

Nationales Innovationsprogramm  
Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie  
(NIP)

Dezember 2021

# Aktueller Maßnahmenkatalog





<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>Kontinuität bei Forschung, Entwicklung und Demonstration</b>	<b>16</b>
<b>Straßenverkehr</b>	<b>18</b>
PKW	19
Busse	20
Nutzfahrzeuge	21
<b>Schiene</b>	<b>23</b>
<b>Luftfahrt</b>	<b>26</b>
<b>Schifffahrt</b>	<b>29</b>
<b>Intralogistik</b>	<b>34</b>
<b>Digitale und kritische Infrastrukturen</b>	<b>37</b>
<b>Wasserstoffinfrastruktur</b>	<b>41</b>
<b>Wasserstoffregionen (HyLand)</b>	<b>46</b>
<b>Komponenten &amp; Systeme</b>	<b>48</b>
<b>Wasserstoffbereitstellung</b>	<b>54</b>
<b>Regulations, Codes &amp; Standards</b>	<b>55</b>
<b>Ausbildung</b>	<b>58</b>
<b>Umsetzung „aus einem Guss“ fortsetzen</b>	<b>60</b>

# Zusammenfassung

Der vorliegende Maßnahmenkatalog wurde von Industrie- und Wissenschaftsvertretern der Wasserstoff- und Brennstoffzellenbranche im Beirat der NOW GmbH entwickelt. Er beschreibt die Ziele und Schwerpunkte der bis 2026 befristeten Fortsetzung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP 2).

**Die deutsche Industrie sieht im Rahmen des NIP 2 Förderbedarfe von insgesamt über 3.700 Mio. € bis 2026 für die Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie.**

**1.600 Mio. € für Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsaktivitäten und für die Maßnahmen zur Marktaktivierung von 2.100 Mio. €**

Ziel ist es, die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in den nächsten Jahren (bis 2026) zur Marktfähigkeit zu bringen.

Mit der ersten Phase des NIP, dem NIP 1 (2007–2016), wurde die technologische Basis geschaffen, um in Deutschland jetzt die industrielle Wertschöpfung der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie international konkurrenzfähig aufzubauen. Eine befristete Fortsetzung des NIP bis 2026 (NIP 2) unter einem gemeinsamen programmatischen Dach ist für die Marktaktivierung dieser Technologien in Deutschland notwendig. Hierfür planen die Unternehmen der unterschiedlichen Branchen Investitionen von mehreren Milliarden Euro in den nächsten Jahren. Dabei sollte die Fortsetzung der Aktivitäten in der bewährten und erfolgreichen Organisationsstruktur der NOW GmbH erfolgen.

Eine weitere Flankierung der Aktivitäten durch die öffentliche Hand ist hierbei notwendig, um die wissenschaftliche und technologische Basis in Deutschland zu stärken, die Risiken der Marktaktivierung zu minimieren und somit die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass die Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien zur Erreichung der energie- und umweltpolitischen Ziele beitragen und den Industriestandort Deutschland in diesem Technologiefeld sichern.

Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien sind ein wesentlicher Erfolgsfaktor für eine wirtschaftlich effiziente Umsetzung der Energiewende. Die zeitnahe Integration der Wasserstofftechnologien in den Energiemarkt trägt dabei auch zur Versorgungssicherheit bei. Als Bindeglied zwischen mobilen und stationären Anwendungen ermöglichen sie die Erreichung der klimapolitischen Ziele Deutschlands und Europas – insbesondere im Kontext des Green Deal<sup>1</sup> sowie der Nationalen Wasserstoffstrategie. Der Verkehrssektor gilt dabei als Wegbereiter für den Aufbau einer bedarfsgerechten Wasserstoffinfrastruktur, wie er von der Richtlinie 2014/94/EU (Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFID) der Europäischen Kommissionen gefordert wird.<sup>2</sup>

Das bis einschließlich 2016 umgesetzte NIP hat die Grundlagen dafür geschaffen, dass erste Brennstoffzellenprodukte heute marktreif sind und die Planung und der Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur zügig voranschreiten. Heute stellt das Nachfolgeprogramm NIP 2 eine der wesentlichen Maßnahmen zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie dar und konzentriert sich zunehmend auf die Hochskalierung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien, die technologische Optimierung sowie die Schließung noch bestehender Marktlücken.

<sup>1</sup> Der European Green Deal (Europäischer Grüner Deal) ist ein von der Europäischen Kommission am 11. Dezember 2019 vorgestelltes Konzept mit dem Ziel, bis 2050 in der Europäischen Union die Netto-Emissionen von Treibhausgasen auf null zu reduzieren und somit als erster Kontinent klimaneutral zu werden (european-green-deal-communication\_de.pdf (europa.eu)).

<sup>2</sup> Für den Aufbau einer Wasserstoff-Versorgungsinfrastruktur für Brennstoffzellenfahrzeuge hat die Richtlinie für alle Länder mit einer bestehenden Wasserstoff-/Brennstoffzellenstrategie bereits bis 2019 verbindliche Ziele festgelegt.

## Fokus des NIP 2

Im NIP 2 werden die geplanten Maßnahmen in zwei Säulen eingeordnet:

- 1) **Forschung, Entwicklung und Innovation** sowie
- 2) **Marktaktivierung.**

Die befristete Fortsetzung des NIP 2 soll weiterhin als gemeinsames Programm von Industrie, Wissenschaft und öffentlicher Hand erfolgen und die Investitionen der Industrie sollen durch öffentliche Mittel weiter flankiert werden. Dadurch werden für deutsche Hersteller Lücken entlang der Wertschöpfungsketten geschlossen und insbesondere auch kleine und mittelständische Unternehmen eingebunden.

Während die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten weiterhin auf Kostenreduktion und Effizienzsteigerung abzielen, sehen Industrie und Wissenschaft insbesondere folgende Schwerpunkte im Bereich der Marktaktivierung:

- ∴ **Aufbau einer angebotsorientierten Wasserstoff-Betankungsinfrastruktur** und der damit verbundenen **nachhaltigen Wasserstoffversorgung** im Kontext der systematischen Verknüpfung mit dem Energiesystem
- ∴ **Brennstoffzellensysteme für den Einsatz in der nachhaltigen und klimaschonenden Mobilität – im Straßen- und Schienenverkehr, in der Schifffahrt sowie in der Luftfahrt**
- ∴ **Stationäre Brennstoffzellen** für die sichere Stromversorgung digitaler und kritischer Infrastrukturen und perspektivisch für Haushalte und Industrie als Kraft-Wärme-Kopplung
- ∴ **Spezifische Maßnahmen zur Stärkung der deutschen Zulieferindustrie**

Dabei soll auf bestehende Strukturen in der Industrie (z. B. Betankungsinfrastruktur, Zuliefererbasis) sowie auf die NOW GmbH als bewährte Instanz für die ganzheitliche, programmatische Koordination und Umsetzung aus einer Hand (mit angepassten Zielen sowie entsprechender Aufgabenstellung und Ausstattung) zurückgegriffen werden.

Es ist die Aufgabe des NIP 2, den Beitrag der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie zur Erreichung der klimapolitischen Ziele und zur Erfüllung der Anforderungen aus Deutschland und Europa mit den sich aus der breiten Markteinführung entwickelnden Chancen für die deutsche Industrie im internationalen Wettbewerb planmäßig zu verbinden.

# Einleitung

Das Gelingen der Energiewende setzt die erfolgreiche Markteinführung neuer und effizienter Energietechnologien und die systemübergreifende Integration aller drei Energiesektoren voraus. Wasserstoff und Brennstoffzellen sind ein wichtiger Bestandteil dieses Technologieportfolios.

Wasserstoff und Brennstoffzellen sind ein wichtiger Bestandteil des Technologieportfolios der Energiewende. Ihr breites Anwendungsspektrum reicht von der effizienten Kraft-Wärme-Kopplung mit hohem Stromerzeugungsanteil bei der Nutzung von Brennstoffzellen in der stationären Energieversorgung über die einfache Speicherbarkeit fluktuierender, überschüssiger erneuerbarer Energien in Form von Wasserstoff bis hin zur Mobilität ohne Emissionen im Individual- und öffentlichen Personenverkehr sowie

im Güterverkehr auf der Straße, im Wasser oder in der Luft. Wasserstoff und Brennstoffzellen werden zukünftig maßgebliche Beiträge zur Vermeidung von Emissionen (CO<sub>2</sub>, Schadstoffe, Geräusche) leisten sowie signifikant zum Ressourcenschutz beitragen und damit direkt die Ziele der Energiewende unterstützen. Wasserstoff als Kraftstoff kann zudem zur Diversifizierung des Kraftstoffportfolios beitragen und bei der Erzeugung aus erneuerbaren Energiequellen den Import von Primärenergieträgern verringern.

Das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) wurde in 2007 für die Marktvorbereitung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien als 10-Jahres-Programm begonnen. Durch die koordinierten Aktivitäten der angewandten Forschung und Entwicklung sowie groß angelegter Demonstrationsvorhaben hat sich die Technologie seitdem in Bezug auf Lebensdauer, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit erheblich weiterentwickelt. Erste Produkte der Heizungsindustrie sowie im Bereich der kritischen Stromversorgung zum Beispiel für den Behördenfunk sind verfügbar; Brennstoffzellenfahrzeuge samt der dafür erforderlichen Wasserstoff-Betankungsinfrastruktur wurden ab 2015 in den Markt eingeführt und sind heute bereits in kleineren Flotten im Einsatz. Zudem ist es gelungen, dass Automobil-, Gas- und Mineralölwirtschaft Anfang 2015 eine gemeinsame Infrastrukturgesellschaft – die H<sub>2</sub> Mobility – zum koordinierten Aufbau einer Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur gegründet haben.

Insgesamt wurde die Industrie in Deutschland durch das NIP ermutigt, Investitionen im Umfang von bis zu 4.500 Mio. € in Forschung und Entwicklung zu tätigen. Dies hat nicht nur entsprechende hoch qualifizierte Arbeitsplätze gesichert und geschaffen, sondern auch zu einem globalen technologischen Wissensvorsprung in diesem Segment beigetragen. Heute zeichnet sich eindeutig ab, dass vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele und der Veröffentlichung diverser nationaler Wasserstoffstrategien auf globaler Ebene die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie vor dem Schritt in die breite Markteinführung steht. Das NIP 2 kann erheblich dazu beitragen, dass die deutsche Volkswirtschaft an diesem globalen Markttrend maximal partizipiert.

### **Fortsetzung des NIP unter anderen Vorzeichen: Marktvorbereitung und Wettbewerbsfähigkeit**

Das NIP gilt weltweit als Erfolgsmodell. Im Jahr 2013 haben die Vertreter von Wissenschaft und Industrie im Beirat der NOW eine programmatische Fortsetzung des NIP entwickelt, um den beginnenden Markthochlauf weiter zu beschleunigen und zu gestalten. Die gleichen Vertreter haben nun 2021 die Aktualisierung des Maßnahmenkatalogs vorgenommen. Zum einen gilt es, Kontinuität bei Forschung und Entwicklung zur weiteren Kostenreduktion sowie zur Schaffung einer industriellen Basis für die Produktion höherer Stückzahlen, insbesondere im Bereich der Brennstoffzellen-Zulieferindustrie, sicherzustellen. Zum anderen bedarf es spezifischer Maßnahmen zur Marktaktivierung für Brennstoffzellen in mobilen Anwendungen und in der stationären Energieversorgung, insbesondere in der Kraft-Wärme-Kopplung in Haushalten und in Industrie und Gewerbe sowie in Systemen zur sicheren Stromversorgung von digitalen und kritischen Infrastrukturen bis hin zur Wasserstoffproduktion aus erneuerbaren Energien (Fokus Elektrolyse).

Hierzu sehen die beteiligten Industriebranchen einen Förderbedarf von **insgesamt 3.700 Mio. €** in den nächsten Jahren.

Der Markthochlauf birgt Risiken, die über das übliche Maß an unternehmerischem Risiko hinausgehen. Um ihn zu flankieren, hatte die Bundesregierung bereits Ende 2013 im Koalitionsvertrag die richtigen Weichen gestellt:

*„Die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) wird ab 2016 ihre Arbeit auf die Implementierung und den Markthochlauf der Brennstoffzellentechnologie im stationären und mobilen Bereich konzentrieren.“*

Diese Fokussierung wurde im Rahmen der Maßnahme 6 der Nationalen Wasserstoffstrategie, die im Juni 2020 veröffentlicht wurde, weiter manifestiert:

*„Die Fördermaßnahmen im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) werden fortgesetzt.“*

Explizit aufgeführt werden:

*„Marktaktivierung zur Unterstützung von Investitionen in Wasserstoff-Fahrzeuge (leichte und schwere LKW/ Nutzfahrzeuge, Busse, Züge, Binnen- und Küstenschiffahrt, PKW in Flottenanwendungen [...]. F&E-Aktivitäten mit dem Ziel, weitere Kostenreduktion zu erreichen [...]. ‚HyLand – Wasserstoffregionen in Deutschland‘ als dreistufiger Ansatz zur Förderung der Erstellung, Verfeinerung und Umsetzung integrierter regionaler Wasserstoff-Konzepte.“*

Diese Planung muss nun konkretisiert und die entsprechenden Maßnahmen müssen eingeleitet werden.

## Mobilität

Für den Verkehrsbereich stellt die Fortsetzung des NIP – neben der Nationalen Wasserstoffstrategie – insbesondere eine wesentliche Säule zur Umsetzung der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS) dar, die im Juni 2013 vorgestellt wurde:

*„Im Bereich des Pkw- und des Schienenverkehrs werden perspektivisch die größten CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale zu finden sein. Eine weitgehende Dekarbonisierung des öffentlichen Straßenpersonenverkehrs und des MIV<sup>3</sup> ist, in Ergänzung zu Maßnahmen am Fahrzeug, technisch durch den verstärkten Einsatz von Strom und Wasserstoff beziehungsweise der Batterie- und Brennstoffzellentechnologie und durch die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen langfristig möglich und zur Erfüllung der Energie- und Klimaziele der Bundesregierung bis 2050 sogar notwendig.“*

Auch die Entwicklung der politischen Vorgaben durch die europäische Umweltpolitik wird in den nächsten Jahren eine konsequente Weiterentwicklung elektrisch angetriebener Fahrzeuge erfahren.

Um die EU-Klimaschutzziele 2030 zu erreichen, hat die Europäische Kommission am 14. Juli 2021 das sogenannte „Fit for 55“-Paket vorgestellt. Es enthält 18 Elemente, die dabei helfen sollen, das neue Klimaziel von 55% Treibhausgaseinsparungen bis 2030 zu erfüllen und die europäische Wirtschaft gemäß dem

Green Deal hin zur Klimaneutralität zu transformieren. Teil dieser 18 Elemente sind 13 Vorschläge für Verordnungen und Richtlinien, von denen die meisten einen mittelbaren bis direkten Einfluss auf Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien haben. Sie werden in den folgenden Jahren verhandelt und entsprechend der Ausgestaltung einen erheblichen Einfluss auf den Markthochlauf der Technologien haben.

Um ein ebenes Spielfeld zu schaffen, werden mittels mehrerer Werkzeuge die konventionellen Kraftstoffe verteuert. So werden im Rahmen des Europäischen Emissionshandelssystems in Zukunft neben Energieerzeugung, Industrie und Luftfahrt auch für den Schiffsverkehr sowie in einem separaten System für die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr und in Gebäuden Zertifikate gekauft und entwertet werden. Darüber hinaus werden unionsweite Mindeststeuersätze eingeführt, die die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Kraftstoffen berücksichtigen und dementsprechend gestaffelt sind. Für erneuerbaren Wasserstoff und seine Derivate ist hierbei immer der niedrigste Mindeststeuersatz vorgesehen. Somit werden die negativen Externalitäten unionsweit eingepreist und es wird ein wichtiges Preissignal für den Umstieg auf erneuerbare Kraftstoffe gesetzt. Inwiefern diese Mindeststeuersätze eine Steuerungswirkung haben und zu einer faireren Bepreisung führen werden, wird von den weiteren Verhandlungen abhängen.

Weitere Anreize zur Nutzung von Wasserstoff werden durch den Vorschlag zur Revision der Erneuerbare-Energien-Richtlinie gesetzt. So soll es erstmals eine Quote zur Nutzung von erneuerbaren Energien und von grünem Wasserstoff in der Industrie geben. Weiterhin sollen bis 2030 2,6% des in Verkehr gebrachten Kraftstoffs Wasserstoff und seine Derivate ausmachen. Weitere Verordnungen betreffen den Einsatz derartiger Kraftstoffe im Seeverkehr und in der Luftfahrt. So soll von 2025 bis 2050 ein stetig steigender Anteil an nachhaltigen Flugkraftstoffen Verwendung finden, während die Treibhausgasintensität von Schiffskraftstoffen bis 2050 um 75% zu mindern ist. Diese Vorgaben werden lediglich unter Einsatz von kohlenstoffarmem oder -freiem Wasserstoff zu erfüllen sein.

Als Teil des „Fit for 55“-Pakets wird es für die Mitgliedsstaaten darüber hinaus zur Verpflichtung, bis Ende 2030 Wasserstoff-Betankungsinfrastruktur für den Straßenverkehr aufzubauen. Ziel ist es, europaweit ein leistungsfähiges Basisnetz zu schaffen, um die Wasserstoffmobilität in der gesamten EU zu ermöglichen. Fahrzeugseitig schlägt die Kommission in Bezug auf Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge vor, ab 2035 lediglich Nullemissionsfahrzeuge in Europa zuzulassen. Dies dürfte der Brennstoffzellenmobilität einen zusätzlichen Schub verleihen.

Dieses Bündel aus Anreizen und ordnungspolitischen Maßnahmen lässt erkennen, dass die elementare Wichtigkeit von Wasserstoff für die Energiewende über alle Sektoren hinweg in der EU erkannt wurde. Nun kommt es auf die Ausgestaltung dieser ambitionierten Vorschläge in den weiteren Verhandlungen und auf die Umsetzung im nächsten Jahrzehnt an.

### Stationäre Anwendungen

Auch stationäre Brennstoffzellen zur hocheffizienten gekoppelten Bereitstellung von Strom und Wärme sind eine Schlüsseltechnologie zur Erreichung der Vorgaben der europäischen Politik. Aufgrund ihrer hohen Wirkungsgrade (Strom 60%, inklusive Wärme 85%) erfüllen sie auch die Anforderungen an die Gebäudeenergieeffizienz (EnEV/GEG). Zusätzlich gelten sie mit ihrer betrieblichen Flexibilität und ihrem Einsatz in der dezentralen Energieversorgung als ideale Bausteine künftiger Energieversorgung auf Basis von Erdgas/Biogas und perspektivisch vor allem auch von Wasserstoff. Viele Systeme sind heute von Natur aus schon „H<sub>2</sub>-ready“.

Weiterhin eignet sich die Brennstoffzellentechnologie für den Einsatz in Notstrom- und Netzersatzanlagen, insbesondere zur Absicherung digitaler und kritischer Infrastrukturen. Dazu gehören unter anderem die Bereiche Elektrizität, Gas, Wasser, Informationstechnik und Telekommunikation sowie der Bereich Notfall-/ Rettungswesen einschließlich Katastrophenschutz und BOS-Digitalfunk. Durch die Nutzung wasserstoffbasierter Energieträger ist die Brennstoffzellentechnologie ein elementarer Bestandteil einer redundanten und somit abgesicherten Energieversorgung.

### Aufbau einer nationalen Wertschöpfungskette

Die für das NIP 2 vorgeschlagenen Einzelmaßnahmen unterstützen die Erhaltung und Schaffung von Arbeitsplätzen in Deutschland basierend auf einem hervorragenden, international wettbewerbsfähigen Stand der Technik. Zusätzlich sollen durch flankierende Fördermaßnahmen die Investitionsrisiken insbesondere für die Zulieferindustrie in einem entstehenden, noch unsicheren Markt abgemildert werden, da speziell kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) mehr als die Hälfte der Wertschöpfung leisten. Der Aufbau einer durchgängigen Kette von Zulieferstrukturen sowie der notwendigen Energieinfrastruktur erfordert gemeinsame Anstrengungen der öffentlichen und der privaten Hand, um die bestehenden Entwicklungs- und Marktrisiken zu mindern.

Die Fortführung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie im NIP 2 dient einerseits der Kontinuität von Zielen und Strukturen und passt diese andererseits an die aktuellen Notwendigkeiten an. Im Anschluss an die bereits erreichten Erfolge bei der technischen Optimierung rückt nun die Marktaktivierung für Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien in verschiedenen Segmenten – mobil und stationär – unter Berücksichtigung industrieller, klimapolitischer und volkswirtschaftlicher Aspekte deutlich in den Mittelpunkt.

## Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP 2)

### NIP 2 – Fortsetzung eines Erfolgsmodells

Seit 2017 und damit seit Beginn der Phase 2 des NIP sind aus Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) sowie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) mehr als 250 Projekte mit ca. 330 beteiligten Unternehmen und wissenschaftlichen Organisationen umgesetzt worden bzw. befinden sich in der Umsetzung. In den vier großen Leuchttürmen des Programms konnte die technische Reife beispielsweise von Brennstoffzellenfahrzeugen, Brennstoffzellenheizgeräten und Systemen zur Notstromversorgung (z. B. für den Behördenfunk) im Alltag nachgewiesen werden.

Im Leuchtturm **Clean Energy Partnership (CEP)** engagieren sich gemeinsam Automobilindustrie (AUDI, BMW, Daimler, Honda, Hyundai, Toyota), Betreiber/Anwender (GP Joule, H<sub>2</sub> Mobility, Infracore), Mineralölindustrie (Shell, OMV, TotalEnergies), Gasindustrie (Air Liquide, Linde, Westfalen), Energieversorger (EWE) und Zulieferer (Cryomotive, faurecia). Zusammen demonstrieren sie die sichere Nutzung von Brennstoffzellenfahrzeugen und ihre Betankung innerhalb weniger Minuten.

**Clean Power Net (CPN)** ist ein offener, bundesweiter und branchenübergreifender Zusammenschluss von aktuell 19 Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Hersteller und Anwender arbeiten zusammen, um eine klimaschonende, effizientere und somit intelligentere Energieversorgung für Industrie-anwender zu realisieren.

Das Innovationscluster **e4ships** hat zum Ziel, die Energieversorgung an Bord großer Schiffe deutlich zu verbessern. Dazu arbeiten namhafte deutsche Werften und Reedereien, führende Hersteller von Brennstoffzellen, Hochschulen und Verbände sowie Klassifikationsgesellschaften zusammen.

Die Partner im **Clean Intralogistics Net (CIN)** haben sich den Durchbruch einer grünen Intralogistik mit Wasserstoff zum Ziel gesetzt. Gemeinsam treiben sie die Marktaktivierung von mit Brennstoffzellen betriebenen Flurförderzeugen für Produktion und Logistik sowie von Fahrzeugen des Flughafenvorfelds inklusive der dazugehörigen Wasserstoffinfrastruktur voran.

In vielen Projekten ist die Wissenschaft durch Hochschulen und Forschungseinrichtungen eingebunden. Dies sind zum Beispiel das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), die Fraunhofer-Gesellschaft mit mehreren Instituten, das Forschungszentrum Jülich, das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) und das Zentrum für Brennstoffzellen-Technik (ZBT) sowie zahlreiche deutsche Universitäten und Hochschulen, um nur einige zu nennen.

Auch innerhalb von Europa und global muss Deutschland der Rolle als Vorbereiter für eine Wasserstoffwirtschaft gerecht werden. Als wichtigste Partner sind hier das europäische Gemeinschaftsunternehmen für Brennstoffzellen und Wasserstoff (FCH JU, ab 2023 Clean Hydrogen Joint Undertaking), die USA und Japan zu nennen, mit denen vielfältige Schnittstellen und Kooperationen bestehen. Mit dem FCH JU besteht ein ständiger Dialog zu Aufrufen und zur Einbindung anderer europäischer Partnerschaften, deren wasserstoffbezogene Aktivitäten von dem neuen Clean Hydrogen Joint Undertaking mit koordiniert werden sollen. Austausch mit den USA findet insbesondere im Rahmen der Mission „Innovation Hydrogen“ und der „Annual Merit Review“ des Department of Energy statt. In Japan besteht ein „Memorandum of Understanding“ mit der New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) und es findet ein unregelmäßiger Austausch statt.

## NIP 2

Die Ergebnisse des auf die Marktvorbereitung ausgelegten NIP zeigen, dass die Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie das Potenzial hat, einen entscheidenden Beitrag zu einem nachhaltigen integrierten Energiesystem der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr zu leisten. Sie ist anwenderfreundlich, ressourcenschonend, wartungsarm und damit robust sowie einfach handhabbar. Die Maßnahmen zur Fortsetzung des NIP haben zum Ziel, in Deutschland Rahmenbedingungen zu schaffen, die den kommerziellen Einsatz dieser Technologie ermöglichen. Dabei fokussieren sich die Aktivitäten des NIP 2 auf die bewährten zwei Aspekte

- 1) „Forschung und Entwicklung“ sowie
- 2) „Marktaktivierung“.

Während die F&E-Maßnahmen auf die Verbesserung der material-, verfahrens- und fertigungstechnischen Grundlagen als Basis für die erforderliche Kostenreduktion abzielen, hat die Marktaktivierung die Kompetenzentwicklung der deutschen Industrie bei der Entwicklung wettbewerbsfähiger Produkte sowie die Entwicklung der Nachfrageseite im Blick.

Die Förderung durch das NIP 2 fokussierte sich auf vier Themenbereiche (mit sechs Unterthemen), in denen die deutsche Industrie bereits heute am stärksten in den Markthochlauf investiert. Ergänzt wird das NIP 2 mittlerweile und zukünftig durch weitere (teils technologieübergreifende) Förderrichtlinien für Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen sowie die Beschaffung von Fahrzeugen, Infrastruktur und Erzeugungsanlagen – unter anderem im Kontext der Nationalen Wasserstoffstrategie. Die folgende Struktur spiegelt damit die Schwerpunkte zur Marktaktivierung für Wasserstoff- und Brennstoffzellenanwendungen auf Basis des laufenden Engagements und der Ziele der Industrie wider:

### ⋮ Nachhaltige Mobilität

- : Wasserstoff-Betankungsinfrastruktur
- : Brennstoffzellenfahrzeuge (insbesondere aus den Anwendungsbereichen des Straßen- und Schienenverkehrs, der Schifffahrt sowie der Intralogistik)

### ⋮ Wasserstofferzeugung aus erneuerbaren Energien und zur systemübergreifenden Integration der Energiesektoren

- : Elektrolyse/strombasierte Kraftstoffe
- : Abfall- und Nicht-Nahrungsbiomasse

### ⋮ Hocheffiziente dezentrale Stromerzeugung bzw. Kraft-Wärme-Kopplung

- : Brennstoffzellen für Hausenergieversorgung und Industrie
- : Sichere Stromversorgung digitaler und kritischer Infrastrukturen

### ⋮ Wertschöpfung in Deutschland

- : Führende deutsche Industrieunternehmen
- : Zulieferindustrie

Die auf Basis der im Strategiepapier des NOW-Beirats aus dem Jahr 2013 formulierten Schwerpunkte wurden in dem Dokument aus dem Jahr 2015 nach Art und Umfang der Maßnahmen konkretisiert, um einen lückenlosen Anschluss an das laufende Programm zu gewährleisten und die bisher erzielten Erfolge auf dem Weg zu einer wettbewerbsfähigen Teilnahme am internationalen Markt nachhaltig zu sichern und in industrielles Wachstum umzusetzen. Im Kontext der Veröffentlichung der Nationalen Wasserstoffstrategie im Jahr 2020 sowie der stark fortgeschrittenen Entwicklungen in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie wird der Maßnahmenkatalog aus dem Jahr 2015 aktualisiert und angepasst.

### Programm gemeinsam fortsetzen

Im NIP arbeiten Industriepartner aller Größen und Branchen sowie Akteure der öffentlichen Hand aus Bund und Ländern übergreifend zusammen. Das hat in Deutschland bei der BZ&H<sub>2</sub>-Technologieentwicklung zu programmatischer Kohärenz und inhaltlicher Konsistenz beigetragen. Mit der Koordination durch die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH (NOW) ist sichergestellt, dass die öffentlichen Mittel mit den Schwerpunkten angewandte Forschung und Entwicklung sowie Erprobung von Systemen im Alltag effektiv eingesetzt werden. Zusätzlich gilt es nun, auch die Maßnahmen zur Marktaktivierung gemeinsam weiter umzusetzen. Die bewährten Strukturen sollen mit angepasster Aufgabenstellung und Ausstattung fortgesetzt werden.

### NIP 2 – Investitionsrahmen

Die deutsche Industrie sieht im Rahmen des NIP 2 Förderbedarfe von **insgesamt über 3.700 Mio. €** für die Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie. Dies beinhaltet ebenso die Weiterentwicklung von Forschungs- und Entwicklungskapazitäten in Deutschland wie die Finanzierung der für die Produkt-einführung notwendigen Maßnahmen wie zum Beispiel im Bereich der Zulieferindustrie oder der Fertigungskapazitäten.

Als Förderung für Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsaktivitäten wird ein Bedarf von **ca. 1.600 Mio. € bis 2026** einschließlich als notwendig erachtet.

Die Maßnahmen zur Marktaktivierung sind spezifisch für die einzelnen Märkte und Anwendungen als zeitlich begrenzte und degressiv gestaltete Investitionsunterstützung vorzusehen und erfolgen zukünftig ergänzend zum NIP 2 über weitere (teils technologieübergreifende) Förderrichtlinien und -töpfe. Kumuliert ergibt sich damit für die Maßnahmen zur Marktaktivierung ein Förderbedarf von **rund 2.100 Mio. € bis 2026** einschließlich.

## **Einbindung der NIP-Aktivitäten in die weiteren Maßnahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie sowie den internationalen Kontext**

Mit der ersten Phase des NIP wurden wichtige Grundlagen für einen nationalen Wasserstoffmarkt gelegt, die durch das NIP 2 ausgebaut und fortgeführt werden. Damit ist das NIP 2 ein wichtiges Element der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung. Es sollte daher sichergestellt sein, dass das NIP 2 in der Umsetzung in den Gesamtkontext der Nationalen Wasserstoffstrategie eingebunden und damit abgestimmt bleibt. Dies bezieht sich insbesondere auf die Maßnahmen zur marktnahen Umsetzung von integrierten Projekten mit Einbezug von verschiedenen Sektoren.

Aktuell betrifft dies vorrangig die Reallabore und die „Important Projects of Common European Interest“ (IPCEI), kann sich aber zukünftig auch auf weitere Maßnahmen beziehen. Oftmals ist in den genannten Projekten keine direkte Investitionsförderung für die Beschaffung von Fahrzeugen und Tankstelleninfrastruktur vorgesehen. Hier können in Kombination mit den Marktprogrammen des NIP 2 sinnvolle Synergien geschaffen werden. Damit kann zielgerichtet eine Nachfrage für grünen Wasserstoff im Verkehrssektor geschaffen werden, der den Aufbau einer Wasserstoffversorgung maßgeblich unterstützen kann. Insbesondere die Kombination aus Infrastrukturen für den Transport und die Speicherung von Wasserstoff, der großskaligen Wasserstoffproduktion für Industrie und Verkehr sowie der Einbindung von Tankstelleninfrastrukturen wird zu gegenseitigen Synergien führen.

Eine Einbindung der nationalen Aktivitäten im Rahmen des NIP 2 in die europäischen Aktivitäten und ihre Koordinierung können diesen Effekt zusätzlich verstärken. Dies bezieht sich aktuell hauptsächlich auf die Hydrogen-Valley-Maßnahmen der EU-Kommission, aber auch auf weitere Maßnahmen, beispielsweise im Rahmen der IPCEI-Projekte.

Während mit den genannten Maßnahmen zunächst eine nationale und regionale Marktaktivierung verfolgt wird, kann durch zukünftige Abstimmung und Koordinierung die gesamte europäische Wasserstoffwirtschaft unterstützt werden. Im Verkehrsbereich bezieht sich dies vorrangig auf grenzüberschreitende Verkehrsleistungen beispielsweise im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV), im Schienenpersonennahverkehr (SPNV) und im Logistikbereich. Die Maßnahmen zur nationalen Marktaktivierung der Wasserstoffanwendungen sollten zudem im Einklang mit der europäischen Regulatorik und den europäischen Zielen stehen. Mit der AFID (Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe) steht beispielsweise ein regulatives Instrument für einen europäischen Infrastrukturaufbau zur Verfügung, das als Grundlage für den Aufbau europäischer Verkehrsanwendungen im Wasserstoffbereich dient. Auch die Korridore von TEN-T (Trans European Transport Network) können beim Aufbau einer europäischen Infrastruktur für Wasserstoffmobilität für verschiedene Verkehrsträger eine sinnvolle Grundlage bieten.

Die koordinierte Einbindung von Maßnahmen in die übergeordneten Kontexte auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene ist ein wichtiger Schritt, um das Entstehen einer internationalen Wasserstoffwirtschaft zu unterstützen. Auf nationaler Ebene besteht zudem die Koordinierung der Maßnahmen des NIP 2 mit weiteren Maßnahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS). Diese adressiert neben dem nationalen und dem europäischen Markt auch den internationalen Markt.

Im internationalen Umfeld können Maßnahmen anwendungsspezifisch sein oder sich auf übergeordnete Maßnahmen – beispielsweise in Bezug auf Regulatorik oder Standardisierung – beziehen. Anwendungsspezifische Maßnahmen im Verkehrsbereich sind vorrangig die Kraftstoffbeschaffung in Form von grünem Wasserstoff oder seinen Folgeprodukten wie Methanol oder weiteren synthetischen Flüssigkraftstoffen, der internationale Seeverkehr und der internationale Flugverkehr. Auch wenn hier über das NIP 2 keine direkten Fördermaßnahmen für die Marktaktivierung oder F&E-Aktivitäten möglich sind, ist eine Koordinierung und Abstimmung der nationalen Maßnahmen dennoch sinnvoll und zielführend.

Die Koordinierung und Einbindung von nationalen Aktivitäten kann beispielsweise über internationale multilaterale Partnerschaften erfolgen. Hier kommt der „International Partnership for Hydrogen in the Economy“ (IPHE) eine wichtige Rolle zu, da sie im Gegensatz zu anderen Regierungsorganisationen wie der IEA (International Energy Agency) oder der IRENA (International Renewable Energy Agency) ausschließlich auf den Markthochlauf der Wasserstofftechnologien fokussiert.

Mit dem Hydrogen Energy Ministerial besteht zudem die Möglichkeit, relevante Themen auf höchster politischer Ebene zu platzieren. Durch die aktive Mitarbeit kann nicht nur eine zielgerichtete Abstimmung mit den Partnerländern erfolgen, sondern auch ein effektives internationales Monitoring. Zudem können die nationalen Aktivitäten auf internationaler Ebene platziert werden, wodurch für eine internationale Sichtbarkeit der Aktivitäten und der gesamten Technologie gesorgt wird.

Mit der Einbindung in die Mission Innovation 2.0 und die Mission Hydrogen, die im Juni 2021 gestartet wurde, kann auf der Ebene von großskaligen F&E-Projekten bzw. sogenannten Hydrogen Valleys eine Koordinierung und Abstimmung erfolgen. Durch die Vernetzung können internationale Kooperations-

projekte angereizt und zudem sinnvolle Synergien gehoben werden. Mit der Hydrogen Initiative des Clean Energy Ministerial (CEM) kann die Einbindung auf der Ebene von ersten marktnahen Großprojekten stattfinden und Rahmenbedingungen, beispielsweise bei relevanten Regelwerken und Förderprogrammen, können international abgestimmt werden. Abschließend kann das IEA Technology Collaboration Programme<sup>4</sup> für eine Vernetzung der Forschungsaktivitäten sorgen.

Insgesamt ist für den gesamtheitlichen internationalen Markthochlauf, aber auch für den industriepolitischen Aspekt des Technologieexports die Präsenz der deutschen Akteure und Aktivitäten unerlässlich.

<sup>4</sup> <https://www.iea.org/programmes/technology-collaboration-programme>

# Kontinuität bei Forschung, Entwicklung und Demonstration

In der ersten Phase des NIP (2006–2016) wurden die Alltags-tauglichkeit und die grundsätzliche Marktfähigkeit von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien erfolgreich nachgewiesen.

Dabei wurden auch die Technologiepotenziale im Hinblick auf ihren Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz, zur Nutzung erneuerbarer Energien sowie zum Umwelt- und Klimaschutz aufgezeigt. Beispiele hierfür sind der lokal emissionsfreie Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen, die Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien oder die nachweisliche CO<sub>2</sub>-Reduktion um mehr als 50% beim Einsatz von Brennstoffzellensystemen für die Versorgung von Gebäuden mit Strom und Wärme (Kraft-Wärme-Kopplung)<sup>5</sup>.

Die meisten Hersteller von Wasserstoff- und Brennstoffzellenprodukten haben das Forschungs- und Entwicklungsstadium abgeschlossen und optimieren ihre Anwendungen in Demonstrationsprojekten. Erste deutsche Hersteller bieten alltagstaugliche Produkte an. Jedoch stehen alle vor der gemeinsamen Aufgabe, die deutsche (Zuliefer-)Industrie durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung von Produkten, Subsystemen und Komponenten entlang der Wertschöpfungsketten am deutschen Markt und an internationalen Märkten erfolgreich zu etablieren. Wesentliche Hürden sind neben zu verbessernden Materialien, Leistungsdichten und Langzeitstabilitäten die Kostensenkung von Brennstoffzellen und Gesamtsystemen sowie insbesondere die Vorbereitung auf eine effiziente und damit kostengünstige Serienfertigung für große Stückzahlen.

Der Maßnahmenkatalog zum laufenden NIP beinhaltet ein Arbeitsprogramm mit den folgenden Programmbereichen:

- ❖ **Verkehr (inklusive Wasserstoffinfrastruktur und Logistik)**
- ❖ **Wasserstoffproduktion**
- ❖ **Stationäre Energieversorgung (Hausenergieversorgung, Stromversorgung für digitale und kritische Infrastrukturen, Industrie- / Gewerbeanwendungen)**
- ❖ **Querschnittsaufgaben (Synergien aus der gleichzeitigen Bedienung mehrerer Märkte)**

In der **Forschung und Entwicklung** sollen diese Bereiche mit aktualisierten Inhalten und neu priorisierten Aufgaben weiter Gültigkeit behalten. Schwerpunkte ergeben sich insbesondere an solchen Stellen, an denen die Demonstrationsprojekte noch Weiterentwicklungsbedarf aufgezeigt haben.

Obwohl die Basistechnologien (Brennstoffzelle und Subsysteme, Wasserstoffverbrennung, Wasserstoffherstellung und Herstellung alternativer Brennstoffe auf Basis von Wasserstoff, Wasserstoffinfrastruktur) grundsätzlich beherrscht werden, gilt es, neben der Schwerpunktsetzung auf die anwendungsnahe Forschung und Demonstration, die Grundlagenforschung enger in das Gesamtkonzept einzubinden und für besonders kostenrelevante Aspekte zu forcieren (z. B. Einsatz von Katalysatormaterialien in Brennstoffzellen und Elektrolyseuren). Sie sollte sich insbesondere mit der Entwicklung innovativer Materialien und Prozesse befassen.

Die folgenden Unterkapitel zeigen die Fördermittelbedarfe der Programmbereiche auf.

<sup>5</sup> <https://gas.info/die-initiative-zukunft-gas/plattformen-zukunft-gas/initiative-brennstoffzelle>

# Straßenverkehr

Die Verkehrswende muss sich in erster Linie auf die Elektrifizierung der Antriebe konzentrieren. Damit dies über alle Fahrzeuganwendungen und Segmente hinweg gelingen kann, braucht es eine sinnvolle Kombination aus Batterie- und Brennstoffzellentechnologie. Denn: Batterie und Brennstoffzelle schließen sich nicht aus, sie ergänzen sich. Mit dieser Kombination kann für das Gesamtsystem eine optimale energetische und wirtschaftliche Lösung gefunden werden. Neben der Vermeidung von schädlichen Emissionen und Lärm besteht im ÖPNV beispielsweise der Vorteil, dass sich durch den Einsatz von Brennstoffzellen in Bussen nahezu keine Einschränkungen im Betriebsablauf ergeben. Mit Brennstoffzellen betriebene Busse haben mit aktuell 350 km eine ähnliche Reichweite und Betankungszeit wie konventionelle Dieselmotoren. Zudem lassen sie sich flexibel auf allen Linien einsetzen, ohne dabei auf zusätzliche Nachladeinfrastruktur angewiesen zu sein. Auch der Individualverkehr spielt im täglichen Leben für Millionen von Menschen heute und in Zukunft eine entscheidende Rolle. Wenn dabei die Themen Reichweite und Ladeinfrastruktur mitgedacht werden, ergibt sich eine Koexistenz von Brennstoffzelle und Batterie.

Neben Pkws und Bussen ist im Rahmen des NIP 2 ein besonderer Fokus auf leichte und schwere Nutzfahrzeuge zu legen, die aufgrund herausfordernder Anforderungen der Logistikbranche hinsichtlich Routenflexibilität, Nutzlast und Reichweite besonders große Potenziale für Wasserstoff-Brennstoffzellenantriebe mit sich bringen. Das stark gewachsene Interesse an Nutzfahrzeugen spielt daher heute auch im Hinblick auf den bedarfsgerechten Infrastrukturaufbau eine wesentliche Rolle. Die Förderung von Fahrzeugen und Infrastruktur muss daher synchronisiert sein.

Es ist davon auszugehen, dass Brennstoffzellenfahrzeuge über die zunehmende Industrialisierung und die daraus entstehenden Skaleneffekte immer kostengünstiger hergestellt werden können und die Mehrkosten gegenüber den etablierten Technologien somit sinken. Der Förderbedarf pro Fahrzeug wird daher sukzessive abnehmen. Für einige Fahrzeuganwendungen im Straßenverkehr wird eine Kostenparität bereits ab 2030 erwartet.

## Meilensteine

M1: **2026 – 10.000 BZ-Pkws**

## Pkw

### Forschung und Entwicklung

Das übergeordnete Ziel für den Bereich Pkw ist die Bereitstellung eines wettbewerbsfähigen, kundenwerten Brennstoffzellenfahrzeug-Angebots durch Erschließung von Kostenvorteilen gegenüber konventionellen, batterieelektrischen und Hybrid-Fahrzeugen durch die Optimierung der Technologie sowie die Realisierung nachhaltiger Produktkonzepte.

Hierzu zählen insbesondere die Weiterentwicklung der Subsysteme und Komponenten entlang der Wertschöpfungskette sowie die Erarbeitung der fertigungstechnischen Grundlagen für eine kostengünstige Serienproduktion durch nachhaltige Produktkonzepte und verbesserte Materialien, Werkstoffe und Verfahren/Prozesse sowie erhöhte Leistungsdichten und Lebensdauern.

Konkret ergeben sich folgende F&E-Schwerpunkte:

❖ **Fokus auf Fertigungstechnologien mit dem Ziel der Skalierung/Serienfertigung**

- : Brennstoffzellensystem mit geringen Herstellungskosten für einen breiten Markteinstieg auch in kompakten (flachen) Fahrzeugen (z. B. Leistung von 80 kWnet, ohne Befeuchtung und Turbine)
- : Alternatives Stack-Kompressionskonzept mit Vorteilen bei Crash-Sicherheit, Bauraum und Gewicht: statt passiver Federvorspannung aktive Druckluftunterstützung

❖ **Kosteneffizienz und Umweltverträglichkeit der Materialien (Kreislaufwirtschaft)**

- : Untersuchung von innovativen Membranmaterialien
- : Recycling von Wasserstoffsystemen
- : Validierung kostengünstiger Stack-Werkstoffe inklusive Substitution von Edelmetallen
- : Alternatives Luftbefeuchtungskonzept mit Vorteilen hinsichtlich Regelbarkeit, Bauraum und Kosten: statt passivem Membranbefeuchter aktive „Pumpe + Düse“-Befeuchtung

❖ **Entwicklung von kostengünstigen und plattformübergreifend integrierbaren Tanksystemen**

- : Leichtes und kostengünstiges Wasserstoff-Flachspeichersystem: Materialentwicklung, Herstellprozess, Recycling, neues Anbindungskonzept Rail und Rahmen, funktionale Einbindung, Zertifizierung
- : Kombinierte Flachspeicherventileinheit mit Absperrventil, Druckregler, Thermosicherung und Sensorik.

❖ **Wasserstofffahrzeuge in Garagen und Brand-schutzanforderungen**

Pkw-BZ-Systeme können durch Modularisierung und/oder entsprechende Hybridisierung in vielen anderen Anwendungen genutzt werden (Bus, Lkw, stationär).

**Fördermittelbedarf für F&E Maßnahmen**

Hierfür ergibt sich ein Fördermittelbedarf von insgesamt 150 Mio. € bis 2026.

### Marktaktivierung

Der Beitrag zur Erreichung eines hohen Marktanteils an wettbewerbsfähigen, kundenwerten Brennstoffzellen-Pkws in Deutschland und Europa sowie die Erschließung von weiteren Kostensenkungspotenzialen durch Skaleneffekte sind die übergeordneten Ziele im Bereich der Marktaktivierung.

Von dieser Marktaktivierung profitiert die gesamte Wertschöpfungskette und es wird eine Stärkung der deutschen und europäischen Zulieferindustrie für Brennstoffzellen- und Systemkomponenten erreicht.

Eine Fortführung der Beschaffungsförderung von Brennstoffzellen-Pkws ist daher unerlässlich und sollte durch die Etablierung höherer Förderquoten (80% der Investitionsmehrkosten im Vergleich zur konventionellen Technologie) forciert werden.

**Fördermittelbedarf für Marktaktivierung**

Vorrangig sollte dabei der Aufbau von Flotten unterstützt werden. Bei einem prognostizierten Fahrzeugbestand von 10.000 Brennstoffzellen-Pkws in 2026 ergibt sich ein Fördermittelbedarf von insgesamt 300 Mio. € bis 2026.

# Busse

## Forschung und Entwicklung

Derzeit basiert der Busverkehr in Deutschland noch fast ausschließlich auf der Nutzung dieselbetriebener Fahrzeuge. Mit der Umstellung der Busse auf emissionsarme Antriebe wird ein Beitrag zur Reduzierung der Luftschadstoffe geleistet. Gleichzeitig tragen diese Busse zur Lärminderung bei. Einer hohen Nachfrage an Brennstoffzellenbussen – insbesondere im ländlichen Raum – steht aktuell vor allem ein zu eingeschränktes Fahrzeugangebot und damit einhergehend ein zu geringer Wettbewerb gegenüber.

Konkret ergeben sich daher folgende F&E-Bedarfe:

- ⋯ Erweiterung des Fahrzeugportfolios, insbesondere um 18-Meter-Gelenkbusse
- ⋯ Entwicklung eines leistungsstarken Wasserstoff-Brennstoffzellensystems für den Personenfernverkehr (Fernbusse)
- ⋯ Optimierung der Fahrzeugklimatisierung zur Steigerung der Energieeffizienz
- ⋯ Weiterentwicklung und Validierung der (CEP/PrHyde) Betankungsprotokolle für die Betankung von Fahrzeugen mit Typ-3/4/5-Tanks (350 bar / 500 bar / 700 bar ohne Vorkühlung)
- ⋯ sLH<sub>2</sub> (Subcooled Liquid Hydrogen) und CcH<sub>2</sub> (Cryo-compressed Hydrogen) für Fernbusse/Reisebusse (Übernahme aus Lkws)
- ⋯ Erforschung von thermoelektrischen Generatoren (TEG) zur Nutzung des Temperaturgefälles bei flüssigem Wasserstoff in Nutzfahrzeugen
- ⋯ Effiziente Antriebsstränge inklusive neuer E-Maschinen mit weniger Verbrauch an seltenen Erden in zum Beispiel Magneten

- ⋯ Mobilitätskonzepte sowie Infrastrukturen abgestimmt entwickeln, sodass Einsatz, Tankzyklen und Reichweiten von wasserstoffbetriebenen Bussen zu den Anforderungen passen (Nutzung von Tankstellen auf den Betriebshöfen und bei zum Beispiel touristischen Zielen)

## Fördermittelbedarf für F&E Maßnahmen

Hierfür ergibt sich ein Fördermittelbedarf von insgesamt 30 Mio. € bis 2026.

## Marktaktivierung

Der Verkehrssektor muss bis 2030 seine CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich senken, nicht zuletzt auch aufgrund der am 12. Mai 2021 von der Bundesregierung beschlossenen Verschärfung der Zielpfade im Rahmen der Novellierung des Bundes-Klimaschutzgesetzes.

Darin sind auch die Sektorziele anspruchsvoll angepasst worden. Bis 2030 muss der Verkehrsbereich seine Emissionen auf 85 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> reduzieren. Die Eckpunkte zur Erreichung dieser Ziele wurden durch das Klimaschutzprogramm 2030 vorgelegt. Hier werden klare Ziele für den Verkehrssektor und insbesondere für den öffentlichen Personenverkehr beschrieben.

Bis 2030 sollen ca. 50% der Stadtbusse in Deutschland elektrisch fahren. Beim aktuellen Busbestand im ÖPNV in Deutschland besteht somit ein Elektrifizierungsbedarf im Stadtbusbereich von 20.000 Bussen in den kommenden zehn Jahren (2.000 Busse p. a.).

Auch durch die Vorgaben der Clean Vehicles Directive (CVD, EU-Richtlinie 2019/1161 über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge) und deren Umsetzung durch das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz auf nationaler Ebene wird ein gesetzlicher Rahmen geschaffen, um das Erreichen der Klimaschutzziele weiter voranzutreiben.

Die Regelungen der CVD gelten seit dem 2. August 2021 mit zwei Referenzzeiträumen (2. August 2021 bis 31. Dezember 2025; 1. Januar 2026 bis 31. Dezember 2030), in denen feste Quoten zur Beschaffung sauberer Fahrzeuge vorgegeben sind. Die Mindestziele für emissionsarme und -freie Busse im ÖPNV sind 45% der Neubeschaffungen bis 2025 und 65% bis 2030, davon müssen mindestens die Hälfte emissionsfreie Fahrzeuge sein.

## Meilensteine

M1: **2024 – Demoflotte BZ-Fernbusse**M2: **2026 – 500 BZ-Stadt-Busse**

Bereits am 15. Juni 2021 trat das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz vom 9. Juni 2021 (SaubFahrzeugBeschG<sup>6</sup>) zur Umsetzung der CVD in Kraft. Es verfolgt das Ziel, Nachfrageimpulse für saubere, das heißt emissionsarme und -freie Straßenfahrzeuge zu setzen, die Wettbewerbsfähigkeit der Fahrzeuge zu stärken und somit einen Beitrag zur Verringerung der CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffemissionen zu leisten.

Das neue Deutsche Brennstoffzellenbus-Cluster, das aktuell 58 Busflottenbetreiber (Tendenz steigend) vernetzt, sie bei der Beschaffung von Brennstoffzellenbussen und der notwendigen Wasserstoffinfrastruktur berät sowie den Austausch zwischen Betreibern und Fahrzeugherstellern initiiert, sollte daher weiterhin als wesentliche Anlaufstelle für interessierte Akteure dienen.

Als Leuchtturmprojekte sollten initiiert werden:

- ❖ **Umrüstung eines kompletten Bus-Depots**
- ❖ **Probe-Abo Bus: zwei bis drei Busse und mobile Tankstelle, die Busflottenbetreibern zur Erprobung der Technologie zur Verfügung gestellt werden**
- ❖ **Erfolgreiche Busverkehrsangebote mit passenden Infrastrukturen demonstrieren**

**Fördermittelbedarf für Marktaktivierung**

Eine Abfrage der involvierten Betreiber im Brennstoffzellenbus-Cluster lässt auf eine Nachfrage bis 2026 von 450 Fahrzeugen schließen. Die Beschaffung der Fahrzeuge ist bei einer notwendigen Förderquote von 80% der Investitionsmehrkosten mit einem Gesamtfördermittelbedarf von 300 Mio. € zu beziffern.

<sup>6</sup> § 3 SaubFahrzeugBeschG richtet sich an öffentliche und Sektorenauftraggeber. Diese werden damit in die Verantwortung genommen, Vergaben so zu gestalten, dass sie der verbindlichen Quotenregelung genügen. Die Beschaffungsquoten werden neben der Bundesverwaltung auch den einzelnen Ländern für ihren jeweiligen Zuständigkeitsbereich verpflichtend vorgegeben. Mindestziele können bei Bedarf innerhalb der Länder und länderübergreifend flexibel aufgeteilt werden, solange sie landesweit insgesamt eingehalten werden.

**Nutzfahrzeuge****Forschung und Entwicklung**

Derzeit werden im Schwerlastverkehr überwiegend Diesel-Lkws eingesetzt. Ihre Substitution durch Brennstoffzellen-Lkws bietet ein deutliches Einsparungspotenzial in der CO<sub>2</sub>-Bilanz der straßengebundenen Mobilität.

**Schwerlastverkehr (sLH<sub>2</sub>, CcH<sub>2</sub>, 500 bar, 700 bar)**

Da batteriebetriebene Lkws (BEV) keine mit Diesel-Lkws vergleichbare Reichweite bieten und die verfügbare gasförmige Wasserstoffalternative (350 bar) für Langstrecken nur ein begrenztes Einsatzpotenzial aufweist, werden für den Langstreckenbereich derzeit mehrere Betankungsansätze verfolgt (sLH<sub>2</sub>, CcH<sub>2</sub>, 500 bar, 700 bar). Die bisher für diese Technologien verfügbaren Komponenten sind dabei überwiegend nicht verwendbar und müssen daher entweder an die Anforderungen angepasst oder neu entwickelt werden. Um die Technologien zur Marktreife zu bringen, müssen jedoch nicht nur sie selbst, sondern auch Synergien zwischen den technischen Ansätzen identifiziert und zu Sonderanwendungen (Landwirtschaft, Straßenbau) vorangetrieben werden. Flankierend zum geplanten Ausbau der Betankungsinfrastruktur müssen die normativen und regulatorischen Weichen gestellt werden.

**Leichte und mittlere Nutzfahrzeuge (350 bar / 700 bar)**

Obwohl eine erste Kleinserie und verschiedene umgerüstete Fahrzeuge existieren, kann noch nicht von einer am Markt etablierten Lösung gesprochen werden. Weiteren Herstellern muss die Möglichkeit gegeben werden, Fahrzeuge zu entwickeln und am Markt anzubieten. Dafür ist die Schaffung der notwendigen Rahmenbedingungen essenziell. Dazu gehören abgestimmte und normierte Betankungsschnittstellen und -protokolle.

Konkret ergeben sich für beide oben beschriebenen Sektoren folgende F&E-Bedarfe:

- ⋮ **Entwicklung von Antriebskomponenten zum Einsatz in leichten und schweren Nutzfahrzeugen**
  - : Entwicklung und Erprobung von Brennstoffzellensystemen und Speichersystemen
  - : Entwicklung von Hochvoltaggregate
  - : Entwicklung von Elektroantrieben
- ⋮ **Entwicklung/Umrüstung von Lkws für den Schwerlastverkehr**
  - : Entwicklung mit ADR-Zulassung (Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße) zum Transport von Tankcontainern und palettierter Ware
- ⋮ **Entwicklung/Umrüstung von Lkws/Bussen für den Fernverkehr**
- ⋮ **Entwicklung von Kommunalfahrzeugen (z. B. Abfallentsorgungsfahrzeuge und Kehrmaschinen)**
- ⋮ **Entwicklung von Kühl-Lkws (Nebenantriebe ohne Diesel)**
- ⋮ **Entwicklung/Umrüstung von Push-Back-Fahrzeugen für Flugzeuge und weiteren Flughafenlogistikfahrzeugen**

#### Fördermittelbedarf für F&E Maßnahmen

Hierbei ergibt sich für Forschung und Entwicklung ein Fördermittelbedarf von insgesamt 250 Mio. € bis 2026.

#### Marktaktivierung

Der Beitrag zur Erreichung eines hohen Marktanteils an wettbewerbsfähigen, kundenwerten Brennstoffzellen-Lkws in Deutschland und Europa sowie die Erschließung von weiteren Kostensenkungspotenzialen durch Skaleneffekte sind die übergeordneten Ziele im Bereich der Marktaktivierung.

Von dieser Marktaktivierung profitiert die gesamte Wertschöpfungskette und es wird eine Stärkung der deutschen und europäischen Zulieferindustrie für Brennstoffzellen- und Systemkomponenten erreicht.

Im Rahmen der Marktaktivierung sollten neben Kaufanreizprogrammen in den ersten Jahren der Flottendemonstration vor allem Leuchtturmprojekte umgesetzt werden zur:

- ⋮ **Entwicklung von Logistikkorridoren, inklusive Betankungsinfrastruktur**
- ⋮ **Pilotierung von Wasserstoff nutzenden Logistikketten (oder Teilen der Logistikketten), zum Beispiel H<sub>2</sub>-Korridore ausgehend von H<sub>2</sub>-Terminals in Häfen/Weiterentwickeln der HyLand-Ansätze, gegebenenfalls auch verbinden zu spezifischen Transportnetzwerken**

Zur Verknüpfung dieser Projekte bedarf es einer Begleitforschung, um Synergien zwischen den Betankungsformen zu identifizieren und Technologieentscheidungen voranzutreiben. Hierbei sollte auch der Bau von reinen und multimodalen H<sub>2</sub>-Tankstellen für sLH<sub>2</sub>, CcH<sub>2</sub>, 350 bar, 500 bar und 700 bar (High Flow) berücksichtigt werden. Fokus der Begleitforschung sind die Datenerhebung und die wissenschaftliche Begleitung (Analyse, Auswertung) der Leuchtturmprojekte.

#### Fördermittelbedarf für Marktaktivierung

Für die Maßnahmen zur Marktaktivierung ergibt sich ein Fördermittelbedarf von insgesamt 300 Mio. € bis 2026

# Schiene

## Forschung und Entwicklung

Im Schienenverkehr bietet sich der Brennstoffzellenantrieb auf nicht elektrifizierten Strecken im Regionalverkehr besonders an und spielt dort seine Stärken durch einen effizienten Antrieb und schadstofffreie Emissionen aus. Erste Prototypen wurden und werden derzeit im Rahmen des NIP entwickelt und demonstriert. Die volle Serienproduktion und Vermarktung auch außerhalb Deutschlands ist ab 2022 geplant. Wichtige Arbeiten fokussieren sich dabei auf die Entwicklung eines schienenspezifischen Antriebssystems, den Aufbau und die Validierung der Betankungsinfrastruktur für den Schienenverkehr, die Validierung der Prototypfahrzeuge, die Schaffung von brennstoffzellenrelevanten Normen, die Zulassung der Fahrzeuge nach Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung, den Aufbau der Vorserien- und später der Serienproduktion sowie die wissenschaftliche und technische Begleitung des öffentlichen Probebetriebs.

Mit dem Alstom Coradia iLint wurde über die Förderung durch das NIP bereits ein Brennstoffzellen-Triebzug erfolgreich zugelassen und befindet sich seit September 2019 im Demonstrationsbetrieb – sowohl in Deutschland als auch im weiteren europäischen Raum. Erste Flottenbetriebe sind schon in der konkreten Umsetzung und sollen ab Frühjahr 2022 beginnen.

Neben dem Personenverkehr rücken dabei auch der Güter- und insbesondere der Rangierlokverkehr in den Fokus. Vor allem für Letzteren gibt es bereits erste Ansätze für wasserstoffbasierte Antriebssysteme – sowohl für die Entwicklung von Neufahrzeugen als auch für die von Umrüttlösungen.

Konkret stehen folgende F&E-Bedarfe im Fokus:

- 1) Schienenpersonennahverkehr (Fördermittelbedarf bis 2026 ca. 30 Mio. €)**
  - ⋮ Entwicklung, Validierung und Zulassung eines zweiten leistungsfähigen (modularen) Brennstoffzellen-Triebzugs für den Schienenpersonennahverkehr zur Schaffung von Wettbewerb sowie einer besseren Fahrzeugverfügbarkeit
  - ⋮ Entwicklung, Validierung und Zulassung einer leistungsfähigen, energieeffizienten Brennstoffzellen-Straßenbahn und Einsatz des Fahrzeugprototyps im Demonstrationsbetrieb
  - ⋮ Entwicklung eines auf Wasserstoffantriebe abgestimmten Wartungs- und Instandhaltungskonzepts
- 2) Rangierlokverkehr (Fördermittelbedarf bis 2026 ca. 60 Mio. €)**
  - ⋮ Entwicklung, Validierung und Zulassung (modularer) Brennstoffzellenantriebe für den Einsatz in Rangierloks sowie in entsprechenden Neufahrzeugen für den Rangier- und Streckenbetrieb
  - ⋮ Entwicklung, Validierung und Zulassung von H<sub>2</sub>/BZ-basierten Lösungen zur Umrüstung von Bestandsloks
  - ⋮ Probe- und Demonstrationsbetrieb in den diversen Einsatzgebieten von Rangierloks, insbesondere für den Einsatz in Häfen
  - ⋮ Entwicklung eines auf Wasserstoffantriebe abgestimmten Wartungs- und Instandhaltungskonzepts
- 3) Betankungsinfrastruktur für Schienenfahrzeuge (Fördermittelbedarf bis 2026 ca. 20 Mio. €)**
  - ⋮ Entwicklung, Erprobung und Optimierung einer Schnellbetankung für das Bahngesamtsystem sowie der Schnittstelle zwischen Tankstelle und Fahrzeug
  - ⋮ Prüfung und Entwicklung einer Netzanschlussanlage für die lokale Wasserstoffherzeugung über Elektrolyse mittels Strombezug aus dem Bahnstromnetz
  - ⋮ Entwicklung eines international harmonisierten Betankungsprotokolls für Schienenfahrzeuge

## Marktaktivierung

Im Rahmen eines Marktaktivierungsauftrags im NIP 2 aus dem Jahr 2017/2018 werden bereits drei Projekte zur Beschaffung von Brennstoffzellenzügen sowie der entsprechenden Infrastruktur gefördert. So werden zwischen den Jahren 2022 und 2024 insgesamt 43 BZ-Nahverkehrszüge sowie drei Wasserstofftankstellen in den Bundesländern Brandenburg, Hessen und Niedersachsen in den Betrieb gebracht.

Im Rahmen der durch die NOW beauftragten und vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt erstellten „Marktanalyse alternativer Antriebe im deutschen Schienenpersonennahverkehr“ aus dem Jahr 2020 ([now\\_marktanalyse-schienenverkehr-1.pdf](#) ([now-gmbh.de](#))) wurde ein Marktpotenzial für Batterie- und Brennstoffzellenzüge von ca. 2.500 Fahrzeugen bis 2038 ermittelt. Es ist davon auszugehen, dass in etwa die Hälfte dieser Fahrzeuge mit einem Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb ausgestattet sein werden. Bei aktuell ca. 1,5 Mio. € Mehrkosten pro Zug ist hierfür von einem Gesamtaufwand an Investitionsmehrkosten von 1,3 Mrd. € bis 2,0 Mrd. € auszugehen.

Noch nicht am Markt verfügbar sind Rangierloks und Straßenbahnen mit Wasserstoffantrieb. Bei Rangierloks existiert bereits eine starke Nachfrage, bei Straßenbahnen ein zunehmendes Interesse von Städten und Betreibergesellschaften. Das international bekundete Interesse bei Rangierloks lässt sich aufgrund der vielfältigen Einsatzkontexte diversen Branchen (Chemie, Stahl, Automobil) zuordnen, besonders im Fokus steht dabei der Einsatz in Häfen, die Synergien im Bereich der Wasserstoffnutzung bieten. Derzeit befinden sich weltweit ca. 120.000 Diesellokomotiven im Einsatz, davon 40% im Rangier- und 60% im Streckenbetrieb.

Die hohen Infrastrukturkosten und verschiedenartigen Einschränkungen eines Oberleitungsbetriebs begründen den Einsatz von Straßenbahnen mit alternativen Antrieben. Brennstoffzellen-Straßenbahnen werden voraussichtlich ab 2025 auf dem europäischen Markt sein.

Die Beschaffung von Triebzugflotten, ersten Rangierloks und Straßenbahnen sowie der entsprechenden Wasserstoffinfrastruktur erfolgt zukünftig über die „Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe im Schienenverkehr“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur.

## Meilensteine

- M1: 2022 – Erster Flottenbetrieb von BZ-Triebzügen in Deutschland
- M2: 2024 – Verfügbarkeit einer – für den Schienenverkehr optimierten – Betankungsinfrastruktur und eines entsprechenden Betankungsprotokolls
- M3: 2024 / 2025 – Erster Prototyp einer H2-BZ-Straßenbahn verfügbar
- M4: 2025 – Beginn des Prototypeneinsatzes einer ersten Wasserstoffrangierlok
- M5: 2025 – Serielle Produktion von mindestens zwei zugelassenen Triebzügen verschiedener Hersteller für den SPNV
- M6: 2026 – Zulassung einer ersten Rangierlok mit Wasserstoffantrieb

# Luftfahrt

## Forschung und Entwicklung

In der Luftfahrt werden trotz der jüngsten Entwicklungen im Kontext der Corona-Pandemie zukünftig wieder hohe Zuwachsraten erwartet, die deutliche Reduktionen der spezifischen Treibhausgasemissionen erfordern. Gleichzeitig sollen neue Flugziele erschlossen werden, was eine Erweiterung des Flugzeugportfolios unter anderem hin zu kleineren Flugzeugen nach sich zieht. Beide Trends begünstigen den verstärkten Einsatz von Strom im Flugzeug, der insbesondere durch Brennstoffzellen bereitgestellt werden kann. Damit können auch die Lärmemissionen auf den Flughäfen reduziert werden. In Vorbereitung von Konzepten zum vermehrten Einsatz von Brennstoffzellen in der Luftfahrt werden im Rahmen des NIP 2 kurzfristige Entwicklungsetappen angestrebt. Dazu gehören zum einen hybridisierte Brennstoffzellen-Batterie-Hauptantriebe für kleine Flugzeuge (40 bis 60 Passagiere) und zum anderen die Entwicklung von Komponenten und Systemen auf Brennstoffzellenbasis für den Antriebsstrang größerer Passagiermaschinen. Für einen Betrieb in den relevanten Leistungsklassen bzw. Systemlaufzeiten kommt aus Gewichts- und Volumengründen nur die Speicherung des Wasserstoffs in flüssiger Form in Betracht. Somit ist die Weiterentwicklung dieser Speicherform für die Verwendung in Flugzeugen ein zentrales Element.

Ein gutes Grundverständnis der Wasserstofftechnologie in der Luftfahrt (Wasserstoffspeicherung, Brennstoffzellen, Wasserstoffverbrennung, flüssige Luftfahrtbrennstoffe auf Basis von Wasserstoff, Hybridisierung und Kopplung mit dem E-Motor) ist bereits heute vorhanden. Hochintegrierte Systeme im Bereich der Kleinflugzeuge (bis zu vier Personen) wurden realisiert, validiert und demonstriert, die Vorbereitung der Hochskalierung auf eine Leistung von 1,5 MW+ ist Gegenstand laufender Projekte. Wesentliche Ziele der kommenden Jahre liegen daher in der Entwicklung und Markteinführung der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie für den emissionsfreien Einsatz in der kommerziellen Luftfahrt für 40 bis 60 Passagiere und 2.500 km Reichweite, der Entwicklung von Konzepten

zur Wasserstoffverbrennung für die Kurz- und Mittelstrecken sowie der Entwicklung von Komponenten und Systemen in darüber hinausgehenden Leistungsklassen.

Hierbei stehen im Fokus:

- ⋮ **Erhöhung der Leistungsklasse von Brennstoffzellen- und Versorgungssystemen zur Nutzung in Hauptantrieben**
- ⋮ **Verbesserung der Zuverlässigkeit, Effizienz und Lebensdauer sowie Reduzierung der Produkt- und Betriebskosten von BZ-Systemen zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit**
- ⋮ **Erhöhung der Sicherheit von Brennstoffzellen- und Versorgungssystemen und operativen Prozessen zur Erreichung der Zulassungsfähigkeit**

Wesentliche Hürden und Herausforderungen bestehen dabei in der Hochskalierung der Brennstoffzellenkomponenten für Subsysteme auf 1,5-MW-Level, der Entwicklung von Flüssigwasserstoffspeichern mit einem Fassungsvermögen von 500 kg sowie einer Optimierung der Faktoren Kosten, Lebensdauer und Leistungsfähigkeit.

Konkret ergeben sich folgende F&E-Bedarfe:

### 1) Brennstoffzellensysteme

- ⋮ Steigerung der Effizienz (geringerer Wasserstoffverbrauch, geringere Abwärme) und der Leistungsdichte von Komponenten und Teilsystemen, dadurch Erhöhung der Integrationsfähigkeit (geringeres Systemvolumen, Vereinfachung der Komponenten, höhere Wirtschaftlichkeit)
- ⋮ Diesbezüglich soll auch die Entwicklung der SOFC-Brennstoffzellentechnologie (Solid Oxide Fuel Cell) vorangebracht werden.
- ⋮ Steigerung der Kosteneffizienz durch Optimierung und Standardisierung von Komponenten und Fertigungsprozessen (z. B. Stack, Befeuchter, Pumpen)

- ⋮ Verbesserung der gewichtsbezogenen Leistungsbilanz durch Leichtbau und Optimierung der dafür notwendigen Fertigungsprozesse
- ⋮ Erhöhung der Ausfallsicherheit von Systemen und Komponenten
- ⋮ Verbesserte Modellierungs- und Simulationsmethoden zur Funktions- und Performance-Vorhersage, zur Optimierung basierend auf Messdatenerfassung und modellbasierter Auswertung, zur Validierungs- und Qualifikations-Nachweisführung sowie zur Fehlerermittlung (z. B. CFD-Modellierung zur Verbesserung der Kühlleistung in Brennstoffzellen)

## 2) Kühlsystem

- ⋮ Thermisch optimierte Kühllösungen (z. B. über verbesserte Medienführung in einem BZ-System)
- ⋮ Gewichtsreduktion (z. B. 3D-Druck, Materialauswahl, Komponentendesign)
- ⋮ Effizienzerhöhung durch Nutzung der Verdampfungsenthalpie – Entwicklung optimierter Kühlmedien (niedrige elektrische Leitfähigkeit, hohe spezifische Wärmekapazität, sehr großer Temperatureinsatzbereich (-55 °C bis +120 °C))
- ⋮ Komponenten und Steuerung für multizonales Kühlsystem inklusive einer optimierten Prozessführung

## 3) Antriebskonzepte

- ⋮ Erhöhung des Integrationsgrades der BZ-Technologie in einen Antriebsstrang (Volumen, Systemträger, Schnittstellen, Zugänglichkeit etc.)
- ⋮ Hocheffiziente Energiepufferung (Batterien, Supercaps, GH<sub>2</sub>-Speicher etc.)
- ⋮ Verlustarme Energieverteilung (Hochvolt-Gleichstrom HVDC, Supraleitung, Lastmanagement)
- ⋮ Hocheffiziente Energiewandlung zur Verringerung der Verlustleistung (elektrische Konverter, Wärmetauscher etc.)
- ⋮ Hocheffiziente Komponenten zur Erzeugung mechanischer Leistung (Motoren, Aktuatoren etc.)
- ⋮ Tools und Methoden zur effizienten Auslegung und Nachweisführung (Systemteststände inklusive Systemkopplung BZ mit LH<sub>2</sub>, Systemsimulation)

## 4) H<sub>2</sub>-Management

- ⋮ Kosteneffiziente Gefäßmaterialien und Fertigungsmethoden (kryogen – dauerhaft, Verarbeitbarkeit, Prüfbarkeit, Kosten)
- ⋮ Thermische Isolierungslösungen (kryogen vs. Umgebungstemperaturen, Material, Fertigungs- und Betriebskosten, Prüf- und Wartbarkeit)
- ⋮ Produktfertigungs- und Prüfmethode (Strukturtauglichkeit, nicht destruktive Tests, Anwendung bei komplexen Formen, Verbindungen, Kupplungen, Normen etc.)
- ⋮ Bauelemente zur H<sub>2</sub>-Quantifizierung und Überwachung (Mengenüberwachung, Strukturüberwachung, Temperaturüberwachung, Funktionsüberwachung für z. B. Ventile, Leckageüberwachung)
- ⋮ Wasserstoffkonditionierung – LH<sub>2</sub> → GH<sub>2</sub> (Wärmetauscher, Pumpen, System Controls, Ventile, Safety Features etc.) >> hohe Volumenströme, hohe Drücke, spezifische Betriebsbedingungen (Umgebungsdruck, Peak-Leistungen, Systemreaktivität)
- ⋮ H<sub>2</sub>-Brandsicherheit – integrierte Branderkennung, zonenbezogene Brandkontrolle, aktive und passive Brandschutzlösungen

### Fördermittelbedarf für F&E Maßnahmen

Hierfür ergibt sich ein Fördermittelbedarf von insgesamt 200 Mio. € bis 2026.

Darüber hinaus bedarf es Begleitforschungen zur Validierung von hochskalierten Komponenten und Hochleistungsnetzwerken sowie im Bereich der Testkapazität 1,5 MW+ unter Luftfahrtbedingungen im Hinblick auf das Gesamtsystem.

Für die Erreichung eines „Level Playing Field“ scheint eine Anzahl von 500 Antriebssträngen, die mit einem Umsatz von ca. 1 Mrd. € verbunden wären, bis 2030 realistisch.

Im Sinne der Fördereffizienz wird auf nationaler Ebene die Kooperation mit dem Luftfahrtforschungsprogramm (LuFo) des BMWi und den Reallaboren der Energiewende empfohlen. Weitere Anknüpfungspunkte auf europäischer Ebene ergeben sich mit der Clean Hydrogen und der Clean Aviation Initiative.

Meilensteine

M1: **2026 – Stufe 1 erreicht**

M2: **2026 – 50% Stufe 2 erreicht**

M3: **2030 – 100% Stufe 2 erreicht**

**Marktaktivierung**

Aufgrund des frühen Marktstadiums lassen sich für den Bereich der Luftfahrt aktuell noch keine konkreten Maßnahmen und Förderbedarfe im Zeithorizont des NIP 2 nennen.

**Meilensteine**

Konkret lassen sich die Entwicklungsbedarfe in drei Stufen unterteilen:

**Stufe 1 (2021–2023):** 100 Mio. € Fördervolumen + 100 Mio. € Industrieanteil

Ziel: Kopplung von hochskalierter Energiewandlung mit Luftfahrthanforderungen am Boden für 1,5 MW+:

- ⋮ BoP (Balance of Plant), Brennstoffzelle + Flüssigwasserstoff + Energieverteilung + Auxiliary-Komponenten (Kühlung, Pumpen, Controls etc.)
- ⋮ Systeme und Subsysteme optimiert und in Betrieb
- ⋮ Integrierte Gesamtantriebsarchitekturen (Flüssigwasserstoff, Brennstoffzelle, PMCD, E-Motor) am Boden und Nachweis der Qualifizierung des Gesamtsystems am Boden

**Stufe 2 (2024–2030):** ca. 250 Mio. € Förderung + 250 Mio. € Industrieanteil

Konzepte zur Flugzeug-Integration:

- ⋮ Hinsichtlich Energiewandlung, Speicherung, Thermalsystem, Fokus Komponenten des Antriebs → NIP, Synergie mit Zug/Schiff/Nutzfahrzeug etc.
- ⋮ Hinsichtlich Energiewandlung, Speicherung, Thermalsystem, Fokus Subsysteme (BZ-System, Tanksystem etc.) des Antriebs → NIP, Synergie mit Zug/Schiff/Nutzfahrzeug etc.

⋮ Qualifizierung von Komponenten bezüglich Funktionalität → NIP, Synergien bei Testständen und Testumgebungen für Schiff/Bus/Schiene/Nutzfahrzeug

⋮ Hinsichtlich Flugobjekt, Integration, Demo (auch für 40- bis 50-Sitzer) → ca. 20% NIP, um Anbindung zwischen NIP und LuFo abzusichern, aber um Kompetenzen nicht zu doppeln → 0% LuFo

Außerdem mitunter über das Förderprogramm LuFo zu adressieren:

⋮ Funktionalität mit Systemen aus Stufe 2 (zwei bis fünf Prototypen) im Testfeld >10.000 h Betriebszeit sammeln → 50% LuFo, wenn es um Flugzeugaspekte geht, und 50% NIP, wenn es um die Energiewandlung geht

⋮ Operations on Ground und flankierende Infrastruktur am Flughafen → ca. 50% NIP, ca. 50% LuFo (Synergie aus NIP-Erfahrung unbedingt erzeugen und einsetzen)

⋮ Qualifizierung Antriebsstrang als Produkt (geringere Förderung, ca. 30%);

**Stufe 3 (2029–2035):** ca. 150 Mio. € Förderung + 150 Mio. € Industrieanteil

⋮ Zweite Generation Antriebssysteme + Komponenten (>4 MW) und Speicher (Masse LH<sub>2</sub> >1 Tonne) mit Leistungen >4–10 MW

⋮ Standardisierung der Antriebskomponenten und Systeme, um mehrere Anwendungsplattformen bedienen zu können (Funktionalität Energiewandlungssysteme nach Baukastenprinzip) → Markterweiterung und Möglichkeit, mehrere Flugzeugarten zu bedienen, ohne jedes Mal alles neu entwickeln zu müssen

# Schiffahrt

Aufgrund der weltweiten Klimaschutzziele werden dringend Lösungen für saubere Energie in der Schiffahrt benötigt. Die International Maritime Organization (IMO) hat verbindliche Maßnahmen beschlossen, um die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 40% zu reduzieren und bis zum Ende des Jahrhunderts vollständig auslaufen zu lassen, wobei zunächst eine mindestens 50%ige Reduktion der internationalen Schiffahrt bis 2050 im Vergleich zu den Werten von 2008 angestrebt wird.

Die Europäische Organisation für die Sicherheit des Seeverkehrs (EMSA) strebt eine Reduzierung der kohlenstoffintensiven Emissionen um 55% bis 2030 und eine Reduzierung der absoluten Emissionen um 90%, gemessen am Niveau von 2005, an.

Hierbei können Brennstoffzellensysteme für den maritimen Einsatz einen wertvollen Beitrag leisten. Gleichzeitig können die Produktionskapazitäten in den auf Umwelt- und Klimaschutz ausgerichteten Marktsegmenten in deutschen Werften und der benötigten Zulieferindustrie weiter ausgebaut werden. In der Vergangenheit wurden entsprechende Projekte bereits erfolgreich durchgeführt.

Um diese komplexe Technologie zur vollständigen Marktreife zu bringen und die zugehörigen Marktpotenziale zu heben, besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf.

Die hier beschriebenen Maßnahmen skizzieren aufgrund der langen Wirkhorizonte in der maritimen Branche ein langfristiges Förderkonzept, das nicht vollständig im momentan zeitlich auf 2026 begrenzten Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) umgesetzt werden kann. Während im Bereich F&E&I wesentliche Aktivitäten durch das NIP abgedeckt werden können, wird im Bereich Marktaktivierung voraussichtlich nur eine erste Phase Teil des NIP sein können.

## Forschung und Entwicklung

Brennstoffzellensysteme in Schiffsanwendungen können sowohl bei der Versorgung großer Schiffe mit Strom, Wärme und gegebenenfalls Kälte als auch beim Antrieb von Schiffen einen wertvollen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz und zur Zukunftsfähigkeit der Schiffahrtsindustrie leisten. Entsprechende Systeme werden seit 2009 in Demonstrationsprojekten von Werften, Reedereien, Brennstoffzellenherstellern, Zulieferern und Klassifikationsgesellschaften bereits intensiv entwickelt und im Betrieb an Bord von Schiffen und an Land erprobt.

Deutschland hat bei der Entwicklung der Systeme aktuell noch einen Technologievorsprung, den es zu sichern und weiter auszubauen gilt.

Bislang sind verschiedene vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des NIP 2 geförderte Demonstrationsprojekte (MultiSchIBZ, SchIBZ2, Pa-X-ell 2, RiverCell2 und ELEKTRA) in das ebenfalls geförderte Verbundvorhaben e4ships integriert worden.

Sowohl von der IMO als auch von den für die Binnenschiffahrt zuständigen internationalen Institutionen ZKR (Zentralkommission für die Rheinschiffahrt) und CESNI (Europäischer Ausschuss für die Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschiffahrt) werden derzeit die Voraussetzungen für die Zulassung von Brennstoffzellen in Schiffen einschließlich der Brennstoffe mit niedrigem Flammpunkt, sogenannte Low Flashpoint Fuels (siehe International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF Code)), bearbeitet. Dies erfordert weiterhin die aktive Mitwirkung durch das Einbringen von Erkenntnissen aus den Demonstrationsprojekten bei diesen Institutionen, um verbindliche regulatorische Voraussetzungen für eine uneingeschränkte Nutzung von Brennstoffzellen und Low Flashpoint Fuels zu schaffen.

Das Verbundvorhaben e4ships verbindet Konzepte mit Brennstoffzellen und alternativen Kraftstoffen wie Methanol, LNG (Liquefied Natural Gas – Flüssigerdgas), Wasserstoff und Low-Flashpoint-Diesel sowohl für die Energieversorgung an Bord als auch für den Schiffsantrieb und macht Schiffe zu klima- und umweltfreundlichen Systemen.

Die Arbeiten konzentrieren sich dabei auf die PEM- (Proton Exchange Membrane) und die SOFC-Technologie für die Versorgung von Kreuzfahrt- und Spezialschiffen mit alternativen Kraftstoffen sowie auf (Hybrid-)Antriebe für Flusskreuzfahrtschiffe, Fähren und andere Schiffstypen in der Binnenschifffahrt. Neben technischen Entwicklungsarbeiten werden zudem Fragen der Wirtschaftlichkeit, der regulatorischen Anforderungen, der sicherheitstechnischen Normen, der Markteinführungsstrategie sowie der Klimaschutzeffekte geklärt.

Aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen in e4ships ist eine Verstärkung sowohl der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten als auch der praktischen Erprobung in Demonstrationsprozessen notwendig, um die Technologie zum Vorteil des Klimaschutzes und der Wertschöpfung in Deutschland in eine regelmäßige und wachsende Nutzung zu bringen. Um die uneingeschränkte Marktfähigkeit von in ihrer Größe skalierbaren Brennstoffzellenmodulen zu erreichen, ist darüber hinaus ein nachhaltiges Marktaktivierungsprogramm erforderlich. Dieses sollte sowohl auf den nationalen Markt als auch auf den Export in Deutschland gebauter Schiffe und Anlagen ausgelegt sein.

In dem vorgesehenen Zeitrahmen bis 2035 sind dabei die verschiedenen Handlungsfelder zum Teil parallel umzusetzen und ein iterativer Austausch zwischen den technischen Weiterentwicklungen im Bereich Forschung und Entwicklung, die Ableitung von Optimierungspotenzialen aus der Praxis und die Vorbereitung eines wachsenden Marktes zu gewährleisten. Die Umstellung betrifft das gesamte System (Schiffe, Infrastruktur, Komponenten und Energie/Brennstoffe).

Ein weiterer wesentlicher Aspekt für den Markt ist die fehlende Verfügbarkeit internationaler Regelungen und geeigneter rechtlicher Rahmenbedingungen für die entwickelten Technologien in der Binnen- und Seeschifffahrt. In einer ersten Phase von e4ships ist es bereits gelungen, den IGF Code der IMO mit wesentlichen Erkenntnissen aus dem e4ships-Cluster einzuführen. Diese Aktivitäten werden im Vorhaben e4ships fortgesetzt, da eine ständige Weiterentwicklung der Rahmenvorgaben notwendig ist, um den uneingeschränkten Einsatz von Brennstoffzellen und alternativen Kraftstoffen zu ermöglichen.

Wasserstoff kann bislang an Bord von Schiffen als Primärbrennstoff vor allem in Binnenschiffen oder im Kurzstreckenseeverkehr eingesetzt werden. Für Seeschiffe wird Wasserstoff aufgrund seiner Handhabung und Verfügbarkeit eher als Energieträger zur Herstellung von Schiffskraftstoffen, insbesondere von klimaneutralen sogenannten E-Fuels, gesehen. Darüber hinaus kann beim Import künftig deutsches Know-how bei der Entwicklung und Produktion von Tankschiffen für den Transport von Wasserstoff eingebracht werden.

Das Ziel, eine breite Verfügbarkeit der neuen und effizienten Technologien zu schaffen, ist noch nicht erreicht und es bedarf vor diesem Hintergrund zur Schaffung der technischen und wirtschaftlichen Anwendungsreife noch gezielter Forschung, Entwicklung und Validierung, vor allem bei der Effizienz und Skalierbarkeit, der Kostenreduzierung, der Massenfertigung von Brennstoffzellensystemen für Schiffe und dem Zusammenwirken der einzelnen Komponenten.

Konkret ergeben sich folgende F&E-Bedarfe:

**1) Maritime Antriebssysteme (15 Mio. € Förderbedarf)**

- ⋮ Verbesserung von Leistungsgewicht und -volumen der Brennstoffzellenmodule
- ⋮ Erhöhung der Standfestigkeit und Lebensdauer der Brennstoffzellenmodule
- ⋮ Erhöhung der Leistungsgrößen der Brennstoffzellenmodule
- ⋮ Skalierbarkeit der Brennstoffzellenmodule (Topologie)
- ⋮ Weiterentwicklung der Steuerung und Leistungselektronik
- ⋮ Reduzierung der Herstellungskosten der Brennstoffzellenmodule
- ⋮ Vorbereitung der Serienfertigung und der automatisierten Produktion

**2) Binnenschiffe (7,5 Mio. € Förderbedarf)**

- ⋮ Schiffsintegration der maritimen Brennstoffzellensysteme
- ⋮ Optimierung des Schiffsenergiesystems
- ⋮ Einbindung in das Steuerungs- und Managementsystem
- ⋮ Weiterentwicklung der Hybridtopologien
- ⋮ Entwicklung vom Tank- und Brennstoffzellensystemen für weitere Brennstoffzellen- und Schiffstypen
- ⋮ Weiterentwicklung der Vorschriften (ZSUK/CESNI)

### 3) Seeschiffe (12,5 Mio. € Förderbedarf)

- ⋮ Schiffsintegration der maritimen Brennstoffzellensysteme
- ⋮ Entwicklung dezentraler Energienetze elektrisch-thermisch
- ⋮ Einbindung in das Steuerungs- und Managementsystem
- ⋮ Weiterentwicklung der Hybridtopologien
- ⋮ Entwicklung von Tank- und Brennstoffzellensystemen für weitere Brennstoffzellen- und Schiffstypen
- ⋮ Skalierbarkeit (Multi-MW-Anlagen)
- ⋮ Entwicklung von DC-Systemen
- ⋮ Weiterentwicklung der Vorschriften (IMO)

Neben den bisherigen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten laufen erste Erprobungen von Brennstoffzellensystemen im Echtbetrieb. Auch diese Demonstrationsprojekte müssen weiter fortgesetzt und ausgebaut werden, um aus der Praxis abzuleiten, welche Optimierungspotenziale bestehen und wie sie erschlossen werden können.

### 4) Binnen- und Seeschiffe (30 Mio. € Förderbedarf)

- ⋮ Auswahl von Einsatzprofilen und Testfeld
- ⋮ Differenzierung bei der Infrastruktur land- und schiffseitig
- ⋮ Bewertung der Degradation der Brennstoffzellensysteme unter realen Bedingungen
- ⋮ Austausch von Komponenten und Systemen
- ⋮ Evaluation und Nachweis von Standzeiten, Verfügbarkeit und Energieeffizienz
- ⋮ Evaluation der Betriebskosten (Wartung, Reparatur, Energie)
- ⋮ Erprobung maritimer Wasserstoff-Antriebssysteme auf See

### Marktaktivierung

Ergänzend zu den F&E-Aufgaben und der Langzeiterprobung sind der Aufbau einer serienmäßigen Brennstoffzellenfertigung sowie die Entwicklung von tragfähigen Geschäftsmodellen und eine förderrechtlich zuträgliche Ausgestaltung der rechtlichen und steuerlichen Rahmenbedingungen wesentliche Bestandteile einer erfolgreichen Implementierung der Brennstoffzellentechnologie auf Schiffen.

Der bei der Ermittlung der Marktpotenziale zugrunde gelegte Zeitraum (2020 bis 2035) lässt sich in die folgenden drei zeitlich aufeinander folgenden Phasen aufteilen:

#### Entwicklungs- und Erprobungsphase mit noch geringer Marktaktivität (2021–2025)

In dieser Phase gibt es noch wenige in Serie gefertigte Brennstoffzellensysteme für die unterschiedlichen Leistungsklassen, die von der Industrie angeboten werden. Allerdings schreitet die technische Optimierung durch weitere Initiativen im Rahmen von Forschung und Entwicklung wie auch durch die weiterlaufende Erprobung im Echtbetrieb auf Schiffen voran. Nachfrageseitig wächst allerdings bereits das Interesse, entsprechende Brennstoffzellensysteme zu nutzen, sodass mit einem ersten wirtschaftlich positiven Skaleneffekt zum Ende dieser Phase zu rechnen ist, da dann die technische Zuverlässigkeit der Systeme wächst.

## Meilensteine

- M1: **2035 – Investitionskosten  
Brennstoffzellen-systeme unter  
1.000 bis 2.000 €/kW**
- M2: **2035 – Lebensdauer 20.000 h  
bis 40.000 h**

**Beginn der Marktdurchdringung (2026–2030)**

Ausgehend von den langsam zuwachsenden Produktionskapazitäten und einer steigenden Nachfrage sowie sinkenden Kosten werden Brennstoffzellen-systeme von den Vorreitern am Markt, die entweder durch die Anforderungen der Kunden (wachsendes Umweltbewusstsein bei Reedereien) oder aufgrund von besonderen ökologischen oder strategischen Vorgaben (strengere verbindliche Schadstoff- und Klimaschutzvorschriften und besondere Anwendungen, z. B. Behördenschiffe, Einsatz in stadtnahen Häfen oder Naturschutzgebieten etc.) unter einem starken Veränderungsdruck stehen, in wachsendem Umfang beschafft.

**Entwicklung zu einem sich selbst tragenden Markt (2031–2035)**

In diesem Zeitraum werden die klima- und umweltbezogenen Vorteile der Brennstoffzellen bei den Nachfragern stark wahrgenommen und sie werden als eine technisch reife Alternative am Markt angenommen.

Zudem konnten bis 2035 durch die einsetzenden Skaleneffekte die Investitionskosten weitgehend auf das Niveau konventioneller Anlagen reduziert werden. Aufgrund dieser Entwicklung entsteht ein sich selbst tragender Markt bis zum Ende dieses Zeitraums.

**Fördermittelbedarf für Marktaktivierung**

Hierfür werden Förderquoten je Phase von 50%, 35% und 25% empfohlen.

Aktuelle Diskussionen weisen darauf hin, dass die Marktaktivierung nicht Bestandteil des NIP sein wird. Daher wird an dieser Stelle vorerst kein Förderbedarf dokumentiert.

In jedem Fall wird jedoch die Abstimmung weiterer Förderaktivitäten auf Bundes- (BMVI, BMWi, BMBF, BMU) und Länderebene sowie auf europäischer Ebene mit dem Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) zum Beispiel im Programm Horizon Europe für die Schifffahrt und für maritime Kraftstoffe empfohlen.

# Intralogistik

Eine wesentliche Bestrebung des NIP 2 ist es, deutsche bzw. deutsch-europäische Hersteller als Vollanbieter wasserstoffbetriebener Flurförderzeuge (FFZ) in allen wichtigen Fahrzeugklassen zu ertüchtigen. Im Rahmen dessen bedarf es der Entwicklung, Erprobung, technischen Validierung und Markteinführung hoch effizienter intralogistischer Transportsysteme auf Basis adaptierter und speziell entwickelter Brennstoffzellentechnologie. Ziel ist es, ein Angebot an marktfähigen, ausreichend integrierten Brennstoffzellen für das wesentliche Produktportfolio der Flurförderzeughersteller zu schaffen.

Die zahlreichen betrieblichen Vorteile ergeben sich in der Intralogistik unter anderem durch wesentliche Produktivitätssteigerungen, kürzere Betankungszeiten (dadurch höhere Produktivität und Reduzierung von Hardware), den geringen Platzbedarf der Wasserstoffinfrastruktur im Vergleich zu Batteriewechselstationen (zusätzliche Flächen für Wertschöpfungsprozesse) sowie die Eliminierung von durch Batterieladung verursachten Stromlastspitzen. Auch bei der Bewegung schwerer Lasten wie etwa in der Hafenlogistik (Container) oder am Flughafen weisen Brennstoffzellen erhebliche Vorteile auf.

## Forschung und Entwicklung

Bereits heute bieten FFZ-Hersteller bis zu 80% der typischen Flurförderzeug-Anwendungen mit Brennstoffzelle an. Aktuell fehlt es jedoch noch an Auswahlmöglichkeiten bei den Brennstoffzellensystemen, unter anderem befindet sich kein europäischer Akteur mit nennenswerten Stückzahlen am Markt. Weitere F&E-Arbeiten sowohl in den kleineren als auch in den größeren Leistungsklassen sind für eine technische und wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie daher unerlässlich.

Konkret besteht im Bereich der Forschung und Entwicklung folgender Bedarf:

- ❖ Flottendemonstrationen zum Beispiel in Industriebetrieben und Logistikzentren sowie an Flughäfen und Häfen zum praktischen Nachweis der Eignung, der Technologiereife und einer dem Zielmarkt angemessenen Kostenstruktur in allen Leistungsklassen
- ❖ Fortführung und Erweiterung laufender Flottendemonstrationen im NIP 2, um perspektivisch die Umstellung der gesamten Flotten von Produktionsbetrieben zu ermöglichen. Erfahrungen werden dabei über das Innovationscluster Clean Intralogistics Net geteilt und ausgetauscht.
- ❖ Verfügbarkeit schwerer Geräte (>5 Tonnen Nutzlast) und größerer Leistungsklassen unter anderem für Applikationen im Flughafen- oder Hafenumfeld. Hier besteht ein großes ökologisches und wirtschaftliches Potenzial.
- ❖ Beitrag von Fahrzeugen der Bodenabfertigung zur Dekarbonisierung von Flughäfen und als Enabler für den Einstieg in eine H<sub>2</sub>-basierte Luftfahrt
- ❖ Dekarbonisierung von Logistikaufgaben im Hafen über die vollständige Abdeckung des im Hafen benötigten Brennstoffzellen-Fuhrparks, zum Beispiel beim Container-Handling
- ❖ Senkung der Markteintrittsbarrieren durch anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung, zum Beispiel hinsichtlich Standardisierung, Normung und Digitalisierung
- ❖ Erhöhung der Zuverlässigkeit und Performance von Brennstoffzellensystemen in allen Leistungsbereichen sowie Verringerung der Redundanzen, um Kostensenkungspotenziale zu heben
- ❖ Vorausschauende Wartungskonzepte für höhere Verfügbarkeiten und geringere Wartungskosten

**Fördermittelbedarf für F&E Maßnahmen**

Hierfür ergibt sich bis 2030 ein Fördermittelbedarf von 50 Mio. € bei rund 100 Mio. € Industriemitteln.

Darüber hinaus besteht ein Bedarf an Studien zu folgenden Thematiken:

- ⋮ Einfluss von grünem Wasserstoff bei der unmittelbaren und kurzfristigen Reduktion von CO<sub>2</sub> in der Intralogistik
- ⋮ Steigerung der Akzeptanz von Wasserstoff durch Herausarbeitung der Systemdienlichkeit (Langzeitspeicherung von Grünstrom und Transportierbarkeit) und Darstellung anhand entsprechender Beispiele
- ⋮ Analyse der techno-ökonomischen Potenziale von On-Side-Elektrolyse mit Metallhydridspeichern für die Intralogistik

**Marktaktivierung**

Die Marktaktivierung im NIP ist mit knapp 250 bewilligten Flurförderzeugen und der dazugehörigen Infrastruktur erfolgreich angelaufen. Dennoch ist die Gesamtzahl der in Deutschland verwendeten Flurförderzeuge mit Brennstoffzelle vergleichsweise gering. In den USA sind bereits über 30.000 Einheiten im Feld. In Europa herrschen jedoch deutlich andere Anforderungen an die Systeme und andere Rahmenbedingungen. Erfahrungen aus Flottenanwendungen bestätigen die Aussicht auf wertvolle Effizienz- und Produktivitätssteigerungen durch den Einsatz von Wasserstoff.

Als wesentliche Hemmnisse für eine Marktdurchdringung in Deutschland und Europa gelten die Verfügbarkeit eines deutschen bzw. europäischen Brennstoffzellensystems im Sinne einer Second Source, das noch unvollständige Angebot wasserstoffbetriebener Flurförderzeuge für alle Industrie- und Werksbedarfe sowie die höheren Anfangsinvestitionen im Vergleich zu konventionellen Lösungen.

Wesentliche Kostensenkungen werden angestrebt durch:

- ⋮ Weitere Fortschritte bei der Forschung und Entwicklung, zum Beispiel im Bereich der Zuverlässigkeit und Performance (Reduzierung von Redundanzen)
- ⋮ Skalierung der Produktion, insbesondere der Battery Replacement Modules (BRM) für 48 V und 80 V (bisher nur in sehr geringen Stückzahlen hergestellt)
- ⋮ Synergieeffekte durch die Nutzung von Wasserstoff in der Distributionslogistik (Lkw) und in der Produktion von Industriebetrieben
- ⋮ Sinkende Wasserstoffpreise durch höhere Verfügbarkeit und Verbesserung politischer Rahmenbedingungen

**Fördermittelbedarf für Marktaktivierung**

Die Fördermöglichkeiten im Bereich der Marktaktivierung sollten daher fortgeführt und weiter ausgebaut werden. Hierbei sollten auch die Erweiterung der bestehenden Betankungsinfrastruktur, die Umstellung großer Flotten für die schnelle Erreichung der Wirtschaftlichkeit sowie Leasing-Konzepte für Fahrzeuge und Infrastruktur berücksichtigt werden. Eine Förderquote von 40% der Investitionsmehrkosten sollte dabei mittelfristig erhalten und gegebenenfalls erhöht werden. Bei einer Förderung von 2.500 Systemen bis 2030 ergäbe sich bei einer Fördersumme von ca. 20.000 € pro Brennstoffzellensystem (exklusive Kosten für die Infrastruktur) ein Gesamtfördermittelbedarf von 50 Mio. € bis 2030.

Ein alternativer Ansatz könnte eine Fördermethode in Analogie zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) darstellen. In diesem Zusammenhang könnte mit einer Förderquote von 80% der Investitionsmehrkosten begonnen, die Förderung aber bei Überschreitung einer bestimmten Höhe des jährlichen Marktanteils reduziert werden.

Meilensteine

- M1: 2022 – Beschleunigte Marktaktivierung
- M2: 2024 – FFZ-Angebot mit europäischem 24-V-Brennstoffzellensystem
- M3: 2025 – FFZ-Angebot mit europäischem 48/80-V-Brennstoffzellensystem
- M4: 2025 – Automatisiertes Tanken für unterschiedliche FFZ-Typen
- M5: 2026 – Marktdurchdringung in der Intralogistik in Deutschland
- M6: 2030 – Massenmarkt eines deutsch-europäischen Systems im Sinne einer Second Source

Darüber hinaus wird im Bereich der Marktaktivierung ein Bedarf an Studien zu folgenden Aspekten gesehen:

- ⋮ Entscheidungshilfe für Anwender: Ermittlung von Total Cost of Ownership (TCO) von realen Flotten mit Infrastruktur inklusive Energie-, Service- und Wartungskosten, Evaluierung der gesamten Kette für Blei-Säure, Li-Ion und H<sub>2</sub>
- ⋮ Markthochlauf für 24/48/80-V-BZ-Systeme für intralogistische Anwendungsfälle in Deutschland (und international) – Forecast
- ⋮ Vorteile der H<sub>2</sub> Value Chain (Nutzung von kostenloser Energie (Wind, Photovoltaik), dezentrale Speicherung und Verteilung, vielfältige Nutzung Power-to-X, weniger umweltbelastend als Lithium-Ionen-Batterien etc.) in der Intralogistik unter Berücksichtigung der Effizienz-Fragestellung im Vergleich zu anderen Technologien

# Digitale und kritische Infrastrukturen

Für die Stromversorgung digitaler und kritischer Infrastrukturen in stationären und mobilen Anwendungen liegt bereits heute ein breites Angebot entlang der gesamten Wertschöpfungskette vor, was sich in einer großen Produktvielfalt seitens der deutschen Industrie widerspiegelt. Je nach technischer Lösung sind neben grünem Wasserstoff dabei auch weitere wasserstoffhaltige Treibstoffe zur direkten oder indirekten Verstromung mittels Reformer möglich. Jede Technologie weist hier besondere Stärken für bestimmte Einsatzprofile auf.

Brennstoffzellensysteme für die Stromversorgung digitaler und kritischer Infrastrukturen können vorzugsweise in drei Leistungsklassen unterteilt werden:

- 1) Kleine Systeme (50 W bis 10 kW) als Notstrom- und netzferne Primärstromversorgung zum Beispiel in kritischen Industrie- und Kommunikationsanwendungen**
- 2) Mittlere Systeme (10 kW bis 100 kW) für die unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) zum Beispiel in der Energie- und Wasserversorgung oder von Bahninfrastruktur**
- 3) Größere Systeme (>100 kW) zur Absicherung großskaliger digitaler und kritischer Infrastrukturen wie beispielsweise Rechenzentren, Katastrophenschutz im kommunalen Bereich und zentrale Knotenpunkte in Infrastrukturnetzen**

## Forschung und Entwicklung

Neben einer stetig wachsenden Nachfrage bei den kleinen und mittleren Systemen zeigen aktuelle Trends am Markt deutlich erste Bedarfe an größeren Lösungen >100 kW, beispielsweise zur Absicherung von Rechenzentren und zentralen Knotenpunkten in Infrastrukturnetzen. Ebenfalls gibt es eine erhöhte Nachfrage zum Austausch der mobilen und semi-stationären Dieselgenerator-Anwendungen zum Beispiel bei Baustellen, Events und temporären Mobilfunkanlagen in der Leistungsklasse <100 kW. Der Einsatz der Brennstoffzelle soll die lokalen Emissionen CO<sub>2</sub>, NO<sub>X</sub>, Feinstaub und Lärm signifikant reduzieren.

Obgleich die Marktaktivierung erfolgreich angelaufen ist, bestehen akute Bedarfe im Bereich der Forschung und Entwicklung. Dabei sollen zwei Stränge verfolgt werden:

- 1) Bestehende Applikationen verbessern**
  - ☒ Als Vorbereitung des Massenmarkts in Deutschland und von Stückzahlen für den Export
  - ☒ Verbesserung bei Kosten, Lebensdauer und Leistungsfähigkeit
  - ☒ Bessere Einbindung von grünem Wasserstoff
- 2) Entwicklung und Erprobung neuer Applikationen und Anwendungen**
  - ☒ Demonstrationsprojekte >100 kW – Performance, Einbindung ins Gesamtsystem, Kraftstoffbevorzugung und -logistik mit dem Ziel, wirtschaftlich und ökologisch attraktive Angebote am Markt zu etablieren
  - ☒ Infrastrukturversorgung von E-Mobilität – sauberer Strom für Ladesäulen an Standorten ohne Netzanschluss oder mit begrenzter Netzkapazität
  - ☒ Herstellerunabhängige digitale Monitoringsysteme, um den Vorteil der Fernwartung von Brennstoffzellen noch besser ausspielen zu können
  - ☒ Etablierung von Zulassungsprozessen – Marktvorbereitung durch Leuchtturmprojekte mit entsprechendem Fokus

- ⋮ Sichere Stromversorgung von Bordnetzen – sauberer Strom für gewerbliche und private Nutzfahrzeuge mittels Brennstoffzelle, insbesondere im Hinblick auf beispielsweise Kühlfahrzeuge und Standklimatisierung
- ⋮ Steuerung und Leittechnik für virtuelle Kraftwerke – Vernetzung von Ersatzstromversorgungen auf Brennstoffzellenbasis und Bereitstellung von Regelenergie für das Stromnetz
- ⋮ Erprobung neuer Energieträger – Ammoniak als kohlenstofffreiem Wasserstoffträger werden global wesentliche Potenziale im Bereich Mobilfunk zugesprochen

Der größte Teil der Forschungs- und Entwicklungserfordernisse wird zur Förderung einheimischer Komponenten- und Systemhersteller veranschlagt, die eine wichtige Basis für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Systemintegratoren von Notstrom- und netzfernen Primärstromversorgungssystemen sind. Die Wertschöpfung und die technologische Basis in Deutschland müssen hier im Sinne einer dauerhaften internationalen Wettbewerbsfähigkeit gestärkt werden.

Die Erhöhung des Standardisierungsgrads und die Hochskalierung in der Produktion werden dabei als wesentliche Schlüssel für Kostensenkungen gesehen. Als grundsätzliche Herausforderungen gelten weiterhin die Verfügbarkeit und Logistik der verschiedenen umweltfreundlichen Betriebsstoffe.

Ein technisch nah angelagertes Anwendungsgebiet der Brennstoffzelle ist die flexible und klimafreundliche Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) für Industrie-anwender oder Quartiere. Durch die gemeinsame Bereitstellung von Strom und Wärme können hier sehr hohe Systemwirkungsgrade von um die 85% erreicht werden. Im Gegensatz zur motorischen KWK sind SOFC-basierte Systeme leise, vibrationsarm und weitgehend wartungsfrei.

Abhängig vom Energiebedarf lassen sich die Anlagen beliebig zusammenschalten, was eine Skalierung bis in den Megawatt-Bereich ermöglicht. Durch die Kompatibilität mit verschiedenen Energieträgern weisen diese stationären Brennstoffzellensysteme den Weg von einer fossilen zu einer erneuerbaren Energieversorgung.

#### Fördermittelbedarf für F&E Maßnahmen

Der Fördermittelbedarf bis 2026 im Bereich digitale und kritische Infrastrukturen kann mit rund 35 Mio. € bei 65 Mio. € Industriemitteln beziffert werden.

#### Marktaktivierung

Um aktuell noch fehlende finanzielle Anreize beim Aufbau kritischer Infrastrukturen zu setzen und eine wirtschaftliche Parität mit etablierten Lösungen am Markt herbeizuführen, bedarf es in den kommenden Jahren eines umfangreichen Marktanreizprogramms und der ressortübergreifenden Koordination zur Umsetzung der für den energiebezogenen Einsatz notwendigen Maßnahmen. An dieser Stelle ergibt sich eine wesentliche Schnittmenge zum Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Die Marktaktivierung im NIP ist mit Förderaufrufen in 2018 und 2020 und rund 1.060 bewilligten Anlagen in der Leistungsklasse unter 100 kW erfolgreich angelaufen. Dabei ist eine gesteigerte Nachfrage für immer neue Applikationen gerade im Bereich der Notstromversorgung, auch inklusive der Funktion einer unterbrechungsfreien Stromversorgung, deutlich zu erkennen.

Als bereits kurzfristig erfolgversprechende Anwendungssegmente für die Marktaktivierung gelten im stationären und mobilen Markt unter anderem:

- ⋮ **Generatoren beispielsweise für Kommunikation (z. B. 5G/6G-Funkmasten ohne Netzanschluss), Baustellen, Events, Katastrophenschutz, Messtechnik und Verkehrstechnik**
- ⋮ **Notstromversorgung für kritische und digitale Infrastrukturen wie beispielsweise Kommunikationsanlagen, Energie- und Wasserversorgung sowie Bahninfrastruktur. Hier sind insbesondere auch die Versorgung von kommunalen und städtischen Einrichtungen (Rathäuser, Landratsämter, Feuerwehrhäuser, Einsatzleitung bei Katastrophen) zu berücksichtigen. Die jüngsten extremen Wetterereignisse haben gezeigt, dass diese Netzersatzanlagen meist nicht bestehen.**

✚✚ **Flexible und modular erweiterbare Stromversorgung für digitale und kritische Infrastrukturen und Absicherung mittels Redundanz**

✚✚ **Dezentrale und autarke Energieversorgung beispielsweise für Micro-Grids und Quartierslösungen mittels integrierter Produkte bestehend aus erneuerbaren Energien (Wind, Photovoltaik), Elektrolyse, Speicherung und Brennstoffzellen**

Weitere sehr vielversprechende Anwendungssegmente, für die es am Markt bereits eine initiale Nachfrage gibt, müssen zuerst zur Technologiereife weiterentwickelt und demonstriert werden (vgl. Forschung und Entwicklung) und können anschließend in die Marktaktivierung überführt werden. Auch die Bordstromversorgung von Nutzfahrzeugen mittels integrierter Brennstoffzelle ist mit technisch vergleichbaren und bereits im Markt erprobten Lösungen realisierbar.

Es müssen bei der Marktaktivierung stets alle umweltfreundlichen Varianten von Energieträgern betrachtet werden, um das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen. Aufgrund der starken Korrelation von Preis und Stückzahl werden mit Voranschreiten der Marktaktivierung deutliche Preissenkungen erwartet. Dies gilt insbesondere für mittlere und hohe Leistungsbereiche, in denen die Stückzahlen bisher am geringsten ausfielen.

Wesentliche Hürden für die Marktaktivierung stellen neben der geringen Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff vor allem unterentwickelte und unterschiedliche Freigaben und Zulassungen in den verschiedenen Anwendungsbranchen dar. Eine Unterentwicklung ist darüber hinaus bei der Standardisierung der angebotenen bzw. zu verbauenden Systeme und Komponenten zu erkennen. Eine weitere Herausforderung liegt in der Vergabeverordnung und Vergabep Praxis im Hinblick auf Bewertungs- und Entscheidungskriterien von Investitionskosten versus Gesamtkosten des Betriebs bei der Auftragsvergabe.

Das adressierbare Marktpotenzial in den kommenden fünf Jahren (bis Ende des NIP 2) beläuft sich auf rund 35.000 Anlagen über die verschiedenen Anwendungen und Leistungsklassen hinweg, wobei mit der Abdeckung einer Teilmenge mittels Brennstoffzellen zu rechnen ist. Dabei sollte auch die Anhebung der Leistungsklasse deutlich über 100 kW bei der Förderung von Brennstoffzellen für die saubere und effiziente Absicherung von digitalen und kritischen Infrastrukturen wie Rechenzentren und zentralen Knotenpunkten in Infrastrukturnetzen berücksichtigt werden.

Eine konsequente und erfolgreiche Umstellung auf Brennstoffzellensysteme in Kombination mit anderen erneuerbaren Energieträgern ließe sich durch eine Abwrackprämie für Dieselgeneratoren oder durch verbesserte Abschreibungsmöglichkeiten und Steueranreize bei der Neubeschaffung oder Modernisierung von bestehenden Anlagen durch Brennstoffzellen erzielen. Als weiterer Förderansatz wäre ein Marktanzreizprogramm mit einer Absatzförderung denkbar, das dauerhaft für Antragsteller zugänglich ist – beispielsweise durch eine Weiterentwicklung der KfW-Förderung 433.

Schnittstellen können sich außerdem zu weiteren Förderprogrammen innerhalb der EU (Campfire, Clean Hydrogen) und auf nationaler Ebene (Reallabore der Energiewende BMWi) ergeben. Insbesondere mit der Exportinitiative Umwelttechnologien „Dezentrale Stromversorgung mit Brennstoffzellen und grünem Wasserstoff“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit bestehen wesentliche Synergien. Diese zielt unabhängig von Leistungsklassen auf die Unterstützung deutscher KMU bei der Umsetzung und Anpassung von Lösungen als Pilotvorhaben ab.

Neben der klassischen Marktaktivierung wird die Durchführung einer Studie zur Erstellung von Szenarien für ein Energiesystem mit dezentralen Kleinkraftwerken und virtuell vernetzten Systemen, die auf Basis verschiedener umweltfreundlicher Energieträger arbeiten, empfohlen.

#### **Fördermittelbedarf für Marktaktivierung**

Zur Implementierung der Teilmenge i.H.v. 10.500 Systemen bis 2026 wird ein Förderbedarf von 210 Mio. € gesehen.

## Meilensteine

- M1: 2022 – Fördermöglichkeit für alle beschriebenen System-Leistungsklassen, auch über 100 kW
- M2: ab 2023 – Bereitstellung von weitestgehend standardisierten, modulhaften Lösungen für die aufnahmefähigen Sektoren
- M3: 2023 – Entwicklung und Demonstration insbesondere von skalierbaren Systemen zur Erreichung von Systemleistungen >100 kW
- M4: 2024 – Vorhandensein einer flächendeckenden H<sub>2</sub>-Logistik
- M5: ab 2025 – Entwicklung von Steuerungs- und Leitechnik zum Betrieb virtueller Kraftwerke – vernetzte Systeme
- M6: 2026 – Deutliche Verbesserung von Kosten, Lebensdauer und Leistungsfähigkeit im Vergleich zu 2021
- M7: bis 2026 – 10.500 installierte Systeme



**2) Betankungsinfrastruktur für den Straßenverkehr**

- ::: Unterstützung von Technologieherstellern bei der Entwicklung und Zertifizierung von Mengengeräten, die für Konformitätsbewertungen nach MessEG und EU-Messgeräte-richtlinie geeignet und zur Gewährleistung einer messrichtigen H<sub>2</sub>-Abgabetechnologie notwendig sind
- ::: Förderung der F&E zur Transferzählermethode, zur systematischen Rückführung auf SI-Normale und zur Entwicklung von einsetzbaren Konzepten mit und für Landeseichämter
- ::: Validierung von Analyseverfahren nach ISO 21087 inklusive der erforderlichen Bereitstellung von Gasgemisch-Standards
- ::: Validierung und Standardisierung von Qualitäts-Probennahmeverfahren an der Zapfpistole auch für Heavy Duty sowie auch auf europäischer Ebene (Erarbeitung ISO 19880-9)
- ::: Validierung von Analyseergebnissen zwischen Auftragslaboren durch Round-Robin-Tests in ausreichender Zahl (zur Bestimmung von Ablehnungsgrenzwerten für HRS)
- ::: Umfangreiche Probennahmekampagnen von HRS (Mapping) und Bereitstellung der Ergebnisse in einer anonymisierten Datenbank zur Verwertung in F&E zur Wasserstofftechnologie (z. B. BEPPEL), in Qualitätsmanagement-Konzepten von H<sub>2</sub>-Tankstellenbetreibern und in statistischen Auswertungen für die Bewertung von Analyseverfahren (als Grundlage für Verordnungen wie die AVV)
- ::: Erarbeitung von harmonisierten Protokollen für die Betankung von Nutzfahrzeugen
- ::: Förderung der Entwicklung und Bereitstellung von Abnahmeverfahren und Hardware

Für die Aktivitäten unter Punkt 1 und 2 ergibt sich ein Gesamtmittelbedarf von 180 Mio. € bis 2026, von dem etwa zwei Drittel durch Fördermittel (120 Mio. €) abgedeckt werden sollten.

**3) Betankungsinfrastruktur für die Luftfahrt**

- ::: Mobile Tankstellen für die Flugzeugbetankung (Standardisierung, Massenströme für z. B. maximal 20 Minuten Tankbefüllung, Dimensionierung, elektrische und Kommunikationsschnittstellen, Kosten)
- ::: Lokale Infrastruktur für die Handhabung signifikanter Flüssigwasserstoff-Mengen (Anlieferung, Pufferspeicher und Verteilungssysteme, Lösungen für Parallelbetrieb – Übergangszeit, lokale Verflüssigung etc.)
- ::: Standardisierung von Prozessen/Komponenten des Betankungsvorgangs (Erhöhung der Sicherheit und Reduzierung der Kosten und Markteintrittsbarrieren)
- ::: Synergien mit anderen Wasserstoffnutzern – lokaler Transport, BHKWs etc. (Ziel sind optimierte H<sub>2</sub>-Kreisläufe zur Nutzung der Boil-off-Verluste)
- ::: Referenzzulassungsprozess für H<sub>2</sub>-Infrastruktur-lösungen zur schnelleren Verbreitung und Kostenreduktion zur Steigerung der Attraktivität für weitere Flughäfen
- ::: Maßnahmen zur Realisierung einer Zero-Boil-off-Handhabung von Flüssigwasserstoff (LH<sub>2</sub>) am Flughafen. Dies beinhaltet die Erhöhung der Speicherdauer von lokal gelagertem LH<sub>2</sub> (Logistikpuffer) und die Minimierung des Boil-off auf dem Weg vom lokalen Tank über die mobile Tankstelle (Betankungsfahrzeug) bis zum Flugzeug mit dem Ziel der Minimierung der Transferverluste. Dies schließt Aktivitäten auf der Ebene sowohl von Komponenten und Materialien als auch von Prozeduren und Handlungsempfehlungen ein.
- ::: Untersuchung und Definition von Prozeduren und Handlungsempfehlungen für die Feuerwehr am Flughafen vor Ort im Fall eines Unfalls mit einem LH<sub>2</sub>-Flugzeug. Dies ist ein Thema mit hohem Synergiepotenzial auch für andere Bereiche, in denen flüssiger Wasserstoff (LH<sub>2</sub>) als Treibstoff verwendet wird.

Hierfür ergibt sich ein Fördermittelbedarf von insgesamt 50 Mio. € bis 2026.

**7** Hinweis: Die Entwicklung der Messtechnologie und ihre Validierung für Eichungen und Konformitätsbewertungen sollten im Wesentlichen öffentlich gefördert werden. Der Bau einer ausreichenden Zahl von Eichnormalen und die Durchführung der Messungen/Eichungen sind überwiegend privat organisiert. Die Tätigkeit der Eichbehörden und die Kosten für die Nutzung der Eichnormalen sind Betriebskosten der HRS

#### 4) Brennstoffversorgung und Betankungsinfrastruktur für die Binnen- und Seeschifffahrt

- ⋮ Weiterentwicklung des Regelwerks (ISO, SAE etc.)
- ⋮ Brennstoffverfügbarkeit und -qualität, Logistik
- ⋮ Eichung der Betankung
- ⋮ Konzepte für die Wirtschaftlichkeit von Brennstoffen
- ⋮ Sektorenkopplung und integriertes Energiesystem
- ⋮ Abgleich mit Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS)

Hierfür ergibt sich ein Fördermittelbedarf von 10 Mio. €.

#### 5) Betankungsinfrastruktur für den Schienenverkehr

- ⋮ Entwicklung, Erprobung und Optimierung einer Schnellbetankung für das Bahngesamtsystem sowie der Schnittstelle zwischen Tankstelle und Fahrzeug
- ⋮ Prüfung und Entwicklung einer Netzanschlussanlage für die lokale Wasserstofferzeugung über Elektrolyse mittels Strombezug aus dem Bahnstromnetz
- ⋮ Entwicklung eines international harmonisierten Betankungsprotokolls für Schienenfahrzeuge

Hierfür ergibt sich ein Fördermittelbedarf von 5 Mio. € bis 2026.

#### 6) Betankungsinfrastruktur für die Intralogistik

- ⋮ Kostengünstige Infrastruktur und H<sub>2</sub>-Versorgungskonzepte für Kleinflotten
- ⋮ Vereinheitlichung von Schnittstellen (Datenkommunikation)
- ⋮ Einheitliches Betankungsprotokoll: Ziel ist sicheres und schnelles Betanken für alle Hersteller und Produkte an derselben Infrastruktur
- ⋮ Kundenwunsch: Entwicklung automatisierter Betankungslösungen
- ⋮ Nutzung von Synergiepotenzialen bei der Infrastruktur, zum Beispiel der für leichte NFZ, Lkws und Pkws

Hierfür ergibt sich ein Fördermittelbedarf von insgesamt 20 Mio. € bis 2026.

### Marktaktivierung

Der Aufbau des Wasserstoff-Tankstellennetzes sollte als Voraussetzung für den erfolgreichen Fahrzeughochlauf weiter forciert werden. Gleichzeitig muss der Ausbau des Tankstellennetzes bedarfsgerecht erfolgen und den steigenden Wasserstoffabnahmemengen und den anspruchsvollen Anforderungen der Logistikbranche gerecht werden. Dementsprechend müssen ab dem Jahr 2023 Tankstellen bereitstehen, die eine tägliche Kapazität von 1.000 kg Wasserstoff und mehr aufweisen. Dies geht weit über den heutigen Standard von 200 kg bis 400 kg pro Tag hinaus. Die Entwicklung im realen Betrieb und die Skalierung entsprechender Technologien sollten demnach unterstützt werden.

Für den weiteren Ausbau des Tankstellennetzes im Rahmen der Marktaktivierung wird daher eine Förderquote von 70% bis 90% empfohlen. Der Fokus sollte neben der Errichtung neuer Tankstellen außerdem auf die Erweiterung und Ertüchtigung der bestehenden Infrastruktur – insbesondere für schwere Nutzfahrzeuge – gelegt werden. Ferner sind die Versorgungsstrukturen, speziell die Verladung und Verteilung von Wasserstoff (gasförmig und flüssig), nun zu skalieren (ggf. unter H<sub>2</sub>-Bereitstellung).

Um dem bedarfsgerechten Infrastrukturaufbau Rechnung zu tragen, sollten Förderaufrufe zunehmend gekoppelt mit Aufrufen für die Beschaffung entsprechender Fahrzeuge erfolgen. Die bisherigen Förderaufrufe für den Aufbau öffentlicher Wasserstoff-Betankungsinfrastruktur haben sich als effektive Methode erwiesen. Für die Standortplanung und Projektvorbereitung wäre eine regelmäßige Durchführung dieser Aufrufe bzw. die Möglichkeit zur permanenten Einreichung von Förderanträgen von Vorteil. Eine flexible Gestaltung der Einreichung würde es erlauben, Standorte vor der Antragstellung bis zu einem einheitlichen Vorbereitungsgrad zu entwickeln und zudem schnell auf den regionalen wie überregionalen Fahrzeughochlauf zu reagieren.

Meilensteine

- M1: **2022 – Harmonisierte Protokolle zur GH<sub>2</sub>-Betankung von Nutzfahrzeugen verfügbar**
- M2: **2023 – Konformitätsbewertete (MessEG) Abgabeeinrichtungen in neu erstellten HRS, Eichprozedur (Transferzähler) für alle Pkw- und Nutzfahrzeug-HRS etabliert**

**Fördermittelbedarf für Marktaktivierung**

Für den Aufbau von Wasserstoffinfrastruktur für den Straßenverkehr ergeben sich folgende konkrete Bedarfe:

- ⋮ Zur Betankung von Pkws und leichten Nutzfahrzeugen (700-bar-Betankung, maximal 10 kg Tankvolumen) ließe sich bei einem Netz aus 400 Tankstellen eine Tankstelle in maximal 25 km Entfernung erreichen. Bei einem Ausbau auf 1.000 Tankstellen ergäbe sich bereits eine flächen-deckende Abdeckung, bei der Implementierung von 4.000 Tankstellen würde die Vergleichbarkeit mit der Abdeckung konventioneller Tankstellen bestehen.
- ⋮ Tankstellen für Busse und Lkws im Verteilverkehr (350-bar-Betankung, ca. 35 kg Tankvolumen) werden zum einen in Form privater Infrastruktur auf Betriebshöfen (z. B. in Busdepots) und zum anderen in Form öffentlicher Tankstellen – insbesondere an Güterverteilzentren und Buslinien – benötigt. Sie lassen sich je nach Standort sinnvoll mit 700-bar-Tankstellen kombinieren.
- ⋮ Für schwere Nutzfahrzeuge, die insbesondere auf der Langstrecke zum Einsatz kommen, befinden sich mehrere Technologien (700 bar gasförmig, Flüssigwasserstoff, kryo-komprimierter Wasserstoff) in der Entwicklung. Das Tankvolumen lässt sich dabei auf maximal 80 kg beziffern. Für die Versorgung der ersten Flotten sollte bis 2026 ein Netz aus 150 Tankstellen errichtet werden, das sich dann bis 2030 auf 300 Tankstellen erweitern soll. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass unterschiedliche Systemlösungen zur Anwendung kommen – von der dezentralen Elektrolyse vor Ort über Extraktion aus Pipelines bis zur Versorgung mit Trailer-Swap-Systemen.

Bis 2030 ergibt sich somit ein Fördermittelbedarf von insgesamt 1.500 Mio. €.

## Meilensteine

- M3: 2023 – Harmonisierte HRS-Abnahmeprozesse nach DIN EN 17127 etabliert und taugliche dritte Partei einsatzbereit
- M4: 2024 – Qualitätsmanagement-Prozesse für Betreiber und Bundesländer als hoheitliche Überwachungsinstanzen etabliert
- M5: 2024 – Verfügbarkeit einer für den Schienenverkehr optimierten Betankungsinfrastruktur sowie eines entsprechenden Betankungsprotokolls
- M6: 2026 – Straße: Tankstellennetz von 150 Stationen
- M7: 2026 – Versorgung: Verlade- und Transportkapazitäten
- M8: 2030 – Straße: Tankstellennetz von 300 Stationen

# Wasserstoffregionen (HyLand)

Das NIP 2 legt mit dem Mechanismus der Marktaktivierung durch Förderung von Investitionskosten einen Fokus auf die Markteinführung von Wasserstoff im Verkehr. Für die ersten Anwendungsfälle müssen üblicherweise neben der eigentlichen Fahrzeuganwendung auch die notwendige Infrastruktur zur Betankung und gegebenenfalls eine Wasserstoffherzeugung mittels Elektrolyse berücksichtigt werden. Dabei müssen zeitgleich Investitionen von verschiedenen Akteuren in die jeweiligen Bereiche getätigt werden. Um diese Prozesse koordinierend, aber auch durch ein abgestimmtes Förderkonzept zu unterstützen, wurde im Rahmen des NIP die Förderinitiative HyLand zum Aufbau von Wasserstoffregionen in Deutschland initiiert. Vergleichbare Aktivitäten sind im europäischen Kontext mit den Hydrogen Valleys etabliert worden.

In der ersten HyLand-Phase wurden insgesamt 25 Regionen ausgewählt, die bereits Investitionskostenförderung erhalten (HyPerformer) oder aber durch Konzeptentwicklung (HyExperts) und Netzwerkarbeit (HyStarter) unterstützt werden.

## Fortführung und Erweiterung des HyLand-Programms

Die Förderung von Ansätzen für die koordinierte Marktaktivierung im regionalen Kontext unter dem HyLand-Rahmen sollte fortgeführt werden. Dies betrifft neben der eigentlichen Förderung der Investitionen auch die Unterstützung in Bezug auf Netzwerkarbeit und Konzeptionierung. Diese Maßnahme ersetzt dabei nicht die anwendungsspezifische Marktaktivierung, sondern kann als Ergänzung dazu gesehen werden.

Bei der Fortführung des HyLand-Programms sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Weiterentwicklung der aktuellen HyStarter und HyExperts gelegt werden. Hier sind in der ersten Phase bereits wertvolle Grundlagen geschaffen worden, um in den Regionen einen Wasserstoffmarkt im Mobilitätssektor zu entwickeln. Darüber hinaus kann der Kreis der HyLand-Regionen zukünftig durch entsprechende Ausschreibungen erweitert werden.

## Vernetzung der HyLand-Regionen

Damit sich die Wasserstoffmobilität aus den regionalen Ansätzen bundesweit entwickeln kann, muss verstärkt die Vernetzung der HyLand-Regionen unterstützt werden. Die Vernetzung gewinnt insbesondere mit Blick auf den Schwerlast- und Logistikverkehr zunehmend an Bedeutung, da hier im Gegensatz zum Verteilerverkehr überregionale Routen relevant sind.

Die Vernetzung kann beispielsweise durch Vernetzungstreffen unterstützt werden. Aber auch themenspezifische Workshops, beispielsweise für den Logistikbereich, können eine Verbindung der Regionen unterstützen. Externe Stakeholder, die für den Aufbau von regionalen Wasserstoffwirtschaften relevant sind, können ebenfalls zu gewissen Veranstaltungsformaten eingeladen werden, um den Kreis der Unterstützer und Investoren zu vergrößern.

### Ergebnisverwertung

Bei der Fortführung des HyLand-Programms kann auf die Erfahrungen der ersten Phase zurückgegriffen werden. Dazu muss ein geeignetes Instrument zur Verwertung der Ergebnisse der aktuellen HyLand-Regionen gefunden werden.

Wesentliches Ziel ist dabei, die Wirtschaftlichkeit der Projekte zu erhöhen und damit insgesamt zur Wettbewerbsfähigkeit der Technologie beizutragen. Als Beispiele seien hier der Wasserstoffabsatz zur Auslastung der notwendigen Infrastruktur (Tankstelle, Elektrolyse etc.) oder die Wasserstoffversorgung (Pipeline vs. Trailer) genannt. Darüber hinaus sind innerhalb der HyLand-Regionen auch Wasserstoffabsätze in der Gebäudeenergieversorgung analysiert worden. Diese Anwendungen stellen potenziell einen Absatz für große Mengen an Wasserstoff dar und sollten somit in der Förderlandschaft der Bundesregierung Beachtung finden.

Auch die Auswahl von weiteren Regionen kann durch die Ergebnisse der ersten Phase unterstützt werden, beispielsweise in Bezug auf Tankstellenstandorte oder Logistikzentren. Insbesondere die Praxiserfahrungen der aktuellen HyPerformer können einen Mehrwert zur allgemeinen Akzeptanz der Technologie liefern. Damit kommt auch der Aufarbeitung der Praxiserfahrungen für die breite Öffentlichkeit eine wichtige Rolle zu.

Ein wichtiger Punkt ist dabei die regionale Erzeugung und Verteilung von Wasserstoff. Hier gibt es oft regionale Hemmnisse. Außerdem muss eine verstärkte Vernetzung zwischen den unterschiedlichen Akteuren in einer HyLand-Region stattfinden, sodass Nutzer, Betreiber und Investoren Synergien erarbeiten und gemeinsame Umsetzungsprojekte aufsetzen.

Für die Erstellung regionaler Konzepte (HyStarter und HyExperts) ergibt sich über zwei HyLand-Phasen ein Fördermittelbedarf von insgesamt 27 Mio. € bis 2026. Inklusive der HyPerformer beläuft sich der Gesamtbedarf auf 182 Mio. €, der sich jedoch bereits in den aufgeführten Kapiteln zu den verschiedenen Fahrzeuganwendungen sowie der Betankungsinfrastruktur wiederfindet. Der Fördermittelbedarf für die HyPerformer muss daher nicht zusätzlich einkalkuliert werden.

# Komponenten und Systeme

Neben den anwendungsspezifischen Themen ist der Aufbau einer starken Zulieferindustrie über die gesamte Wertschöpfungskette eine wesentliche Voraussetzung für den erfolgreichen Aufbau einer deutschen Brennstoffzellenindustrie. Durch die Nutzung anwendungsübergreifender Synergien lassen sich schneller Kostensenkungspotenziale erschließen und Arbeitsplätze der Zukunft schaffen. Auch die Weiterentwicklung der Fertigungsverfahren im Zusammenhang mit den resultierenden höheren Stückzahlen stellt dabei eine wesentliche Aufgabe dar.

Die Brennstoffzellentechnologie hat heute einen technologisch serientauglichen Stand erreicht. Um nun die Kosten für BZ-Systeme auf einen serientauglichen Stand zu bringen, muss die Technologie in größeren Stückzahlen in den Markt gebracht werden, um entsprechende Skaleneffekte zu nutzen. Dazu müssen die Entwicklungen im Bereich der Fertigungstechnologie gerade für die Komponenten der Brennstoffzelle vorangetrieben werden. Da ein herkömmliches BZ-System aus ca. 300 bis 400 Zellen besteht und diese für einen Einsatz im Pkw in der Serienfertigung in ca. 1,5 Minuten hergestellt, vereinzelt und lagerichtig positioniert werden müssen, bedarf es der Fertigung und Montage der Zellkomponenten im Sekundentakt von 10 Hz. Dies gibt die derzeitige Fertigungstechnologie noch nicht her, das Ziel ist aber nach Ansicht der Fertigungsexperten erreichbar.

Im Zuge der Skalierung wird die Brennstoffzelle zunehmend interessant für die europäische Zulieferindustrie. Im Besonderen bei den Stack-Komponenten haben Projekte mit dem Ziel, die Lebensdauer und Kosteneffizienz (durch alternative Materialien) zu erhöhen, eine hohe Signifikanz. Die im Automotive-Bereich skalierende Brennstoffzelle ermöglicht zunehmend wettbewerbsfähige Einsatzgebiete in anderen Sektoren, zum Beispiel im stationären Betrieb.

## Forschung und Entwicklung

### 1. Brennstoffzellen

Derzeit befindet sich die deutsche Industrie am Übergang zur industriellen Fertigung. Dies gilt sowohl für die PEM-Brennstoffzelle (Proton-Exchange-Membrane-Brennstoffzelle (protonenleitende Feststoffmembran, Niedertemperatur)) als auch für die SOFC-Brennstoffzelle (Solid-Oxide-Brennstoffzelle (oxydischer Feststoffelektrolyt, Hochtemperatur)). Auch für Elektrolyseure, für die es abhängig von der genutzten Technologie bereits eine industrielle Produktion gibt, stellt sich vor dem Hintergrund des geplanten schnellen Aufbaus von Elektrolyse-Kapazitäten die Frage nach einem beschleunigten Ausbau der Wertschöpfungskette.

In allen Bereichen stehen deutsche Unternehmen dabei im internationalen Wettbewerb, insbesondere mit nordamerikanischen und asiatischen Wettbewerbern. Es ist erklärtes Ziel der Bundesregierung (Maßnahme 10 der Nationalen Wasserstoffstrategie von Juni 2020), den Aufbau einer wettbewerbsfähigen Zulieferindustrie zu unterstützen. Durch die anwendungsnahe Erforschung und Entwicklung neuer Materialien sowie in Bezug auf die Verbesserung von Komponenten und Systemen konnte das Verständnis der in Brennstoffzellen ablaufenden Prozesse und insbesondere der Lebensdauer deutlich verbessert werden. Dennoch sind weitere Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen notwendig, um weitere Potenziale auszuschöpfen.

Stark an Bedeutung gewonnen haben die Entwicklung von Fertigungsverfahren sowie die Schaffung einer Basis für eine großskalige Brennstoffzellenproduktion. Erst durch kostengünstige, industriell gefertigte Brennstoffzellen und Brennstoffzellensysteme werden die Ziele in den jeweiligen Anwendungsbereichen wirtschaftlich erreichbar. Für die erfolgreiche Entwicklung der Wertschöpfungskette ist es zudem entscheidend, dass Lücken identifiziert bzw. Schwachstellen beseitigt werden. Zudem ist es von entscheidender Bedeutung, dass die notwendigen Normen (z. B. Qualitätssicherung) für die unterschiedlichen Produkte entlang der Wertschöpfungskette entwickelt und etabliert werden.

Wesentliches Ziel der weiteren Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie muss eine nachhaltige Etablierung am Markt sein. Dies gilt für alle kommerziell verfügbaren Arten von Brennstoffzellen. Durch die vor allem in Europa festzustellende Verschiebung der Anwendung der PEMFC in den Bereich Nutzfahrzeuge und Schwerlastverkehr bedarf es hauptsächlich der Entwicklung großer Stacks (>100 kW), die sehr hohe Lebensdauern erreichen müssen (Ziel: mindestens 30.000 Stunden, entspricht ca. 1,5 Mio. km; max. 70 €/kW bis 2030). Stabile Prozesse und effektive, serientaugliche Technologien für alle Stack-Komponenten (Bipolarplatte (BPP), katalysatorbeschichtete Membran (CCM), Gasdiffusionslagen (GDL), Dichtungen, Beschichtungen etc.) sind dafür essenziell. Dabei sind alle Betriebsbedingungen (z. B. Kaltstart, Dynamik) und der Schadstoffeintrag (über Luft und Wasserstoff) zu beachten.

Bei SOFC liegt der Fokus insbesondere auf der Erhöhung der Lebensdauer unter dynamischen Betriebsbedingungen sowie auf der Reduzierung der Kosten von Beschichtungen und Dichtungsmaterialien. Neben ihrer hohen Effizienz bieten SOFC die Möglichkeit erheblicher Emissionseinsparungen bei der Nutzung von Erdgas oder Biogas und können oftmals bereits heute komplett emissionsfrei mit grünem Wasserstoff betrieben werden. Somit ermöglicht die Technologie den Übergang von fossilen zu erneuerbaren Energieträgern.

Um einen der wesentlichen Vorteile der Brennstoffzellentechnologie für Anwendungen in der Mobilität hervorzuheben, müssen die aus den Life-Cycle-Betrachtungen gewonnenen und zu gewinnenden Erkenntnisse außerdem zügig in skalierbare Recycling-Konzepte umgesetzt werden. So kann die Nachhaltigkeit der BZ-Technologie sichergestellt und eine klare Aussage über den Total Cost of Ownership getroffen werden. Auch wenn das Recycling von Platinum Group Metals (PGM) industriell etabliert ist, so muss auch für die PEM-Brennstoffzelle ein ganzheitlicher Ansatz gewährleistet werden, der sich auch in der von der EU getriebenen Strategie bezüglich kritischer Rohstoffe wiederfindet. Recycling-Konzepte bieten zudem eine wichtige Möglichkeit zur nachhaltigen Sicherstellung der Versorgung mit Rohstoffen.

Um dem von der EU getriebenen Verbot von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFC, PFAS) zuvorzukommen, muss einerseits ein klares politisches Signal gesetzt werden, dass ein kurz- und mittelfristiges Verbot die Etablierung von PEM-Brennstoffzellen und PEM-Elektrolyseuren stark behindern wird. Andererseits muss frühzeitig in die Entwicklung und Etablierung von fluorfreien Membranmaterialien investiert werden. Erste Ansätze in dieser Technologie zeigen bereits jetzt vielversprechende Ergebnisse.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist der der Fertigungstechnologien, die vor allem für die Kostensenkung – sowohl bei der Komponenten- als auch bei der Stack- und Systemfertigung – von entscheidender Bedeutung sind. Neben Qualitätsaspekten spielt dabei insbesondere die Frage der Fertigungsgeschwindigkeit eine immer wichtigere Rolle. Neben der Verbesserung der Fertigung von Einzelkomponenten ist hierbei vor allem eine auf spätere Fertigungsgeschwindigkeiten ausgerichtete Optimierung des Gesamt-Fertigungsablaufs von hoher Relevanz. Mit der wachsenden Geschwindigkeit der Montage stellen sich auch neue Anforderungen an die erforderliche Messtechnik.

Insbesondere die Stack-Montage bietet durch die hohe Zahl von Wiederholteilen gute Voraussetzungen für eine Automatisierung. Erste teilautomatisierte Systeme gibt es bereits, für eine weitergehende Automatisierung ist aber teilweise die Entwicklung neuer Verfahren (Rolle-zu-Rolle) notwendig, die eine enge Abstimmung zwischen den Komponenten- und den Stack-Herstellern sowie zwischen den Schnittstellen erfordert. Bei der Systemmontage gibt es Erfahrungen aus den jeweiligen Anwendungsfeldern. Neue Fragestellungen bestehen aber vor allem bei Einfahrprozeduren und End-of-Line-Tests. Die heute hierfür erforderlichen Zeiten sind deutlich zu lang. Da die Einfahrprozeduren aber starken Einfluss auf die Leistungscharakteristik und die Lebensdauer der späteren Systeme haben, ergeben sich hier ein grundlegender Forschungs- und Entwicklungsbedarf sowie die Notwendigkeit der Verfügbarkeit ausreichender Testkapazitäten.

Konkrete F&E-Themen im Hinblick auf die Brennstoffzelle sind:

- ⋯ Entwicklung einer preisgünstigen und dennoch dauerhaltbaren Befeuchter-Membran
- ⋯ Sichere und effektive Rückgewinnung der Metalle, Edelmetalle und PFC/PFAS-Werkstoffe
- ⋯ High-Speed-Stacking und optische Qualitätserkennung: „Null-Fehler-Stack“ und variable Stack-Größen in der Produktion
- ⋯ Produktionstechnologieentwicklung für neue Stack-Verspannkonzepte
- ⋯ MEA-Pilotfertigung für In-house-Assemblierung inklusive Rolle-zu-Rolle-Abläufen
- ⋯ Weiterentwicklung kostenoptimierter H<sub>2</sub> Break-ins und H<sub>2</sub>-End-of-Line-Tests (EOL) für High-Speed-Produktionsprozesse
- ⋯ Entwicklung einer Big-Data-Applikation zur prädiktiven Qualitätssicherung

## 2. Systemkomponenten und Balance-of-Plant-Komponenten für Brennstoffzellensysteme

Bei den Systemkomponenten können deutsche Hersteller auf das breite technische Know-how zu ähnlichen Bauteilen bei Verbrennungsmotoren, wie zum Beispiel Pumpen, Ventile, Lüfter, Filter, Inverter und Wärmetauscher, sowie langjährige Erfahrungen bei Prototypen und Pilotprojekten aufbauen. Auch die Entwicklung von Komponenten für batterieelektrische Antriebssysteme ist teilweise nutzbar. Auch hier gilt, dass potenzielle Synergien durch die Nutzung in unterschiedlichen Anwendungen gehoben werden sollten. Zudem sollten zur Schaffung von Stückzahlereffekten und zur Verkürzung von Entwicklungszeiten möglichst Baukastenkonzepte entwickelt werden.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht unter anderem noch bei Luftkompressoren, insbesondere bezüglich des ölfreien Betriebs, und bei den für Nutzfahrzeuge erforderlichen höheren Spannungen, bei Befeuchtern, bei Wasserstoff-Rezirkulationsgebläsen sowie bei elektrischen DC/DC-Wandlern. Die Entwicklung muss eng an die weitere Optimierung des Stacks unter allen Betriebsbedingungen gekoppelt werden.

Neben bereits heute mit Wasserstoff betriebenen Anwendungen gibt es weitere Einsatzgebiete, bei denen der Wasserstoff erst auf Basis anderer chemischer Ausgangsstoffe reformiert werden muss. Wichtige Komponenten im Hinblick auf die Wasserstoffbereitstellung sind zum Beispiel Dampfreformer oder Feinreinigungsgeräte.

Für die Verkürzung der Entwicklungszeiten spielen Simulationsumgebungen (Hardware-in-the-Loop) eine wichtige Rolle. Hierdurch wird es möglich, einzelne Teilsysteme im Gesamtzusammenhang zu testen und zu erproben und das Betriebsverhalten schnell und kostengünstig zu optimieren.

Konkrete F&E-Bedarfe umfassen:

Brennstoffzellensystem-Komponenten-Baukasten für Leistungsbereiche von 100 bis 300 kW<sub>net</sub>: Darstellung leistungsskalierbarer BoP-Komponenten (Balance of Plant) mit gleicher Grundbauweise für den Einsatz in Pkws bis Lkws (Luftverdichter, Turbine, Rezirkulationssystem und Befeuchtung)

### 3. Wasserstoff-Tanksysteme

Eine weitere wichtige und wertmäßig bedeutende Komponente stellen Tanksysteme dar. Im Bereich der Wasserstoff-Tanksysteme (Druckgas 700 bar und 350 bar wie auch im Bereich flüssiger und kryogener Wasserstoff, sLH<sub>2</sub> und CcH<sub>2</sub>) müssen die Kosten gesenkt werden. Der Fokus liegt hierbei auf der Entwicklung von Bauraum, kosten- und rohstoffeffizienten Faserverbundtanks – ohne und mit Tauglichkeit für kryogene Temperaturen –, Isolationstechnik und Nebensystemkomponenten für kryogene Speicher (sLH<sub>2</sub> und CcH<sub>2</sub>) sowie den entsprechenden F&E-Bedarfen:

#### ⋮ Wandstärkenreduzierte Druckspeicher:

- : Kunststoffliner und Liner-lose Konzepte für Faserverbundtanks: Mehrschicht-Liner, Werkstoffadditive, Permeationsbarrieren, Erhöhung der Temperaturfestigkeit >85 °C, verlorene Wickelkerne
- : Aluminium- und Edelstahl-Liner für kryogene Typ-3-Drucktanks mit großen Durchmessern (d >400 mm) für Nutzfahrzeuge

#### ⋮ Herstellprozess: Liner-Fertigungstechnologien für nahtlose und geschweißte metallische Liner mit großen Abmessungen (Durchmesser und Länge) für kryogene Typ-3-Drucktanks, Flechten oder Multifilament, Hochgeschwindigkeitstankwickeln, Automatisierung der Drucktankfertigung und Reproduzierbarkeit, alternative Fasern, Kosten- und CO<sub>2</sub>-optimierte hochfeste Faser für Drucktanks unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeit und Recycling

#### ⋮ Alternative Speicherkonzepte mit höherer volumetrischer/gravimetrischer Dichte und frei formbaren Speicherbehältern

#### ⋮ Kostenoptimierte Isolationstechnik und Nebensysteme für kryogene Speicher (sLH<sub>2</sub> und CcH<sub>2</sub>), insbesondere Kaltventile, Wärmetauscher, Speicherkapazitätsmesstechnik und Verbindungstechnik für Mehrtanksysteme

#### ⋮ Innovative Kühlverfahren mit Nutzung der Kälte aus kryogenen Speichern

#### ⋮ Entwicklung von Tanksystemen und Betankungsprotokollen

- : Typ-5-Tanksysteme (neue Tanktechnologie, neues Design)
- : Forschungsvorhaben zur Betankung von Typ-4-Tanksystemen ohne oder nur mit minimaler Vor-kühlung und passenden Protokollen
- : Speichereinheiten mit integriertem Druckregler (in tank valve & pressure regulator)
- : Standardisierung von Parametern zur Performance-Charakteristik von Speichersystemen (designabhängige Parameter für individuelle Tankprozesse)
- : Entwicklung und Implementierung von Betankungsprotokollen

#### ⋮ Abgleich der Anforderungen an Speicher für Wasserstoff in den Bereichen Gefahrguttransport (inklusive ADR-Zulassung von Brennstoffzellenfahrzeugen generell), stationäre Speicherung und On-Board-Speicherung

#### ⋮ Definition von Mindestanforderungen für die Einzel- und Typzulassung von Fahrzeugen (Synchronisierung der technischen Dienste)

Insbesondere für den Einsatz im Bereich von Land- und Baumaschinen sowie für Bahnanwendungen können robotische Betankungssysteme einen wichtigen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit des Wasserstoff-einsatzes leisten. Derartige Systeme sind noch kaum entwickelt und müssen praktisch erprobt werden.

**Fördermittelbedarf für F&E Maßnahmen**

Notwendige Förderung zur Erreichung der Ziele im Bereich Komponenten und Systeme für 2025:

<b>1. Komponenten der PEM-Brennstoffzelle</b>	
Entwicklung	50 Mio. €
Prozessentwicklung	50 Mio. €
<b>2.Stack-PEM-Technologie (Design, Betriebsstrategie, Break-in etc.):</b>	
Entwicklung	30 Mio. €
Prozessentwicklung	50 Mio. €
<b>3. Modul-PEM-Technologie (Verdichter, Befeuchter, EE etc.):</b>	
Entwicklung	75 Mio. €
Prozessentwicklung	20 Mio. €
<b>4. SOFC-Stack und Komponenten (Dichtungen, BPP, Design, Break-in etc.)</b>	
Entwicklung	5 Mio. €
Prozessentwicklung	5 Mio. €
<b>5. SOFC-Modul (Reformer etc.)</b>	
Entwicklung	10 Mio. €
Prozessentwicklung	15 Mio. €
<b>6. Tank (Drucktank, LH<sub>2</sub>, LOHC, Metallhydrid etc.)</b>	
Entwicklung	110 Mio. €
Prozessentwicklung	40 Mio. €
<b>7. Robotische Tanksysteme</b>	
	60 Mio. €

## Meilensteine

M1: **KPI bis 2025**M2: **KPI bis 2030****Marktaktivierung**

Nur durch die Schaffung der Möglichkeit des Aufbaus einer großskaligen Fertigung in Deutschland werden Stacks und Brennstoffzellensysteme international wettbewerbsfähig hergestellt werden können. Die hierfür erforderlichen Fertigungsverfahren müssen unter Großserienbedingungen erprobt und entwickelt werden. Projekte wie HyFaB, die Brennstoffzellen-Forschungsfabrik in Ulm/Freiburg, stellen hierfür einen wichtigen Ansatz dar, wobei die dort gewonnenen Erkenntnisse für den Aufbau einer wettbewerbsfähigen Brennstoffzellenindustrie möglichst breit genutzt werden sollten. Damit dies gelingt, ist eine enge Einbindung des in Deutschland vorhandenen fertigungstechnischen Know-hows anzustreben.

**Meilensteine**

Den Meilensteinen M1: 2025 und M2: 2030 können für die verschiedenen Komponenten und Systeme folgende Key Performance Indicators (KPI) zugeordnet werden:

**1) KPI bis 2025**

- ☒ PEM-Brennstoffstellen-Modul: Fertigungskosten <400 €/kW, Verfügbarkeit von 98%
- ☒ PEM-Brennstoffzellen-Stack: Fertigungskosten <60 €/kW, Lebensdauer >25.000 Stunden, Betriebstemperatur von 95 °C, Produktionsgeschwindigkeit: >50.000 Stacks pro Jahr und Anlage (300 bis 400 Zellen)
- ☒ PEM-Zelle: Leistungsdichte von 1,2 W/cm<sup>2</sup> bei 675 mV, Platin-Beladung <0,35 g/kW
- ☒ SOFC (inklusive BoP): Kosten von weniger als 5.000 €/kW
- ☒ Wasserstofftank: Fertigungskosten 400 €/kg H<sub>2</sub>, gravimetrische Kapazität von 6,5%, Optimierung Einbauraum: 50 l @ 350 bar; 40 l @ 700 bar

**2) KPI bis 2030**

- ☒ PEM-Brennstoffstellen-Modul: Fertigungskosten <200 €/kW, Verfügbarkeit von 98%
- ☒ Brennstoffzellen-Stack: Fertigungskosten <40 €/kW, Lebensdauer >35.000 Stunden, Betriebstemperatur >100 °C
- ☒ PEM-Zelle: Leistungsdichte von 1,2 W/cm<sup>2</sup> bei 700 mV, Platin-Beladung <0,3 g/kW
- ☒ SOFC (inklusive BoP): Kosten von 3.500 €/kW (<5 kW) bzw. 2.500 €/kW (>5 kW);
- ☒ Wasserstofftank: Fertigungskosten <300 €/kg H<sub>2</sub>, gravimetrische Kapazität von 7%, Optimierung Einbauraum: 55 l @ 350 bar; 45 l @ 700 bar

# Wasserstoffbereitstellung

Der Erfolg der Mobilität hängt unmittelbar von den Betriebskosten und damit vom zukünftigen Preis für grünen Wasserstoff ab. Die Kosten von Fahrzeugen und Tankstellen werden in den nächsten Jahren durch Skaleneffekte und Industrialisierung ein Niveau erreichen, durch das sie erfolgreich am Markt bestehen können. Die Herstellungskosten von grünem Wasserstoff sind durch zwei wesentliche Faktoren bestimmt: die Kosten für grünen Strom und den Invest für die Wasserstoffproduktionsanlage (Elektrolyse). Dominierend sind hier die Kosten für den Grünstrombezug. Es ist daher essenziell, dass bei erneuerbaren Energien

- ⋮ die Produktionskosten weiter gesenkt,
- ⋮ ausreichende Mengen zur Verfügung gestellt und
- ⋮ Umlagen und Abgaben auf den Bezug von Grünstrom gesenkt bzw. gestrichen werden.

Zusätzlich müssen die Investitions- und Betriebskosten für Elektrolyse-Anlagen weiter gesenkt werden.

Zudem müssen unterschiedliche Produktionsstandorte, die Transportlogistik, die Speicherung, die Verteilung zu den Tankstellen und zu erwartende Abgaben/Steuern berücksichtigt werden.

Die derzeit knappen Ressourcen bezüglich der flächendeckenden Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff stellen daher auch für den Hochlauf von Brennstoffzellen-Anwendungen eine wesentliche Herausforderung dar. Eine weitere Hürde ist der derzeit noch hohe Preis von grünem Wasserstoff. Für die Verfügbarkeit und den Preis von grünem Wasserstoff gibt es jedoch bei entsprechender Skalierung positive Signale. Daher ist es unbedingt notwendig, den Ausbau von Erzeugungskapazitäten und einer entsprechenden Verteillogistik voranzutreiben. Technologieoffenheit spielt dabei nicht nur bei den Brennstoffzellentechno-

logien, sondern auch bei den Herstellungsverfahren eine gewisse Rolle.

Zukünftige Energiebedarfe der verschiedenen Sektoren müssen mit den Erzeugungskapazitäten abgeglichen und daraus muss abgeleitet werden, wie Wasserstoff in den Sektoren (z. B. der Mobilität) helfen kann, die Klimaziele zu erreichen und die Versorgungssicherheit bei erneuerbaren Energien zu gewährleisten.

Im Hinblick auf den Mobilitätssektor sind im Kontext der Wasserstoffbereitstellung folgende Aspekte von besonderer Bedeutung:

- 1) Bereitstellung von flüssigem Wasserstoff für Lkws sowie für den Luftverkehr unter Einbeziehung der Faktoren:**
  - ⋮ Zentrale und dezentrale Verflüssigungsanlagen
  - ⋮ Verladung
  - ⋮ Transport zur Tankstelle
  - ⋮ Tankstellentechnologien
  - ⋮ Tankstellenbau
- 2) Bereitstellung von gasförmigem Wasserstoff für Straßen- und Schienenanwendungen sowie die Intralogistik und stationäre Systeme unter Einbeziehung der Faktoren:**
  - ⋮ Verladung an Produktionsstätten
  - ⋮ Transport zur Tankstelle
  - ⋮ Weiterentwicklung der Kompressoren-Technologie
  - ⋮ Tankstellenbau
- 3) Bereitstellung von gasförmigem Wasserstoff für die Binnenschifffahrt:**
  - ⋮ Tankstelle/Tankstellenkonzepte
- 4) Bereitstellung von aus Wasserstoff gewonnenen Flüssigbrennstoffen für die Luftfahrt:**
  - ⋮ Anlagen zur Herstellung

# Regulations, Codes and Standards

Regulations, Codes and Standards (RCS) sind von zentraler strategischer Bedeutung für die deutsche Wirtschaft. Das Thema wird explizit in der Nationalen Wasserstoffstrategie in Maßnahme 13 und 30 behandelt, ist aber übergreifend auch für viele weitere aufgeführte Maßnahmen von Bedeutung. Jeder Hersteller, der seine Produkte auf den nationalen und vor allem auf den internationalen Markt bringen möchte, muss sich mit der diesbezüglichen Normung und Regelsetzung beschäftigen.

Insbesondere exportorientierte Länder bzw. Länder mit hohen Fertigungsanteilen in anderen Ländern oder Weltregionen (z. B. China) müssen ein elementares Interesse an diesem Thema haben – und zwar nicht nur hinsichtlich der Normung, sondern auch bezüglich der Regulatorik (was in China sogar oftmals zusammenfällt). Deutschland fällt hier jeden Tag weiter zurück, da die USA, Japan, Korea, Frankreich und China die Teilnahme an Gremiensitzungen im Bereich der Regulatorik (UNECE, UNGTR) und Normung (ISO, IEC, CEN, CENELEC) staatlicherseits finanzieren.

Über die letzten mehr als 20 Jahre hat sich die deutsche Wirtschaft in Bezug auf Wasserstoff und Brennstoffzelle aus den internationalen Aktivitäten zu RCS oftmals herausgehalten bzw. nur selektiv teilgenommen. Im Wesentlichen wurden die Aktivitäten von Forschungsinstituten und engagierten Einzelakteuren betreut, seit etwa drei Jahren auch vermehrt durch die NOW.

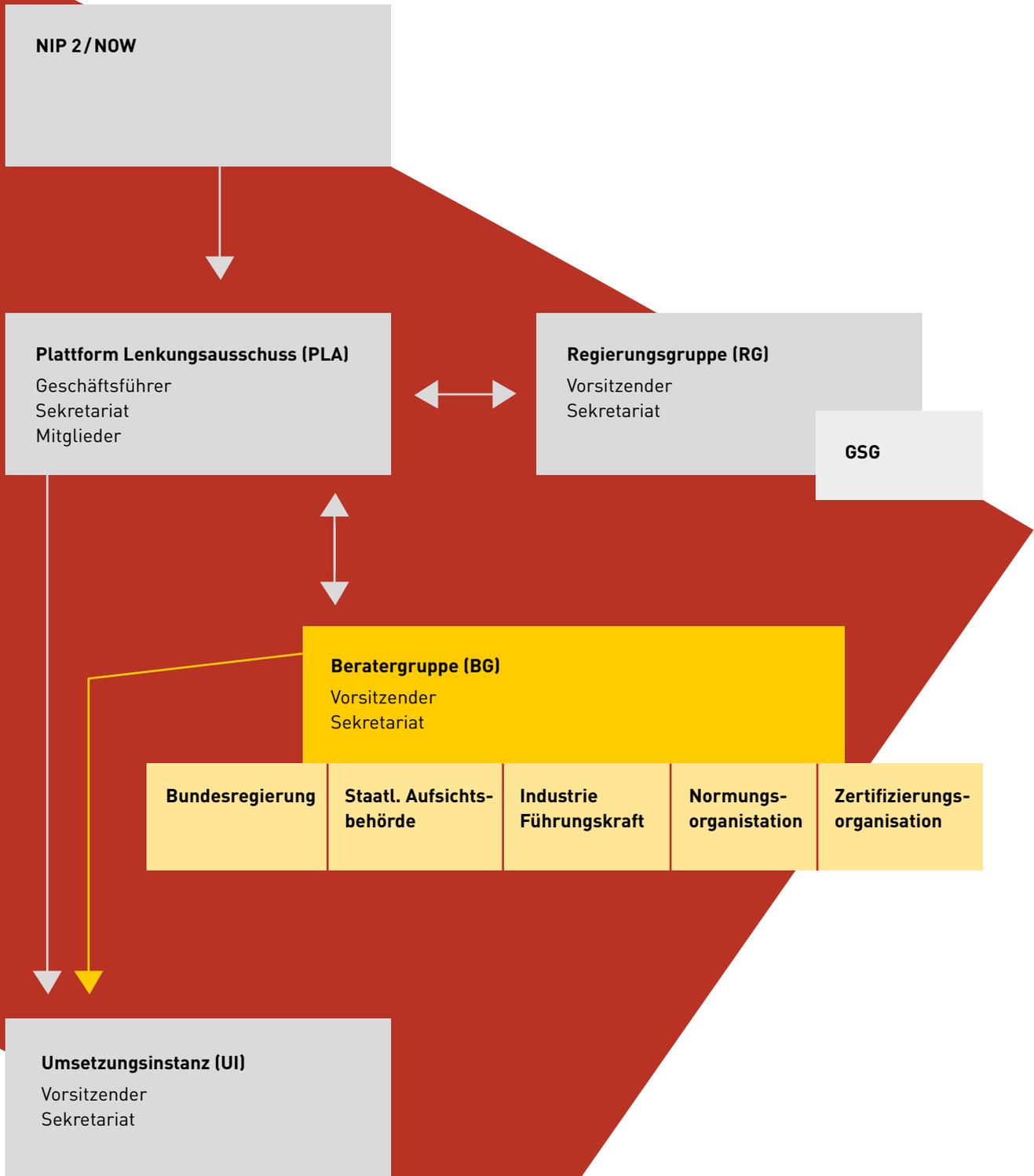
Die mangelnde Beteiligung ist umso bedenklicher, als in Europa oft Richtlinien und Verordnungen (hoheitliche Aufgabe) erlassen werden, die sich auf Normen (Arbeit wird von privaten Experten erbracht) stützen (Beispiel: AFID 2014/94/EU), die gar nicht zu diesem Zweck geschrieben wurden.

Als wesentliche Maßnahme zur Steigerung der Partizipation deutscher Akteure und des Wissenstransfers wird die Etablierung einer H<sub>2</sub>-RCS-Plattform empfohlen. Ihre koordinative Umsetzung durch die NOW soll dabei durch folgende Maßnahmen erfolgen:

- ❖ **Beobachtung (internationaler) Entwicklungen und Trends**
- ❖ **Erarbeitung eines zielgerichteten RCS-Austauschkonzepts zu markteinführungsrelevanten Handlungsfeldern (als Beispiele für Straßenmobilität: Tanks, Ventile, Brennstoffzellen und Brennstoffzellensysteme sowie diesbezügliche Test- und Prüfanforderungen)**
- ❖ **Regelmäßige Abstimmung mit den Akteuren zu einer gemeinsamen deutschen Position sowie Entwicklung einer einheitlichen europäischen Position**
- ❖ **Teilnahme an europäischen und internationalen Regelwerks- und Normentwicklungen (Gremienarbeit)**
- ❖ **Aufbau und Erhalt von internationalen Koalitionen zur zielgerichteten RCS-Beeinflussung mit dem Fokus auf nationale Relevanz**
- ❖ **Aufbau einer Online-Plattform zum RCS-Revisionsmanagement für nationale Akteure**
- ❖ **Erarbeitung und Pflege eines RCS-Aktionsplans**

Eine Struktur für die H<sub>2</sub>-RCS-Plattform wurde bereits im Rahmen einer Beauftragung erarbeitet und gliedert sich in vier wesentliche Akteursgruppen: 1) den Plattform-Lenkungsausschuss, 2) die Regierungsgruppe, 3) eine Beratergruppe sowie 4) eine Umsetzungsinstanz (siehe Abbildung 1: NOW H<sub>2</sub>-RCS-Plattform).

Abbildung 1: H<sub>2</sub>-RCS-Plattform



## Meilensteine

M1: 2023 – RCS-Plattform  
einsatzbereit

Aufgrund der aktuellen Personalkapazität bei der NOW ist in dieser Einrichtungs- und Implementierungsphase externe Unterstützung durch RCS-Experten erforderlich. Für diese Unterstützung ist eine zu beauftragende externe Kerngruppe vorgesehen mit einem identifizierten Budget von 585.000 € über zwei Jahre (292.500 €/a). Um erfolgreich zu sein und nicht weiteren Zeitverzug zu riskieren, sollte dieses Budget gleichmäßig über beide Jahre verteilt sein.

Für die Unterstützung deutscher Akteure zur Teilnahme an nationalen und internationalen Normungs- und Regelwerksaktivitäten ist für diese ersten beiden Jahre ein Budget von 4 Mio. € über zwei Jahre einzuplanen (2 Mio. €/a). Die Mittel sollten nicht als Förderung, sondern als Dienstleistungsaufträge für die Experten, die die Plattform aufbauen und in Betrieb nehmen, und als nicht rückzahlbare Zuschüsse für die KMU und kleinen Industrieunternehmen bereitgestellt werden – und dies möglichst unbürokratisch. Ein noch festzulegendes Budget für die finanzielle Unterstützung der Teilnahme von KMU und kleinen Industrieunternehmen an RCS-Gremienarbeiten wird aller Wahrscheinlichkeit nach auch in den Folgejahren nach 2023 weiterhin erforderlich sein.

In Anbetracht des bereits aufgelaufenen Zeitverzugs und der dramatisch zugenommenen RCS-Aktivitäten in China, insbesondere was die technische Normung und Regelsetzung (z. B. auch über rechtsverbindliche GB-Normen) angeht, wird mit geringerem Mitteleinsatz nur wenig zu bewegen sein. Der Aufbau der Plattform sollte – da bereits jetzt drei Jahre verspätet – spätestens im 2. Halbjahr 2021 beginnen und bis spätestens im Sommer 2023 abgeschlossen sein.

Für den Aufbau der RCS-Plattform und die Teilnahme an nationalen und internationalen Normungs- und Regelwerksaktivitäten ist damit zuerst einmal ein Budget von insgesamt maximal 16 Mio. € bis 2026 einzuplanen.

# Ausbildung

Derzeit herrscht großes Interesse an Wasserstoff- und Brennstoffzellenthemen seitens der Industrie (Maschinen- und Anlagenbau, Systemintegratoren, Prüfmittelhersteller etc.), aber auch sehr wenig Wissen dazu. Die Fragen sind teils technischer (Materialverträglichkeit, Einsatzfähigkeit bestehender Komponenten, Aufbau von Brennstoffzellen, Elektrolyseure, Reinheitsanforderungen etc.), teils regulatorischer Natur (welche Vorschriften und Normen gibt es, welche administrativen Verfahrenswege müssen zur Errichtung einer Anlage gegangen werden etc.). Das Thema ist explizit in der Nationalen Wasserstoffstrategie als Maßnahme 29 verankert. Bislang wurde die Aus- und Weiterbildung zu Wasserstoff und Brennstoffzelle im NIP (BMVI und BMWi) bearbeitet. Grundsätzlich ist Aus- und Weiterbildung Thema der Bundesländer und des BMBF.

Konkret besteht zunehmender Schulungsbedarf zu den Themen:

- ⋮ Rolle von Wasserstoff im Energiesystem und als Kraftstoff
  - ⋮ Wasserstoffwirtschaft inklusive möglicher Geschäftsmodelle
  - ⋮ Eigenschaften und Handhabung von Wasserstoff: im betrieblichen Umfeld, für Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten, für die Auslegung von Wasserstoffanlagen
  - ⋮ Wasserstoffherstellung und zugehörige Energieaufwände
  - ⋮ Wasserstoffinfrastruktur, -transport und -speicherung
  - ⋮ Wasserstoffsicherheit: Eingliederung in existierende Regelwerke (Druckgeräte, Druckbehälter, Explosionsschutz etc.), Auslegung und Zulassung von Anlagen, Druckbehälter, Rohrleitungen, tiefkalte Flüssigkeiten
  - ⋮ Wasserelektrolyse: Verfahren, Grundlagen und Funktion, Systemintegration, Modellierung
  - ⋮ Brennstoffzellen: Grundlagen und Funktion, Systemintegration, Modellierung
  - ⋮ Produktbezogene Qualifikation
  - ⋮ Auslegung Gesamtantriebsstrang und Wechselwirkung zwischen Batterie und Brennstoffzelle
- Die adressierten Themen werden dabei auf verschiedenen Qualifikationsstufen nachgefragt:
- ⋮ Firmen und Großkonzerne
  - ⋮ Allgemeinwissen
  - ⋮ Politik
  - ⋮ Behörden
  - ⋮ Schulen/Lehrer (frühzeitige Einbindung von Wasserstoffthemen in den Unterricht, Förderung von Praktika und speziell von „Jugend forscht“ für Wasserstoff“, um Hemmnisse abzubauen und Interesse zu wecken)
  - ⋮ Praktischer Umgang, Handwerker, Techniker (hier muss ein großer Schwerpunkt liegen)
  - ⋮ Schulung von Feuerwehren
  - ⋮ Fachingenieure, Wissenschaft

## Meilensteine

- M1: **2022 – Informationsportal verfügbar**
- M2: **2022 – Behördenleitfaden verfügbar**
- M3: **2023 – Profile für Fachkräfte für festgelegte Tätigkeiten verfügbar**
- M4: **2024 – Ertüchtigung bestehender und Einrichtung neuer Bildungsstätten abgeschlossen**

Es werden daher folgende Maßnahmen im Bereich der Ausbildung empfohlen:

**1) Erarbeitung von Schulungsangeboten und Schulungsunterlagen**

- ⋮ Erstellen eines Portals, in dem existierende Schulungs- und Qualifikationsangebote entsprechend den Qualifikationsstufen abrufbar sind; Hinweis auf existierende Medien und Lückenanalyse, was an Angeboten fehlt; Erarbeiten von Informations- und Lehrmaterialien; Erstellung und Aktualisierung von Leitfäden

**2) Erarbeiten eines Behördenleitfadens**

**3) Erarbeiten von Qualifikationsanforderungen für Arbeiten mit Wasserstoff / Brennstoffzellen / Elektrolyse**

- ⋮ Erhebung des Branchenbedarfs. Der Umgang mit wasserstoffführenden Anlagen erfordert häufig Kenntnisse aus verschiedenen Branchen, zum Beispiel Gasanlagen, Gasgeräte, Druckbehälter, Druckgeräte, Elektroanlagen etc., woraus Qualifikationsprofile abgeleitet und entsprechend Aus- und Weiterbildungsangebote entwickelt und

umgesetzt werden sollten – beispielsweise für Fachkräfte für festgelegte Tätigkeiten in wasserstoffführenden Anlagen und Implementierung in vorhandene Ausbildungsberufe.

**4) Ertüchtigung existierender und Schaffung neuer Weiterbildungsstätten**

- ⋮ Bereitstellung von Anschauungsobjekten, Ausstattung von Werkstätten/Labors, Angebot von Kursen auf Basis der Qualifikationsanforderungen (siehe oben)

Für den Bereich Ausbildung sollten 30 Mio. € öffentlicher Mittel zur Einrichtung bzw. Ertüchtigung und Ausstattung von Bildungsstätten sowie zur Erarbeitung von Inhalten und Qualifikationsanforderungen bereitgestellt werden. Diese Fördermittel können durch 10 Mio. € private Mittel (z. B. Bereitstellung von Produkten) ergänzt werden.

# Umsetzung „aus einem Guss“ fortsetzen

Die Vielfalt und Komplexität der Maßnahmen von Industrie, Wissenschaft, Bundesregierung und Ländern zur Fortsetzung des NIP erfordern eine ganzheitliche Koordination.

Die Strukturen der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) mit den beteiligten Gremien haben sich hierfür gut bewährt. Hervorzuheben ist die für die NOW wichtige und funktionierende Kooperation mit den beteiligten Ministerien (BMVI, BMWi, BMBF, BMUB), mit den Ländern und mit der EU, durch die Doppelungen bei der Förderung aus unterschiedlichen „Töpfen“ vermieden werden und damit eine effektive Mittelverwendung sichergestellt wird.

Die NOW hat sich als neutrale Plattform in der Branche national und international bewährt; sie bündelt an der Schnittstelle zwischen den Akteuren die relevanten Themen für schnelle und sachgerechte Entscheidungen. Die Vernetzung der Branche zum Austausch der Erkenntnisse aus den Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsmaßnahmen sowie die Begleitung der Marktaktivierung zur Überprüfung der Fortschritte und der Meilensteine stellen einen notwendigen Mehrwert auch für die zukünftige Programmumsetzung dar. Im Einzelnen sollte das Aufgabenportfolio der NOW insbesondere folgende Punkte umfassen:

- ❖ **Programmatische Bewertung von Ideenskizzen im Rahmen eines zweistufigen Antragsprozesses**
- ❖ **Koordination und Begleitung der oben beschriebenen Förderinstrumente; Monitoring der Meilensteine in den einzelnen Anwendungssektoren, aber Abwicklung über bekannte Projektträger**

- ❖ **Zeitliche und funktionelle Harmonisierung bei der Entwicklung von Wasserstoff-/Brennstoffzellensystemen und dem Aufbau der erforderlichen (Wasserstoff-)Infrastrukturen**
- ❖ **Schnittstelle und Moderator zwischen den Industriebranchen, den Verbänden und der öffentlichen Hand in Bezug auf die den Markthochlauf flankierenden Rahmenbedingungen**
- ❖ **Gezielte Vernetzung der Akteure unter anderem zur Etablierung einer deutschen Wertschöpfungskette**
- ❖ **Unterstützung bei der Identifikation von Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Nutzergruppen**
- ❖ **Initiierung und Koordination branchenübergreifender Themen wie zum Beispiel einer deutschen Technologie-Roadmap mit dem Ziel, Synergien zu nutzen**
- ❖ **Abstimmung auf europäischer und internationaler Ebene im Hinblick auf eine zielführende Roadmap für Wasserstoff und Brennstoffzellen und deren Umsetzung in entsprechenden Programmen**

Die gute Zusammenarbeit mit den Projektträgern des Bundes sollte auf Basis der vorliegenden Evaluationsergebnisse und der Erfahrungen aus der bisherigen Praxis weiter verbessert werden.

Das NIP soll insgesamt mindestens bis 2026 fortgesetzt werden, wobei die einzelnen Maßnahmen eigenständige Zeithorizonte haben, das heißt, nicht alle Bereiche sind gleichzeitig auf eine Förderung angewiesen. Dadurch ist eine flexible Gestaltung der Fördermaßnahmen und ihrer zeitlichen Staffelung und konkreten Verfügbarkeit möglich.

# Impressum

Ein Papier von Industrie- und Wissenschaftsvertretern  
der Wasserstoff- und Brennstoffzellenbranche im  
Beirat der NOW GmbH

Stand: Oktober 2021

## Herausgeber

NOW GmbH  
Nationale Organisation Wasserstoff-  
und Brennstoffzellentechnologie  
Fasanenstraße 5  
10623 Berlin

## Gestaltung

kursiv Kommunikationsdesign | Katrin Schek  
Peter Frey, Angela Köntje

## Copyright

Die Nutzungsrechte liegen bei NOW GmbH und  
den Autoren.



