



Unsere forschungspolitischen Empfehlungen zur **»Zukunftsstrategie Forschung und Innovation«**

**Mission 1: Ressourceneffiziente und auf kreislauffähiges
Wirtschaften ausgelegte wettbewerbsfähige Industrie und
nachhaltige Mobilität ermöglichen**

**Erschließung von nachhaltiger Mobilität
sowie von Energieträgern und -quellen**

Im Überblick

Die Ausgangslage

Der Innovationsstandort Deutschland befindet sich mitten in einer Zeit historischer Herausforderungen: die Klimakrise, geopolitische Machtverschiebungen, internationale Systemwettbewerbe und die Digitalisierung. In diesen Zeiten muss Deutschland seine Innovationsfähigkeit sichern, die richtigen Weichen für resiliente Wertschöpfungsketten stellen und sich als Forschungs- und Wirtschaftsstandort neu erfinden. Dies gelingt nur als gemeinsame Kraftanstrengung mit Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft.

Die Bundesregierung hat mit der »Zukunftsstrategie Forschung und Innovation« ein übergreifendes forschungs- und innovativ-politisches Konzept für den Hightech-Standort Deutschland vorgelegt. Die Fraunhofer-Gesellschaft begrüßt die Zukunftsstrategie und die Vielzahl an richtigen Zielen, die darin verankert sind. Diese sind wichtig für Deutschlands Wettbewerbsfähigkeit. Gleichzeitig decken sie sich mit den Impact-Zielen und strategischen Forschungsfeldern, welche die Fraunhofer-Gesellschaft in den vergangenen Jahren definiert hat. Die Zukunftsstrategie zielt darauf ab, die Transformation in Richtung Nachhaltigkeit voranzutreiben, die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen und über technologische Souveränität selbstbestimmt die Zukunft gestalten zu können.

Unser Blick auf die Mission 1 mit dem Fokus auf Mobilität/ nachhaltige Energieträger und -quellen

Eine leistungsfähige Mobilität von Personen und Gütern ist Voraussetzung der vernetzten Welt von morgen. Dabei fördern moderne Mobilitätslösungen nicht nur die Innovationskraft und Lebensqualität, sowohl in urbanen Regionen als auch in ländlich geprägten Regionen, sondern gehen mit der Energiewende Hand in Hand. Viele Herausforderungen unserer Zeit stehen in enger Verbindung mit Mobilitätslösungen: Klimakrise, gesellschaftliche Teilhabe, Fachkräftemangel etc. Die angewandte Forschung liefert Lösungsansätze, wie diese Herausforderungen nicht trotz, sondern gerade mit nachhaltigen und zukunftsfähigen Mobilitätslösungen angegangen werden können.

Mit der Zukunftsstrategie Forschung und Innovation Mission 1 hat die Bundesregierung wichtige Handlungsfelder adressiert und Ziele hin zu einer vernetzten und nachhaltigen Mobilitätswende aufgezeigt. Jedoch fehlt es zur schnelleren Umsetzung von Innovationen, z. B. beim automatisierten und vernetzten Fahren im ÖPNV, oft sowohl an Freiheiten als auch an unterstützenden regulativen und bürokratiearmen Rahmenbedingungen. Zudem sind in nahezu allen Bereichen Aus- und Weiterbildungen für entsprechendes Fachpersonal erforderlich.

Unsere Empfehlungen im Fokus

- **Aufbau intermodaler Reiseketten** als Vernetzung zwischen ÖPNV und privaten Mobilitätsdiensten: Es bedarf einer **leistungsfähigen und zugänglichen Dateninfrastruktur** als Basis zuverlässiger und flächendeckender **Mobility-as-a-Service-Angebote, der physischen Verknüpfung der Mobilitätsträger** sowie Nutzerschnittstellen für Anwendergruppen als Alternative zum Alleskönner Auto.
- **Automatisiertes und vernetztes Fahren:** Teil der Lösung für Fachkräftemangel, schlechte Verkehrsanbindung und Verkehrsunfälle ist die (teil-)automatisierte und flexible Mobilität. Um diese zu ermöglichen, benötigt es hochwertige Mobilitätsdaten aller Teilnehmenden, die bürokratiearm in **Mobilitätsdatenräumen** zugänglich sind. Zudem gilt es **Testfelder zu etablieren** sowie den **rechtlichen Rahmen für (teil-)autonome Mobilität weiterzuentwickeln**.
- Bürokratieabbau und an die Bedürfnisse der Menschen ausgerichtete Mobilitätskonzepte, die **ländliche Räume mit urbanen Zentren verbindet:** Dies gelingt mit gemeinsamen entwickelten **Planungsverfahren**, die Nachhaltigkeit und Lebensqualität in den Mittelpunkt stellen. Werden diese mit **intermodal ausgerichteten Förder- und Investitionsausschreibungen** verbunden, können neue zukunftsweisende Projekte der Stand-Land-Anbindung entstehen.
- Nachhaltige Produktion von Fahrzeugen, Antrieben und Energieträgern: Um die Energie- und Verkehrswende voranzubringen, bedarf es einer **Beschleunigung internationaler Standardisierungsverfahren** durch die Etablierung eines nationalen Gremiums sowie die **Verstetigung von Fördermitteln für Industrietransferprojekte** mit Fokus auf Ressourceneffizienz und Kreislauffähigkeit.
- **Beschleunigung des Hochlaufs der Elektromobilität:** Maßgeblich sind der bedarfsgerechte **Ausbau der Schnellladeinfrastruktur** für e-Pkw/ e-Lkw sowie die Förderung der Integration von Elektrofahrzeugen in das Stromsystem.
- Damit eine CO₂-neutrale Transformation der kompletten Strom-, Wärme- und Grundstoffsektoren gelingt, spielt eine **kontinuierliche Beschleunigung und Skalierung von Wasserstoff auf Marktniveau** eine zentrale Rolle. Hierzu benötigt es die **Verstärkung und Verstetigung** der finanziellen Mittel für **Leitprojektinitiativen, die verstärkte Förderung von Wasserstoffinfrastrukturen samt Wasserstoffspeichern** sowie die **schnelle Umsetzung eines Reallaborgesetzes**.

Unsere forschungspolitischen Empfehlungen

» Im Fokus: Stärkere Vernetzung von Mobilitätsformen

Mobilität ist ein grundlegendes Bedürfnis der Gesellschaft. Sie ist eine elementare Voraussetzung für die arbeitsteilige Wirtschaftsordnung und damit ein Schlüsselfaktor für Beschäftigung, Wohlstand und Lebensqualität – unabhängig vom Wirtschaftssystem. In einer Welt, die von Urbanisierung, steigender Bevölkerungsdichte, Klimawandel und Umweltproblemen geprägt ist, ist eine effiziente, nachhaltige und gut vernetzte Mobilität von großer Bedeutung. Gleichzeitig ist zu beobachten, dass die aktuelle Mobilitätslandschaft in Deutschland vielfach durch Fragmentierung und Ineffizienz gekennzeichnet ist. Verschiedene Verkehrsträger wie Straße, Schiene, Luft- und Seeverkehr sind oft unzureichend miteinander verknüpft und dadurch ineffizient und wenig resilient.

Politische Akteure besitzen eine Schlüsselrolle in der Entwicklung und Umsetzung strategischer Maßnahmen, die eine effiziente, nachhaltige und gut vernetzte Mobilität fördern. Dies erfordert nicht nur langfristige und zielgerichtete Investitionen in Verkehrsinfrastrukturen und Technologie, sondern auch innovationsfördernde Rahmenbedingungen.

Der private Pkw bleibt für viele Menschen im Alltag, besonders im ländlichen Raum, weiterhin wichtig. Durch die intelligente Verknüpfung des ÖPNV mit flexiblen Diensten wie Carsharing, Ridepooling¹ und Mikromobilität kann für die Verkehrsteilnehmenden jedoch ein alternatives individualisiertes und effizientes Mobilitätserlebnis realisiert werden. Entscheidend dabei ist, dass Angebote über »Mobility-as-a-Service« (MaaS)²-Plattformen flächendeckend verfügbar sind, leicht zugänglich gemacht werden und die verschiedenen Verkehrsmittel über Mobility Hubs verlässlich miteinander verknüpft sind, um praktische intermodale Reiseketten zu ermöglichen. So kann die erste und letzte Meile zum ÖPNV effizient bewältigt werden sowie das ÖPNV-Angebot selbst flexibel auf Nachfrageveränderungen reagieren.

Vergleichbare Ausrichtungen werden auch im Güter- und Wirtschaftsverkehr benötigt, um Kostendruck, Personalmangel sowie Umwelt- und Klimabelastungen zu begegnen. Hierbei liegt der Fokus mehr auf der Entwicklung von resilienten Mobilitätskonzepten und auf der Verschiebung zu nachhaltigen Verkehrsträgern. Digitalisierung, Daten und Erforschung von KI-Optimierungsmöglichkeiten sind auch hier essenziell. Die Ansätze der MaaS sind in diesem Zusammenhang teilweise in Richtung der Logistik as a Service zu verstehen, bzw. weiter zu definieren.

Damit Deutschland als wirtschaftlicher und technologischer Leistungsträger Europas erfolgreich die Vernetzung von Mobilitätsformen als wichtigen Baustein der Mobilitätswende voranbringt, benötigt es folgende Maßnahmen:

- **Bereitstellungspflicht und Zugang** aller Mobilitätsanbieter zu relevanten und qualitativ hochwertigen (aktuellen oder Echtzeit-) Daten aus der **Mobilithek** sowie dem **Mobility Data Space (MDS)**: Um die weitere Entwicklung von MaaS-Diensten zu erleichtern, sollte die entsprechende Ausgestaltung des Mobilitätsdatengesetzes genutzt werden. Entscheidend dabei ist ein nicht diskriminierender, fairer, transparenter und bürokratiearmer Zugang. Bei der Bereitstellungspflicht dieser Daten über einen kommerziell genutzten Mobility Data Space könnten die entstehenden Aufwände für die Bereitstellung angemessen bepreist und damit abgedeckt werden.
- **Aufbau von landes- bzw. verkehrsverbundübergreifenden MaaS-Plattformen**: Mit übergreifenden MaaS-Plattformen muss Mobilität nicht mehr an Stadt- und Ländergrenzen enden. Um die Plattformen flächendeckend zu etablieren, benötigt es neben einer **ausreichenden finanziellen Förderung den Abbau von Verwaltungshürden** z. B. bei Genehmigungen³, betrieblichen Anforderungen oder Finanzierung innovativer Konzepte.

1 »Ridepooling«, auch »On-Demand-Mobilität«, bezeichnet gewerblich organisierte Personenbeförderung, die Passagiere auf Anfrage flexibel zwischen Haltepunkten befördert (eine Mischung aus Taxi und Omnibus). Die Fahrten erfolgen dabei unabhängig von einem Fahrplan oder einem Linienweg, wobei unterwegs Fahrgäste an bestimmten Stellen ein- und aussteigen dürfen.

2 »Mobility as a Service« bezeichnet den Ansatz, Mobilität und Transport mit eigenen Fahrzeugen (z. B. Motorisiertem Individual-Verkehr) durch ein bedarfsgerechtes Angebot zu ersetzen, das verschiedene Mobilitätsdienste anbietet und multimodal kombiniert.

3 Dies betrifft unter anderem unklare Zuständigkeiten sowie die strengen deutschen Regelungen zu Datenschutz, Haftung und Wettbewerbsrecht.

- Für erfolgreiche MaaS-Plattformen ist neben Auskunfts- und Buchungssystemen der gezielte **Auf- und Ausbau physischer Verknüpfungen zwischen den Verkehrsmitteln** entscheidend: Hierzu zählen die Einrichtung von Mobility Hubs, Park-und-Ride- oder Bike-und-Ride-Systemen mit guter Verknüpfung zum ÖPNV. Die intelligente Vernetzung digitaler und physischer Infrastrukturen unterstützt eine effiziente und resiliente Mobilität und ermöglicht erst die volle Entfaltung des Potenzials von MaaS-Angeboten für unterschiedliche Mobilitätsbedürfnisse.
- Ressortübergreifende Erarbeitung und anschließende Umsetzung einer **Strategie für Testfelder und Reallabore**: Um attraktive und wirtschaftlich tragbare **MaaS-Systeme** besonders für **ländliche Räume** mit ihren diversen Voraussetzungen zu etablieren, besteht derzeit noch ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Um diese Hürde zu nehmen, sollte die **Bundespolitik aktiv Rahmenbedingungen** in Anlehnung an die Testfelder für autonomes Fahren setzen. Erfolgreiche Testfelder und Reallabore sollten zügig in den Regelbetrieb überführt werden.⁴
- Bündelung des urbanen und regionalen Wirtschaftsverkehrs durch die **Förderung von (vorrangig organisatorischen) City-Logistik-Konzepten oder regionalen Güterverteilzentren**: Hierzu zählen die bessere Nutzung von Fahrzeugkapazitäten durch digitale Vernetzung, Micro Hubs, Paketstationen oder die autonome leise Belieferung auch nachts. Hierbei sollten auch nicht motorisierte Verkehrsmittel wie Lastenräder Anwendung finden. Für die Kooperation unter den Logistikpartnern sind digitale Plattformen, Automatisierung und die Vernetzung von Fahrzeugen wesentlich.
- Die **Potentiale von neuen (automatisierten/modularen) Fahrzeugkonzepten** zur Beförderung sowohl von Personen als auch von Gütern auf einer gemeinsamen technischen Basis sollten in Forschungsprojekten durch den Bund untersucht werden. Dies kann insbesondere bei der weniger starken Verkehrsnachfrage im ländlichen Raum helfen, die Auslastung von Fahrzeugen und damit die wirtschaftliche Tragfähigkeit alternativer Mobilitätsangebote zu verbessern.

⁴ Vgl. die Forderungen zu Reallaboren im Fokuspunkt »Erneuerbare und sichere Energie erschließen«.

» Im Fokus: Automatisierung und Vernetzung von Fahrzeugen

Hochautomatisierte und fahrerlose Fahrzeuge der Level 4 und 5⁵ bieten im ÖPNV und in der Logistik erhebliche Potenziale für die Wirtschaftlichkeit, Optimierung und Qualität der Mobilitätsdienste und den Umgang mit dem immer drängender werdenden Fahrermangel. Wichtige Anwendungsfelder sind der Personenverkehr im ländlichen Raum, der Lkw-Fernverkehr auf Autobahnen oder die Intra-Logistik auf Betriebshöfen. Probleme und Unfälle mit hochautomatisierten Fahrzeugen wie jüngst bei Tesla und Uber sowie autonomen Mobilitätskonzepten wie den Robotaxis in San Francisco unterstreichen jedoch den Bedarf nach verstärkten Forschungsbemühungen auch im Hinblick auf die Anforderungen aus Nutzendensicht. Besonders im Kontext der öffentlichen Wahrnehmung müssen derartige Vorfälle im Detail analysiert und etwa durch automatisierte Verifikationsverfahren der Steuerungssoftware oder intelligente Infrastrukturen in Zukunft deutlich minimiert werden.

Mit seiner starken Forschungslandschaft, seinem weltweit einzigartigen Rückgrat aus kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), Hidden Champions und Großunternehmen stellt Deutschland die idealen Voraussetzungen bereit, um automatisierte und vernetzte Fahrzeuge als Chance für die Mobilitätsbranche und den Industriestandort zu etablieren. Im Vergleich zu anderen Regionen der Welt ist der Anteil an vernetzten und teilautonomen Verkehrslösungen in Deutschland jedoch noch deutlich zu gering. Andere Länder wie China, Südkorea oder die USA laufen Deutschland den Rang als Verkehrsinnovationsnation ab. Auch strukturell muss sich Deutschland in der Herstellung neu aufstellen: Deutsche Automobilhersteller (OEM⁶) und Zulieferer fokussieren stark auf Pkw und Lkw, während Testfelder für autonome Shuttles und Busse bisher vorwiegend in Frankreich oder mit französischen Fahrzeugen in Deutschland betrieben werden. Dabei bieten etwa automatisierte Shuttles für den ÖPNV im ländlichen Raum auch in Deutschland hohe Wirtschaftlichkeitspotenziale. Daher sollten für die heimischen OEM Anreize geschaffen werden, ihre Technologie auch in dem Umfeld der ÖPNV-Fahrzeuge einzusetzen, bzw. Entwicklungen in dieser Richtung zu forcieren.

Damit Deutschland das Geschäfts- und Innovationsfeld der automatisierten und vernetzten Fahrzeuge nicht der internationalen Konkurrenz überlässt, benötigt es:

- Eine merkliche **Ausweitung von Testfeldern für voll-automatisierte Shuttle-Dienste** im vorstädtischen und ländlichen Bereich: Dazu gehört auch die öffentliche Unterstützung der Fahrzeugbeschaffung durch entsprechende Anreize. Dadurch wird ein Innovationsschub für heimische OEM und Zulieferer erzielt. Aufgrund des fließenden Übergangs der Zuständigkeiten von Landes- zu Bundesebene ist hier eine gemeinsame Unterstützung aller politischer Ebenen erforderlich. Als Vorbilder für weitere Testfelder können bspw. das Digitale Testfeld Autobahn A 9 in Bayern, das grenzübergreifende Digitale Testfeld Deutschland-Frankreich-Luxemburg oder Vorhaben auf Testfeldern im städtischen Verkehr wie in Hamburg, Berlin oder Dresden genommen werden.⁷
- Eine systematische **Weiterentwicklung des rechtlichen Rahmens für das automatisierte und vernetzte Fahren im ÖPNV**: Obwohl Deutschland in diesem Bereich international weit fortgeschritten ist, können derzeit **bestehende Geschwindigkeitsbegrenzungen für autonome Fahrzeuge** und die Forderung nach einem **Sicherheitsfahrer an Bord der Fahrzeuge das flächendeckende Ausrollen von Feldversuchen behindern**. Der Einsatz von technisch redundanten Systemen oder Fernsteuerungen (Remote Control) durch einen Operator sollten hier zeitnah den Sicherheitsfahrer ersetzen dürfen.
- **Datenschutzkonforme Bereitstellung von Echtzeit-Fahrzeugdaten** zur weiteren intelligenten Vernetzung der Verkehrsteilnehmenden: Daten, die zur Sicherheit der Verkehre oder der Nachhaltigkeit von Verkehrssystemen beitragen, sollten diskriminierungsfrei geteilt werden müssen. Die Bereitstellung in der Mobilitäts- oder bei kommerziellen Daten im Mobility Data Space (MDS) ermöglicht dabei die Datensicherheit und ein hohes Niveau an Datenqualität. Durch die Förderung von diesbezüglichen Testfeldern können mithilfe von Prognosen und dem Einsatz von KI-Anwendungen nachhaltige und intelligentere Mobilitätssysteme entstehen.

⁵ Level 4 – Vollautomatisiertes Fahren: komplette Fahrzeugführung erfolgt rein technisch, Eingreifen des Menschen im Fahrzeug ist nicht erforderlich. Eine technische Aufsicht durch einen Menschen (ggf. remote) ist weiterhin erforderlich. Level 5 – Autonomes Fahren: komplette und dauerhafte Fahrzeugführung ohne Aufsicht.

⁶ Engl. Original Equipment Manufacturer – Erstausrüster, in der Automobilindustrie synonym mit Fahrzeugherstellern.

⁷ <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/Digitale-Testfelder/Digitale-Testfelder.html>

» Im Fokus: Nachhaltige Gestaltung von Mobilität in Städten und Regionen

Umweltschutz und Klimakrise; ineffiziente, alternde und teilweise überlastete Verkehrsinfrastrukturen; Verkehrswachstum; soziale Gerechtigkeit; der demographische Wandel – diese und weitere Herausforderungen unserer Zeit werden einen immensen Einfluss auf die Gestaltung unserer Städte und Regionen haben. Nur in enger Zusammenarbeit von Politik, anwendungsorientierter Forschung, Zivilgesellschaft und Wirtschaft können Lösungsansätze gefunden werden, welche die Interessen aller Verkehrsteilnehmenden berücksichtigen.

In der Nachkriegszeit wurden Städte und Regionen mit dem Automobil im Zentrum umgestaltet. Angesichts der oben genannten Herausforderungen wird diese Ausrichtung hinterfragt und muss entsprechend neu justiert werden. Die zunehmende Urbanisierung und das Bevölkerungswachstum generieren einen Bedarf nach neuen Konzepten für vernetzte und moderne Quartiere inklusive infrastruktureller Anbindung, wie etwa dem bereits international in Umsetzung befindlichen Konzept der 15-Minuten-Stadt. Zudem zeigen die Lebensentwürfe junger Generationen einen zunehmenden Fokus auf die Sharing Economy. Die traditionellen, auf Befriedigung einer wachsenden Nachfrage nach Individualmobilität ausgerichteten Planungsverfahren, insbesondere die Bundesverkehrswegeplanung, haben diesen Wandel noch nicht mitvollzogen und sind entsprechend zu modernisieren.

Um die Herausforderungen unserer Zeit anzugehen und die Städte und Regionen resilient sowie mit Weitsicht zu klimafreundlichen und lebenswerten Orten zu gestalten, benötigt es:

- **Leitbildorientierte und gestaltende Planungsverfahren**, welche die verbreiteten nachlaufenden Investitionsplanungen ersetzen sollten. Planungsverfahren sollten sich an Nachhaltigkeit und Lebensqualität als zentrale Faktoren orientieren und dabei mit technologieoffenen sowie innovationsfördernden Rahmenbedingungen einhergehen. Traditionelle Verfahren wie die Bundesverkehrswegeplanung sowie Verkehrs- und Raumentwicklungspläne von Ländern und Kommunen sind an dem neuen Zielbild auszurichten. Ein zukunftsgerichteter Blick auf unser Zusammenleben muss durch interdisziplinäre Forschung begleitet werden und Eingang in den Planungsalltag von Bund, Ländern und Kommunen finden.
- Die derzeit zwischen **Bund und Ländern** zersplitterte **Förder- und Investitionsmittellandschaft bedarf einer Neuordnung**, die insbesondere für kleinere Kommunen zugänglicher werden muss. Zusätzlich sollte die Bindung von Investitionsmitteln an einzelne Verkehrsträger aufgehoben und sollten Anreize für lokale Akteure, etwa durch die Reduktion von Nachweispflichten, geschaffen werden. Dadurch können Innovationen in nachhaltige Mobilität aus Eigeninteresse leichter vorangetrieben werden.
- Mobilitätskonzepte im ländlichen Raum als Alternative zum privaten Pkw sind wirtschaftlich herausfordernd und bedürfen besonderer Aufmerksamkeit: Die **gezielte Förderung innovativer Konzepte** und Unternehmen in den Bereichen Digitalisierung, Automatisierung und Sharing Mobility käme Menschen und Umwelt in dünner besiedelten Räumen mit längeren Wegen und einer oft alternden Bevölkerung zugute. Wir empfehlen die **Einführung eines interdisziplinären Beirats zur Entwicklung von Konzepten für die intelligente Anbindung ländlicher Räume an regionale Zentren**.
- Gerade in ländlichen Räumen und im Fernverkehr bleiben Pkw und Lkw auch in Zukunft dominant. Um diese klimaneutral zu gestalten, braucht es einen schnellen, **bedarfsfolgenden und unkomplizierten Ausbau der Ladeinfrastruktur entlang der Autobahnen**. Ein besonderer Fokus sollte auf der Schaffung von Schnellladeinfrastruktur, insbesondere für Lkw, liegen. Hierfür bedarf es der Überprüfung von Rechtsrahmen und eine ggf. durch Planungsbeschleunigungsverfahren zielgerichteten Anpassung. Ziele sind dabei eine schnellere Entscheidungsfindung sowie die Ermöglichung einer freizügigeren Aufstellregelung von Ladesäulen.
- Der Sektor Verkehr/Mobilität ist personalintensiv und stark abhängig von Konjunkturzyklen. Zur Vermeidung von Insolvenzen und zur Gewährleistung der für den Standort Deutschland so entscheidenden Angebotsqualität im Personen- und Güterverkehr sollten **Regularien und Verwaltungspraktiken auf den Prüfstand gestellt und wo möglich digitalisiert und vereinfacht** werden. Dies betrifft insbesondere **Qualifikationsanforderungen und Einstellungsverfahren in- und ausländischer Fachkräfte**. Begleitend sollten Aus- und Weiterbildung in allen Bereichen zur Personalgewinnung durch Bund und Länder unterstützt werden.

» Im Fokus: Nachhaltige Produktion, Antriebe und Energieträger

Wesentlich für eine moderne und intermodal vernetzte Mobilität ist die kontinuierliche Weiterentwicklung von nachhaltig produzierten Fahrzeugen, Antrieben und Kraftstoffen. Zentrale Stellschrauben für nachhaltigere Fahrzeuge sind aufgrund des hohen Energieverbrauchs die Produktion der Fahrzeuge sowie der Einsatz von Leichtbautechnologien und -materialien.

Darüber hinaus spielt die Antriebswende eine entscheidende Rolle, da die bisherigen Konzepte zur Verlagerung der Mobilität auf umweltfreundliche Alternativen und Verkehrsvermeidung nur begrenzte Erfolge bei der Senkung der klimaschädlichen Emissionen gezeigt haben. Die Elektromobilität stellt in diesem Kontext einen vielversprechenden Technologiepfad für den Individualverkehr dar, um den CO₂-Ausstoß signifikant zu reduzieren. Ihr Erfolg hängt jedoch von verschiedenen Faktoren ab, wie der Verfügbarkeit bezahlbarer Fahrzeuge, einer ausreichenden Anzahl öffentlich zugänglicher Ladepunkte und einem massiven Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung bei gleichzeitig wettbewerbsfähigen Stromkosten. Insbesondere im Straßengüterverkehr ist das Potenzial der Elektromobilität noch nicht ausgeschöpft. Die Erforschung und Entwicklung neuer Batterietechnologien und Batteriematerialien stellt in diesem Kontext einen wichtigen Aspekt dar, um den Einsatz kritischer Rohstoffe zu reduzieren bzw. zu substituieren sowie Batterien und Batterieproduktionsprozesse energieeffizienter und kreislauffähiger zu gestalten.

Parallel dazu ist für spezielle Einsatzfelder die Forschung an alternativen, fossilfreien Kraftstoffen (PtX, BtX)⁸ gleichermaßen relevant. Die EU strebt kurzfristig eine weltweite Führungsposition bei der Herstellung und Verwendung von grünem Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen wie Methanol, synthetischem Benzin oder nachhaltigem Flugbenzin (SAF – Sustainable Aviation Fuel) an.⁹ Grüner Wasserstoff wird vor allem in Industriezweigen wie Chemie und Stahl sowie in der Energieversorgung dringend benötigt – auch für schwere Lkw könnte er in begrenztem Umfang zum Einsatz kommen. Allerdings ist die Herstellung von grünem Wasserstoff und daraus abgeleiteten synthetischen Kraftstoffen äußerst energieaufwendig. Europa selbst ist, abgesehen von einigen Gebieten in Nordeuropa, aufgrund des begrenzten Potenzials für die Energieerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern als Produktionsstandort nicht ideal.

Die europäische Strategie sollte daher darin bestehen, unsere nachhaltigen Technologien an jeden Ort der Erde zu transferieren, der die besten Voraussetzungen für wettbewerbsfähige und gleichzeitig nachhaltige Produktion bietet: günstige Elektrizität mit reichlich Wind, Sonne und Land sowie niedrige Investitionskosten. Eine parallele, technologieoffene Förderung von Batterietechnologien, Wasserstoff sowie weiteren regenerativ hergestellten PtX/BtX-Kraftstoffen ist daher unerlässlich.

Die Energie- und Verkehrswende sind untrennbar miteinander verbunden und müssen gemeinsam vorangetrieben werden. Dabei bedarf es insbesondere folgender Maßnahmen:

- **Ein neues Gremium zur Beschleunigung internationaler Standardisierungsverfahren** für Energieverbrauch und Ausstoß klimaschädlicher Gase: Produzierende Unternehmen können durch international einheitliche und nachvollziehbare Berechnungsverfahren für die gesamte Wertschöpfungskette in ihren Aktivitäten unterstützt werden. Mithilfe eines durch die Politik initiierten nationalen Gremiums aus Wissenschaft, Wirtschaft und Standardisierungsgremien, können **bereits angelaufene internationale Standardisierungsverfahren priorisiert und beschleunigt** werden.
- **Verstetigung der Förderung für Industrietransferprojekte** mit Fokus auf **Ressourceneffizienz und Kreislauffähigkeit** (z. B. Technologietransfer-Programm Leichtbau (TTP LB)): Es werden politische Instrumente benötigt, um Unternehmen zur intensiveren Nutzung von zur Ressourcennutzung beitragenden Technologien (z. B. Leichtbautechnologien und -materialien) mit Fokus auf Ressourceneffizienz und Kreislauffähigkeit (Circularity by Design) zu motivieren. Dies kann der deutschen Fahrzeugindustrie wieder einen Innovationsvorteil im Wettbewerb verschaffen.
- **Anpassung des Regulationsrahmens sowie Stärkung von Fördermaßnahmen zur besseren Integration der Elektromobilität in das Stromsystem:** Besonders ist die Anwendung des revidierten § 14a Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) von Bedeutung, um die Elektromobilität besser in das Netz zu integrieren. Hierzu sollte eine mittelfristige Verpflichtung der Pkw-Hersteller geprüft werden, **Vehicle-to-home sowie Vehicle-to-Grid-Funktionalitäten bereitzustellen**. Weiterhin sollte die **Verfügbarkeit dynamischer Stromtarife** und eine beschleunigte Verbreitung von Smart Metern durch entsprechende Anreize für Energieversorger, Netzbetreiber und Kunden erfolgen, sowie das Lastmanagement und mögliche Regelleistungsbereitstellung oder Rückspeisung von e-Lkw in Forschungsprojekten und Feldtests erprobt werden. Die Elektromobilität bietet so eine wichtige Option als Flexibilitätsmaßnahme zur Integration fluktuierender erneuerbarer Energie in das Stromsystem.

⁸ Power bzw. Biomass to Liquid oder Gas (PtL/G bzw. BtL/G), zusammenfassend PtX bzw. BtX: Auf Basis von erneuerbaren Energieträgern via Elektrizitäts- bzw. Biomassepfad hergestellte synthetische Kraftstoffe (gasförmig oder flüssig).

⁹ <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/de/sheet/70/energie-aus-erneuerbaren-quellen>

» Im Fokus: Nachhaltige Energieträger und -quellen erschließen

Erneuerbare Energien stellen das Rückgrat einer ressourceneffizienten und auf kreislauffähiges Wirtschaften ausgelegten, wettbewerbsfähigen Industrie sowie nachhaltigen Mobilität dar. Der komplette Strom-, Wärme- und Grundstoffsektor muss zum Erreichen der Klimaziele Deutschlands transformiert werden. Dafür erforderliche innovative Lösungen, die über Windkraft und Solarenergie hinaus gehen, sind bereits Gegenstand gezielter Forschungs- und Ausgründungsaktivitäten und teilweise schon ausgereift. Jedoch ist die erfolgreiche Implementierung in das Energiesystem mit dafür erforderlicher Transformation auf Producer- und Consumerseite¹⁰ noch ausstehend. Zudem liegt noch viel Potential in der Steigerung der Wirkungsgrade. Die Bereitstellung von Strom und Wärme durch einen Energiemix sowie dessen Zusammensetzung sind die Herausforderungen der heutigen Zeit.

Der Wandel hin zu einem auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystem in Deutschland bedarf passender Rahmenbedingungen: Hierzu zählen z. B. die Weiterentwicklung des Strommarktes weg von zentraler Erzeugung hin zu dezentralen »Prosumern«, die Stärkung der Netzinfrastruktur und die Förderung der Sektorenkopplung.

Die Transformation hin zu erneuerbaren Energiesystemen bedarf ebenfalls der Entwicklung geeigneter Speicheroptionen. Im Moment liegt die installierte Speicherkapazität von Batterie-Großspeichern mit 750 MWh (Stand 2022) um das mehr als Hundertfache unter der für das Jahr 2030 in Deutschland erforderlichen Speicherkapazität (104 GWh). Zur Überbrückung der sog. »Dunkelflaute«¹¹ sollte deshalb nicht nur in batterie elektrische Speicheroptionen sondern bspw. auch in chemische Energiespeicher auf Basis von Wasserstoff, Ammoniak etc. investiert werden. Dies schließt die Entwicklung effizienter Verfahren zur Umwandlung mit ein.

Nicht Teil der Energiewende bis 2045 wird voraussichtlich die Kernfusion sein. Durchaus denkbar ist ihr mittel- bis langfristiger Beitrag zur Souveränität und Klimaneutralität in der Energieversorgung. Daher sollte die Förderung von Forschungs- und später auch Anwendungsprojekten auf diesem Gebiet ein wichtiger Bestandteil für die forschungspolitischen Akteure sein.

Zum Erreichen der Missionsziele sind für uns folgende Punkte wichtig:

- **Wasserstoff** spielt eine besondere Rolle als Energieträger. Dabei adressieren die bestehenden Leitprojekte (H₂Giga, H₂Mare, TransHyDe) zwar alle relevanten Elemente der Wasserstoff-Wertschöpfungskette, jedoch sind auch gleichermaßen **verstärkte Bemühungen und Beschleunigungen hinsichtlich Kontinuität und Skalierung auf Marktniveau** für den Übergang in die industrielle Anwendung erforderlich. Konkret bedarf es der folgenden Maßnahmen:
 - Eine **Verstärkung und Verstetigung** der finanziellen Mittel für **Leitprojektinitiativen** für eine zeitnahe Skalierung der Anwendungsfelder.
 - Eine **verstärkte Förderung von Wasserstoffinfrastrukturen**, insbesondere der bis dato unterrepräsentierten **Wasserstoffspeicher**, sowohl für kurz-, als auch langfristige Speichertechnologien. Hier bedarf es politischer und regulatorischer Klarheit hinsichtlich der Finanzierung derartiger Speichersysteme. Diese könnte in der Befreiung von Entry-Exit-Entgelten und Umlagen bei der Nutzung von Wasserstoffnetzen und -speichern oder in der Befreiung von Stromnetzentgelten bei der Speicherung erneuerbaren Stroms bestehen, da Speicherkosten einen großen Teil der Betriebskosten ausmachen.
 - Für die bestehenden H₂-Technologieplattformen ist eine kontinuierliche Brücke in den Markt erforderlich. Dafür braucht es den Übergang in **industriengeführte Reallabore mit flankierender Begleitforschung**. Damit Reallabore rechtssicher betrieben werden können, benötigt es schnellstmöglich das im Koalitionsvertrag vereinbarte **Reallaborgesetz**, welches mit einer **schnellen gesetzlichen Deregulierung** einhergeht. Um die Verlässlichkeit für Reallabore zu verbessern, benötigt es bspw. verbesserter Rahmenbedingungen für einen Förderaufruf vor, während und nach der Projektlaufzeit. Darüber hinaus sollte es nur noch in Einzelfällen starre zeitliche Befristungen von Reallaboren geben, da Erkenntnisgewinne selten planbar sind, sondern oft disruptiv geschehen.
 - Mit Blick auf den globalen Markt sollten auch **Wasserstoffderivate als zentraler Teil der Importstrategie** adressiert werden (z. B. Ammoniak, LOHC, Flüssig-H₂). Zur Skalierung dieser Transporttechnologien ist eine einheitliche Zertifizierung der Wertschöpfungskette erforderlich und sollte von politischer Seite mit angeschoben werden.

¹⁰ »Producer« engl. für Hersteller*innen, »consumer« engl. für Verbraucher*innen. Die beiden Worte werden in »Prosumer« vereint.

¹¹ Zeiträume mit geringer Sonneneinstrahlung und gleichzeitiger Windstille.

- Der Aufbau eines Energiesystems auf Basis erneuerbarer Energien erfordert, dass die notwendigen Materialien, Komponenten und Anlagen den Marktakteuren in ausreichender Menge und zu wettbewerbsfähigen Preisen zur Verfügung stehen. Um kritische Abhängigkeiten zu vermeiden und gleichzeitig **Deutschland und Europa als wichtige Standorte für die Herstellung der Schlüsseltechnologien** zu erhalten oder auszubauen, müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Wertschöpfungsketten dieser Technologien in Deutschland und Europa zu sichern.
 - Dies erfordert den **Aufbau, Erhalt und Ausbau von Ökosystemen**, die alle beteiligten Akteure umfassen – von den Materialherstellern über die Komponentenhersteller und Systemanbieter bis hin zum Maschinen- und Anlagenbau sowie den Einrichtungen im Bereich Forschung und Entwicklung.
 - Mit dem Ziel, bis 2030 40 Prozent der europäischen Nachfrage nach erneuerbaren Energien (Windenergieanlagen, Solaranlagen, Wärmepumpen und Geothermie), Wasserstofftechnologien, Technologien zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung, Technologien zur Erzeugung klimafreundlich hergestellter Grundstoffe und Technologien zur Kernkraftnutzung aus europäischer Produktion zu decken, wurde vor kurzem auf europäischer Ebene der **Net Zero Industry Act (NZIA)** verabschiedet.
 - In der Umsetzung sollten Maßnahmen zur **Schaffung attraktiver Standortbedingungen für industrielle Akteure** im Vordergrund stehen, wie z.B. die entsprechende Gestaltung der Umlagen und Abgaben auf Strom oder die Etablierung von Nachhaltigkeitsstandards für die betroffenen Schlüsseltechnologien.
 - Wichtige Beiträge können auch die **gezielte Unterstützung der Kooperation von anwendungsorientierter Forschung mit Akteuren aus der Wirtschaft** durch die Absicherung öffentlich finanzierter Forschungsprogramme auf europäischer und nationaler Ebene leisten.
- Die **Investition in Infrastruktur** bildet eine notwendige Grundlage für die Umsetzung einer **sozialverträglichen Wärmewende**. Dabei spielt insbesondere die Kartografie von nutzbaren Wärmequellen aus Abwärme, Geothermie etc. eine große Rolle. Bisher ist die Zusammenführung der relevanten Daten auf in Landesebene organisierten Wärmekatastern (z. B. »Wärmeatlas« in Baden-Württemberg) hinsichtlich der Quantität und Qualität sehr unterschiedlich. Dies erschwert die effiziente Nutzung der Daten für die angewandte Forschung. Deshalb benötigt es die **Erweiterung der Wärmekataster hin zu einer deutschlandweit einheitlichen Erfassung**. Ein bürokratiearmer und einfacher Zugang zu den Daten kann beispielsweise über eine zentrale Einrichtung sichergestellt werden, die im Rahmen des geplanten **Forschungsdatengesetzes** debattiert wird.

Verzeichnis der Autor*innen

Dr. Claus Doll, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Dr. Ursula Eul, Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile MATERIALS

Dr. Simina Fulga-Beising, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Dr. Anett Hauser, Fraunhofer Strategisches Forschungsfeld Ressourceneffizienz & Klimatechnologien

Prof. Dr. Hans-Martin Henning, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Prof. Dr. Mathias Ehrenwirth, Technische Hochschule Nürnberg (zuvor: Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft)

Prof. Dr. Christopher Hebling, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Wolfgang Inninger, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

Sebastian Pretzsch, Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

Ivica Kraljevic, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT

Dr. Felix Lohse, Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. Patrick Plötz, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Pierre Prasuhn, Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Prof. Dr. Mario Ragwitz, Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG

Prof. Dr. Martin Wietschel, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Design & Grafik

Ariane Lange, Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Die gegenwärtig knapp 32 000 Mitarbeitenden, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von 3,4 Mrd. €. Davon fallen 3,0 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung, der sich in drei Finanzierungssäulen gliedert: Einen Anteil davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und aus Lizenzerträgen, die sich auf insgesamt 836 Mio. € belaufen. Der hohe Anteil an Wirtschaftserträgen ist das Fraunhofer-Alleinstellungsmerkmal in der deutschen Forschungslandschaft. Ein weiterer Teil aus dem Bereich Vertragsforschung stammt aus öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Bund und Länder komplettieren die Vertragsforschung durch die Grundfinanzierung. Damit ermöglichen die Zuwendungsgeber, dass die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft relevant werden.

Kontakt

Herausgeber

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.
Hansastraße 27 c, 80686 München
<https://www.fraunhofer.de>

Ansprechpersonen

Pierre Prasuhn
Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft, Abteilung Wissenschaftspolitik
Telefon: +49 30 688 3759-1607
E-Mail: pierre.prasuhn@zv.fraunhofer.de

Dr. Felix Lohse
Fraunhofer-Zentrale, Forschungscoordination
Telefon: +49 89 1205-1170
E-Mail: felix.lohse@zv.fraunhofer.de