

A background image showing several clear, spherical water bubbles of various sizes against a light blue gradient background. The bubbles are in focus, with some overlapping, creating a sense of depth and movement.

BAYERISCHE
**WASSERSTOFF-
STRATEGIE**

EINLEITUNG	3
BEDEUTUNG UND POTENTIALE VON WASSERSTOFF	5
STATUS QUO, HERAUSFORDERUNGEN UND MARKTENTWICKLUNG	9
REGULATORISCHER RAHMEN FÜR EINE KÜNFTIGE WASSERSTOFFWIRTSCHAFT	17
ZIELE EINER NACHHALTIGEN WASSERSTOFFWIRTSCHAFT	21
DER BAYERISCHE WEG IN EINE ERFOLGREICHE WASSERSTOFF- WIRTSCHAFT – UMSETZUNGSSCHRITTE	25
ANHANG	29

➤ EINLEITUNG

Um unsere Klimaziele zu erreichen, brauchen wir die Energie- und Mobilitätswende. Bayern setzt hier auf innovative Technologien. Wasserstoff kommt dabei als Energieträger der Zukunft eine besondere Rolle zu. Er kann die Brücke zwischen den Bereichen Energie, Verkehr, Industrie und Wärme schlagen, lässt sich flexibel und emissionsfrei nutzen, ist gleichzeitig gut transportierbar und lagerfähig. Bayern soll in den Anwendungsfeldern von Wasserstoff weltweit eine technologische Vorreiterrolle einnehmen. H₂ bedeutet neue Wertschöpfungspotentiale und nachhaltige Geschäftsmodelle für die bayerische Wirtschaft in vielen Bereichen. Klimaschutz ist dabei kein Hindernis, sondern Chance.

Bayern muss dabei auf seine vorhandenen Stärken setzen und weitere Kompetenzen entlang der bestehenden und zu erwartenden Wertschöpfungsketten in der Wasserstoffwirtschaft aufbauen. Gerade für die Entwicklung systemischer Lösungen für Wasserstoff-Anwendungen bietet der Freistaat mit seiner Ingenieurskunst und seiner Industriestärke beste Voraussetzungen – von der Erzeugung über die Speicherung und Logistik bis hin zur Anwendung z.B. im Mobilitätsbereich und in der Industrie.

Allerdings wird der zur Herstellung von grünem Wasserstoff benötigte Strom aus erneuerbaren Energien nicht allein in Bayern erzeugt werden können. Aufgrund der natürlichen Rahmenbedingungen haben andere Regionen in Deutschland und in der Welt hier günstigere Ausgangsbedingungen, etwa durch das Aufstellen von Offshore-Windparks in Küstengewässern oder den Bau großflächiger Photovoltaikanlagen in sonnenstarken und dünn besiedelten Regionen. Die Arbeitsteilung wird lauten: Bayern entwickelt die weltweit führenden Wasserstofftechnologien und unsere künftigen Partner nutzen sie für die Erzeugung, den Transport und die Verwendung von grünem Wasserstoff. „Made in Bavaria“ soll zum H₂-Gütesiegel werden.

Angesichts der weitreichenden wirtschaftlichen Folgen der Corona-Pandemie werden Wasserstofftechnologien auch eine wichtige Perspektive zur langfristigen wirtschaftlichen Stärkung in Bayern geben. Unser Ziel ist deshalb: Mit Wasserstoff und unserer bayerischen Innovationskraft Wohlstand sichern und zugleich den Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energieträger in unserer Heimat und international voranbringen.

Bayern hat bereits im vergangenen Jahr wichtige Weichenstellungen vorgenommen: Im September 2019 wurde das Zentrum Wasserstoff.Bayern (H₂.B) und das Bayerische Wasserstoffbündnis mit mittlerweile über 30 Partnern aus Wirtschaft, Wissenschaft, Kommunen und Verbänden ins Leben gerufen. Damit verfügt der Freistaat über ein schlagkräftiges Netzwerk, das stetig wächst und die Wasserstoffwirtschaft vorantreibt. Gemeinsam mit einer Reihe

innovativer Forschungsprojekte und mittlerweile sechs vom Bund geförderten Wasserstoffregionen zeigt das schon heute: Bayern ist bereit für die Wasserstoffwirtschaft.

Die nun vorliegende Wasserstoffstrategie definiert aufbauend auf dem Erreichten klare Ziele und konkrete Maßnahmen, um Bayern an der Spitze des globalen Wettbewerbs um die besten technologischen Lösungen zu positionieren. Das heißt: Forschung und Entwicklung vorantreiben, Infrastruktur ausbauen sowie Wasserstoff vom Verkehr bis zur Industrie in die breite Anwendung bringen und für alle erlebbar machen. Das ist der Bayerische Weg in eine erfolgreiche Wasserstoffwirtschaft.

➤ BEDEUTUNG UND POTENTIALE VON WASSERSTOFF

Die globale Herausforderung zur Begrenzung der Erderwärmung auf unter 2 Grad erfordert eine möglichst weitgehende Substitution fossiler Energieträger. Auf Basis erneuerbarer Energien erzeugter Wasserstoff (sog. grüner Wasserstoff) wird dabei eine der tragenden Säulen des zukünftigen nachhaltigen Energiesystems. Bayern ist sich der damit verbundenen Chancen und Herausforderungen bewusst und adressiert diese in der vorliegenden Wasserstoffstrategie. Bayern soll führender Standort für Wasserstofftechnologien werden.



➤ WASSERSTOFF IST EIN WACHSTUMSMARKT

Derzeit kommt Wasserstoff vor allem als Rohstoff in der chemischen Industrie für die Produktion von Methanol und Ammoniak sowie bei der Raffinierung konventioneller Kraftstoffe zum Einsatz. Der weltweite Bedarf liegt im Jahr 2020 bei ca. 2800 TWh_{H₂} [1], in Deutschland bei ca. 55 TWh_{H₂} [2], wobei dieser derzeit nahezu ausschließlich auf Basis fossiler Kohlenwasserstoffe gedeckt wird. Die Elektrolyse von Wasser trägt aktuell weniger als 0,1 % zur Wasserstoffproduktion bei [3]. Prognosen gehen von einer perspektivischen Steigerung des weltweiten Bedarfs um den Faktor acht bis zum Jahr 2050 aus [1]. Dazu trägt vor allem die wichtige Rolle von Wasserstoff im Rahmen der Sektorkopplung bei. Der bayerische Wasserstoffbedarf kann überschlägig auf eine Größenordnung von 60 bis 100 TWh in 2050 abgeschätzt werden (erforderliche Elektrolyseleistung 21 bis 36 GW, ganz überwiegend außerhalb Bayerns).



➤ WASSERSTOFF VERBINDET SEKTOREN

Wasserstoff wird als zentrales Schlüsselement der Sektorkopplung zukünftig elektrische Energie, Verkehr, Wärme und industrielle Produktion verbinden. So können erneuerbare Energien auch in Sektoren Einzug finden, die sich nicht oder nur sehr schwer direkt elektrifizieren lassen. Dazu zählt neben dem Schwerlast-, Schiffs- und Flugverkehr beispielsweise auch die Stahlindustrie. Im Verkehrssektor kommen neben der direkten Verstromung in Brennstoffzellen auch die Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen auf Wasserstoffbasis in Frage, da sich diese flüssigen Kraftstoffe auch mittelfristig im Flug- und Schiffsverkehr nicht substituieren lassen [4]. Beiden Lösungen gemeinsam sind die erzielbaren hohen Reichweiten und kurzen Betankungsdauern. Wasserstoff ergänzt

damit bedarfsgerecht die batterieelektrische Mobilität, bietet Lösungen zur (chemischen) Speicherung von Energie und hilft so Abweichungen von regenerativer Stromerzeugung und Nachfrage zu synchronisieren.



WASSERSTOFF ERMÖGLICHT DIE SPEICHERUNG UND DEN TRANSPORT ERNEUERBARER ENERGIE IN GROSSEN MENGEN

Die für die Jahre 2030 und 2050 definierten Klimaziele erfordern eine schrittweise Transformation aller Sektoren. Deutschland verfügt dabei nicht über die erneuerbaren Erzeugungskapazitäten zur Deckung des eigenen Bedarfs. Wasserstoff bietet eine weitere Möglichkeit, um den Transport und den Import erneuerbar erzeugter Energieträger auf Basis bestehender Infrastrukturen zu verbessern. Gleichzeitig ist Wasserstoff (inkl. Folgeprodukte) die vielversprechendste Möglichkeit, um erneuerbare Energie in großen Mengen und über lange Zeiträume (saisonal) zu speichern. Damit kann die zeitlich und räumlich unterschiedlich anfallende volatile Stromerzeugung und -nachfrage synchronisiert werden.



WASSERSTOFF BIETET WERTSCHÖPFUNGSPOTENTIALE

Um den steigenden Bedarf nachhaltig decken zu können, muss möglichst frühzeitig die gesamte Wasserstoff-Produktion auf grünen (CO₂-freien) Wasserstoff umgestellt werden. Davon profitieren einerseits Erzeugungsregionen, welche von günstigen natürlichen Bedingungen für die regenerative Stromerzeugung geprägt sind, andererseits Regionen, aus denen die Technologien und Schlüsselkomponenten geliefert werden. Bayerns Technologieführerschaft im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Automobil- und Zulieferindustrie bietet beste Voraussetzungen, um diesen Vorsprung auch in den Bereich der Wasserstoffherzeugung und -speicherung zu übertragen und Bayern damit zu einem Profiteur des Wandels hin zur Wasserstoffwirtschaft werden zu lassen. Eine globale Wasserstoffwirtschaft bietet heimische Wertschöpfungspotentiale, wirtschaftliches Wachstum und zukunftsfähige Arbeitsplätze. Studien beziffern die mögliche Wertschöpfung für deutsche Hersteller von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen auf etwa 10 Mrd. Euro in 2030 und 32 Mrd. Euro in 2050 [5]. Eine vergleichbare Größenordnung zeigt die Umsatzprognose der Fuel Cell and Hydrogen Roadmap [6] sowie die gemeinsame Analyse von frontier economics und dem Institut der deutschen Wirtschaft [7]. Unterstellt man den gleichen Anteil Bayerns wie im verarbeitenden Gewerbe, ergäbe dies einen bayerischen Wertschöpfungsanteil von etwa 2,3 Mrd. Euro in 2030 und rund 7,2 Mrd. Euro in 2050. Schätzungen über damit einhergehende Beschäftigungseffekte gehen von rund 70.000 neuen

Arbeitsplätzen in Deutschland bis 2030 aus [8]. Legt man überschlagsweise den Anteil Bayerns an den bundesweiten Industriebeschäftigten zugrunde, würde dies bis zu 15.000 zusätzliche Arbeitsplätze in der bayerischen Wasserstoffwirtschaft in 2030 entsprechen [9]. Eine ähnliche Größenordnung zeigt eine aktuelle Potentialstudie für Baden-Württemberg [10]. Derartige Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotentiale geben eine positive Perspektive zur langfristig strukturellen Stärkung der bayerischen Industrie in Zeiten des Wandels. Die bayerische Wasserstoffstrategie ist daher ein wichtiges Signal für den Wirtschaftsstandort Bayern.

➤ STATUS QUO, HERAUSFORDERUNGEN UND MARKTENTWICKLUNG

Bayern hat den Weg in Richtung Wasserstoffwirtschaft bereits eingeschlagen. Im Rahmen der außeruniversitären Energieforschung werden eine Vielzahl innovativer Forschungsprojekte unterstützt (vgl. Anlage). Dies umfasst beispielsweise die Kostensenkung bei Elektrolyseuren durch neue anionische Membranen (Projekt „Ani-Mem“), die Entwicklung leistungsfähigerer Brennstoffzellen für schwere Fahrzeuge (Projekt „HyRunCell“), die Herstellung von Wasserstoff aus Rest- und Abfallstoffen (Projekt „BioH2“), neuartige Speicher- und Betankungssysteme für die Belieferung von Wasserstoff-Tankstellen (Projekt „H2SEKTOR“) sowie die Speicherung von Wasserstoff in flüssigen organischen Wasserstoffträgern (Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC) in Verbindung mit der Entwicklung innovativer LOHC-Brennstoffzellensysteme am Beispiel des Schienenfahrzeugbereichs.

Ferner gibt es sechs bayerische „HyLand-Wasserstoffregionen“ die im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP) bei der Ausgestaltung und Umsetzung ihrer Wasserstoff-Aktivitäten unterstützt werden und die Wasserstofftechnologien praktisch anwenden und auch die Bürger entsprechend informieren (vgl. Anlage).

Mit der Gründung des Wasserstoffzentrums Bayern (H2.B, www.h2.bayern) im September 2019 in Nürnberg wurde eine zentrale Koordinierungsstelle für alle relevanten Akteure in Bayern geschaffen, die im Austausch mit Initiativen auf Landes- und Bundesebene steht, Demonstrationsprojekte initiiert und über Öffentlichkeitsarbeit Wasserstofftechnologien den Kommunen und Bürgerinnen und Bürgern näherbringt. Zeitgleich wurde ein breites Wasserstoffbündnis Bayern mit über 30 namhaften bayerischen Industriepartnern ins Leben gerufen, das die Aktivitäten des H2.B eng begleitet und unterstützt (vgl. Anlage). Der vom H2.B gestartete Strategieprozess unter Einbindung aller Partner des Wasserstoffbündnisses war zudem eine wichtige Grundlage für die Ausgestaltung der bayerischen Wasserstoffstrategie.

Die Wasserstoffstrategie Bayern setzt auf eine ganzheitliche Analyse im globalen Kontext und leitet sich von den langfristig gesetzten Klimazielen in 2030/2050 ab. Daher wird die gesamte Wasserstoff-Wertschöpfungskette in den Blick genommen, von der Wasserstoff-Erzeugung, über die Speicherung und Logistik bis hin zur Nutzung des Wasserstoffs in künftigen Anwendungsbereichen.



WASSERSTOFF-ERZEUGUNG

Wasserstoff wird derzeit überwiegend in Raffinerien und Chemie-parks vor Ort aus Erdgas mittels Dampfreformierung erzeugt und zur Produktion von Ammoniak und Methanol sowie zur Raffinierung von Erdöl eingesetzt. Bei der Transformation zu einem nachhaltigen Energiesystem ist der Aufbau weitaus höherer erneuerbarer Erzeugungskapazitäten erforderlich. Grundsätzlich variieren die Erzeugungskosten für grünen Wasserstoff je nach Anlagen-größe, realisierbaren Betriebsstunden und Stromgestehungskosten beträchtlich und liegen derzeit noch deutlich über den Kosten der konventionellen Wasserstofferzeugung (weniger als 2 Euro je kg) [11]. Die Entwicklung der Technologien zur Erzeugung von „grünem“ Wasserstoff in Richtung Wirtschaftlichkeit gewinnt aktuell jedoch stark an Dynamik. Aktuelle Studien gehen von massiv sinkenden Erzeugungskosten in den nächsten 5 bis 10 Jahren aus – von derzeit rund 6 US-Dollar je kg auf 1 bis 1,5 US-Dollar in besonders bevorzugten Regionen der Welt (Chile, Australien, Nordafrika) und auf 2 bis 3 US-Dollar unter global durchschnittlichen Bedingungen (z.B. Nordeuropa/Norddeutschland Offshore) [12]. Treiber dieser Entwicklung sind vor allem Skaleneffekte bei der industriellen Produktion der Elektrolysekomponenten, größere Anlagensysteme und weiter sinkende Gestehungskosten für regenerativ erzeugten Strom.

Langfristig werden sich die Produktionsstandorte für Wasserstoff im globalen Wettbewerb herausbilden. Wasserstoffelektrolyseure werden daher in großem Maßstab in Regionen zum Einsatz kommen, in denen die Stromgestehungskosten durch PV- und Windanlagen bei unter 3 ct/kWh liegen und darüber hinaus Volllaststunden von mehr als 4.000h/Jahr realisiert werden können. Gängige Szenarien gehen daher davon aus, dass Wasserstoff und darauf aufbauende Syntheseprodukte künftig zu einem großen Teil aus globalen Vorzugsregionen mit günstigen Produktionsbedingungen importiert werden [5]. Beispiele für mögliche europäische Herkunftsländer sind Island, Norwegen oder Schottland. Daher sind möglichst frühzeitig entsprechende Energiepartnerschaften vorzubereiten. In Deutschland kommen für die Produktion von grünem Wasserstoff mittels Elektrolyse vor allem die windreichen Küstenregionen im Norden in Frage. Die energiepolitischen Rahmenbedingungen (Abgaben, Umlagen und Steuern) und die daraus resultierenden hohen Strompreise stellen bisher jedoch ein Hemmnis für eine großskalige Wasserstoffproduktion in Deutschland dar. Die Gestehungskosten von Strom aus Photovoltaik sind in den letzten Jahren zwar stark gesunken, dennoch gibt es weder die nötigen Kapazitäten/Flächen, noch lassen die geringen Volllaststunden eine wirtschaftliche Produktion großer Mengen Wasserstoff zu [13].

Obwohl Bayern damit mittel- bis langfristig Importeur von grünem Wasserstoff sein wird, ist auch die Entwicklung eines Heimatmarktes unerlässlich. Dies ermöglicht den Aufbau und die Demonstration von Technologiekompetenz und steigert die Akzeptanz durch

regionale Projekte vor Ort. Eine weitere Möglichkeit, bereits kurzfristig den Markthochlauf von Wasserstofftechnologien zu unterstützen, zielt auf die Verwendung des in der Industrie als Nebenprodukt anfallenden Wasserstoffs, der bisher meist nur thermisch verwertet wird. Perspektivisch bietet sich Bayern zudem als Standort für alternative Wasserstofferzeugungsverfahren wie der Konversion von Biomasse bzw. (Gär-)Rest- und Abfallstoffen an. Dieses innovative Verfahren befindet sich derzeit im Entwicklungsstadium und wird im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojekts mit Landesmitteln unterstützt. Aus Kostensicht vorteilhaft ist hier perspektivisch der Einsatz von Reststoffen ohne Abhängigkeit von günstigen Stromgestehungskosten.



WASSERSTOFFSPEICHERUNG UND -LOGISTIK

Konventionelle Wasserstofferzeuger und -verbraucher fallen bisher überwiegend räumlich zusammen, sodass nur etwa 15 % des weltweit erzeugten Wasserstoffs via Pipelines oder LKWs transportiert wird [3]. Die künftige Erzeugung und Anwendung von grünem Wasserstoff werden jedoch vermehrt zeitlich und räumlich auseinanderfallen. Um diese Lücke zu schließen, ist es für die Versorgung Bayerns mit grünem Wasserstoff aus günstigen Vorzugsregionen von entscheidender Bedeutung, möglichst verlustarme und kostengünstige Speicherungs- und Logistikalösungen umzusetzen. Hierfür muss Wasserstoff entweder gasförmig komprimiert (Druckwasserstoff), durch Abkühlung verflüssigt (kryogener Wasserstoff) oder chemisch gebunden werden, beispielsweise an eine organische Trägerflüssigkeit (sog. Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC). Alle genannten Verfahren sind mit spezifischen Vor- und Nachteilen verbunden. Daher sind künftig etablierte und neue Speicher- und Logistikkonzepte zu optimierten Systemen zu ergänzen. Der Interkontinentaltransport großer Mengen Wasserstoff erfolgt potentiell tiefkalt verflüssigt in Spezialschiffen oder chemisch gebunden in üblichen Tankschiffen. Bisher ist durch die geringen Transportmengen und kurzen Transportwege der Straßentransport von gasförmigem Wasserstoff und kryogenem Wasserstoff üblich. Zukünftig sollten soweit möglich existierende Infrastrukturen (Pipelines, herkömmliche Kraftstoffinfrastruktur für synthetische Kraftstoffe und LOHC) genutzt werden. Bayern unterstützt daher den Dialogprozess Gas 2030 mit dem Ziel, den Transformationsprozess für einen künftigen Wasserstofftransport im deutschen Erdgasnetz rechtzeitig anzustoßen und die Entwicklung von dafür erforderlichen Komponenten und Anwendungen zügig voranzubringen. Dabei ist auch die Erweiterung von bereits lokal bestehenden Wasserstoffnetzen wie auch die Weiterentwicklung der Fernleitungsnetze im europäischen Kontext vorzubereiten. Zum Regulierungsbedarf auf EU-Ebene gehören u.a. eine Klassifizierung gasförmiger Energieträger sowie einheitliche Standards bzgl. der Gasqualität und der Herkunftsnachweise für grünen Wasserstoff. Für einen aus Gesamtsystemsicht sinnvollen Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft müssen Erdgas,

Wasserstoff, Stromnetze und Speicherkapazitäten (Poren- und Kavernenspeicher) zusammen gedacht und aufeinander abgestimmt werden. Hier ist eine Koordinierung beispielsweise durch die Bundesnetzagentur zu prüfen.



WASSERSTOFFANWENDUNG UND -NUTZUNG



Mit einem Anteil von etwa 20 % an den gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland kommt dem Industriesektor eine besondere Bedeutung zum Erreichen der Klimaziele zu. Optionen wie der Einsatz von CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCS) bzw. -Nutzung (CCU) sind nicht zuletzt mit Nachteilen in der Akzeptanz verbunden. Zukünftig kann daher erneuerbar hergestellter Wasserstoff einen erheblichen Beitrag zur Emissionsreduktion in der Industrie leisten. Aufgrund der bereits vorhandenen und künftig signifikant steigenden Wasserstoffnachfrage kann der Industriesektor zum Treiber und Vorreiter einer wachsenden Wasserstoffwirtschaft werden. Besonders große Vermeidungspotentiale bestehen in der Stahlindustrie, bei der rund 7 % der gesamten jährlichen deutschen CO₂-Emissionen anfallen – beispielsweise durch die Umstellung von der Hochofenroute (Verbrennung von Koks im Hochofen zur Reduktion des Sauerstoffgehalts von Eisenerz) auf Wasserstoff als Reduktionsmittel. In einer sog. Direktreduktionsanlage wird das Eisen dabei nicht geschmolzen, sondern über einen nicht-flüssigen Prozess von den Sauerstoffanteilen befreit.

Auch in der Chemieindustrie bietet die schrittweise Substitution konventioneller Wasserstofferzeugung ein erhebliches Emissionsreduktionspotential. Um dieses Potential durch die Umstellung auf strombasierte Verfahren bis 2050 vollständig zu nutzen, sind nach Einschätzung des VCI jedoch über 600 TWh regenerativ erzeugter Strom pro Jahr notwendig, der aus Wettbewerbsgründen zu 4 ct/kWh (Endpreis) zur Verfügung stehen muss [14]. Diese Einschätzung unterstreicht die Notwendigkeit eines künftig forcierten globalen Energieträgerhandels.

Darüber hinaus besteht weiterer Forschungsbedarf, der auch künftig von den Energieforschungsprogrammen auf Bundes- und Länderebene zu adressieren sein wird. Neue Technologien und Produktionsverfahren müssen entwickelt, demonstriert und industrialisiert werden, nicht zuletzt mit Blick auf künftige Exportpotentiale Bayerns. Zudem bedarf es der Überprüfung und Anpassung des regulatorischen Rahmens, um künftig großskalige Industrieinvestitionen anzureizen. Hier ist beispielsweise die pilothafte Einführung sog. Carbon Contracts for Difference zu erproben. Dies soll die Kosten pro Tonne CO₂ ausgleichen, die Unternehmen mit dem Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff vermeiden haben.



Der Verkehrssektor basiert heute überwiegend auf fossilen Energieträgern, auf ihn entfallen aktuell rund 19 % der deutschlandweiten Treibhausgasemissionen. Diese haben sich im Vergleich zu 1990 kaum verändert und auch zukünftig wird mit einem steigenden Verkehrsaufkommen gerechnet. Neue Antriebstechnologien und Kraftstoffe spielen daher eine herausgehobene Rolle für das Erreichen der sektorspezifischen Klimaziele (minus 40 bis 42 % bis 2030 gegenüber dem Basisjahr 1990). Schwere LKW und Sattelzugmaschinen sind für die Hälfte der Emissionen des Straßengüterverkehrs verantwortlich. Dieses Marktsegment bietet sich daher an, Emissionen kurzfristig deutlich zu senken [5]. Für die Transformation des Verkehrsbereichs insgesamt stehen batterieelektrische und wasserstoff-/brennstoffzellenbasierte Elektromobilität sowie synthetische Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren zur Verfügung. Wasserstoffbasierte Mobilität weist im Vergleich zur batterieelektrischen Mobilität bezogen auf den notwendigen Primärenergieeinsatz einen schlechteren technischen Wirkungsgrad auf, ermöglicht jedoch eine schnelle Betankung und aufgrund seiner höheren gravimetrischen Energiedichte (Energie/Gewicht) größere Reichweiten und damit eine deutlich erhöhte Betriebsdauer. Zudem wirkt die Möglichkeit der elektrischen Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff durch sonst nicht nutzbaren erneuerbaren Strom ausgleichend auf die geringere technische Effizienz des Wasserstoff-Pfades.

Wasserstoffmobilität entspricht überwiegend dem heutigen Nutzerverhalten und eignet sich insbesondere für derzeit dieselbetriebene Verkehrsmittel wie beispielsweise Schiffe, Züge, LKW, Busse, Bau- und Forstmaschinen, landwirtschaftliche Maschinen und Langstrecken-Pkw. Im Gegenzug sind Batterien bei kürzeren Distanzen und geringerer Nutzlast effizienter. Dabei ist der Übergang zwischen batterie- und wasserstoffbasierten Technologien fließend. Beide Technologien haben Vorteile bei jeweils spezifischen Anwendungsfällen und sind daher in Zukunft als komplementär zu betrachten. Aus heutiger Sicht gibt es keine Einzeltechnologie, die die ambitionierten Emissionsreduktionsziele im Verkehrssektor allein durch eine beschleunigte Einführung erreichen wird [15]. Eine Entwicklungsstrategie für alternative Antriebstechniken sollte demnach möglichst technologieoffen und auf einen über 2030 hinausgehenden zeitlichen Rahmen mit noch deutlich stringenteren Klimazielen ausgerichtet werden. Dies erfordern auch die bisher unterschiedlichen Kostenprojektionen für die jeweiligen Antriebstechniken und Infrastrukturen und zu vermeidende Pfadabhängigkeiten. Studien weisen Wasserstoff dabei gerade auch für Langstrecken-Pkw eine relevante Bedeutung zu, mit Anteilen zwischen 20 % (vgl. Fraunhofer Roadmap 2019) [5] und etwa 35 % am Fahrzeugbestand in 2050, und weitaus höheren Anteilen im Güterverkehr (rd. 75 %) [16]. Analysen zeigen bei optimistischen Rahmenbedingungen bereits für 2030 ein Potential von bis zu 1,8 Mio. Brennstoffzellen-Pkw in Deutschland [17]. In ähnliche Größenordnungen fallen internationale

Ziele zum Bestand von Brennstoffzellen-Pkw bis 2030 (Südkorea 1,8 Mio., China und Kalifornien jeweils 1 Mio., Japan 800.000, Niederlande 300.000). Es ist davon auszugehen, dass ein vollständiger Markthochlauf bis 2050 insbesondere nach 2030 an großer Dynamik gewinnt. Neben der batterie- und brennstoffzellenbasierten Elektromobilität werden dabei auch synthetische Kraftstoffe an Bedeutung gewinnen. Diese weisen jedoch verhältnismäßig aufwändige Produktionsketten und damit hohe Kosten auf und dürften daher perspektivisch vor allem in Bereichen zur Anwendung kommen, in denen Batterien oder Wasserstoff technisch oder wirtschaftlich nicht sinnvoll eingesetzt werden können, z.B. im Langstreckenflugverkehr oder Überseeschiffsverkehr. Im Verkehrssektor der Zukunft dominieren demnach Strom und Wasserstoff den künftigen Antriebs- und Kraftstoffmix.

Stand heute sind nur vereinzelte Brennstoffzellenfahrzeuge im Einsatz (wenige hundert Pkw in Deutschland). Das Fahrzeugangebot beschränkt sich dabei auf wenige Modelle vorwiegend aus dem asiatischen Raum. Ein bereits in der Praxis erprobter Anwendungsbereich sind wasserstoffbetriebene Flurförderfahrzeuge in der Intra-logistik. Brennstoffzellen-LKW, Schienenfahrzeuge und Schiffe weisen im Vergleich zu Pkw bisher eine geringere Technologiereife und damit weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarf auf. Mehrere neue Fahrzeugmodelle, u.a. auch von deutschen Herstellern, sind als Vor- bzw. Kleinserie bis Mitte des Jahrzehnts angekündigt. Die Produktion auf Prototypen- und Kleinserienbasis ermöglicht jedoch noch keine Wettbewerbsfähigkeit von Brennstoffzellenfahrzeugen. Die fehlende Skalierung über hohe Stückzahlen und Serienfertigung hemmt die Kostensenkungspotentiale, die aber entlang der gesamten Wertschöpfungskette in signifikantem Maß vorhanden und mit einem künftigen Markthochlauf realisierbar sind [10]. Die prognostizierte Wasserstoff-Preisentwicklung, die weltweit steigenden staatlichen Investitionen in F&E, Marktaktivierung und Infrastrukturausbau sowie die zunehmende Sensibilisierung vieler Kunden für das Thema Wasserstoffmobilität bieten jedoch jetzt die Chance, früher als geplant mit eigenen Modellen in höheren Stückzahlen in den Markt zu gehen. Bisher gibt es in Deutschland 83 öffentliche Wasserstoff-Tankstellen, davon aktuell 17 in Bayern [18]. Der Tankstellenausbau schreitet jedoch voran mit dem Ziel von deutschlandweit 400 Wasserstofftankstellen bis 2023 und 1.000 bis 2030. Ergänzend wird eine Initiative zum Aufbau eines europaweiten Tankstellennetzes erforderlich, insbesondere auch für den Nutzfahrzeugbereich. Im Vergleich mit den rund 14.500 Benzin- und Dieseltankstellen und den über 16.000 Ladestationen ist die Wasserstoffinfrastruktur weit von einem flächendeckenden Angebot entfernt. Die Bayerische Wasserstoffstrategie legt daher einen besonderen Fokus auf einen beschleunigten Ausbau der Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur, insbesondere auch für den Einsatz von brennstoffzellenbasierten LKW/Nutzfahrzeugen und Bussen. Besonders in diesen Bereichen zeigt sich zudem weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf beispielsweise zur Kostensenkung,

Erhöhung der Leistungsdichte, Effizienz und Lebensdauer von Brennstoffzellen sowie zu industriellen Fertigungsprozessen für Hochdurchsatzproduktion inklusive Qualitätssicherung. Weiterhin müssen die Kosten für Wasserstoff-Hochdrucktanks durch verbesserte Fertigungsprozesse und innovative Herstellungsprozesse der erforderlichen Karbonfasern gesenkt werden [5].

STROMERZEUGUNG
UND WÄRME



Die Rückverstromung von Wasserstoff wird aufgrund der guten Möglichkeiten Deutschlands zum europäischen Stromaustausch in den nächsten zehn Jahren keine nennenswerte Rolle im Energiesystem spielen. Die wasserstoffbasierte Stromerzeugung ist damit kein Treiber einer künftigen Wasserstoffwirtschaft. Auch die Bereitstellung von Wärme im Gebäudesektor generiert kurz- bis mittelfristig keinen relevanten Wasserstoffbedarf [5]. So ist die Beimischungsquote in die Gasnetzinfrastruktur und bei den eingesetzten Brennern begrenzt. Gleichzeitig gehen dadurch hochwertigere Anwendungsalternativen in den Sektoren Industrie und Verkehr verloren. Die direkte Verbrennung von Wasserstoff in Systemen der Kraft-Wärme-Kopplung ist derzeit Gegenstand von Untersuchungen. Brennstoffzellenheizungen und Mikro-KWK-Anlagen, die nicht auf Wasserstoff, sondern auf der Nutzung des Erdgases durch Reformiertechnik basieren, sind vor allem auf dem japanischen Markt vertreten. Bei weiter fallenden Preisen durch Massenproduktion bietet sich dabei eine potentiell interessante Option für den Einsatz in Wohngebäuden, da derartige Systeme eine zukünftige Umrüstung auf Wasserstoff, wie auch die Kopplung mehrerer Einheiten zu virtuellen, dezentralen Strom- und Wärmekraftwerken ermöglichen.

➤ REGULATORISCHER RAHMEN FÜR EINE KÜNFTIGE WASSERSTOFFWIRTSCHAFT

Der Blick auf die Wasserstofftechnologien zeigt, dass diese große ökologische und ökonomische Potentiale bieten, diese jedoch aufgrund noch nicht wettbewerbsfähiger Kosten, fehlender Infrastruktur und zum Teil mangelnder technologischer Reife sowie regulatorischer Hemmnisse bislang nur ansatzweise realisiert werden können. Der zügige Markthochlauf einer Wasserstoffwirtschaft erfordert daher die Anpassung des regulatorischen Rahmens auf allen Ebenen der Wasserstoff-Wertschöpfungskette. Bayern unterstützt daher den Bund bei der weiteren Ausgestaltung und Umsetzung der nationalen Wasserstoffstrategie. Der weltweite Technologiewettbewerb erfordert ein beherztes und schnelles Handeln im großen Maßstab. Die nationale Wasserstoffstrategie muss hierfür einen klaren Rahmen geben und mit kraftvollen Maßnahmen eine herausgehobene Rolle Deutschlands im globalen Wasserstoffmarkt vorbereiten und sichern. Neben der engen Einbindung der Bundesländer ist dabei insbesondere auch die Abstimmung der Aktivitäten auf EU-Ebene sicherzustellen. Dies betrifft vor allem die Verknüpfung mit dem Ansatz der Europäischen Kommission für eine europäische Wasserstoffwirtschaft im Rahmen der EU-Industriestrategie und des „Green Deal“. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Vorbereitung eines sog. Vorhabens von gemeinsamem europäischem Interesse (Important Project of Common European Interest, IPCEI) im Wasserstoffbereich und die Beteiligung der bayerischen Industrie und Wissenschaft als starker Partner. Die deutsche EU-Ratspräsidentschaft im zweiten Halbjahr 2020 bietet die Gelegenheit, den Aufbau eines Wasserstoffmarktes auf europäischer Ebene voranzutreiben.

Eine wesentliche Motivation sollte dabei die Unterstützung der exportorientierten Wirtschaft sein, im dargelegten Kontext insbesondere der Maschinen- und Anlagenbau sowie die Fahrzeug- und Zulieferindustrie. Mit Blick auf die enormen Entwicklungs- und Skalierungsbedarfe ist vom Bund daher in besonderem Maße der zügige Aufbau von großformatigen Wasserstoff-Entwicklungs-, Test- und Anwendereinrichtungen / Zentren voranzutreiben. Diese schließen die Lücke von Grundlagenforschung und industrieller Anwendung und erfüllen eine Schlüsselrolle beim Aufbau industrieller Fertigungskompetenzen für Elektrolyseure und Brennstoffzellen (-komponenten). Daneben ist der Bund in folgenden Bereichen besonders zum raschen Handeln aufgefordert.

WASSERSTOFF- ERZEUGUNG



- Grundsätzliche Überprüfung des Steuern-, Abgaben- und Umlagesystems im Strombereich mit dem Ziel einer allgemeinen Senkung der staatlich induzierten Strompreisbestandteile.
- Aufbau von bilateralen und paneuropäischen Energiepartnerschaften, um neben einer inländischen Wasserstoffherzeugung zukünftig die Wasserstoff-Belieferung in großen Mengen aus Drittstaaten mit global günstigen Bedingungen für erneuerbare Energie zu ermöglichen.
- Stärkung der Investitionskostenförderung sowie Prüfung einer Betriebskostenförderung zur Erzeugung von grünem Wasserstoff (inkl. Tankstelleninfrastruktur).
- Das Fortschreiten der Wasserstoffwirtschaft wird zur Entwicklung neuer Geschäftsmodelle insbesondere zwischen Strom- und Gasnetzbetreibern und Betreibern von Elektrolyseuren führen. Der regulatorische Rahmen ist dabei dergestalt auszurichten, dass entsprechende Hürden neuer Geschäftsmodelle vermieden werden.
- Prüfung und ggf. zielführende Klarstellung der Regelungen zur Abschreibungsdauer (AfA) für Elektrolyseure zur Erzeugung von grünem Wasserstoff.

WASSERSTOFF- LOGISTIK UND INFRASTRUKTUR



- Prüfung und ggf. Anpassung der geltenden Regelungen bei Fernleitungsnetzen und Gasspeichern (insbesondere im Energiewirtschaftsgesetz), um die potentielle Umstellung entsprechender Infrastrukturen von Erdgas auf Wasserstoff zu ermöglichen.
- Planung und vorausschauender Aufbau einer Rohrleitungs-Infrastruktur für Wasserstoff im EU-weiten Kontext (ggf. inkl. Umwidmung von Erdgasnetzen) sowie Prüfung und ggf. Erhöhung der zulässigen Beimischungsquote für Wasserstoff im Erdgasnetz.

INDUSTRIE, VERKEHR UND WASSERSTOFF- MOBILITÄT



- Ausbau der Förderung zur Technologieentwicklung, Demonstration und Marktaktivierung von CO₂-freien Technologien in der Industrie beispielsweise über sog. Carbon Contracts for Difference.
- Maßgeschneiderte Förderprogramme zur Demonstration und Beschaffung von Brennstoffzellenfahrzeugen insbesondere im Nutzfahrzeugbereich (z.B. Investitionszuschüsse für ÖPNV).
- Mit Blick auf die Clean Vehicle Directive der EU ist eine unterstützende und Mehrkosten-ausgleichende Regelung für emissionsfreie Fahrzeuge im öffentlichen Beschaffungswesen / ÖPNV einzuführen.

- Optimierung der Genehmigungs- und Regulierungsverfahren bei der Errichtung von Elektrolyseuren und Wasserstoff-Tankstellen sowie zur Qualitäts- und Mengenmessung mit dem Ziel des beschleunigten Aufbaus der Wasserstoffinfrastruktur.
- Konsequente CO₂-differenzierte Lkw-Maut (Mautbefreiung für emissionsfreie Lkw)
- Zügige nationale Umsetzung der EU Erneuerbaren Energien Richtlinie (RED II)

➤ ZIELE EINER NACHHALTIGEN WASSERSTOFFWIRTSCHAFT

Bayern vereint High-Tech, Innovation und Klimaschutz. Bayern gehört zu den wirtschaftlich stärksten Regionen Europas. Der Freistaat steht mit großen internationalen Konzernen, starken kleinen und mittleren Unternehmen und zukunftsorientierter Forschung an der Spitze des technischen und wirtschaftlichen Fortschritts – heute und in Zukunft.

Die bayerische Wasserstoffstrategie soll eine klare Perspektive aufzeigen: für eine innovative und nachhaltige Industrie und Mobilität von Morgen. Für das Erreichen der Klimaschutzziele bei gleichzeitigem Erhalt der industriellen Wertschöpfung. Der Freistaat Bayern, die bayerische Industrie und die zahlreichen Forschungseinrichtungen haben in den vergangenen Jahren wichtige Grundlagen gelegt, um eine Führungsrolle im Bereich innovativer Wasserstofftechnologien einzunehmen. Bayern verfügt über das technologische Potential und die industriellen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Wasserstoffwirtschaft. Dieser strategische Vorteil der technologiebasierten Wirtschafts- und Wissenschaftslandschaft soll genutzt und Wasserstoff als Energieträger der Zukunft und Schlüssel zur Energie- und Mobilitätswende vorangebracht werden. Weltweit werden die Weichen für Wasserstoff als Baustein einer globalen Energiewende gesetzt. Bayern soll hiervon profitieren. Mit der bayerischen Wasserstoffstrategie wollen wir Bayern zum führenden Standort für Wasserstofftechnologien ausbauen.

Mit Blick auf beschriebenen Rahmenbedingungen und Marktpotentiale eines künftig globalen Wasserstoffmarktes einerseits und auf die Stärken des Wirtschaftsstandortes Bayern andererseits zielt die bayerische Wasserstoffstrategie auf eine Technologieführerschaft. Damit kann Bayern als Wegbereiter für grünen Wasserstoff und unersetzlicher Technologie- und Systementwickler für den weltweiten Wasserstoffmarkt etabliert werden. Bayern wird dabei durch seinen weltweiten Kompetenzvorsprung im Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbau sowie in der Zulieferindustrie dazu befähigt, sich auf dem bereits angelaufenen Wasserstoffmarkt aus einer Position der Stärke und mit hoher Dynamik weitere signifikante Marktanteile zu sichern, sobald der Ausbau der Infrastrukturen und die weltweite Nachfrage weiter zunimmt. Dies bezieht die gesamte Wasserstoff-Wertschöpfungskette mit ein: Technologien zur Wasserstofferzeugung (insb. Elektrolyseure), zur Speicherung/Logistik (z.B. organische Wasserstoffträger, LOHC) und zur Anwendung in der Industrie und im Verkehr (Brennstoffzellen und Komponenten). Deutschland und Bayern sind bereits heute führend bei Schlüsseltechnologien: 19 % der weltweiten Exporte von Elektrolyseuren entfallen auf Deutschland (u.a. Siemens). Damit ist Deutschland der derzeit größte Exporteur von Anlagen zur Elektrolyse weltweit

[7]. Mit einem Weltmarktanteil von 16 % ist Deutschland ebenfalls beim Anlagenbau führend. Für Bayern sind die bestehenden Weltmarktanteile und die Ausrichtung auf Technologien der gesamten Wasserstoff-Wertschöpfungskette ein entscheidender Vorteil beispielsweise im Vergleich zu sich erst zu entwickelnden Wasserstoff-Erzeugungsregionen, die zudem von dem jeweils vor Ort unveränderlichen Energiedargebot (Wind, PV) limitiert sind. Ein entscheidendes strategisches Element bildet dabei die Hochskalierung über industrielle Fertigungsprozesse und große Stückzahlen. Aktuelle Analysen gehen von drastisch sinkenden Kosten für die derzeit überwiegend in Manufaktur- und Kleinserien gefertigten Brennstoffzellen aus: um minus 45 % bei einer Erhöhung der jährlichen Produktion auf 200.000 Stück bis hin zu minus 70 % bei 600.000 produzierten Brennstoffzellen [12]. Ähnliche skalenbedingte Entwicklungen werden bei Elektrolyseur- und Distributionskosten erwartet. Die Kosten für die globale Verschiffung von Wasserstoff beispielsweise von Saudi-Arabien nach Deutschland fallen bis 2030 schätzungsweise auf unter 2 US-Dollar pro kg. Insgesamt wären damit Wasserstoffkosten an der Tankstelle für den Endabnehmer für unter 5 US-Dollar pro kg (entspricht derzeit rund 4,50 Euro) in 2030 erreichbar. Der aktuelle Wasserstoffpreis an deutschen Wasserstofftankstellen liegt bei 9,50 Euro pro kg (Verbrauch Pkw: ca. 1 kg/100km).

DIE BAYERISCHE WASSERSTOFFSTRATEGIE VERFOLGT DEMNACH FOLGENDE ZENTRALE ZIELE

WIR WOLLEN:



Innovation und Technologieführerschaft anstreben und weltweit Marktpotenziale für bayerische Unternehmen erschließen und ausbauen. Damit unterstützen wir auch die bayerische Fahrzeug- und Zulieferindustrie im Transformationsprozess technologieoffen.



Industrielle Skalierung als Weg zur Kostenreduktion und Wirtschaftlichkeit beschleunigen: Wasserstoff wettbewerbsfähig machen und weltweit vielfältige Anwendungen ermöglichen.



Wasserstoffanwendungen in Verkehr und Industrie als nachhaltige Alternative und den Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur beschleunigt vorantreiben. Als Basisinfrastruktur sollen bayernweit 100 Wasserstofftankstellen bis 2023 errichtet werden.

Folgende Abbildung skizziert die bayerischen Ziele in Bezug auf Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur und Brennstoffzellen-Fahrzeugzahlen (absolut und in Prozent zum Fahrzeugbestand; Ann.: bis 2050 konstanter Personenverkehr und steigender Güterverkehr).

	STATUS QUO 2020	ZIEL 2030	ZIEL 2050
PKW	erste Fahrzeuge	80.000 (1%)	> 2 Mio. (25 – 30%)
LKW/BUS > 3,5 T	Prototypen	3.000 (3%)	> 100.000 (70%)
TANKSTELLEN	17	400	2000
TANKKOSTEN H2	9,50 €/kg	4-5 €/kg	2-3 €/kg

F&E	INDUSTRIELLE SKALIERUNG	BREITE MARKTDURCHDRINGUNG
-----	----------------------------	------------------------------

➤ DER BAYERISCHE WEG IN EINE ERFOLGREICHE WASSERSTOFFWIRTSCHAFT – UMSETZUNGSSCHRITTE

Grüner Wasserstoff ermöglicht Klimaschutz und Wertschöpfung. Bayern setzt daher auf Wasserstoff als Energieträger der Zukunft. Die energie- und klimapolitischen Rahmenbedingungen und Ziele erfordern dabei eine strategische Ausrichtung über lange Zeiträume über 2030 hinaus. Die notwendige Transformation in allen Sektoren, insbesondere in der Industrie und im Verkehr, erfordert jedoch bereits heute entscheidende Weichenstellungen. Bayern unterstützt daher den Bund bei der weiteren Ausgestaltung und Umsetzung der nationalen Wasserstoffstrategie, fordert ihn aber gleichzeitig auf, noch entschlossener und im weit größeren Maßstab als bisher geplant zu handeln. Nur so kann sich Deutschland langfristig eine führende Stellung in einer globalen Wasserstoffwirtschaft sichern. Bayern leistet hierzu bereits einen wichtigen Beitrag. Die bayerische Wasserstoffstrategie sieht, ergänzend zur Unterstützung und zu den Forderungen in Richtung Bund, folgende Maßnahmen vor: Während die Maßnahmen 1 und 2 in Richtung „Innovation und Technologieführerschaft“ sowie „Skalierung und Wirtschaftlichkeit“ zielen, bilden die Maßnahmen 3, 4 und 5 die Basis für eine beschleunigte „nachhaltige Anwendung in Verkehr und Industrie“:

[1]

➤ **Forschungsoffensive Wasserstoff „H2 Hightech Bayern“:** Ausbau der außeruniversitären anwendungsnahen Forschung über einen Schwerpunkt Wasserstoff im Bayerischen Energieforschungsprogramm. Ziel ist die weitere Entwicklung und Kostensenkung innovativer Wasserstoff-Schlüsselkomponenten (z.B. Brennstoffzellen für den Einsatz im Schwerlastverkehr). Ergänzend soll die Wasserstoffforschung insgesamt durch eine Neuausrichtung der bayerischen Energieforschungslandschaft in hohem Maß gestärkt werden. Ziel ist, durch den Ausbau, die Nutzung von Synergien sowie durch eine Bündelung bayernweit vorhandener Kompetenzen rasch eine führende Rolle im weltweiten F&E-Wettbewerb einzunehmen. Die Bündelung von universitärer und außeruniversitärer Energieforschung im Schulterschluss mit der bayerischen Industrie schafft einen international sichtbaren Leuchtturm im Bereich der Wasserstoffforschung, bietet neue Ausbildungs- und Studienplätze und damit ein in die Breite wirkendes Innovationspotential für die gesamte bayerische Wasserstoffwirtschaft. Gleichzeitig wird der herausgehobenen Bedeutung der Wasserstoffforschung für

die Energiewende insgesamt Rechnung getragen. Das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie wird gemeinsam mit dem Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst ein Umsetzungskonzept ausarbeiten.

[2]

→ **Aufbau von Entwicklungs-, Test-, und Anwendereinrichtungen** zur beschleunigten industriellen Skalierung sowie für den Test und die Standardisierung von Wasserstoff-Schlüsselkomponenten. Dabei soll die Lücke zwischen der Grundlagenforschung und der industriellen Anwendung inkl. der Markteinführung industrieller Produktionsprozesse geschlossen werden. Hierbei sind vor allem die Bedarfe der bayerischen Zulieferindustrie zu adressieren. Entsprechende Test- und Anwenderzentren existieren aufgrund der frühen Entwicklungsphase deutschlandweit bisher nicht. Bayerns schlagkräftige Zulieferindustrie bietet hierfür beste Voraussetzungen. Durch die Neuausrichtung und synergetische Nutzung bestehender Energieforschungseinrichtungen im Rahmen der Forschungsoffensive Wasserstoff kann pragmatisch und schnell mit ersten Schritten beim Aufbau von Wasserstoff-Entwicklungs- und Testeinrichtungen begonnen werden.

[3]

→ **Infrastrukturaufbau und Marktaktivierung:** Einführung einer zur Bundesförderung komplementären bayerischen Förderrichtlinie zum beschleunigten Aufbau einer Wasserstofftankstelleninfrastruktur für Brennstoffzellen-Busse und Nutzfahrzeuge. Diese soll eine kombinierte Förderung von Tankstellen, Elektrolyseanlagen und Brennstoffzellenfahrzeugen (neu oder umgerüstet) nach dem Baukastenprinzip ermöglichen. Damit sollen vor allem neue Möglichkeiten für Tankstellen-Standorte in der breiten Fläche geschaffen werden: an kommunalen Betriebshöfen, bei Stadtwerken, für Fuhrpark- und Omnibusunternehmen.

[4]

→ **Bayerische Wasserstoff-Modellregionen und Demonstrationsprojekte ausbauen.** Hierfür bieten sich beispielsweise das Bayerische Energieforschungsprogramm und die künftige Wasserstofftankstellen-Richtlinie an. Das Wasserstoffzentrum Bayern (H2.B) vernetzt dabei Industrie, Wissenschaft und kommunale Akteure und identifiziert auf Basis bestehender EU-, Bundes- und Landesförderprogrammen geeignete Demonstrationsvorhaben. Das H2.B wird dabei vor allem auch die in Bayern gestarteten HyLand-Wasserstoffregionen eng bei der weiteren Ausgestaltung ihrer Wasserstoffaktivitäten begleiten. Besonders hervorzuheben ist die „HyBayern-Initiative“ aus Stadt/Landkreis Landshut, Landkreis Ebersberg und Landkreis München, die als „HyPerformer“-Region eine ambitionierte Umsetzung eines regionalen grünen Wasserstoff-Kreislaufes aus Erzeugung, Verteilung und Wasserstoffmobilität (Busse, LKW und Pkw) anstrebt. Auch die geplante

„Wasserstoff-Modellregion Südost-Bayern“ soll gemeinsam mit den Bayerischen Staatsministerien für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie sowie für Wohnen, Bau und Verkehr begleitet und unterstützt werden. Neben dem geplanten Einsatz von Wasserstoffzügen ist die Erzeugung und Bereitstellung über eine Wasserstoffbetankungsinfrastruktur vorgesehen, perspektivisch die Erprobung weiterer innovativer Antriebstechnologien im Schienenfahrzeugbereich. Als weitere innovative Demonstrationsprojekte sind u.a. die Entwicklung und Inbetriebnahme der weltweit ersten LOHC-Tankstelle in Erlangen für das Jahr 2021 (vgl. Projekt H2SEKTOR) sowie der erstmalige Einsatz umgebauter Brennstoffzellen-LKW in Bayern ab 2020 vorgesehen.

[5]

➤ **Wasserstoff Roadmap Bayern:** Aufbauend auf der vorgelegten Wasserstoffstrategie wird das Wasserstoffzentrum Bayern (H2.B) gemeinsam mit den Partnern aus Industrie und Wissenschaft im Wasserstoffbündnis Bayern einen konkreten Fahrplan insbesondere für die Zeit bis 2025 erarbeiten und die wesentlichen Meilensteine auf dem Weg zu einer Wasserstoffwirtschaft in Bayern definieren. Des Weiteren unterstützt das H2.B die Wasserstoffstrategie Bayern als fortlaufenden Prozess durch Monitoring und Begutachtung der Marktentwicklung im Rahmen des Wasserstoffbündnisses und gewährleistet damit die laufende Anpassung von Maßnahmen und Zielen der Bayerischen Wasserstoffstrategie.

 Zentrum Wasserstoff Bayern (H2.B)

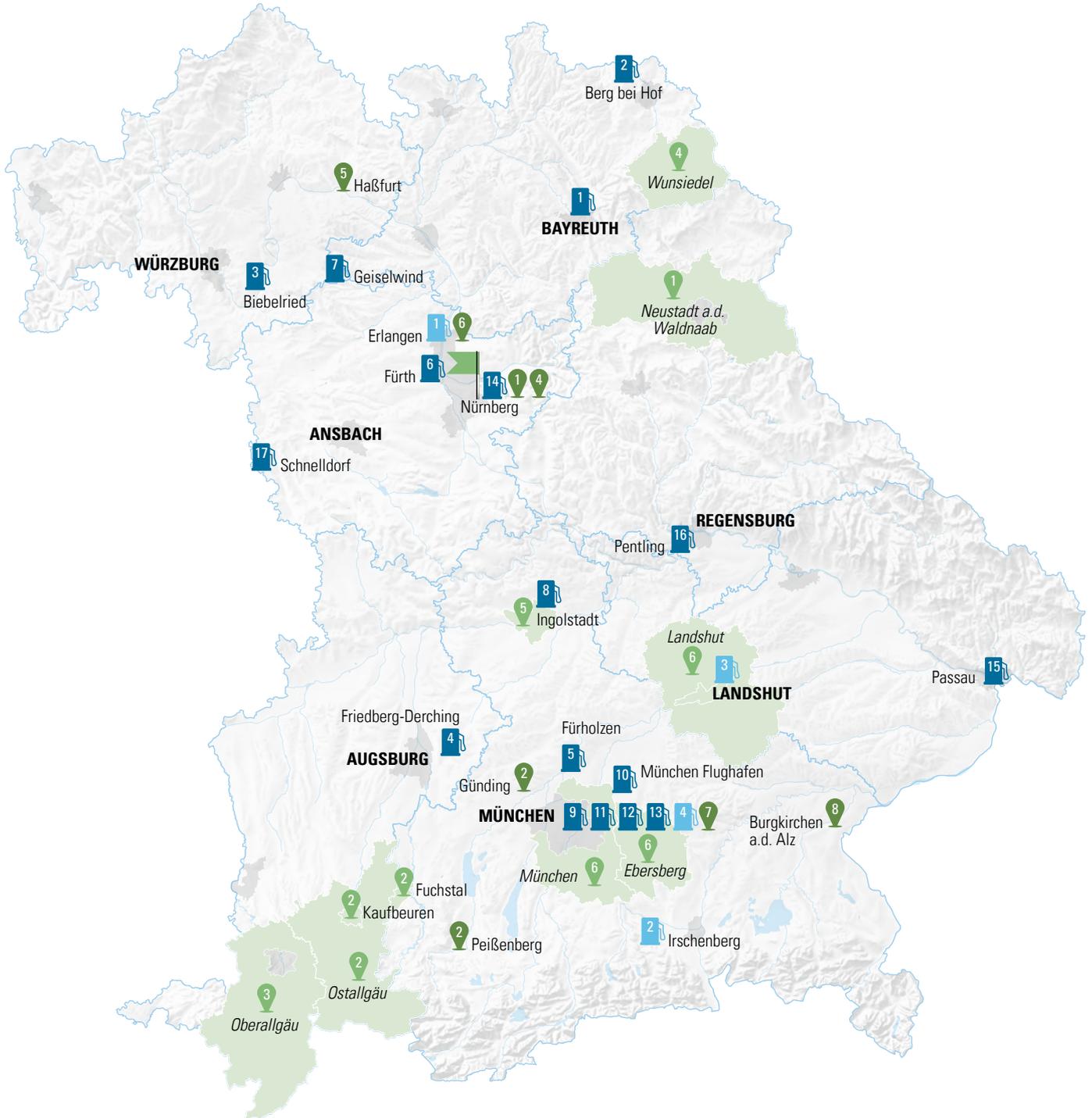
 PKW-Tankstellen in Betrieb

 PKW-Tankstellen im Bau

 HyLand Wasserstoffregionen
in Bayern (Bundesprogramm)

 Vom StMWi geförderte
Forschungsprojekte

WASSERSTOFF-FORSCHUNGSPROJEKTE UND -PKW-TANKSTELLEN



(Stand Mai 2020)

PKW-TANKSTELLEN



IM BETRIEB

1	Bayreuth (Shell)	Bayreuth
2	Berg bei Hof (Shell)	Berg bei Hof
3	Biebelried (TOTAL)	Biebelried
4	Derching (OMV)	Friedberg-Derching
5	Fürholzen West - Rasthof (Tank & Rast)	Fürholzen
6	Fürth (Shell)	Fürth
7	Geiselwind (TOTAL)	Geiselwind
8	Ingolstadt (TOTAL)	Ingolstadt
9	München - Detmoldstraße (TOTAL)	München
10	München - Flughafen (OMV)	München
11	München - Kreillerstraße (ALLGUTH)	München
12	München - Ottobrunner Str. (OMV)	München
13	München - VerdisträÙe (Shell)	München
14	Nürnberg (OMV)	Nürnberg
15	Passau (Shell)	Passau
16	Pentling (OMV)	Pentling
17	Schnelldorf (OMV)	Schnelldorf



IM BAU

1	Erlangen (Siemens Campus)	Erlangen
2	Irschenberg (OMV)	Irschenberg
3	Landshut (OMV)	Landshut
4	München - Wilhelm-Hale-Str. (Shell)	München



HYLAND WASSERSTOFFREGIONEN IN BAYERN (BUNDESPROGRAMM)

HYSTARTER

- 1 Landkreis Neustadt an der Waldnaab
- 2 Ostallgäu: Gemeinde Fuchstal, Kreisfreie Stadt Kaufbeuren & Landkreis Ostallgäu

HYEXPERTS

- 3 Landkreis Oberallgäu
- 4 Landkreis Wunsiedel im Fichtelgebirge
- 5 Stadt Ingolstadt

HYPERFOMER

- 6 Landkreis Landshut, Landkreis Ebersberg, Landkreis München und Stadt Landshut



VOM STMWI GEFÖRDERTE FORSCHUNGSPROJEKTE

1	AniMem – Anionische Membranen für alkalische Wasserelektrolyseure	Forschungszentrum Jülich Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg (HI ERN) Nürnberg
2	BioH2 – Wasserstoff aus Biomasse	PROEMTEC Behnke Präzisionsmeßtechnik Günding
3		Holzner Druckbehälter GmbH Peißenberg
4	Erforschung und Entwicklung eines emissionsfreien und stark emissionsreduzierten Antriebssystems am Beispiel des Schienenverkehrs	Forschungszentrum Jülich Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg (HI ERN) Nürnberg
5	H2-BHKW - Rückverstromung von Wasserstoff über Kraft-Wärme-Kopplung	Stadtwerk Haßfurt GmbH, Haßfurt Städtische Betriebe Haßfurt GmbH
6	H2SEKTOR- Erforschung, Entwicklung und Demonstration eines neuen Wasserstoff-Speichersystems (LOHC)	Hydrogenious LOHC Technologies GmbH Erlangen
7	HyRunCell – Erforschung und Entwicklung einer leistungsfähigen Brennstoffzelle für schwere Fahrzeuge	Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG München
8		Dyneon GmbH Burgkirchen an der Alz

AKTUELLE BÜNDNISPARTNER DES WASSERSTOFFZENTRUMS H2.B (Stand Mai 2020)

 ZENTRUM WASSERSTOFF BAYERN (H2.B) Nürnberg

PARTNER AUS INDUSTRIE UND WIRTSCHAFT

1	Audi AG	Ingolstadt
2	Bauer COMP Holding GmbH	München
3	Bayerischer Industrie- und Handelskammertag BIHK	München
4	Bayerischer Städtetag	München
5	BayernLB	München
6	Bayernoil Raffineriegesellschaft	Neustadt an der Donau
7	Bayernwerk AG	Regensburg
8	bayme - Bayerischer Unternehmensverband Metall und Elektro e.V.	München
9	BayWa AG	München
10	BayWa r.e. renewable energy GmbH	München
11	BMW AG	München
12	erdgas schwaben GmbH	Augsburg
13	Erlanger Stadwerke ESTW	Erlangen
14	Framatome GmbH	Erlangen
15	Grob Aircraft SE	Tussenhausen-Mattsies
16	Gunvor Raffinerie Ingolstadt GmbH	Kösching
17	H-TEC SYSTEMS GmbH	Augsburg
18	Hydrogenious LOHC Technologies GmbH	Erlangen
19	HYENERGY GmbH	Grasbrunn
20	Kraftanlagen München GmbH/Diamond Lite S.A	München
21	LBST - Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH	Ottobrunn
22	Linde plc	München
23	MAN Energy Solutions SE	Augsburg
24	MAN Truck & Bus SE	München
25	Nürnberger Messe GmbH	Nürnberg
26	Proton Motor Fuel Cell GmbH	Puchheim
27	Robert Bosch GmbH	Bamberg
28	Schaeffler AG	Herzogenaurach
29	Siemens AG	München
30	TenneT TSO GmbH	Bayreuth
31	VBM - Verband Bayerischer Metall- und Elektro-Industrie e.V.	München
32	VBW - Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V.	München
33	VKU - Verband Kommunaler Unternehmen e.V.	München
34	Vitesco Technologies	Regensburg

FORSCHUNGSINSTITUTE

1	Fraunhofer Gesellschaft	München
2	Helmholtz Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien (HI ERN)	Nürnberg

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Hydrogen Council, „Hydrogen scaling up - A sustainable pathway for the global energy transition,“ 2017.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Dialogprozess Gas 2030 - Erste Bilanz,“ 2019.
- [3] IEA, „The Future of Hydrogen - Seizing today's opportunities,“ 2019.
- [4] Hydrogen Council, „How hydrogen empowers the energy transition,“ 2017.
- [5] Fraunhofer, „Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland“, Karlsruhe und Freiburg, 2019.
- [6] Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), Hydrogen Roadmap Europe - A Sustainable Pathway for the European Energy Transition, Luxemburg, 2019.
- [7] frontier economics / IW, Synthetische Energieträger - Perspektiven für die deutsche Wirtschaft und den internationalen Handel, 2018.
- [8] Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV), Grüne Wasserstoff-Industrie - Lösung für den Strukturwandel?, 2018.
- [9] „Deutschland in Zahlen,“ [Online]. Available: <https://www.deutschlandinzahlen.de/tab/bundeslaender/branchen-unternehmen/industrie/beschaeftigte-in-der-industrie>. [Zugriff am 11.05.2020].
- [10] Roland Berger, Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg, München, 2020.
- [11] Shell, Energie der Zukunft? Nachhaltige Mobilität durch Brennstoffzelle und H₂, 2017.
- [12] Hydrogen Council, „Path to hydrogen competitiveness - A cost perspective,“ 2020.
- [13] Zentrum Wasserstoff.Bayern (H₂.B), „Positionspapier des Wasserstoffbündnisses Bayern zur Bayerischen Wasserstoffwirtschaft (Entwurf),“ 2020.
- [14] Verband der chemischen Industrie e.V. (VCI), „Roadmap Chemie 2050 - Auf dem Weg zur einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland,“ 2019.
- [15] Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM), „Elektromobilität. Brennstoffzelle. Alternative Kraftstoffe - Einsatzmöglichkeiten aus technologischer Sicht (1. Kurzbericht),“ 2019.
- [16] Forschungszentrum Jülich GmbH, „Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050,“ 2019.
- [17] Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM), „Wege zur Erreichung der Klimaziele in 2030 im Verkehrssektor (Zwischenbericht 3/2019),“ 2019.
- [18] „H₂.Live,“ 07.05.2020. [Online]. Available: <https://h2.live/news/1208>. [Zugriff am 13.05.2020].



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung.

Unter Telefon **089 122220** oder per E-Mail unter **direkt@bayern.de** erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

IMPRESSUM

Herausgeber:
Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie
Prinzregentenstraße 28 | 80538 München
Postanschrift 80525 München
Telefon 089 2162-0 | Telefax 089 2162-2760
info@stmwi.bayern.de | www.stmwi.bayern.de



Kosten abhängig vom
Netzbetreiber

Bildquellen:
©peterschreiber.media - stock.adobe.com

Barrierefreiheit:
Dieses Dokument erfüllt die Vorgaben gemäß BITV 2.0.

Stand:
Mai 2020

HINWEIS

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.

Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben von parteipolitischen Informationen oder Werbemitteln. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Die Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit des Inhalts kann dessen ungeachtet nicht übernommen werden.



Bayerische Staatsregierung
www.stmwi.bayern.de