sondern auch über die Instrumente und Rahmenbedingungen der Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation.

Aus der Sicht von eNOVA sind dafür folgende Punkte ausschlaggebend:

- Abstimmung der Schwerpunkte von Förderprogrammen zwischen den Ressorts der Bundesregierung unter Beteiligung von Wissenschaft und Industrie nach dem Vorbild des Dialogforums Automatisiertes und Vernetztes Fahren im Rahmen der geplanten Einrichtung einer „Strategieplattform Transformation Automobilwirtschaft“
- Konkretisierung des im Koalitionsvertrag enthaltenen Ziels, mindestens 15 Millionen Elektro-Pkw im Jahr 2030, zu erreichen
- Berücksichtigung der Schlüsselrolle der Mobilität und des Automobils im „Masterplan zirkuläre Wirtschaft“
- Einbeziehung von Bürger:innen in den Forschungs- und Entwicklungsprozess, z.B. durch Erweiterung des Deutschen Zentrums Zukunft der Mobilität um ein Innovationslabor
- Umsetzung der Entwicklungskorridore in Form einer Europäischen Mission „Klimaneutrale, kreislauffähige und intelligente Mobilität“ in Ergänzung zur Mission „100 klimaneutrale Städte bis 2030“ der EU
- Verknüpfung des deutschen mit dem europäischen Fördergeschehen anhand von Roadmaps und strategischen Forschungsagenden der Europäischen Technologieplattformen und Partnerships
- Stärkung der Wertschöpfungsketten im Bereich der klimaneutralen, kreislauffähigen und intelligenten Mobilität, z.B. durch eine Important Project of Common European Interest (IPCEI)
- Standardisierung und Harmonisierung von Indikatoren und Verfahren zur Bestimmung des CO₂-Fußabdrucks und der Kreislauffähigkeit von Automotive-Komponenten und -Systemen – auch im Rahmen der Regulierung und angemessene Berücksichtigung bzw. Klassifizierung von nachhaltigen Fahrzeug-Komponenten im Rahmen der Berichterstattung bei der EU-Taxonomie
- Gestaltung eines rechtlichen Rahmens zum sicheren Umgang mit Mobilitätsdaten

5. eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft

Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft ist eine Allianz relevanter Industrieunternehmen aus den Schlüsselbranchen Automobil, Batterien, Halbleiterkomponenten, Elektrotechnik, Vernetzung. 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 dessen Schnittstellen für Strom, Daten und Verkehr.

Folgende Unternehmen gehören dem eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft als Partner an: Audi, AVL, BMW, Bosch, Continental, Elmos, FORVIA HELLA, Infineon, NXP, Schaeffler, Vitesco Technologies und ZF. eNOVA wird durch einen Wissenschaftskreis unterstützt.

Der eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft ist im Lobbyregister des Deutschen Bundestags registriert.

Kontakt:

Bo Habermann, Sprecher von eNOVA, AUDI AG
Stephanie Kornacker, stellv. Sprecherin von eNOVA, FORVIA HELLA

Dr. Gereon Meyer, Geschäftsstelle eNOVA Strategiekreis Automobile Zukunft
bei der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
E-Mail gereon.meyer@vdivde-it.de
www.strategiekreis-automobile-zukunft.de