

## Wasserstoff-Roadmap Bayern

Perspektiven und Handlungsempfehlungen

zum Hochlauf der bayerischen Wasserstoffwirtschaft

Initiiert durch



Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

## Präambel

Die im April 2022 erstmals durch das H2.B veröffentlichte *Wasserstoff-Roadmap Bayern* entstand in einem längeren Konsultations- und Analyseprozess von Anfang 2021 bis Anfang 2022 unter Einbezug des Wasserstoffbündnis Bayern und anderen Wasserstoff-Akteuren in Deutschland.

Die in der Roadmap getätigten Annahmen und Prognosen, sowie die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen und Meilensteine stützen sich auf die energiewirtschaftlichen und wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen sowie den vorherrschenden Meinungs- und Datenstand zum Jahresende 2021.

Das Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B) blickt mit großer Bestürzung und Sorge auf den Krieg in der Ukraine und verurteilt die russischen Aggressionen auf das Schärfste.

Der russische Angriffskrieg auf die Ukraine hat sich bereits unmittelbar nach seinem Beginn erheblich auf die kontinentale Energiepolitik ausgewirkt. Insbesondere die europäischen Industrienationen stellen den Status quo ihrer Primärenergieversorgung in Frage und haben zum Teil bereits mit der Um- und Neustrukturierung der Energieversorgung begonnen.

Präzise Aussagen über die energie- und wirtschaftspolitischen Folgen des Kriegs in der Ukraine können jedoch momentan hinsichtlich aller Zeitachsen und Dimensionen nicht getroffen werden. Dennoch lassen sich Konsequenzen ableiten, die auch das Handlungsfeld Wasserstoff betreffen werden:

- Zur Diversifizierung der Bezugsquellen von Energie und zum Ausbau der Energiespeicherkapazitäten aufgrund entsprechend höherer Anteile volatil erzeugter erneuerbarer Energie muss der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft schneller vorangetrieben werden.
- Die Nachfrage nach Wasserstoff und Wasserstoff-Derivaten wird früher ansteigen. Es gilt daher, alle technologischen Möglichkeiten zur klimaschonenden Wasserstoffherzeugung in Bayern zu berücksichtigen.
- Wasserstoffimporte müssen bereits mittelfristig viel schneller erschlossen werden, um den heimischen Bedarf zu decken und den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft nicht zu hemmen. Auf diese Weise kann zudem eine ausreichende Diversifizierung der Energieversorgung gewährleistet werden.
- Es bedarf deutlich ambitionierterer und konsequenter umgesetzter Maßnahmen zum (Aus-)Bau der Wasserstoffinfrastrukturen, um Wasserstoffimport und -versorgung frühestmöglich zu gewährleisten.
- Die aktuellen Entwicklungen und die ungewisse Dynamik beeinflussen Prognosen zur Verfügbarkeit von Wasserstoffderivaten, Wasserstofftechnologien sowie deren Preise.

Die stark veränderte energiepolitische Lage beeinflusst vor allem den prognostizierten Wasserstoff- und Synfuelbedarf in Kapitel 3.2 sowie die daraus ableitbaren Maßnahmen zur Sicherstellung des Bedarfs und dem Hochlauf der Transportinfrastruktur. Es ist zu prüfen, ob die empfohlenen Maßnahmen und Meilensteine zeitlich weiter vorgezogen werden können.

<b>Zusammenfassung</b>	4
<b>Executive Summary</b>	6
<b>1. Einleitung</b>	8
<b>2. Status quo und Stärken der bayerischen Wissenschaft &amp; Wirtschaft</b>	10
<b>3. Potenziale einer zukünftigen bayerischen Wasserstoffwirtschaft</b>	16
<b>4. Aktuelle Herausforderungen und notwendige Maßnahmen für eine bayerische Wasserstoffwirtschaft</b>	29
<b>5. Fazit und Ausblick</b>	30
<b>Kontakt/Impressum</b>	30
<b>Glossar</b>	31

# Zusammenfassung

Bayern hat sich das ehrgeizige Ziel gesetzt, bis 2040 klimaneutral zu sein. Damit verfolgt der Freistaat einen ambitionierteren Pfad als der Bund oder die Europäische Union. Klar ist: Ohne den Einsatz von Wasserstoff in allen Sektoren ist dieses Ziel nicht zu erreichen. Der Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft ist mit erheblichen Anstrengungen verbunden und muss aufgrund der zum Teil sehr langen Planungs- und Investitionszyklen unmittelbar beginnen. Das heißt: In Bayern

müssen zeitnah die richtigen Weichen gestellt werden, um einerseits die selbst gesteckten Klimaziele zu erreichen und andererseits die wirtschaftlichen Chancen der anstehenden Transformation zu nutzen. Die bayerische Wasserstoff-Roadmap soll Perspektiven und konkrete Handlungsbedarfe aufzeigen und dazu beitragen, den Hochlauf der bayerischen Wasserstoffwirtschaft zu beschleunigen.

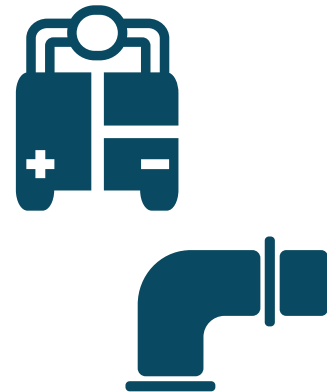


## Wasserstoffverbrauch

Es ist zu erwarten, dass der Wasserstoffbedarf aufgrund der ambitionierten Klimaziele in Bayern schneller steigt als in anderen Bundesländern. Die Sektoren mit dem größten Bedarf werden sowohl der Mobilitäts- als auch der Umwandlungssektor sein, der zum einen die petrochemische Industrie (Raffinerien) und zum anderen die (zentrale) Strom- und Wärmeerzeugung umfasst. Doch auch im Wärme- und Industriesektor ist mit einem erheblichen Anstieg des Wasserstoffbedarfs zu rechnen. Im Industriesektor werden Wasserstoff und dessen Derivate, wie Methan, vorwiegend zur Bereitstellung von Prozesswärme genutzt. Der Einsatz von Wasserstoff als Rohstoff, beispielsweise bei der Produktion von grünem Stahl oder grünen Grundchemikalien wie Methanol oder Ammoniak, spielt in Bayern aktuell eher eine kleine Rolle. Kumuliert wird der Bedarf an Wasserstoff und synthetischen Energieträgern bis 2040 auf 33 bis 75 TWh ansteigen<sup>1</sup>. Bis 2030 wird sich der Verbrauch von heute etwa 5 TWh auf etwa 10 TWh verdoppeln.

## Wasserstoffversorgung

Die Kapazitäten zur Erzeugung von grünem Wasserstoff durch Elektrolyse sind aufgrund des geringen Potenzials erneuerbarer Energie in Bayern eher gering. Um den schnell wachsenden Wasserstoffbedarf decken zu können, wird Bayern langfristig auf den Import von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten angewiesen sein. Durch die deutlich ambitionierteren Ausbauziele für erneuerbare Energien, die die neue Bundesregierung im Koalitionsvertrag formuliert hat, werden sich auch für die Erzeugung grünen Wasserstoffs in Bayern neue Chancen ergeben. Bis 2030 müssen in Bayern mindestens 1 GW Elektrolysekapazität installiert werden (2025: 300 MW), um den unterstellten zusätzlichen Wasserstoffbedarf decken zu können. Vor allem in der dezentralen Wasserstoffversorgung kann auch der Einsatz von Wasserstoff aus organischen Reststoffen einen entscheidenden Beitrag leisten. Gleichzeitig sollte auch evaluiert werden, inwieweit blauer oder türkiser Wasserstoff in einer Übergangsphase eine Rolle beim Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft spielen können. Neben der Wasserstoffproduktion im Freistaat selbst muss der Anschluss Bayerns an das europäische Wasserstoff-Backbone beschleunigt werden, um eine grundlastfähige Versorgung der wichtigsten Verbraucher ab 2030 sicherzustellen.



<sup>1</sup> Eine klare Trennung zwischen elementarem Wasserstoff und wasserstoffbasierten synthetischen Energieträgern ist schwer zu ziehen. Bei vielen Anwendungen entscheiden Faktoren wie vorhandene Infrastruktur, Einsatzgebiet oder Preis über die proportionale Aufteilung zwischen Wasserstoff und synthetischen Energieträgern.

### Wirtschaftsstandort

Die Transformation der globalen Volkswirtschaften hin zur Klimaneutralität ist mit großen Chancen für die exportorientierte bayerische Wirtschaft verbunden. Bereits heute existieren in Bayern zahlreiche Unternehmen, die sich im breiten Feld Wasserstoff engagieren. Andere Unternehmen haben die bereits beginnende Transformation der Wirtschaft erkannt und suchen nach Möglichkeiten, das bestehende Know-how in nachhaltige, zukunftsfähige Märkte einzubringen. Die Wasserstoffwirtschaft bietet hier hervorragende Anknüpfungspunkte z.B. für die im Freistaat sehr bedeutenden Industriebereiche (Sonder-)Maschinenbau, Energie-, Verfahrens- und Elektrotechnik sowie Mobilitätsanwendungen. In diesen potenziell für Wasserstofftechnologien relevanten Wirtschaftszweigen sind deutlich über 40 Prozent der bayerischen Beschäftigten des verarbeitenden Gewerbes tätig – das entspricht etwa neun Prozent der gesamten Beschäftigten in Bayern.



### Wissenschaftsstandort

Die bayerischen Universitäten und Hochschulen gehören zu den innovativsten Hochschulen Europas und sind in vielen Bereichen auch global der Spitzenforschung zuzuordnen. Diese hervorragende Expertise erstreckt sich auch auf das sehr breite Feld der Wasserstoffforschung. Besonders im Bereich der Elektrolysetechnologie und der (chemischen) Wasserstoffspeicherung und -konversion ist Bayern sehr gut aufgestellt. Diese gute Position soll weiter gestärkt und ausgebaut werden.

### Regulatorischer Rahmen

Der Markteintritt vieler Wasserstofftechnologien scheitert nicht an mangelnder technologischer Reife, sondern an den unvorteilhaften regulatorischen Rahmenbedingungen. Damit klimafreundlicher Wasserstoff zeitnah wettbewerbsfähig wird, muss der regulatorische Rahmen angepasst werden. Dazu zählt zum Beispiel, dass die Produktion von klimafreundlichem Wasserstoff günstiger (z.B. durch Reduzierung der staatlich induzierten Bestandteile des Strompreises), klimaschädliches Verhalten teurer (z.B. durch einen angemessenen CO<sub>2</sub>-Preis) und die anfänglich erwartbaren Differenzkosten zwischen klimafreundlicher und klimaschädlicher Technologie teilweise ausgeglichen werden (z.B. Differenzkontrakte). Der Gestaltungsspielraum für Bayern ist dabei sehr gering. Dennoch kann und wird sich der Freistaat konstruktiv in politische Entscheidungsprozesse auf Bundes- und EU-Ebene einbringen.



### Demonstrationsprojekte

Demonstrationsprojekte sind hervorragende Instrumente, um Wasserstofftechnologien, die unter den aktuellen regulatorischen Rahmenbedingungen nicht wirtschaftlich sind, ins Feld zu bringen und gleichzeitig weiterzuentwickeln. Bayern sollte auch weiterhin in die Forschung und Entwicklung von Wasserstofftechnologien investieren und die bayerischen Akteure darüber hinaus im Wettbewerb um nationale und europäische Fördermittel bestmöglich platzieren und begleiten. Die gezielte Unterstützung einzelner Demonstrationsprojekte ermöglicht regionale Spill-over-Effekte und kann helfen, Wasserstofftechnologien auch in Bayern weiter zu etablieren.

# Executive Summary

Bavaria is aiming for the ambitious goal of being climate neutral by 2040. This means that the Free State of Bavaria is pursuing a more ambitious path than the Federal Government or the European Union. It is certain that this goal cannot be achieved without the use of hydrogen across all sectors. The implementation of a hydrogen economy is associated with considerable efforts and has to be started immediately due to partly very long planning and investment cycles. This

means: The right Bavarian course must be set promptly, on the one hand to achieve the climate targets that the Bavarian State has set itself and, on the other hand, to take advantage of the economic opportunities arising from the upcoming transformation. The Bavarian Hydrogen Roadmap is intended to identify perspectives and concrete needs for action as well as to contribute to accelerating the ramp-up of the Bavarian hydrogen economy.

## Hydrogen consumption

It is expected that the demand for hydrogen will increase faster in Bavaria than in other federal states due to the State's more ambitious climate targets. The sectors with the greatest demand will be both the mobility and the conversion sector, the latter comprises the petrochemical industry (refineries) on the one hand and (central) electricity and heat generation on the other. However, a significant increase in hydrogen demand is also expected in the industrial and in the heat sector. In the industrial sector, hydrogen and its derivatives, such as methane, are mainly used to provide process heat. The use of hydrogen as a raw material, for example in the production of green steel or green basic chemicals such as methanol or ammonia, currently plays a rather small role in Bavaria. Overall, the demand for hydrogen and synthetic energy sources will increase to 33-75 TWh by 2040<sup>1</sup>. By 2030, consumption will double from about 5 TWh today to about 10 TWh.



## Hydrogen supply

The capacities for producing green hydrogen via electrolysis are rather low due to the low potential of renewable energy in Bavaria. In order to be able to meet the rapidly growing demand for hydrogen, Bavaria will have to rely on imports of hydrogen and hydrogen derivatives in the long term. The significantly more ambitious expansion targets for renewable energies formulated by the new Federal Government in the coalition agreement will also create new opportunities for the production of green hydrogen in Bavaria. By 2030, at least 1 GW of electrolysis capacity must be installed in Bavaria (2025: 300 MW) to meet the assumed additional demand for hydrogen. Especially regarding a decentralized hydrogen supply, the use of hydrogen from biomass can also make a decisive contribution. At the same time, it should be assessed to what extent blue or turquoise hydrogen can play a role during a transition phase in the ramp-up of the hydrogen economy. In addition to hydrogen production in the Free State itself, Bavaria's connection to the European Hydrogen Backbone must be accelerated in order to ensure a baseload supply for the most important consumers from 2030 onwards.

<sup>1</sup> It is difficult to make a clear distinction between elemental hydrogen and hydrogen-based synthetic energy carriers. For many applications, factors such as existing infrastructure, area of application, or prices determine the proportional allocation between hydrogen and synthetic energy carriers.



### Business location

The transformation of global economies towards climate neutrality is associated with great opportunities for the export-oriented Bavarian economy. There are already numerous companies in Bavaria that are active in the broad field of hydrogen. Other companies have recognized the incipient transformation of the economy and are looking for ways to contribute their existing know-how to sustainable markets that are fit for the future. The hydrogen economy offers excellent starting points, e.g. for for Bavaria's very important industrial sectors of (special) mechanical engineering, energy, process and electrical engineering as well as mobility applications. In total, well over 40 percent of Bavarian employees in the manufacturing sector work in industries that are potentially relevant for hydrogen technologies – this corresponds to about nine percent of the total number of employees in Bavaria.

### Science location

Bavaria's universities and higher education institutes are among the most innovative ones in Europe, and in many disciplines, they are also among the global leaders in research. This outstanding expertise also extends to the very broad field of hydrogen research. Bavaria is particularly well positioned in the field of electrolysis technology and (chemical) hydrogen storage and conversion. This good position is to be further strengthened and expanded.



### Regulatory framework

Many hydrogen technologies fail to enter the market not because of a lack of technological maturity, but because of the unfavorable regulatory framework. In order for climate-friendly hydrogen to become competitive in the near future, the regulatory framework must be adjusted. This includes, for example, making the production of climate-friendly hydrogen cheaper (e.g. by reducing state-induced components of the electricity price), making climate-damaging behavior more expensive (e.g. through an appropriate CO<sub>2</sub> price) and partially offsetting the initially expected differential costs between climate-friendly and climate-damaging technology (e.g. Carbon Contracts for Difference) in this regard, Bavaria has very little scope for action. Nevertheless, the Free State can and will contribute in a constructive way to political decision-making processes at federal and EU level.



### Demonstration projects

Demonstration projects are excellent instruments for bringing hydrogen technologies, which are not economically viable under the current regulatory framework, into the field while at the same time developing them further. Bavaria should continue investing in research and development of hydrogen technologies and, furthermore, place and accompany Bavarian players in the best possible way in the competition for national and European funding. The targeted support of individual demonstration projects enables regional spill-over effects and can help to further establish hydrogen technologies in Bavaria.



# 1. Einleitung

## Warum ist Wasserstoff ein unverzichtbares Element für eine klimaneutrale Wirtschaft?

Bayern bekennt sich zum Ziel des Pariser Klimaabkommens, die Erderwärmung auf deutlich unter zwei Grad zu begrenzen. Bereits bis 2040 – und damit fünf Jahre früher als Deutschland – möchte der Freistaat klimaneutral sein. Daraus leitet sich ein erheblicher Umbau des gesamten bayerischen Energiesystems (inklusive Strom, Wärme, Mobilität, Industrie usw.) ab.

Für die Defossilisierung des Energiesystems können viele Prozesse direkt mit erneuerbarem Strom betrieben werden. Bei einer Vielzahl von Anwendungen und Prozessen ist der Einsatz von Wasserstoff oder dessen Derivaten, wie Ammoniak, synthetischem Methan oder Methanol, jedoch eine sinnvolle oder die einzige nachhaltige Alternative. Für manche Anwendungen, wie beispielsweise in der chemischen und petrochemischen Industrie, ist der Einsatz von elementarem Wasserstoff (H<sub>2</sub>) häufig sogar alternativlos. Auch für die nachhaltige Herstellung von grünem Stahl ist Wasserstoff als Reduktionsmittel praktisch unverzichtbar. In anderen Bereichen steht Wasserstofftechnologie im Wettbewerb mit weiteren Technologien – Beispiele hierfür sind die straßengebundene Mobilität oder die Bereitstellung von Raumwärme. In den meisten Sektoren wird aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen eine Koexistenz verschiedener Technologien erwartet.

Im Zuge einer globalen Energiewende und der Entwicklung einer weltweiten Wasserstoffwirtschaft werden sich neue Exportmärkte für Wasserstofftechnologien ergeben, die zugleich ein großes Potenzial für die Wertschöpfung in Bayern bergen. Die Aussicht auf attraktive, langfristig stabile Arbeitsplätze im Freistaat kann einen wertvollen Beitrag zur breiten Akzeptanz ambitionierter Klimapolitik leisten. Dabei können bayerische Unternehmen nicht nur zum Umbau der heimi-

chen Wirtschaft beitragen, sondern auch mithelfen, weltweit klimaneutrale Wertschöpfungsketten aufzubauen.

Die Transformation der bayerischen Gesellschaft und Wirtschaft hin zur Klimaneutralität bis 2040 ist mit erheblichen Anstrengungen verbunden und muss aufgrund der zum Teil sehr langen Planungs- und Investitionszyklen zügig beginnen. Der Umbau birgt jedoch erhebliche Chancen: Der Freistaat Bayern hat in einigen Bereichen eine hervorragende Stellung entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette. Diese Bereiche müssen gezielt gefördert werden. Ebenso wichtig ist eine ehrliche Evaluation, auf welchen Gebieten die bayerische Wirtschafts- und Forschungslandschaft noch Nachholbedarf hat.

In diesem Transformationsprozess spielt das *Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B)* eine wichtige Rolle: Es stellt gezielt aufbereitete Informationen zur Verfügung, unterstützt Unternehmen, Verbände und Einrichtungen bei der Formierung von Projektkonsortien und bringt die bayerischen Wasserstoffakteure in regionalen und internationalen Netzwerken zusammen. Einen wertvollen Beitrag in diesem Zusammenhang leistet das durch das H2.B koordinierte *Wasserstoffbündnis Bayern*, welches eine Plattform schafft, auf der sich Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Verbände vernetzen und informieren können. Das Bündnis, in dem sich aktuell knapp 260 Partner zusammengeschlossen haben, hat durch Befragungen und bilateralen Austausch zu dieser Roadmap beigetragen.



Informationen  
zum H2.B und Wasserstoffbündnis Bayern



Download  
Positionspapier und  
Wasserstoffstrategie





## Warum braucht es jetzt eine Wasserstoff-Roadmap für Bayern –

## und wie fügt sie sich in die nationale und internationale „Roadmap-Landschaft“ ein?

Mit der Veröffentlichung des *Positionspapiers des Wasserstoffbündnis Bayern zur bayerischen Wasserstoffwirtschaft* und der *Bayerischen Wasserstoffstrategie* im Mai 2020 wurde eine erste Perspektive für die Entwicklung und Ausgestaltung einer bayerischen Wasserstoffwirtschaft aufgezeigt. Die *Wasserstoff-Roadmap Bayern* soll diese Impulse aufgreifen und sowohl ein aktuelles als auch zukünftiges Bild des Wirtschafts- und Wissenschaftsstandortes Bayern in Bezug auf Wasserstoff zeichnen. Darüber hinaus sollen eine Abschätzung über mögliche Wasserstoffverbräuche in Bayern getroffen und, daraus abgeleitet, wichtige Meilensteine für den Rollout von Wasserstofftechnologien skizziert werden.

Die „Wasserstoffwelt“ entwickelt sich aktuell sehr schnell und dynamisch. Dies stellt viele Akteure vor die Herausforderung, sich stetig neu auszurichten und Entscheidungen auf Grundlage unsicherer und sehr variabler Prognosen treffen zu müssen. Nicht nur neue Akteure der Wasserstoffwirtschaft wünschen sich mehr und auch externe strategische Orientierungspunkte, wie die Ergebnisse einer Befragung unter den Mitgliedern des Wasserstoffbündnisses Bayern zeigten. Auch wenn das Wasserstoffbündnis die bayerische Wirtschaft nicht repräsentativ abbildet, vereint es dennoch eine umfassende Auswahl an aktiven Wasserstoffakteuren im Freistaat, die sich zum Teil schon seit mehreren Jahren bis Jahrzehnten mit der Entwicklung, Produktion und Nutzung von Wasserstoff und Wasserstofftechnologien befassen. Auch diese erfahrenen Akteure richten ihre Entscheidungen stark nach politischen Orientierungshilfen wie Roadmaps und Strategien. Der Bedarf an einem „Fahrplan“ für die anstehenden Entscheidungen und Weichenstellungen dürfte in der gesamten bayerischen Wirtschaft daher mindestens ebenso hoch sein.

Die *Wasserstoff-Roadmap Bayern* fügt sich strukturell gut in die bestehende Roadmap- und Strategielandschaft der Bundesländer, des Bundes und der Europäischen Union ein. Bayern sieht sich zukünftig überwiegend als Wasserstoffimporteur und bildet damit das Komplement zu den norddeutschen Bundesländern, die einen starken Fokus auf die Erzeugung des Energieträgers legen. Zugleich kann sich Bayern als Drehscheibe für Importe von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten aus dem Norden Deutschlands und dem süd- bzw. südosteuropäischen Raum etablieren.

Die Chancen und Herausforderungen, die auf Bundesebene in der nationalen Wasserstoffstrategie beschrieben werden, treffen für Bayern in verstärkter Form zu: Bayern ist stark industriell geprägt. Vor allem dem Maschinen- und Anlagenbau sowie der Automobil- und Automobilzulieferindustrie kommt eine herausragende wirtschaftliche Bedeutung zu. Bayern ist bekannt als exzellenter Wissenschaftsstandort – auch und gerade für den Bereich Wasserstoff. Andererseits ist Bayern wie die Bundesrepublik Deutschland zwar Technologieexporteur, gleichzeitig aber Nettoenergieimporteur und wird nach aktuellen Szenarien und Studien auch in Zukunft einen großen Teil seines Primärenergiebedarfs über Importe decken müssen.

Die *Wasserstoff-Roadmap Bayern* soll diese Aspekte herausarbeiten und daraus Weichenstellungen ableiten, die sowohl die sichere Versorgung mit CO<sub>2</sub>-reduziertem Wasserstoff als auch die Chancen für Wissenschaft und Wirtschaft in Bayern berücksichtigen.



...der befragten Bündnispartner orientieren sich in ihren unternehmerischen Entscheidungen stark bis sehr stark an politischen Fahrplänen

## 2. Status quo und Stärken der bayerischen Wissenschaft & Wirtschaft

### In welchen Bereichen wird Wasserstoff in Bayern bereits eingesetzt?

Aktuell werden in Deutschland jedes Jahr etwa 55 TWh Wasserstoff für unterschiedliche Anwendungen eingesetzt. In Bayern beläuft sich der jährliche Verbrauch auf etwa 5 TWh. Der bei weitem größte Anteil entfällt dabei auf die petrochemische Industrie – zu den größten Verbrauchern zählen die Raffinerien im Raum Ingolstadt und in Burghausen. Daneben gibt es im Freistaat industrielle Verbraucher, beispielsweise Flachglashersteller oder Halbleiterproduzenten, die Wasserstoff als Schutzgas in Ihren Produktionsprozessen einsetzen. An Universitäten und anderen wissenschaftlichen Einrichtungen wird Wasserstoff in Kleinstmengen für Forschungszwecke verwendet.

Großverbraucher wie Raffinerien stellen den benötigten Wasserstoff in eigener Produktion direkt vor Ort her. Zum Teil kann auch auf Wasserstoff zurückgegriffen werden, der in anderen Produktionsschritten prozessbedingt anfällt. Der Großteil wird jedoch durch die Dampfreformierung von Erdgas (SMR – Steam Methane Reforming) gewonnen. Die kleineren Verbraucher werden überwiegend mit LKW von Gaslieferanten versorgt. Ein Rohrleitungsnetz, das Wasserstoff großflächig – d.h. außerhalb einzelner Produktionsstandorte oder -verbünde – zwischen verschiedenen Quellen und Senken austauscht, existiert in Bayern bisher nicht.

### Welche klimaneutralen Wasserstoffprojekte existieren bereits in Bayern?

In Bayern existieren bereits einige Forschungs- und Demonstrationsprojekte im Bereich Wasserstoff. In den letzten Jahren haben die Zahl und der Umfang der geplanten und genehmigten Projekte erheblich zugenommen. Die Abbildung auf der rechts Seite zeigt eine Auswahl der im Freistaat geförderten Forschungs- und Demonstrationsprojekte.

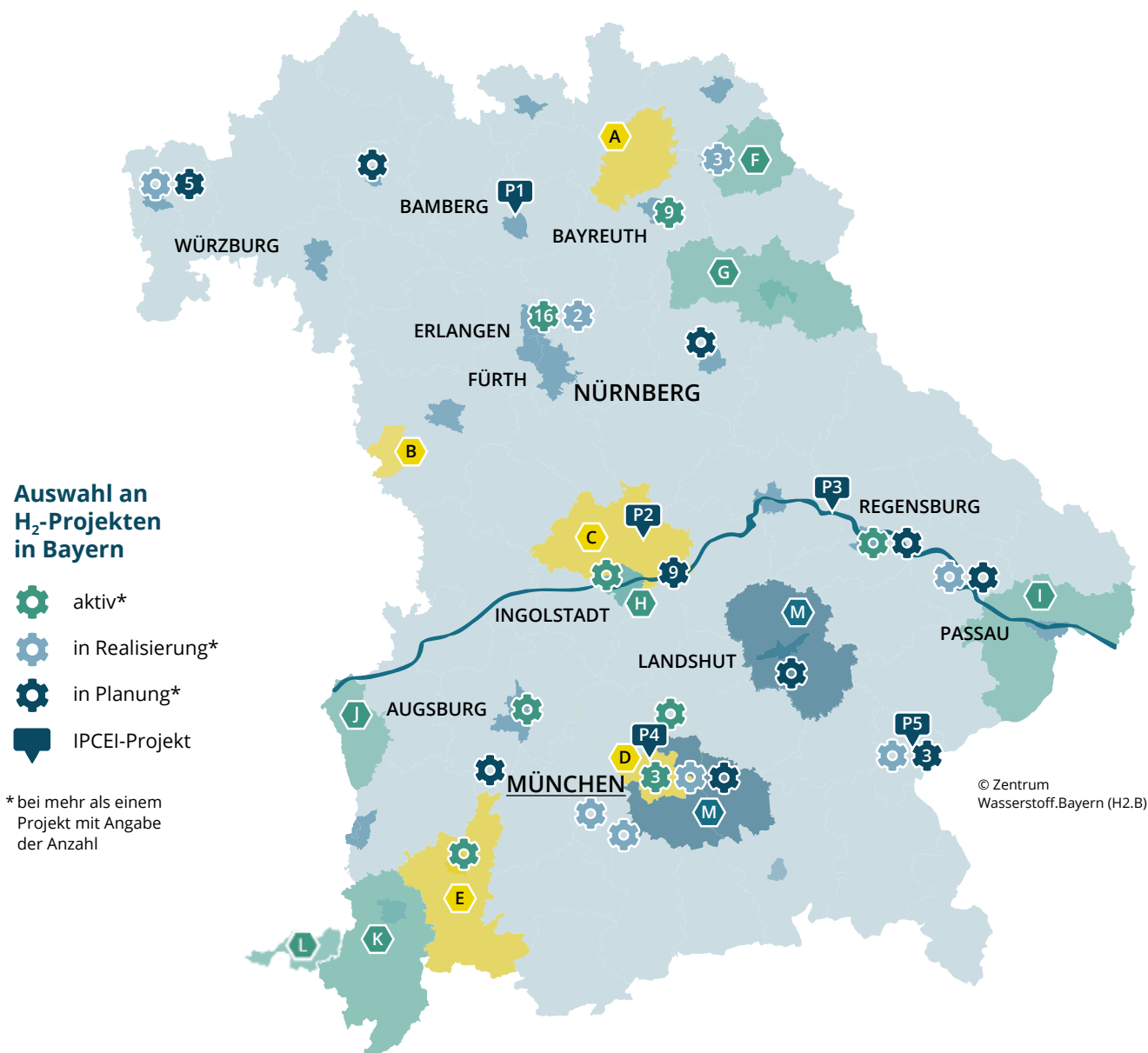


### Partner im Wasserstoffbündnis Bayern, Stand: 04/2022

#### 257 Partner im Wasserstoffbündnis Bayern

- 209 Unternehmen
- 19 Hochschulen & Forschungseinrichtungen
- 22 Verbände & Cluster
- 7 sonstige (öffentliche) Einrichtungen





### Auswahl an H<sub>2</sub>-Projekten in Bayern

- aktiv\*
- in Realisierung\*
- in Planung\*
- IPCEI-Projekt

\* bei mehr als einem Projekt mit Angabe der Anzahl

© Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B)

### HyLand<sup>2</sup> Wasserstoff-Regionen und IPCEI<sup>3</sup>-Projektentwürfe in Bayern



#### HyStarter

- A Landkreis Kulmbach
- B Landkreis Eichstätt
- C Zweckverband Industrie-/Gewerbegebiet „Interfranken“
- D Landeshauptstadt München
- E Ostallgäu – Gemeinde Fuchstal, Kreisfreie Stadt Kaufbeuren, Landkreis Ostallgäu



#### HyPerformer

- M „HyBayern“ – Landkreise Landshut, Ebersberg, München, Stadt Landshut



#### HyExpert

- F Landkreis Wunsiedel im Fichtelgebirge
- G Landkreis Neustadt an der Waldnaab
- H „IN2H2“ – Stadt Ingolstadt
- I Landkreis Passau
- J Region Ulm/Neu-Ulm (Baden-Württemberg & Bayern)
- K „HyAllgäu“ – Landkreis Oberallgäu
- L Landkreis Lindau (Bodensee)



#### IPCEI-Projektentwürfe

- P1 SOFC (Bosch)
- P2 „BayH2“ (Bayernoil, Vattenfall)
- P3 „Green Hydrogen @ Blue Danube“ (Hydrogenious & Partner)
- P4 H<sub>2</sub>-Fahrzeug (BMW)
- P5 „RHYME“ (Wacker Chemie)

<sup>2</sup> „HyLand – Wasserstoffregionen in Deutschland“ ist ein 2019 vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) ausgerufenen Wettbewerb mit dem Ziel, die innovativsten und erfolgversprechendsten regionalen Konzepte zu identifizieren und zu fördern.

<sup>3</sup> Mit den „Important Projects of Common European Interest - IPCEI“ fördern Bund und Länder industrielle Großprojekte, die den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und Europa entscheidend voranbringen und damit einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten. Insgesamt wurden in Deutschland 62 Projekte ausgewählt, welche nun durch die EU bestätigt werden.

Bayern gehört zu den leistungsstärksten Wirtschaftsregionen Europas und ist stark industriell geprägt. Gemessen am Umsatz steht die bayerische Wirtschaft für etwa 22 Prozent des deutschen Maschinenbaus und knapp 27 Prozent der deutschen Kraftwagen- bzw. Kraftwagenteilefertigung. Weitere für Bayern wichtige Industriezweige sind vor allem die Herstellung von chemischen Erzeugnissen, die Herstellung von Metallerzeugnissen und von elektrischen Ausrüstungen. Gemessen an den firmeninternen Investitionen in Forschung und Entwicklung werden knapp 51 Prozent der bayerischen Produkte als forschungsintensiv eingeschätzt. Dieser Anteil liegt ebenfalls signifikant über dem gesamtdeutschen Durchschnitt und unterstreicht – in Verbindung mit der ausgeprägten und innovativen akademischen Forschungslandschaft – den Status Bayerns als High-Tech-Standort.

Die Spitzentechnologien sind ein wichtiger Beitrag zum hohen Exportanteil bayerischer Produkte. So wurden im Jahr 2020 fast 54 Prozent der Erträge bayerischer Unternehmen im Ausland erwirtschaftet. Die Umsätze der bayerischen Unternehmen betragen in Summe knapp 350 Mrd. Euro und machen den Freistaat damit zum Spitzenreiter aller deutschen Bundesländer.

Die internationale Ausrichtung und der Fokus auf Spitzentechnologie sind wichtige Voraussetzungen für die erfolgreiche Teilnahme an einer globalen Wasserstoffwertschöpfungskette. Mit ihrer hohen Expertise im (Sonder-)Maschinenbau, in der Energie-, Verfahrens- und Elektrotechnik sowie bei Mobilitätsanwendungen deckt die bayerische Industrie bereits heute zahlreiche Komponenten und Anforderungen der entstehenden Wasserstoffwirtschaft ab. In diesen potenziell für Wasserstofftechnologien relevanten Wirtschaftsgruppen sind deutlich über 40 Prozent der bayerischen Beschäftigten des verarbeitenden Gewerbes tätig, was etwa neun Prozent der gesamten Beschäftigten in Bayern entspricht. Die genannten Tätigkeitsbereiche sind auch im *Wasserstoffbündnis Bayern* sehr stark vertreten. Die beteiligten Bündnispartner aus der Wirtschaft sind einerseits solche, die Wasserstofftechnologien als Kern ihres unternehmerischen Handelns

sehen. Diese Unternehmen sind häufig erst in den letzten Jahren entstanden. Andererseits gibt es Wirtschaftsakteure, die innerhalb der Wasserstoffwertschöpfungskette neue Geschäftsfelder suchen, die gut zu ihren bisherigen Fertigkeiten passen. Das versetzt sie in die Lage, bestehende Erfahrung für die Transformation der Wirtschaft zu nutzen.

Die große technologische Nähe zur gesamten Wasserstoffprozesskette ermöglicht es der bayerischen Industrie, langjähriges Know-how und wichtige Teile des Portfolios für neue, innovative Wasserstoffprodukte zu nutzen. Es ist daher folgerichtig, dass einzelne bayerische Unternehmen bereits heute eine führende Position im Bereich der Wasserstofftechnologien eingenommen haben. Dies gilt insbesondere für die Wasserstofferzeugung, die Herstellung von Armaturen und Verbindungselementen sowie für die Wasserstofflogistik. Zu den Kompetenzen bayerischer Akteure zählt außerdem die Erzeugung von wasserstoffbasierten chemischen Produkten sowie von Trägerstoffen, die den Transport und die Handhabung grüner Energie vereinfachen. Dies zeigt auch die starke Beteiligung an internationalen Wasserstoffprojekten, in denen bayerische Unternehmen vorrangig in den Bereichen Erzeugung, Konversion und Transport von Wasserstoff aktiv sind.

Im Vergleich dazu sind Anwendungstechnologien weniger stark vertreten. Dennoch bieten einige bayerische Unternehmen bereits innovative Produkte für die Wasserstoffanwendung an. Diese bewegen sich aktuell jedoch häufig noch in vergleichsweise kleinen Stückzahlen und richten sich zum Teil an einem sehr spezifischen Marktbereich aus. Für einen breiten und nachhaltigen Markteintritt von Wasserstofftechnologien fehlen die auch für einen attraktiven Preis und ausreichende Verfügbarkeit notwendigen Stückzahlen. Wegen des relativ limitierten Produktportfolios können zudem einige Anwenderanforderungen noch nicht bedient werden.

### Dr. Stefan Gossens

Vice President Hydrogen Strategy, Schaeffler AG

» *Wir betrachten das Zukunftsthema Wasserstoff als einzigartige Wachstumschance. Dazu siedeln wir am Standort Herzogenaurach ein Kompetenzzentrum für Wasserstoff an, in dem wir Komponenten wie Bipolarplatten für Brennstoffzellen und Elektrolyseure entwickeln und produzieren wollen.* «



Dabei betreffen die zu überwindenden Herausforderungen häufig nicht die technische Machbarkeit. Eines der größten Hemmnisse sind vielmehr fehlende Industriestandards und Normen, die eine größere Modularität, firmenübergreifende Produktentwicklung und eine leichtere Skalierung der Produktion ermöglichen. Die Errichtung des sogenannten *Wasserstoff Technologie- und Anwenderzentrums* (WTAZ) im Markt Pfeffenhausen, das im Rahmen des BMVI-Standortwettbewerbs für ein *Innovations- und Technologiezentrum Wasserstofftechnologie* (ITZ) gefördert wird, adressiert zukünftig dieses Problem. Zugleich haben verschiedene bayerische Akteure die Skalierung ihrer Produktionskapazitäten und die Serienfertigung von Wasserstoff-Produkten „made in Bavaria“ angekündigt.

Bund und Länder sind bereits um marktaktivierende Maßnahmen bemüht. In Bayern liegt beispielsweise ein Fokus auf der Förderung einer Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur für Nutzfahrzeuge. Gleichzeitig muss allerdings die Verfügbarkeit ausreichender Mengen grünen Wasserstoffs ge-

sichert werden. Kurzfristig werden hier vor allem regionale Initiativen einen entscheidenden Beitrag leisten können. Gleichwohl nur, wenn auch ein entsprechender Heimatmarkt für erneuerbar hergestellten Wasserstoff – und damit für erneuerbare Energien jeglicher Quellen – entstehen kann. Abgesehen von der Planung und Projektierung von Windkraft- und Photovoltaikanlagen betätigen sich bayerische Akteure besonders im Bereich der energetischen Nutzung von Biomasse beziehungsweise organischen Reststoffen. Trotzdem nehmen bayerische Unternehmen bei der Entwicklung und Planung von Projekten zur Erzeugung von erneuerbaren Energien aus Wind und Sonne auch überregional eine starke Rolle ein.



## Welche Kompetenzen besitzt der Forschungsstandort Bayern im Bereich Wasserstoff?

Die bayerischen Universitäten und Hochschulen gehören zu den innovativsten Hochschulen Europas und sind in einzelnen Bereichen in der globalen Spitzenforschung vertreten. Hervorragende Expertise besteht auch im Bereich der Wasserstofftechnologien – sie soll, wie bereits im Positionspapier des H2.B und der *Bayerischen Wasserstoffstrategie* dargelegt, weiter ausgebaut werden. Um den Weg vom entwickelten zum marktfähigen Produkt zu ebnen und zu beschleunigen, soll der Austausch zwischen akademischer und privatwirtschaftlicher Forschung und Entwicklung intensiviert werden. Aufgrund der gesamtgesellschaftlichen Relevanz der Transformationsprozesse der Energiewende muss jedoch auch die sozioökonomische Betrachtung ein wichtiger Bestandteil der bayerischen Forschungsstrategie bleiben.

Die zentralen Technologien der Wasserstoffwirtschaft, die Elektrolyse- und Brennstoffzellentechnologie, bilden einen Schwerpunkt der bayerischen Forschungsaktivitäten im Bereich Wasserstoff – das ergab eine Analyse der Forschungsschwerpunkte und Projektbeteiligungen der Universitäten, Hochschulen und Forschungsinstitute. Vorrangiges Ziel der Arbeiten ist die Verringerung der Systemkosten über den gesamten Lebenszyklus: So befördert ein niedrigerer leistungsbezogener Edelmetallanteil einen niedrigeren, lebensdauerbezogenen Systempreis (TCO) ebenso wie ein standardisierter, effizienter und groß skaliertes Produktionsprozess der einzelnen Systembestandteile. Dazu zählen neben den eigentlichen Elektrolyse- oder Brennstoffzellen auch sämtliche Komponenten, die zur Funktion und Integration der Wasserstofferzeugung und -nutzung beitragen – zum Beispiel Gasverdichter, Mess- und Regelungstechnik sowie leistungselektronische Bauteile.

Ein weiteres relevantes Forschungsthema – neben der elektrochemischen Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff – ist die Reststoff- und Biomassenutzung. Die intensive Forschungsarbeit verschiedener bayerischer Institute führte hier bereits zur Gründung mehrerer Start-ups. Ein wichtiger Fokus liegt auf der Erforschung unterschiedlicher Möglichkeiten des Aufschlusses der oft heterogenen Ausgangsprodukte. Ein anderer Schwerpunkt ist die Betrachtung verschiedener Ansätze, das so gewonnene, meist gasförmige Stoffgemisch zu unterschiedlichen Energieträgern oder Grundchemikalien umzusetzen. Dabei wird großer Wert darauf gelegt, bestehende Infrastrukturen zu integrieren und die Anlagen als Teil eines nicht mehr ausschließlich nachfragegesteuerten Energieversorgungssystems zu betreiben.

In diesem Bereich bestehen enge thematische Verbindungen zu PtL- oder PtX-Verfahren. Diese Verfahren zur Erzeugung von flüssigen oder gasförmigen Energieträgern und Plattformchemikalien sind hervorragend geeignet, den Energieverbrauch sektorübergreifend, zeitlich und räumlich zu synchronisieren. Die begleitende Forschung befasst sich mit unterschiedlichen Synthesewegen sowie preiswerten Katalysatormaterialien, die auch im dynamischen Betrieb einsetzbar sind.

Eine hocheffiziente, dezentrale Strom- und Wärmeerzeugung, basierend auf der in gasförmigen oder flüssigen Kraftstoffen (sog. SynFuels oder auch bioFuels) gespeicherten erneuerbaren Energie, kann zur Entlastung der Strominfrastruktur beitragen. Die Forschung zur Entwicklung und zur Integration von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) zur besonders effizienten Rückverstromung nimmt

einen entsprechend hohen Stellenwert ein. Neben Verbrennungskraftmaschinen spielen bereits heute PEM-Brennstoffzellen und SOFC, sogenannte Hochtemperatur-Festoxid-Brennstoffzellen, eine bedeutende Rolle.

Möglichkeiten zur Speicherung elementaren Wasserstoffs sind die Druckgasspeicherung und die Speicherung von tiefkalt (teilweise) verflüssigtem Wasserstoff. Bayerische Akteure erforschen sowohl neue Werkstoffe als auch Fertigungsprozesse, die eine leistungsfähige, kostengünstige und großskalierte Herstellung von Druckbehältern ermöglichen. Besonders im Fokus stehen leichte Verbundwerkstofftanks, die in Mobilitätsanwendungen zum Einsatz kommen sollen.

Eine weitere Möglichkeit, Wasserstoff in großen Mengen zu transportieren und zu speichern, bieten sogenannte flüssige organische Wasserstoffträger (Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC). Durch LOHC kann Wasserstoff am Ort der Energiebereitstellung chemisch gebunden und bei Bedarf wieder freigesetzt werden. Um diese Prozesskette zuverlässig steuern und effizient nutzen zu können, forschen bayerische Akteure aus Wissenschaft und Industrie an günstigen und langlebigen Katalysatormaterialien sowie an der intelligenten Integration der Speicher- und Freisetzungsanlagen in bestehende Prozesse der Energie-, Chemie- und Wasserstoffwirtschaft. Anwendungsmöglichkeiten bestehen in verschiedenen Sektoren. So kann die LOHC-Technologie durch Nutzung bestehender Kraftstofftanks beispielsweise zur Vorhaltung großer Mengen Wasserstoffs für z.B. die Betankung von Wasserstofffahrzeugen genutzt werden. Aktuelle Vorhaben erforschen zudem die Bereitstellung von Wasserstoff an Bord großer Verkehrsmittel wie zum Beispiel Schiffen und Zügen.

Die bayerischen Forschungsakteure decken bereits – und dies teilweise seit vielen Jahren – ein breites Spektrum an Themen entlang der Wasserstoffprozesskette ab. Insbesondere in den Bereichen der Elektrolyse und der Wasserstoffspeicherung bzw. -konversion genießen bayerische Hochschulen und Forschungsinstitute ein weltweit hohes Ansehen. Komplementär zu den bestehenden intensiven Anstrengungen zur Kraft-Wärme-Kopplung gewinnt auch die Forschung zu Wasserstoffanwendungen wieder mehr an Gewicht. Dies ist notwendig, da aus bayerischer Sicht in einzelnen Bereichen der Wasserstoff-Nutzungstechnologien im internationalen Vergleich Nachholbedarf besteht.



© Georg Pöhlein

### **Prof. Dr. Karl Mayrhofer**

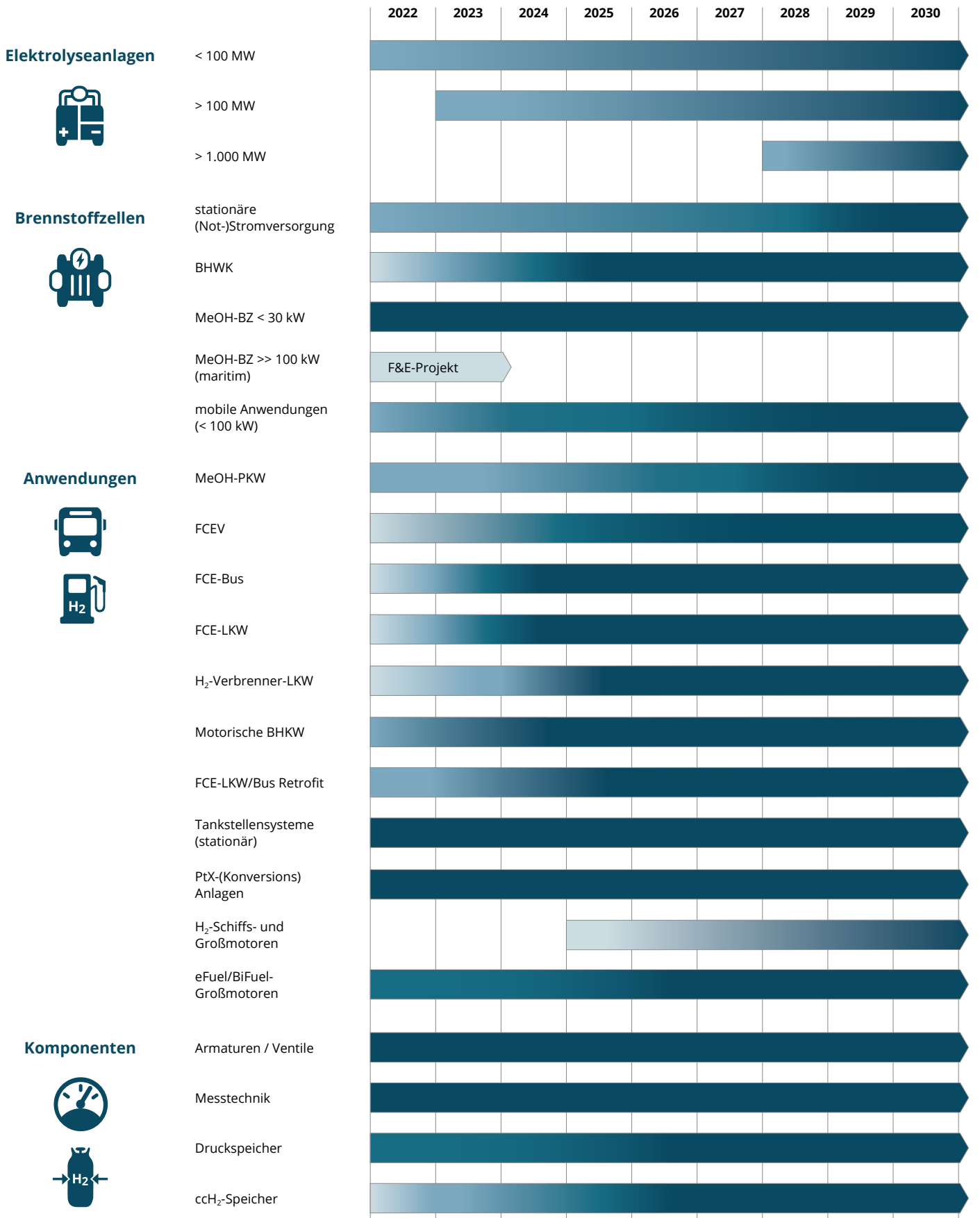
Direktor, Helmholtz Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien (HI ERN)



*Bayern hat bereits erste einzigartige und nachhaltige Forschungsinfrastrukturen aufgebaut. Diese Erfolgsgeschichte gilt es gezielt und fokussiert weiterzuentwickeln, um in Zukunft bei der weltweiten Umsetzung entscheidend beteiligt zu sein.*



# Entwicklungsstatus und Verfügbarkeit von Wasserstofftechnologien aus Bayern



© Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B)

F&E-Projekt/Prototypen
  Einzelfertigung
  Vorserie
  Serienfertigung

### 3. Potentiale einer zukünftigen bayerischen Wasserstoffwirtschaft

#### In welchen Sektoren sollte Wasserstoff verstärkt eingesetzt werden?

Wasserstoff ist ein vielseitiger Energieträger, der in vielen Sektoren eingesetzt werden kann. In einigen Bereichen, etwa in der chemischen und petrochemischen Industrie, ist der Einsatz von Wasserstoff alternativlos, weil er ein unverzichtbarer Bestandteil chemischer Grundstoffe und Produkte ist. In diesen Bereichen wird heute überwiegend grauer Wasserstoff eingesetzt, der zukünftig durch klimafreundlichen Wasserstoff ersetzt werden muss.

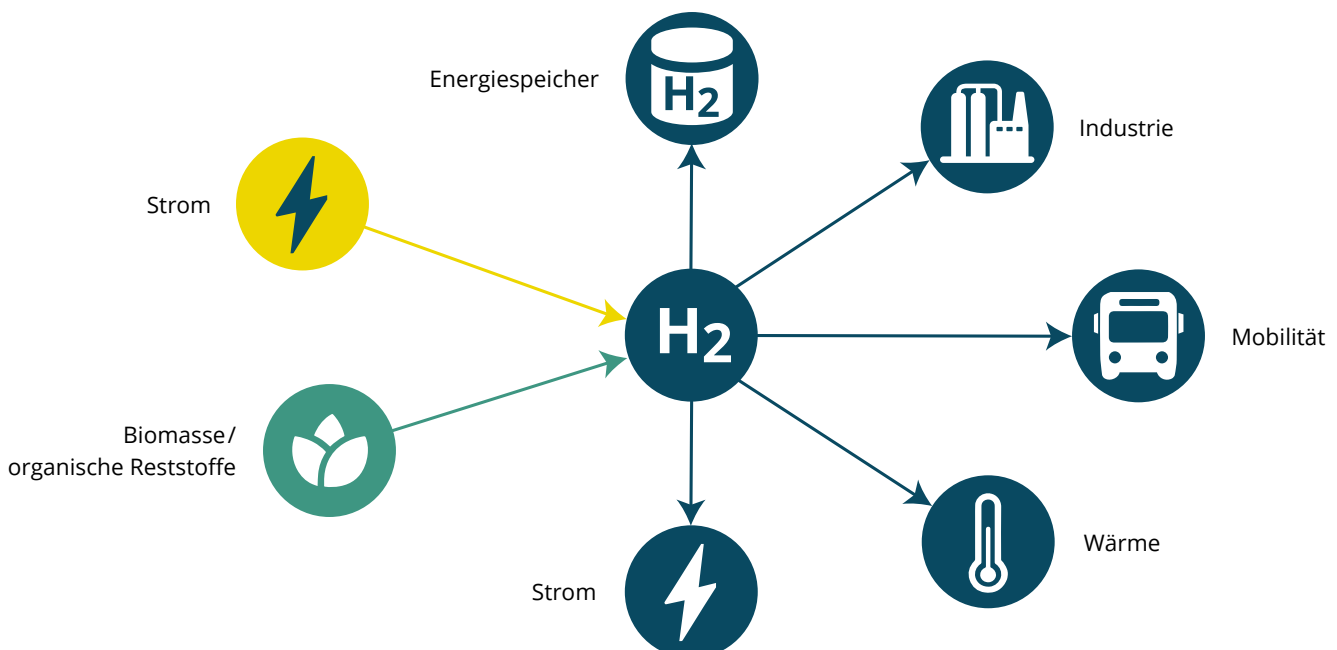
In anderen Sektoren, wie dem Mobilitätssektor, gibt es zum Teil Alternativen zum Einsatz von Wasserstoff und dessen Derivaten. Seine Stärke als grüner Kraftstoff mit hoher Energiedichte kann Wasserstoff jedoch überall dort ausspielen, wo eine direkte Elektrifizierung über Fahrleitung oder Batterie technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht sinnvoll ist. Das betrifft beispielsweise Teile des Flug- und Schiffsverkehrs, aber auch große Teile des straßengebundenen Schwerlastverkehrs. Hier ist ein Betrieb mit wasserstoffbasierten Lösungen anderen Alternativen vorzuziehen, wenn eine hohe Verfügbarkeit der Fahrzeuge, sehr große Reichweiten und das Befördern hoher Nutzlasten gewährleistet werden müssen. Auch im PKW-Segment kann der Einsatz von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie einen nennenswerten Beitrag zur Klimaneutralität leisten. So haben bereits mehrere der führenden PKW-Hersteller weltweit Brennstoffzellen-PKWs in ihr Portfolio übernommen, weitere haben dies angekündigt. Das Know-how, das bayerische Un-

ternehmen zu Weltmarktführern im Bereich der motorischen Verbrennung macht, wäre zum Teil auch auf Brennstoffzellenfahrzeuge übertragbar. Bayern muss daher ein wirtschaftliches Interesse daran haben, an der künftigen Wertschöpfung des wachsenden Marktes zu partizipieren.

Wasserstoff wird überdies zukünftig eine entscheidende Rolle bei der saisonalen Energiespeicherung spielen. Mit steigendem Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien am Energiemix in Bayern, Deutschland und Europa wächst auch die Bedeutung einer bedarfsgerechten Strom- und Wärmeerzeugung. Unsicherheitseffekte können durch eine Flexibilisierung der Nachfrage oder innereuropäischen Energiehandel (Netzausbau) reduziert, allerdings nicht vollständig vermieden werden. Daher werden wasserstoffbasierte Lösungen wie Wärmekraftmaschinen und Brennstoffzellen zur bedarfsgerechten Strom- und auch Wärmeproduktion in Bayern benötigt werden.<sup>4</sup>

Für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser gibt es in einem klimaneutralen Energiesystem verschiedene Optionen, die je nach Anwendungsfall spezifische Vor- und Nachteile besitzen. Wärmepumpen zeichnen sich im Allgemeinen durch eine sehr hohe Effizienz aus. Eine einseitige Fokussierung auf die elektrische Beheizung durch Wärmepumpen führt jedoch zu erheblichen Herausforderungen der praktischen Durchführbarkeit. Denn die für eine deutliche

#### Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff





Steigerung der Elektrifizierung des nicht-industriellen Wärmemarktes erforderliche Sanierungsrate des Gebäudebestandes von jährlich knapp zwei Prozent wird seit Jahren deutlich verfehlt. Dies führt dazu, dass chemische Energieträger noch auf absehbare Zeit gebraucht werden. Auch die im Wärmemarkt stark ausgeprägte Saisonalität kann durch den gut speicherbaren Wasserstoff im Vergleich zu strombasierten Technologien einfacher bedient werden.

Entscheidend ist, dass mögliche Anwendungen von Wasserstoff nicht vorzeitig ausgeschlossen werden. Nur so können Skaleneffekte, die zur Reduzierung von Produktions- und Transportkosten führen, genutzt und ein systemoptimales Nebeneinander von verschiedenen Technologien ermöglicht werden. Dabei sind Debatten über technisch-physikalische Effizienzen allein nicht zielführend und müssen zwingend um die Dimensionen einer betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Effizienz ergänzt werden.

Die bayerische Wirtschaft ist eine exportgetriebene Wirtschaft. Der strategische Blick sollte nicht ausschließlich auf Anwendungsmöglichkeiten innerhalb Bayerns oder Deutschlands gelegt werden. Viele Anwendungen, die in Deutschland eher als Second-Best-Lösung angesehen werden, können in anderen Regionen der Welt ein entscheidender Baustein bei der Transformation der jeweiligen Volkswirtschaften sein. Beispielsweise begünstigt die vergleichsweise einfache Integration von Wasserstoff oder dessen Derivaten in existierende Infrastrukturen die Adaption der Technologien auch in Entwicklungs- und Schwellenländern. Andere technologische Ansätze, etwa die Bereitstellung von Raumwärme, sind dagegen vor allem in Ländern interessant, in denen Wasserstoff sehr günstig zur Verfügung steht und sehr kalte Winter oder eine besonders ausgeprägte Saisonalität den Einsatz von Wärmepumpen erschweren. Um Technologieführer zu werden, muss Bayern frühzeitig einen starken Heimatmarkt entwickeln, der auch diese Anwendungen berücksichtigt. Durch seine ambitionierteren Klimaziele hat der Freistaat die Chance, Reallabor für eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft zu werden.

## Wie könnte der Wasserstoffverbrauch in Bayern sich zukünftig entwickeln?

Der Wasserstoffbedarf in Bayern wird sich zukünftig deutlich erhöhen. Dabei ist aus heutiger Sicht schwer abschätzbar, in welchen Sektoren und Prozessen Wasserstoff in welchem Umfang eingesetzt werden wird. Es können jedoch generelle Trends abgeschätzt und Korridore des zukünftigen Wasserstoffbedarfs entwickelt werden. Generell lässt sich feststellen, dass der Wasserstoffbedarf eines Energiesystems mit steigendem CO<sub>2</sub>-Reduktionsanspruch überproportional ansteigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Wasserstofftechnologien dort eingesetzt werden, wo die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten besonders hoch sind. In klimaneutralen Szenarien, die eine begrenzte Verfügbarkeit oder einen hohen Preis für negative Emissionen unterstellen, ergeben sich besonders hohe Bedarfe von Wasserstoff und dessen Derivaten.

Bayern hat für das Jahr 2040 eine Netto-Klimaneutralität angekündigt und setzt sich damit ambitioniertere Ziele als Deutschland oder die EU. Zur Erreichung dieser Ziele muss der Freistaat bereits deutlich früher mit dem Ersatz der besonders schwer zu defossilisierenden („hard-to-abate“) Prozesse beginnen und entsprechend früher die Weichen hin zu einer klimaneutralen Wasserstoffwirtschaft stellen.

Im Folgenden werden Korridore angegeben, die das Minimum und das Maximum des Wasserstoffbedarfs bis 2040 skizzieren. Die Korridor Grenzen orientieren sich an bestehenden Studien für Deutschland, berücksichtigen jedoch die spezifischen Bedingungen des Standortes Bayern. Unterschieden werden die vier Sektoren **Industrie, Verkehr, Gebäude** und **Umwandlung**.

Die Darstellungen zeigen nicht nur die Nachfrage nach Wasserstoff, sondern auch nach synthetischen Energieträgern und Kraftstoffen, die in der Regel auf Wasserstoff basieren. Diese haben den großen Vorteil, dass für den Transport und die Verwendung häufig auf bestehende Infrastrukturen zurückgegriffen werden kann. Die Herstellung dieser SynFuels ist dagegen im Allgemeinen teurer, da ein zusätzlicher Verarbeitungsschritt nach der Produktion des Wasserstoffs erforderlich ist. Durch nicht zu vermeidende, prozessinterne Verluste und die Gewinnung des erforderlichen Reaktionspartners (z.B. CO<sub>2</sub>) in reiner Form muss zudem zur Speicherung derselben Energiemenge mehr erneuerbare Energie eingesetzt werden.

Für einige Anwendungen können synthetische Kohlenwasserstoffe allerdings nicht nur wegen ihrer guten Systemintegration langfristige Vorteile bieten. Beispiele sind die interkontinentale Luftfahrt, die aufgrund der hohen benötigten Energiedichte weiter auf flüssige Kohlenwasserstoffe angewiesen sein dürfte, ebenso wie die chemische und petrochemische Industrie, die den Kohlenstoff als stofflichen Baustein ihrer Produkte benötigt. In anderen Bereichen, in denen theoretisch beide Lösungen (Wasserstoff und SynFuels) zum Einsatz kommen können, kann die Verteilung der Alternativen variieren – zum Beispiel in Abhängigkeit von stark unterschiedlichen Preise oder der vorhandenen Infrastruktur für Wasserstoff.

<sup>4</sup> Die deutsche Energieagentur dena gibt in ihrer aktuellen Leitstudie (dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität) für ein klimaneutrales Deutschland eine notwendige Kapazität von 59 GW für regelbare Gaskraftwerke an.

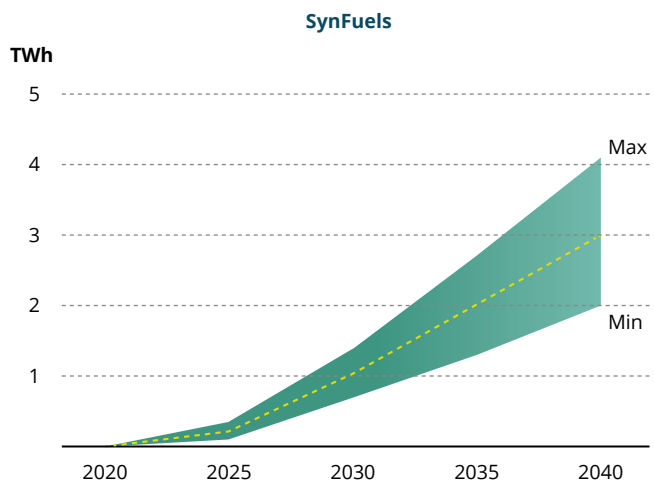
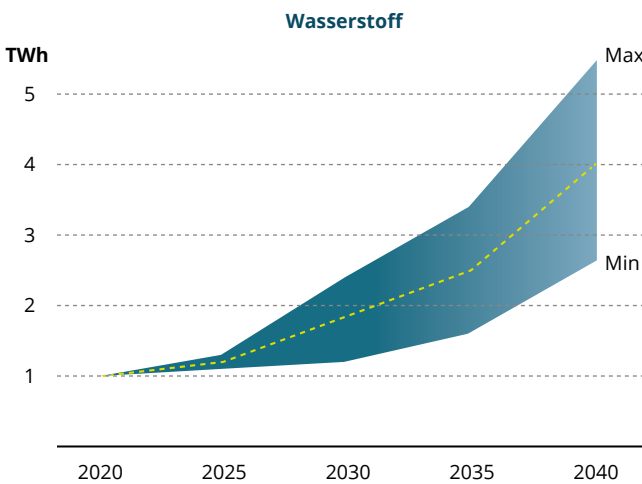
Im Sektor **Industrie** verteilen sich die zukünftigen Wasserstoffbedarfe auf Anwendungen, in denen das Gas für die Bereitstellung von Prozesswärme eingesetzt wird, und auf Prozesse, in denen Wasserstoff als Rohstoff benötigt wird. Die Petrochemie wird dabei nicht dem Sektor **Industrie**, sondern dem Sektor **Umwandlung** zugerechnet.

Anwendungen, in denen bereits heute signifikante Mengen Wasserstoff als Rohstoff eingesetzt werden, etwa die Ammoniak- oder Methanolproduktion, spielen in Bayern aktuell keine größere Rolle. Dennoch gibt es vereinzelte Projektvorhaben vor allem der chemischen Industrie, die zu einem höheren Verbrauch von Wasserstoff in diesen Bereichen führen dürften. Darüber hinaus existieren bereits heute etliche Verbraucher, die das Gas in ihren Produktionsprozessen bei-

spielsweise für Hydrierprozesse oder die Erzeugung einer reduzierenden Schutzatmosphäre nutzen.

Im Bereich der Prozesswärmebereitstellung gibt es aktuell keine nennenswerten Verbraucher elementaren Wasserstoffs oder synthetischer Kraftstoffe. Der Bedarf wird sich zukünftig jedoch sehr dynamisch entwickeln. Vor allem bei Prozessen, die sehr hohe Temperaturen voraussetzen und bei denen die Beheizung mittels Brenner sinnvoll oder alternativlos ist, werden in Zukunft vermehrt Wasserstoff und dessen Derivate wie synthetisches Methan zum Einsatz kommen. Beispiel dafür ist die Herstellung von Zement, Glas, Kalk oder auch Papier und Pappe, die dezentral an unterschiedlichen Standorten in Bayern angesiedelt ist und bei der aktuell vor allem fossile Kraftstoffe wie Erdgas eingesetzt werden.

### Abgeleiteter Wasserstoff- und SynFuel-Bedarf im Sektor: Industrie



**Dr. Peter Gigler**

Head of Corporate Sustainability, Wacker Chemie AG



*Klimaneutralität erfordert die Defossilisierung chemischer Prozesse und Produkte. Die Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff wird hierbei eine zentrale Rolle spielen. Mit grünem Wasserstoff können, wie im Projekt RHYME Bavaria geplant, erneuerbares Methanol hergestellt und fossile Rohstoffquellen ersetzt werden. Um diese Transformation voranzutreiben, benötigen wir die frühzeitige Anbindung an ein Wasserstoffnetzwerk, über das wir grünen Wasserstoff zu international wettbewerbsfähigen Preisen beziehen können.*

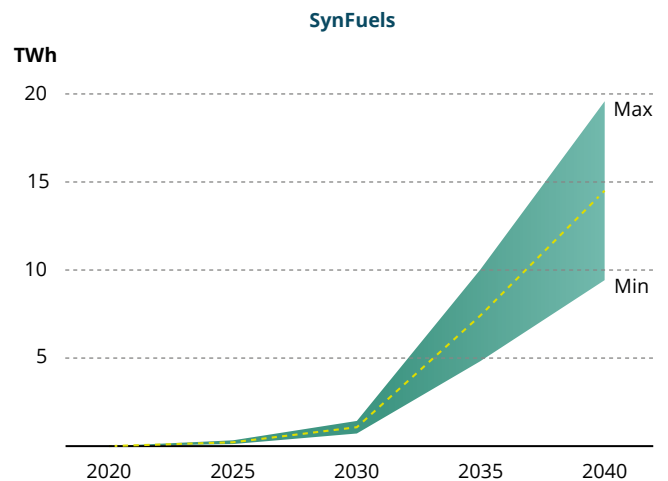
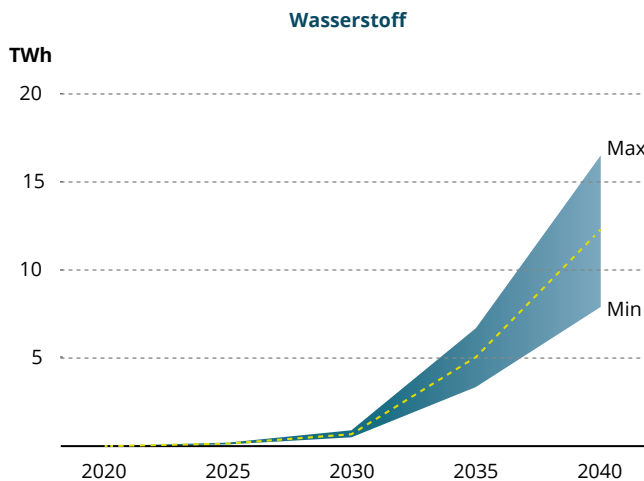


## Verkehr

Im Sektor **Verkehr** wird Wasserstoff entweder direkt in einer Brennstoffzelle oder einer Wärmekraftmaschine (z.B. Motor oder Turbine) verwertet. Er kann ebenso dazu genutzt werden, synthetische Kraftstoffe herzustellen. Aufgrund ihrer generell höheren Energiedichte sind solche flüssigen Kohlenwasserstoffe vor allem für den Betrieb schwerer Fahrzeuge interessant, die weite Strecken zurücklegen. Dazu zählen zum Beispiel Flugzeuge oder Schiffe. Doch auch für den stra-

ßengebundenen Verkehr können SynFuels in Bayern eine wichtige Rolle spielen: Prognosen zufolge werden auch 2030 noch etwa 75 Prozent der Fahrzeuge in Deutschland mit Verbrennungsmotoren ausgestattet sein. Der Einsatz von SynFuels im Straßenverkehr kann daher einen bedeutenden Beitrag leisten, die angestrebte Klimaneutralität 2040 zu verwirklichen.

### Abgeleiteter Wasserstoff- und SynFuel-Bedarf im Sektor: Verkehr



## Umwandlung

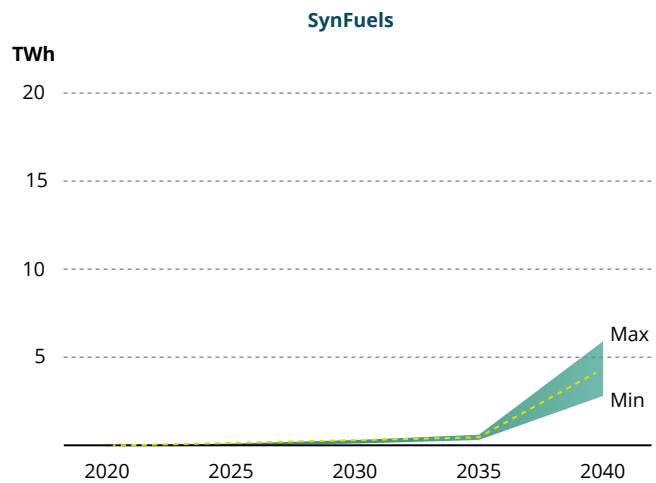
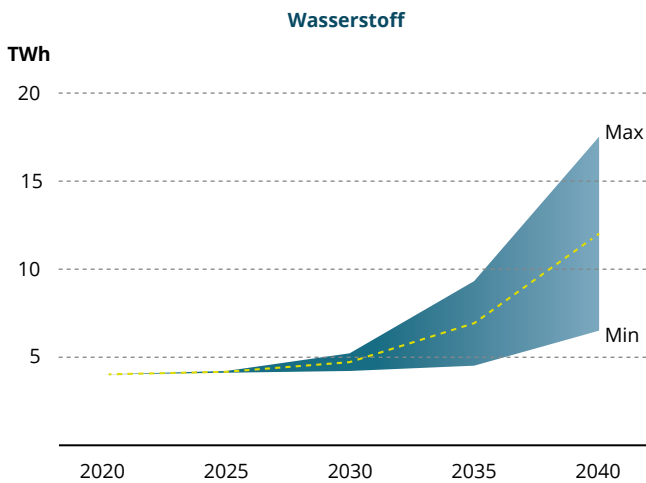
Der Sektor **Umwandlung** umfasst neben der Produktion von Strom aus Wasserstoff vor allem die petrochemische Industrie, die heute mit Abstand sowohl der größte Verbraucher als auch Erzeuger von Wasserstoff in Bayern ist.

Die künftige Rolle der Raffinerien ist dabei weitestgehend ungeklärt. Kurz- und mittelfristig lässt sich die Treibhausgasintensität konventioneller Kraftstoffe durch den Einsatz von klimafreundlichem Wasserstoff erheblich senken. Langfristig herrscht bei der Rolle der Raffinerien jedoch Unsicherheit: Grundchemikalien und Kraftstoffe könnten aufgrund der günstigeren Produktionskosten für Wasserstoff und Kohlenstoff vermehrt im Ausland produziert werden. Andere Szenarien gehen von einem breiteren Import von grünen Kohlenwasserstoffen wie Naphtha aus, das vergleichsweise einfach in heutige Raffinerieprozesse integriert werden kann. Die dennoch wasserstoffintensive Weiterverarbeitung könnte dann weiterhin auch in Bayern stattfinden, jedoch bei sukzessive sinkenden Produktionsvolumina. Denn der Bedarf nach flüssigen Kohlenwasserstoffen wird deutschlandweit, aber auch global stark abnehmen. So gibt die dena-Leitstudie für ein klimaneutrales Deutschland nur noch einen Bedarf von etwa 138 TWh flüssiger (synthetischer) Kohlenwasserstoffe an. Der größte Anteil geht dabei auf den Flugverkehr zurück (122 TWh). 2018 wurden dagegen noch rund 900 TWh

an flüssigen Kohlenwasserstoffen wie Benzin, Diesel, Kerosin oder Heizöl verbraucht. Die Studie geht davon aus, dass in einem Lower-Bound-Szenario die Raffinerierung dieser Produkte bis 2040 ausläuft. Die obere Grenze bildet ein Szenario, in dem der Wasserstoffverbrauch von vier TWh etwa konstant bleibt. Sollten die bayerischen Raffineriestandorte die Produktion von synthetischen Kraftstoffen ausbauen, könnten der Bedarf an Wasserstoff oder kohlenstoffhaltigen synthetischen Grundstoffen je nach Prozessführung erheblich über den aufgezeigten Bereich steigen.

Auch für die Stromproduktion in Bayern wird Wasserstoff künftig eine große Bedeutung haben. Zwar werden eine zunehmende Flexibilisierung der Stromnachfrage und eine intelligenter Stromverteilung in besser ausgebauten Stromnetzen in Europa helfen, den stark steigenden Anteil volatiler Stromerzeugung aufzunehmen. Dennoch wird der Speicherbedarf mit den erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten deutlich ansteigen. Wasserstoff kann insbesondere gasförmig oder als flüssiges Derivat verhältnismäßig günstig in (Druck-)Tanks und Teilen des bestehenden Gas- und Distributionsnetzes gespeichert werden. Diese Flexibilität, verbunden mit niedrigen Betriebskosten, qualifizieren Wasserstoff und seine Derivate besonders für die saisonale und strategische Speicherung zur Strom- und Wärmeerzeugung.

## Abgeleiteter Wasserstoff- und SynFuel-Bedarf im Sektor: Umwandlung

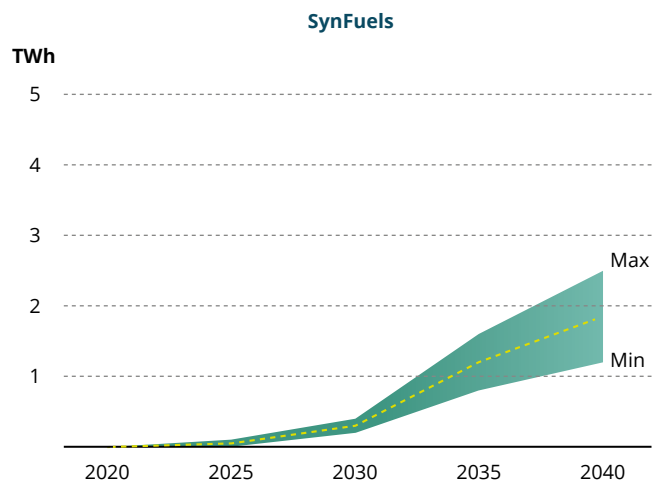
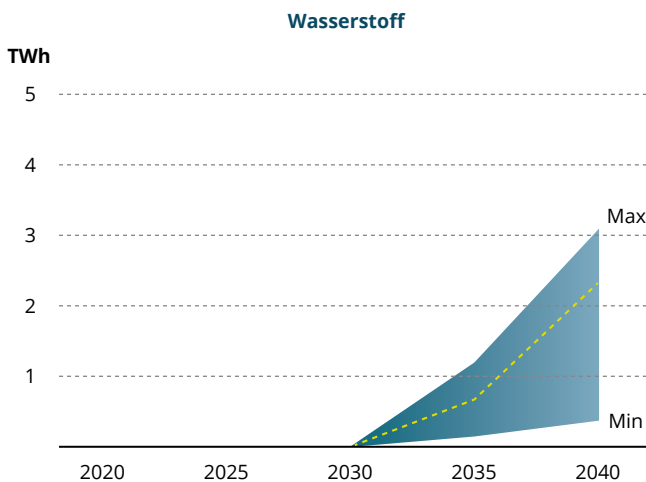


### Gebäude

Auch im Sektor **Gebäude** kann Wasserstoff dazu beitragen, die Emission von Treibhausgasen zu reduzieren. Wann und in welchem Umfang Wasserstoff zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser eingesetzt werden wird, ist stark abhängig von der Entwicklung der Wasserstoff-Verfügbarkeit, des Wasserstoff-Preises, der Infrastruktur für Strom, Fernwärme, Erdgas und Wasserstoff sowie der tatsächlichen Sanierungsraten. Nur wenn die ambitionierte Sanierungsrate

von jährlich knapp zwei Prozent dauerhaft erreicht wird, was einer Verdopplung der aktuellen Sanierungsraten gleichkommt, würden Wasserstoff oder synthetische Energieträger wie Methan eine deutlich untergeordnete Rolle bei der Bereitstellung von Raumwärme spielen. Werden diese Werte nicht erreicht, ist der Einsatz von Wasserstoff oder dessen Derivaten zwingend notwendig, um die bestehenden Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlagen zu defossilisieren.

## Abgeleiteter Wasserstoff- und SynFuel-Bedarf im Sektor: Gebäude

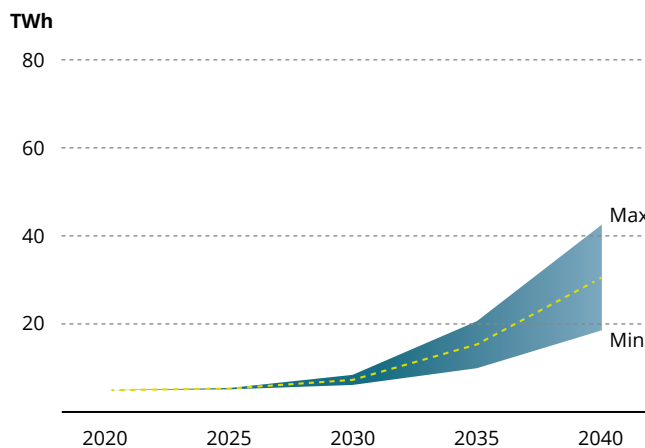


## Kumulierter Bedarf

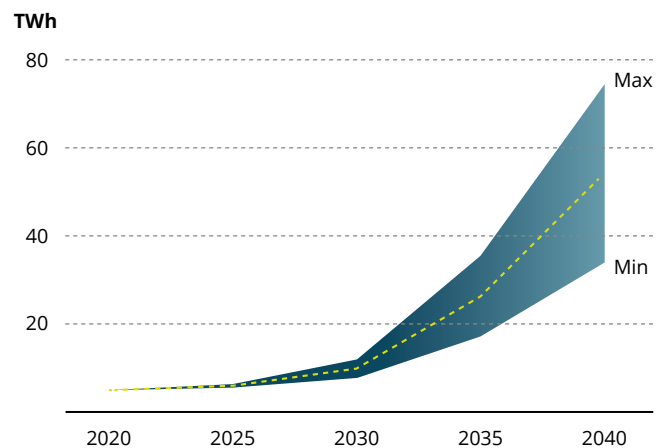
In Bayern könnte sich die kumulierte Nachfrage nach Wasserstoff und Syntheseprodukten bis 2040 auf etwa 33-75 TWh pro Jahr belaufen. Den größten Anteil daran wird mit 17-36 TWh der Verkehrssektor haben, gefolgt vom Umwandlungssektor mit 9-23 TWh, der mit etwa 4 TWh aktuell der größte Verbraucher ist. Im Industriesektor werden Wasserstoff und Wasserstoff-Derivate vor allem für die Erzeugung von Prozesswärme eingesetzt. Der Bedarf an Wasserstoff und synthetischen Energieträgern wird sich in diesem Sektor vorerst nur langsam entwickeln – dennoch wird er sich den Berechnungen zufolge bis 2040 auf etwa 10 TWh verdoppeln. Dabei wird unterstellt, dass sich der Verbrauch in den Raffinerien nicht substantiell verändert. Dagegen steigen die Bedarfe in sämtlichen Sektoren kontinuierlich an.

Der Bedarf an elementarem Wasserstoff wird sich im Zieljahr der Treibhausgasneutralität 2040 auf 17-43 TWh/a erhöht haben. Auch hier werden der Umwandlungs- und der Mobilitätssektor die größten Verbraucher sein. Ein deutlich erhöhter Anstieg der Wasserstoffnachfrage wird bereits für die Zeit ab 2030 prognostiziert.

### Kumulierter Wasserstoffbedarf



### Kumulierter Wasserstoff- und SynFuel-Bedarf



Wie im vorherigen Kapitel gezeigt, wird sich der Wasserstoffbedarf in Bayern in den nächsten Jahren erheblich erhöhen. Die erneuerbare Stromerzeugung im Freistaat bietet nicht das Potenzial für eine groß skalierte Wasserstoffproduktion durch Elektrolyse. Bayern ist Importeur von elektrischer Energie – die negative Bilanz dürfte sich mit dem Abschalten der letzten Atomkraftreaktoren 2022 weiter vergrößern. Allein für die Produktion des heutigen Jahresverbrauchs von etwa fünf TWh Wasserstoff wäre eine Elektrolysekapazität zwischen 1,4 und 2,4 GW<sub>el</sub> notwendig (Annahme Wirkungsgrad Elektrolyseur: 0,7; mögliche Volllaststunden: 3.000-5.000). Zur Einordnung: Die maximale elektrische Last liegt in Bayern derzeit bei etwa 12,5 GW. Auch der geplante Ausbau des Übertragungsnetzes wird nicht ausreichen, die notwendige Leistung für eine groß skalierte heimische Wasserstoffproduktion bereitzustellen – zumal der wasserstoffgebundene Energietransport in Rohrleitungen ohnehin erheblich kostengünstiger ist, als der Transport von elektrischer Energie über Höchstspannungsleitungen. Der bayerische Wasserstoffbedarf muss daher in Zukunft zu großen Teilen durch Importe aus dem Rest Deutschlands, dem europäischen Ausland und aus Ländern mit sehr guten Bedingungen für erneuerbare Energien außerhalb Europas gedeckt werden. Aktuell existieren jedoch weder eine ausreichende Infrastruktur noch die Produktionskapazitäten für den großflächigen Import von Wasserstoff.

Die Wasserstoffverteilung innerhalb Deutschlands und Europas soll mittelfristig vor allem über ein leistungsfähiges Rohrleitungsnetz erfolgen, das die wichtigsten Wasserstoffquellen und -senken miteinander verbindet. Zur Ermittlung der zukünftigen Nachfrage- und Angebotsstruktur hat die Markt-abfrage WEB („Wasserstoff Erzeugung und Bedarf“) der Ferngasleitungsnetzbetreiber (FNB) potenzielle Projekte zu Erzeugung und Verbrauch von Wasserstoff erfasst. Die Ergebnisse gehen in den Szenariorahmen des Netzentwicklungsplanes Gas 2021-2023 ein und sind in aggregierter Form auf Seite 23 für das Jahr 2032 zu sehen. Insgesamt wurde bei der Markt-abfrage eine kumulierte Nachfrage von 476 TWh im Jahr 2050 genannt. Aufgrund des Designs der Abfrage sind diese Werte mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Dennoch liegen sie im Bereich gängiger Energiesystemmodellierungen und geben einen ersten Eindruck von der räumlichen Verteilung künftiger Quellen und Senken.



#### Stefanie Jacobi

Projektentwicklung Wasserstoff, Stellvertretende  
Leiterin Netzstrategie & Innovation, bayernets GmbH



» **Die Integration von Wasserstofferzeugung und -verbrauch in ein überregionales Wasserstofftransportnetz ist ein zentraler Baustein für den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft in Bayern. Das bestätigen die Ergebnisse der Markt-abfrage „Wasserstoff Erzeugung und Bedarf“ der deutschen Fernleitungsnetzbetreiber: Die bayerische Wasserstofferzeugung reicht bei weitem nicht für die Bedarfsdeckung der bayerischen Wasserstoffkunden. Für die bayerische Industrie ist die Vernetzung mit potenziellen Wasserstoffquellen in Norddeutschland und im Ausland essenziell.** «

Die gemeldeten Projekte liegen für den Wasserstoffverbrauch in etwa in dem auf Seite 21 gezeigten Korridor, wobei eine direkte Vergleichbarkeit nicht gegeben ist. Klar erkennbar ist, dass die notwendige Ausspeisemenge die geplante Einspeisemenge erheblich übersteigt. Zusätzlich ist ersichtlich, dass der Wasserstoffbedarf sich nicht ausschließlich auf industrielle Zentren fokussiert, sondern zum Teil stark dezentral geprägt ist.

Die ersten Konzepte für ein deutsches und europäisches Backbone-Netz sehen vor, dass der Süden Deutschlands und damit auch Bayern erst um 2035 angeschlossen werden.

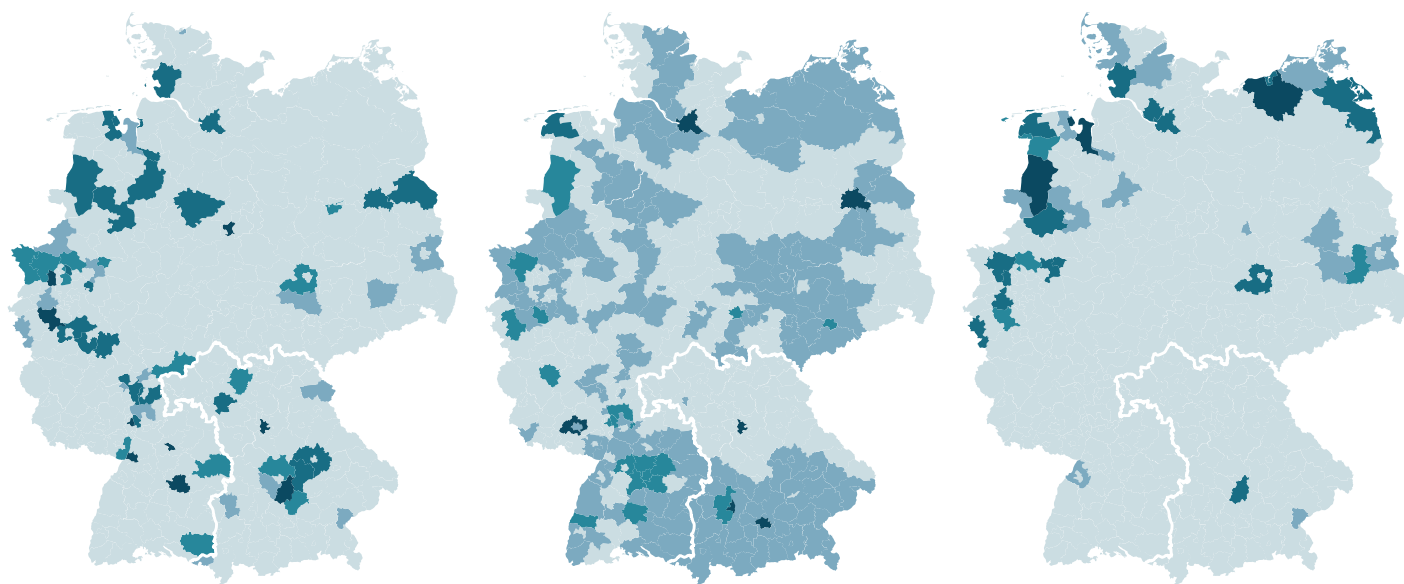
Neuere Konzepte der deutschen FNB zeigen dagegen einen Anschluss wichtiger Industriestandorte im nördlichen Oberbayern bereits bis 2030. Bis 2035 dürfte sich der Wasserstoffbedarf (ohne SynFuels) bereits auf 9-21 TWh pro Jahr belaufen. Sollte sich der Freistaat bis zum Anschluss an ein deutsches oder europäisches Rohrleitungsnetz<sup>5</sup> im Jahr 2035 eigenständig mit Wasserstoff versorgen müssen, wäre bei einem mittleren Wasserstoffbedarf von 16,5 TWh eine Elektrolyseleistung von 5-8 GW<sub>el</sub> erforderlich (Annahme Wirkungsgrad Elektrolyseur: 0,7; mögliche Volllaststunden: 3.000-5.000). Es ist absehbar, dass diese zusätzliche Last für das Stromnetz in Bayern nicht zu realisieren ist.

### Ein- und Ausspeisungen von Wasserstoff bis 2032 nach der Marktabfrage „Wasserstoff Erzeugung und Bedarf“

H<sub>2</sub>-Bedarfe Projekte

H<sub>2</sub>-Bedarfe Stadtwerke/  
Regionalversorger

H<sub>2</sub>-Quellen Projekte



**Absolute Mengen auf Kreisebene:**

- unter 0,1 TWh
- 0,1 bis unter 0,5 TWh
- 0,5 bis unter 1 TWh
- 1 bis unter 5 TWh
- über 5 TWh

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Szenariorahmen Netzentwicklungsplan Gas 2022–2032, FNB Gas e.V.

<sup>5</sup> Umgerüstete Rohrleitungen können je nach Durchmesser und Druck bis zu 13 GW transportieren.

Der Anschluss Bayerns an ein europäisches Wasserstoffnetz ist unerlässlich. Darüber hinaus muss auch die Versorgung der Fläche mit Wasserstoff ermöglicht werden, denn aktuell sind die meisten industriellen Erdgaskunden nicht auf Ferngasleitungsebene angeschlossen, sondern auf Verteilernetzebene. Die in dieser Roadmap angegebenen Verbräuche können nur einen ersten Hinweis auf die Entwicklung der bayerischen Wasserstoffnachfrage geben. Der generelle Trend weist jedoch darauf hin, dass der bayerische Wasserstoffbedarf die möglichen Erzeugungsmengen deutlich übersteigen wird. Um die Wasserstoffnachfrage auch in der Hochlaufphase verlässlich zu decken und den Einstieg in eine klimaneutrale Gesellschaft zu schaffen, müssen verschiedene Maßnahmen ergriffen werden.

### ■ Wasserstoff-Backbone-Netz

Erste Priorität muss es sein, den Anschluss Bayerns an den European Hydrogen Backbone (EHB) zu beschleunigen, um eine Versorgung der wichtigsten Verbraucher bereits ab 2030, bestenfalls aber schon davor zu erreichen.

### ■ Wasserstoffbedarfsermittlung

Zeitnah sollte eine detaillierte und regional aufgeschlüsselte Ermittlung des Wasserstoffbedarfs der einzelnen Sektoren durchgeführt werden, um die in dieser Roadmap prognostizierten Bedarfe weiter zu spezifizieren.

### ■ Erneuerbare Energien ausbauen

Der Ausbau der erneuerbaren Energien und der Übertragungsnetze muss beschleunigt werden, um ausreichend Energie und Leistung für die Produktion von Wasserstoff durch Elektrolyse in Bayern bereitstellen zu können.

### ■ Wasserstoffproduktion hochfahren

Die heimische Wasserstoffproduktion muss hochgefahren werden. Dabei sollte neben dem Wasserstoff aus Elektrolyse auch der Einsatz von Biomasse beziehungsweise organischen Reststoffen oder anderen klimafreundlichen Varianten wie blauem Wasserstoff evaluiert werden. Dies könnte vor allem für Standorte interessant sein, an denen die Produktion von Elektrolysewasserstoff aus Gründen fehlender Infrastruktur nicht ohne größere Anpassungen möglich ist. Besonders bei der Produktion von türkischem und blauem Wasserstoff müssen mögliche Lock-in-Effekte evaluiert und vermieden werden.

### ■ Bestandsanlagen prüfen

Es sollte geprüft werden, unter welchen Voraussetzungen die bestehenden Produktionsanlagen für grauen Wasserstoff übergangsweise weiter genutzt werden könnten. Die Übergangsphase sollte möglichst kurz gehalten und größtmögliche Emissionsminderung, z.B. durch CCU-Verfahren, erzielt werden.

### ■ Wasserstoffderivate nutzen

Der Import von Wasserstoff mittels Wasserstoffträgern wie LOHCs, aber auch Ammoniak oder Methanol, die nicht auf ein Wasserstoffrohrleitungsnetz angewiesen sind, sollte beschleunigt und zeitnah skaliert werden.

### ■ Bestehende Wasserstoffquellen nutzen

Bestehende Wasserstoffquellen wie Chloralkali-Elektrolyseanlagen, bei denen Wasserstoff als Nebenprodukt anfällt, müssen konsequent erschlossen werden.

### Rudolf Dieterich

Renewables, Bayernoil Raffineriegesellschaft mbH



» *Bayernoil fordert bereits für das Jahr 2029 den Anschluss der Raffinerie an den European Hydrogen Backbone, da nur dann und nur so die grundlastfähige Versorgung ihrer Standorte zur Defossilisierung der Wasserstoffbereitstellung und zur Erzeugung von synthetischen Fuels gesichert werden.* «

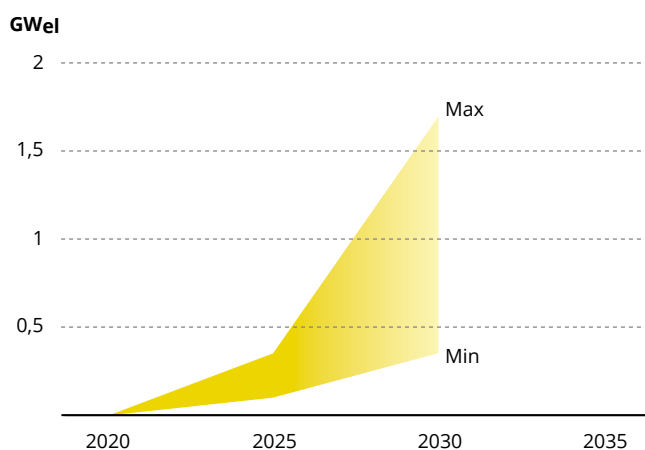


Wenn davon ausgegangen wird, dass der aktuelle Wasserstoffverbrauch vorerst weiterhin mit SMR-Anlagen gedeckt wird und der Anschluss an das European Hydrogen Backbone (EHB) bereits bis 2030 sichergestellt werden kann, verringert sich der Bedarf an zusätzlicher bayerischer Wasserstoffherzeugung auf 1,2-3,5 TWh erheblich. Dafür wären je nach Annahme der möglichen Volllaststunden zwischen 0,3 und 1,7 GWeI notwendig (Annahme Wirkungsgrad Elektrolyseur: 0,7; mögliche Volllaststunden: 3.000-5.000). Die nötigen Kapazitäten sollten vorwiegend dort aufgebaut werden, wo zukünftig die größten Verbraucher erwartet werden und wo die benötigte Infrastruktur bereits vorhanden ist – etwa an Standorten der chemischen und petrochemischen Industrie sowie an Kraftwerken. Dabei ist es aufgrund der zu erwartenden Skaleneffekte ökonomisch sinnvoll, vorwiegend leistungsfähige Anlagen zu installieren. Doch auch der Ausbau in der Fläche, die vermutlich erst sehr spät an Wasserstoffrohrleitungen angeschlossen werden kann, darf nicht vernachlässigt werden.

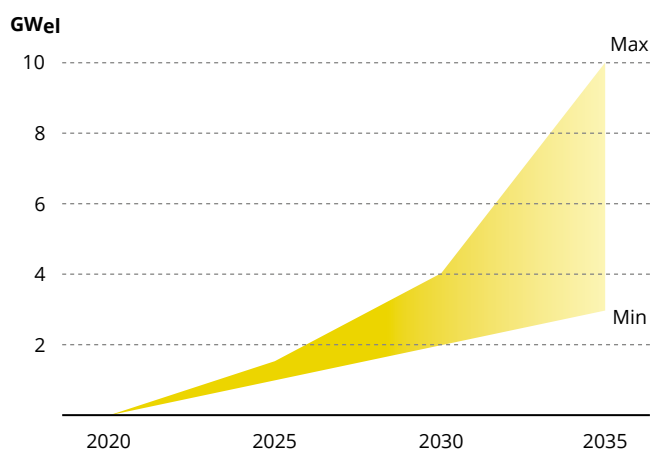
Wird hingegen unterstellt, dass der Anschluss an ein Rohrleitungsnetz erst 2035 erfolgt und die aktuellen Produzenten grauen Wasserstoffs bis 2030 auf grünen, elektrolytisch erzeugten Wasserstoff umstellen, steigt der Elektrolysebedarf auf bis 3-10 GW im Jahr 2035.

In beiden Szenarien sind die Bedarfe an regional zu erzeugendem Wasserstoff erheblich. Es gilt daher, alle technologischen Möglichkeiten zur klimaschonenden Wasserstoffherzeugung in Bayern zu berücksichtigen.“

**Bedarf an Elektrolyseleistung wenn Anschluss an EHB bis 2030**



**Bedarf an Elektrolyseleistung wenn Anschluss an EHB bis 2035**



## Welche Meilensteine können und sollten bis 2025 und 2030 erreicht werden?

Wasserstoff wird zukünftig in vielen verschiedenen Sektoren eingesetzt werden. Um Planungssicherheit bei den beteiligten Stakeholdern zu schaffen, sollen einige wichtige Meilensteine den möglichen Weg in eine Wasserstoffwirtschaft beschreiben, die den bayerischen Klimazielen gerecht wird.

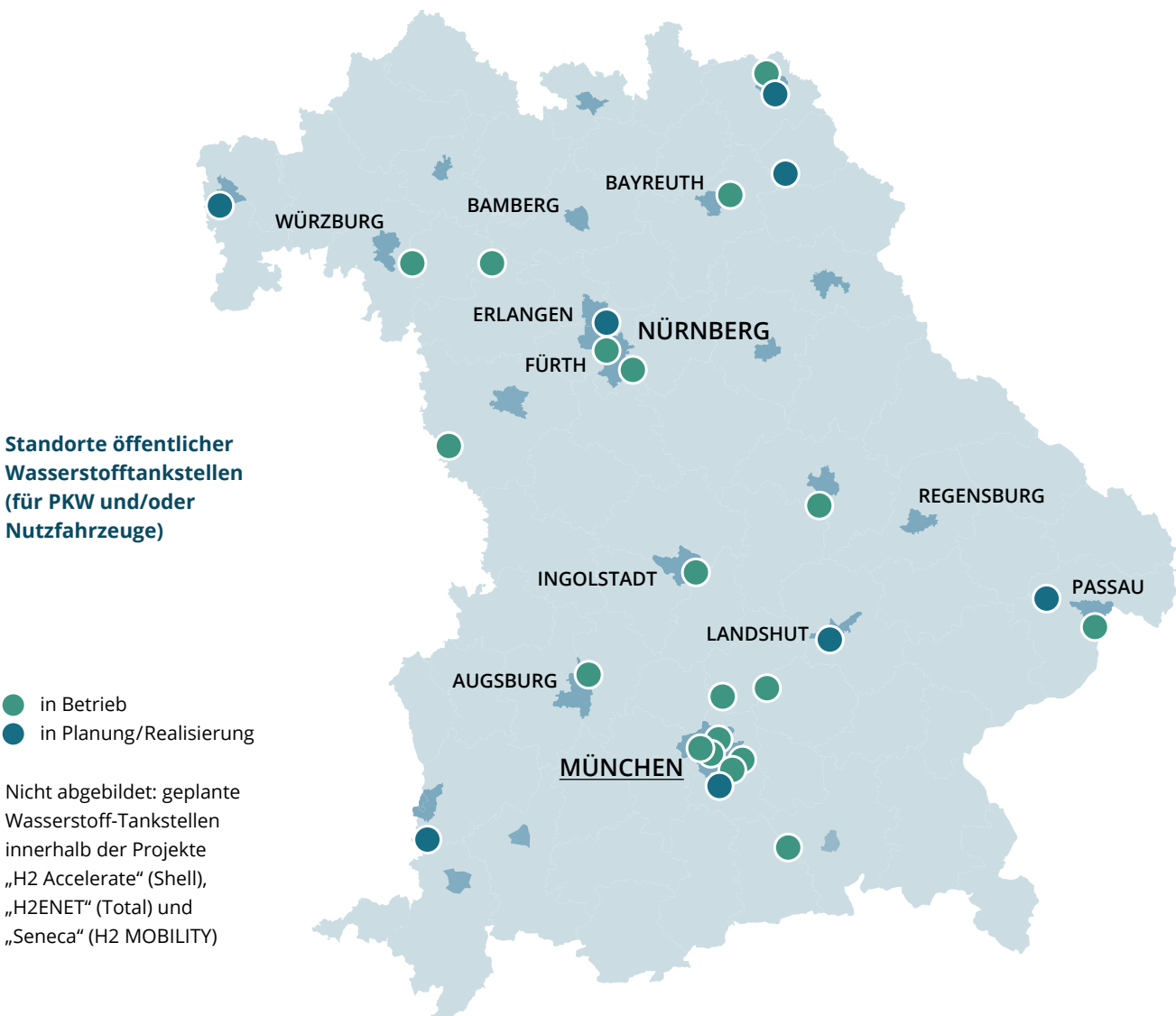
Die Produktion von grünem Wasserstoff hat in Bayern bereits begonnen. Verglichen mit den für Klimaneutralität notwendigen Dimensionen ist die Gesamtkapazität der realisierten Anlagen aber noch sehr gering. Die Anlagen bedienen vor allem die lokale Nachfrage und haben zum Teil eher einen Forschungsprojektcharakter. Um in Bayern klimafreundlichen Wasserstoff groß skaliert in die Anwendung zu bringen, muss die Verfügbarkeit des Energieträgers erheblich gesteigert werden. In der kurzen Frist kann dies nur durch die Wasserstoffproduktion innerhalb des Freistaats erreicht werden. Gleichzeitig muss Bayern an das europäische Wasserstoff-Backbone angeschlossen und der Import von Wasserstoffderivaten wie Ammoniak, Methanol, Naphtha oder LOHCs vorbereitet werden.

Der Anschluss der größten Wasserstoffverbraucher in Bayern an ein europäisches Backbone muss bis 2030 erreicht sein – ansonsten ist die Klimaneutralität bis 2040 nur schwer zu realisieren. Gleichzeitig muss der Ausbau des Wasserstoffnetzes in die Fläche (Verteilernetze) vorangetrieben werden.

Bayernweit ist das Potenzial von Nebenprodukt-Wasserstoff zu heben, nutzbar zu machen und mit Wasserstoffsinken zu verbinden. Hier sind vor allem die in Bayern existierenden Chloralkali-Elektrolysen zu nennen.

Eine gute Möglichkeit, Wasserstofftechnologien auch einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen, ist der Einsatz im öffentlichen Personennahverkehr. Aus diesem Grund sollte die Zahl der wasserstoffbetriebenen Fahrzeuge in Bayern wesentlich gesteigert werden.

Dafür ist die Zahl an Wasserstofftankstellen vor allem für Nutzfahrzeuge weiter zu erhöhen. Neben Förderinstrumenten auf Bundesebene ist das *Bayerische Förderprogramm zum Aufbau einer Wasserstofftankstelleninfrastruktur* ein wichtiges Instrument, um dieses Ziel zu erreichen.



## Meilensteine für Bayern

### ...bis 2025

#### Wasserstoffherzeugung

- Installation von mindestens 300 Megawatt Elektrolysekapazität. Zusätzliche Errichtung von Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung in gleichem Maßstab
- Initiierung von Projekten industrieller Größenordnung für die Produktion von Wasserstoff aus Biomasse
- Vorantreiben industrieller Projekte zur Produktion blauen und türkisen Wasserstoffs
- Konsequente Nutzung von Wasserstoffquellen, in denen das Gas prozessbedingt als Nebenprodukt anfällt

#### Verteilung

- Vorantreiben erster Projekte für den Import von Wasserstoffderivaten
- Aufbau/Umwidmung von ersten regionalen Wasserstoffverteilernetzen als Keimzellen der Wasserstoffwirtschaft

#### Anwendung

- Inbetriebnahme von 500 H<sub>2</sub>-Bussen für den ÖPNV
- Inbetriebnahme von 500 H<sub>2</sub>-LKW
- Weitflächige Etablierung von H<sub>2</sub>-Tankstellen
- Umsetzung erster Projekte für Prozesswärmebereitstellung mit klimafreundlichem Wasserstoff oder dessen Derivaten im industriellen Maßstab

### ...bis 2030

#### Wasserstoffherzeugung

- Installation von 1.000 Megawatt Elektrolysekapazität. Zusätzliche Errichtung von Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung in gleichem Maßstab

#### Verteilung

- Erfolgreicher Anschluss an das europäische Wasserstoff-Backbone-Netz
- Skalierung des Imports von Wasserstoffderivaten
- Aufbau/Umwidmung von weiteren regionalen Wasserstoffverteilernetzen und Vernetzung der Zentren untereinander

#### Anwendung

- Breiter Einsatz von Wasserstoff zur (Hochtemperatur-)Prozesswärmebereitstellung in der Industrie
- Sukzessiver Umstieg auf wasserstoffbasierte Kraftstoffe bei der zentralen Stromerzeugung
- Breiter Einsatz von Wasserstoff KWK-Anlagen für die dezentrale Strom- und Wärmeversorgung
- Skalierung des Einsatzes von Wasserstoff im Mobilitätssektor

## Welche Demonstrationsprojekte können daraus abgeleitet werden?

Aufgrund unpassender regulatorischer Rahmenbedingungen lassen sich viele Wasserstoffanwendungen aktuell nicht wirtschaftlich darstellen. Demonstrationsprojekte sind eine zielführende Möglichkeit, diese Technologien ins Feld zu bringen und gleichzeitig die Reife der Technologien weiter zu erhöhen.

### ■ **Hemmschwellen abbauen und Heimatmarkt stärken**

Kurzfristiges Ziel muss sein, die Investitionskosten der Anlagen zu verringern und die Durchführung der Projekte zu beschleunigen. Die technische Durchführbarkeit ist in den wenigsten Fällen ein Hemmnis, allenfalls die Verfügbarkeit einzelner Produkte, beispielsweise von Brennstoffzellenfahrzeugen.

Der Heimatmarkt ist gleichzeitig ein wichtiges Technologie-Schaufenster und ein Reallabor für die Unternehmen. Vor Ort können Technologien im Betrieb weiterentwickelt und genutzt werden, um vor der Haustür Werbung für die eigenen Ideen und die Innovationskraft bayerischer Unternehmen zu machen.

### ■ **Technologieführerschaft erhalten und ausbauen**

Auch unabhängig von einem starken Heimatmarkt wird ein Großteil der bayerischen Wertschöpfung in einer globalen Wasserstoffwirtschaft durch Entwicklung, Verkauf und Export von Technologieprodukten erzielt werden. Entsprechend sollte der Wasserstoffstandort Bayern durch Förderung sowohl der akademischen und außeruniversitären als auch der privatwirtschaftlichen Forschung und Entwicklung weiterhin besonders innovationsfreundlich gestaltet werden. Unterstützt und vernetzt durch das H2.B sollten die Akteure der bayerischen Wasserstoffwirtschaft beste Voraussetzungen vorfinden, um weiterhin führende Technologien entlang der gesamten Wasserstoffprozesskette anbieten zu können. Dabei sollten so weit wie möglich sektorenübergreifende Angebote geschaffen werden, um die Vielfalt der in Bayern vertretenen Technologiekompetenzen sinnvoll zu nutzen.

Basierend auf dem Erzeugungspotenzial von Wasserstoff und der prognostizierten Nachfrage in Bayern lassen sich generelle Empfehlungen für eine zielgerichtete Forschungs- und Technologieförderung ableiten:

- Das Potenzial für erneuerbare Energien in Bayern ist begrenzt. Neben der Produktion von grünem Wasserstoff aus Elektrolyse müssen daher weitere Wasserstoffquellen erschlossen werden. Aus diesem Grund sollte die Entwicklung von alternativen H<sub>2</sub>-Erzeugungstechnologien verstärkt berücksichtigt werden. Dies schließt gleichermaßen die Nutzung von Biomasse beziehungsweise organischen Reststoffen und die (von der Förderung bis zur Nutzung gesichert emissionsreduzierte) Produktion von Wasserstoff aus (synthetischem oder biogenem) Methan ein.
- Wasserstoff muss zukünftig vermehrt transportiert werden. Das betrifft zum einen den Transport großer Mengen Wasserstoff und dessen Derivate nach Bayern und zum anderen die Verteilung an Tankstellen, industrielle Kunden und weitere Verbraucher in der Fläche. Beide Dimensionen sollte der Freistaat bei seinen strategischen Planungen berücksichtigen und sich auf Bundesebene für bessere Rahmenbedingungen einsetzen.
- Die Entwicklung von Wasserstoffanwendungen sollte weiter unterstützt werden. Der Mobilitätssektor hat hier zusammen mit dem (Sonder-)Maschinenbau und der Elektrotechnik eine besondere Bedeutung für Bayern. Dementsprechend sollte sich der Freistaat auf Bundesebene für günstige Rahmenbedingungen der Entwicklung von Wasserstoffprodukten und klimafreundlichen Anlagen und Prozessen in ganz Deutschland stark machen. Um die Transformation der Industrie und der Strom- und Wärmegewinnung hin zu treibhausgasneutralen Prozessen zu unterstützen, sollte die Bundesförderung zielgerichtet durch flankierende bayerische Förderprogramme unterstützt werden.

### **Dr.-Ing. Ulrich Mach**

Prokurist, blueFLUX Energy AG



» *Organische Reststoffe sind regional in großen Mengen verfügbar. Durch Kreislaufwirtschaft in Kombination mit neuen Technologien werden diese Reststoffe zu Rohstoffen und bieten ein großes Potenzial zur dezentralen Herstellung von nachhaltig erzeugtem Wasserstoff und somit zum Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur.* «

## 4. Aktuelle Herausforderungen und notwendige

### Maßnahmen für eine bayerische Wasserstoffwirtschaft

Welche grundlegenden Hemmnisse sieht die bayerische Wirtschaft beim Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft?

Für die Erstellung der bayerischen Wasserstoff-Roadmap wurden die Partner des Wasserstoffbündnis Bayern nach den größten Herausforderungen beim Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft befragt. Dabei war auffällig, dass sowohl der technologische Reifegrad der verwandten Technologien als

auch die fehlende Akzeptanz der Bevölkerung eher selten als entscheidende Herausforderung gesehen wurden. Deutlich häufiger wurden dagegen ein fehlender Fahrplan der politischen Entscheidungsträger und vor allem ein ungeeigneter regulatorischer Rahmen genannt.

### Maßnahmen zum Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft

#### ...auf nationaler und internationaler Ebene

Um vor allem diese Hürden zu überwinden und den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft zügig voranzutreiben, schlägt das H2.B einen Maßnahmenkatalog vor. Ein Großteil der Maßnahmen liegt dabei nicht in der alleinigen Verantwortung des Freistaats Bayern, sondern ist auf nationaler und europäischer Ebene zu entscheiden. Dennoch kann und sollte Bayern sich konstruktiv in politische Entscheidungsprozesse einbringen.

Dazu zählen unter anderem:

- Reduzierung staatlich induzierter Abgaben auf den Strompreis, zum Beispiel Senkung der Stromsteuer auf das europäische Mindestmaß
- Einführung von Herkunftsnachweisen für klimafreundlichen Wasserstoff
- Richtungsentscheidung für den Einsatz weiterer Erzeugungstechnologien neben grünem Wasserstoff, zum Beispiel blaue, türkise oder orange Alternativen
- Einführung von Anreiz- und Ausgleichsmechanismen zur Förderung von klimafreundlichen Investitionen, zum Beispiel Differenzkontrakte
- Zügiger Ausbau des europäischen/nationalen Fernleitungsnetzes für Wasserstoff (zum Teil durch Umwidmung bestehender Rohrtrassen)
- Sicherung der Verfügbarkeit von Wasserstofftankstellen entlang der europäischen Hauptverkehrsstraßen – zumindest aber der Autobahnen – im Rahmen der Umsetzung der Alternative Infrastructure Directive (AFID – 2014/94/EU)

#### ...in Bayern

Der Freistaat hat ebenfalls Gestaltungsmöglichkeiten, die Wasserstoffwirtschaft in Bayern zu fördern:

- Massiv beschleunigter Ausbau der erneuerbaren Energien
- Weiterentwicklung maßgeschneiderter Förderprogramme für den bayerischen Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort
- Information und Beteiligung von Bürgern und Unternehmen zur Schaffung von Akzeptanz
- Erarbeitung detaillierter Studien zu künftigem Wasserstoffbedarf und Produktionspotenzial in Bayern
- Stärkung der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften
- Initiierung der öffentlichen Beschaffung von Wasserstofffahrzeugen

## 5. Fazit und Ausblick


Aufgrund des ambitionierten Ziels der Klimaneutralität bis 2040 muss Bayern auch bei der Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft eine Vorreiterrolle übernehmen. Der bayerische Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort ist für diese Aufgabe sehr gut aufgestellt. Da die Planungs- und Investitionszyklen sowohl bei Infrastrukturmaßnahmen als auch beim klimafreundlichen Umbau der Industrie sehr lang sind, ist es wichtig, die betroffenen Unternehmen schnellstmöglich einzubin-


den. Klar ist aber auch: Die handelnden Akteure brauchen Planungssicherheit – deshalb müssen die entscheidenden Weichen frühzeitig gestellt werden. Der Strategieprozess in Bayern muss weiter vorangetrieben werden, um auf zukünftige Entwicklungen reagieren zu können und die Transformation der bayerischen Wirtschaft weiter kritisch zu begleiten. Die vorliegende Roadmap soll zentrale Handlungsempfehlungen für diesen Prozess geben.

## Kontakt / Impressum

Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B)  
Fürther Straße 250  
90429 Nürnberg  
Telefon: +49 (0) 911 56854 99236  
info@h2.bayern  
www.h2.bayern

Folgen Sie uns auch auf unseren Social Media Kanälen und erhalten Sie aktuelle Informationen zu wasserstoffbezogenen Themen und Veranstaltungen:

 @H2B\_bayern

 /company/h2bayern



Herausgeber: Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B)  
Autoren: Philipp Runge, Stefan Dürr, Dr. Fabian Pfaffenberger,  
Prof. Dr. Veronika Grimm, Prof. Dr. Peter Wasserscheid  
Verantwortlich für den Inhalt:  
Dr. Fabian Pfaffenberger, Fürther Straße 250, 90429 Nürnberg  
Layout: zur.gestaltung, Nürnberg  
Fotos/Abbildungen: H2.B, bayernets GmbH, blueFlux Energy AG,  
Kurt Fuchs, Giulia Iannicelli, Georg Pöhlein, Schaeffler AG, StMWi Bayern  
Grafiken: Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B)  
Stand: April 2022 (aktualisierte Ausgabe)

Dieses Durckerzeugnis wurde klimaneutral gedruckt.



<b>BioFuels</b>	Auf Basis nachwachsender Rohstoffe hergestellte gasförmige oder flüssige Kraftstoffe (engl.: Biological Fuels)
<b>Blauer Wasserstoff</b>	Wasserstoff, der aus fossilen Energieträgern gewonnen wird. Die entstehenden CO <sub>2</sub> -Emissionen werden möglichst vollständig abgefangen und anschließend gespeichert oder weiterverwendet
<b>cH<sub>2</sub></b>	Tiefgekühlter, teilweise verflüssigter Wasserstoff (engl.: Compressed Cryogenic Hydrogen)
<b>CCS</b>	CO <sub>2</sub> -Abscheidung und -Speicherung (engl.: Carbon Capture and Storage)
<b>CCU</b>	CO <sub>2</sub> -Abscheidung und -Weiterverwendung (engl.: Carbon Capture and Utilization)
<b>Defossilisierung</b>	Die Beendigung des Ausstoßes von Kohlendioxid aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe. Übrigbleibende, z.B. End-of-life-Emissionen, müssen durch negative Emissionen kompensiert werden
<b>EEG</b>	Erneuerbare Energien Gesetz – oft synonym für die zugehörige, gesetzlich festgelegte Umlage zur Unterstützung erneuerbarer Stromerzeugungsanlagen
<b>EHB</b>	Europäisches Gasnetz zur Wasserstoffgrundversorgung (engl.: European Hydrogen Backbone)
<b>FCE</b>	Brennstoffzellen-elektrisch (engl.: Fuel Cell Electric)
<b>FCEV</b>	Brennstoffzellen-elektrische Fahrzeuge (engl.: Fuel Cell Electric Vehicle)
<b>FNB</b>	Fernleitungsnetzbetreiber – Betreiber der Gasfernleitungsnetze
<b>Grauer Wasserstoff</b>	Wasserstoff, der durch Dampfreformierung – beziehungsweise partielle Oxidation von fossilen Kohlenwasserstoffen gewonnen wird. Aus Methan (CH <sub>4</sub> ) und Wasser (H <sub>2</sub> O) wird Wasserstoff und CO <sub>2</sub>
<b>Grüner Wasserstoff</b>	Wasserstoff, der durch Wasserelektrolyse unter dem Einsatz von regenerativer Energie erzeugt wurde
<b>Klimafreundlicher Wasserstoff</b>	Wasserstoff, der erheblich reduzierte Treibhausgas-Emissionen im Vergleich zur Reformierung bzw. partielle Oxidation von fossilen Kohlenwasserstoffen ohne Speicherung oder Weiterverwendung der entstehenden Emissionen
<b>KWK</b>	Kraft-Wärme-Kopplung
<b>LH<sub>2</sub></b>	Stark abgekühlter und dadurch flüssiger Wasserstoff (engl.: Liquid Hydrogen)
<b>LOHC</b>	Flüssige, organische Verbindungen, die Wasserstoff durch chemische Reaktion aufnehmen und wieder abgeben können (engl.: Liquid Organic Hydrogen Carrier)
<b>MeOH</b>	Methanol
<b>ÖPNV</b>	Öffentlicher Personennahverkehr
<b>Orangener Wasserstoff</b>	Wasserstoff, der durch thermochemische oder biologische Konversionsverfahren aus Biomasse beziehungsweise organische Reststoffe erzeugt wurde
<b>SMR</b>	Dampfreformierung (engl.: Steam Methan Reforming)
<b>SynFuels</b>	Synthetisch hergestellte gasförmige oder flüssige Kraftstoffe (engl.: Synthetic Fuels)
<b>Türkiser Wasserstoff</b>	Wasserstoff, der aus fossilen Energieträgern gewonnen wird. Bei dem Produktionsprozess entsteht fester Kohlenstoff, der deponiert oder weiterverwendet werden kann

[www.h2.bayern](http://www.h2.bayern)

 **Klimaneutral**  
Druckprodukt  
ClimatePartner.com/10170-2204-1881