



Frieder Schnabel | Jan Haberzettl | Anna-Lena Klingler | Maike Schmidt | Marcel Klingler | Andreas Friedrich

Wasserstoff- und Brennstoffzellenstrategie für die Region Stuttgart

Eckpunkte und Maßnahmen

Autor*innen



Frieder Schnabel

Jan Haberzettl

Dr. Anna-Lena Klingler



Maïke Schmidt

Marcel Klingler



Prof. Dr. Andreas Friedrich

Frieder Schnabel | Jan Haberzettl | Anna-Lena Klingler | Maike Schmidt |
Marcel Klingler | Andreas Friedrich

Wasserstoff- und Brennstoff- zellenstrategie für die Region Stuttgart

Eckpunkte und Maßnahmen

Vorwort

Die industriestärke Region Stuttgart zählt auf internationalem Level zu den führenden Innovations- und Produktionsstandorten. Das zeigt sich unter anderem in der Anzahl eingereicherter Patente vorwiegend im Automobil- und im Maschinenbau. Dies bedeutet aber auch, dass in der Region Stuttgart mit ihren 2,8 Mio Einwohnern, die Begrenzung des Klimawandels durch Reduzierung der CO₂-Emissionen, eine der zentralen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts darstellt. Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien eignen sich zur Sektorenkopplung und können mittel- bis langfristig wesentlich dazu beitragen, die Klimaschutzziele bis 2050 auf Landes-, Bundes- und europäischer Ebene zu erreichen.



Wasserstoff und die dafür benötigten Technologien bieten große Potenziale für Industrie- und Technologiestandorte wie der Region Stuttgart. Konventionelle Technologien sollen durch neue, "grüne" Technologien ersetzt werden. Auch die Region Stuttgart ist von diesem Strukturwandel betroffen. Diese Herausforderung bietet aber auch große Chancen für die Region, die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und internationale Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten und durch vorhandene Forschungs- und Technologiekompetenz sowie Innovationsfähigkeit weiter auszubauen. Wasserstoff und Brennstoffzelle und alle dafür benötigten Technologien stehen daher auch im Fokus der von der Region Stuttgart identifizierten Zukunftsfelder.

Der Erhalt und Ausbau von Arbeitsplätzen in der Region Stuttgart sollte durch eine Industrialisierung der mobilen und stationären Wasserstoff- und Brennstoffzellenanwendungen unterstützt werden. Die Vernetzung der Akteure kann im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie bei der Entwicklung von Systemen für Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff Wettbewerbsvorteile bringen. Damit sollen auch die Unternehmen der Region Stuttgart darin unterstützt werden, ihre führende technologische Position im internationalen Wettbewerb zu behaupten.

Wir möchten die Region Stuttgart, eingebettet in die Ziele des Landes Baden-Württemberg, als führenden Standort in der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie etablieren. Mit der Wasserstoffstrategie stellen wir nun einen strukturierten Fahrplan für den Auf- und Ausbau der Wasserstoffwirtschaft in der Region Stuttgart vor.

A handwritten signature in blue ink that reads "Walter Rogg". The signature is written in a cursive, slightly stylized font.

Dr. Walter Rogg
Geschäftsführer
Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH

Inhalt

Vorwort	3
1 Einleitung	4
2 Wasserstoff – Energieträger der Zukunft	5
3 Wasserstoff-Technologiestandort Region Stuttgart	7
3.1 Kurzüberblick über die Region Stuttgart	7
3.2 Sektoren und Akteure	9
3.3 Situationsanalyse	11
3.3.1 Tätigkeitsbereiche der regionalen Akteure	11
3.3.2 Bildung und Forschung.....	13
3.3.3 Vernetzung der Akteure	14
3.4 Potentialanalyse	15
3.4.1 Europäische und nationale Wertschöpfungspotentiale	15
3.4.2 Marktpotentiale in der Region Stuttgart	15
3.4.3 Treibhausgas-Einsparpotentiale	17
3.4.4 Stromerzeugungspotentiale aus Alt-EEG-Anlagen	17
3.5 Bedarfsprognosen	18
3.5.1 Bedarfsprognose Deutschland	18
3.5.2 Zukünftige Nachfrageimpulse in der Region.....	18
3.5.3 Bedarfsprognose für die Region Stuttgart	18
3.5.4 Regionale Bedarfsprognose für den Sektor Mobilität 2030.....	19
4 Vision »Grüne Wasserstoffregion Stuttgart 2035«	21
5 Maßnahmen für die Region Stuttgart	23
5.1 Maßnahmenübersicht	24
5.1.1 Maßnahmen sehr hoher Priorität	24
5.1.2 Maßnahmen hoher Priorität	25
5.1.3 Maßnahmen mittlerer Priorität	26
5.2 Detailbeschreibung der Maßnahmen	27
5.2.1 Maßnahmen für den Sektor Erzeugung, Speicherung, Verteilung	28
5.2.2 Maßnahmen für den Sektor Mobilität.....	31
5.2.3 Maßnahmen für den Sektor Wasserstoff-Basistechnologie	34
5.2.4 Maßnahmen für den Sektor Stromerzeugung	36
5.2.5 Maßnahmen für den Sektor Gebäude	37
5.2.6 Maßnahmen für den Sektor Industrie	38
5.2.7 Sektorübergreifende Maßnahmen	38
6 Fazit und Ausblick	42
7 Literaturverzeichnis	43

1 Einleitung

Grüner Wasserstoff gilt als Energieträger der Zukunft und ist ein wichtiges Element zur Erreichung globaler Klimaschutzziele. Dementsprechend dynamisch entwickelt sich aktuell die Ausgestaltung einer globalen Wasserstoffwirtschaft. Auch wenn für deren Etablierung noch technologische und regulatorische Grundlagen gelegt werden müssen, kann Wasserstoff durch seine flexiblen Anwendungsmöglichkeiten in allen Sektoren dazu beitragen, die Dekarbonisierungsziele auf EU-, nationaler sowie Landesebene zu erreichen.

Gemäß der 2019 veröffentlichten Europäischen Wasserstoff-Roadmap (Hydrogen Roadmap Europe) soll im Jahr 2050 der Energiebedarf in der Europäischen Union zu etwa einem Viertel aus Wasserstoff gedeckt werden, um eine Emissionsreduktion von 560 Megatonnen CO₂ zu erreichen [1]. Die Ambitionen zur Treibhausgasreduktion gewinnen vor dem Hintergrund des durch die Europäische Kommission im Juli 2021 beschlossenen Fit-for-55-Paketes noch zusätzlich an Relevanz [2].

Deutschland und Baden-Württemberg möchten in der weltweiten Wasserstoffwirtschaft eine Spitzenposition einnehmen und fördern deshalb intensiv Pilotprojekte sowie Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zum Thema Wasserstoff und Brennstoffzelle [3]. Wichtige Eckpunkte und Handlungsfelder dafür wurden bereits in Roadmaps für Deutschland [4] und Baden-Württemberg [5] sowie in der Innovationsstrategie des Bundeslandes abgesteckt [39].

Auch für die Region Stuttgart liegt eines der wichtigsten strategischen Ziele in der Marktaktivierung und Industrialisierung der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft, um durch den Strukturwandel hin zu »grünen« Technologien Wohlstand und Arbeitsplätze zu wahren und auszubauen. Die Anstrengungen Baden-Württembergs und somit auch der Region Stuttgart in den kommenden Jahren werden dabei über die Rolle des Landes und der Region auf dem zukünftigen Wasserstoffweltmarkt bestimmen [6]. Diese Chancen hat die Region Stuttgart frühzeitig erkannt und eine Strategie »Wasserstoff und Brennstoffzelle« erarbeitet.

Dieses Strategiepapier baut auf den oben genannten Roadmaps von EU, Deutschland und Baden-Württemberg auf und beinhaltet Leitplanken für die Transformation der Region Stuttgart zu einer grünen Wasserstoffregion. Die Region als Industrie- und Technologiestandort ist bereits heute treibender Akteur im Land Baden-Württemberg und weist mit ihren hochqualifizierten Forschungseinrichtungen und der starken Industrielandschaft großes Potential auf, zukünftig eine führende Position in der Wasserstoffwirtschaft einnehmen zu können. Dem regionalen Maschinen- und Anlagenbau sowie speziell dem Fahrzeugbau und der automobilen Zulieferindustrie kommen hierbei eine besondere Rolle in der Herstellung von Komponenten und (Teil-)Systemen für die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik zu. Doch auch die kommunalen Versorger, die Forschungslandschaft, die gesellschaftlichen Akteure sowie die verarbeitenden Gewerbe und dienstleistenden Unternehmen sind wichtig für eine ökonomisch selbsttragende grüne Wasserstoffwirtschaft.

Mit der »Strategie Wasserstoff und Brennstoffzelle« wird die Sichtbarkeit von Wasserstoffthemen in der Region unterstützt und ein koordiniertes Vorgehen über die kommenden Jahre ermöglicht. Hierfür enthält sie neben der Analyse der aktuellen Ist-Situation und zukünftigen Potentialen der Region eine Vision 2035, deren Ziele mit Handlungsschwerpunkten und einem konkreten Maßnahmenplan unterfüttert werden. Somit dient diese Strategie auch als Rahmen für das geplante Förderprogramm »Wasserstoff und Brennstoffzelle« der Wirtschaftsförderung Stuttgart GmbH zur Realisation konkreter Vorhaben, welche speziell die Ansiedlung von Start-Ups und die Unterstützung etablierter Unternehmen befördern sollen.

Das Element Wasserstoff ist fast ausschließlich in chemischen Verbindungen wie etwa Wasser, Erdgas oder Erdöl zu finden. Um reinen Wasserstoff zu gewinnen, müssen diese Verbindungen unter Energieeinsatz in ihre Einzelemente aufgespalten werden. Dabei hängt die Klimafreundlichkeit des Wasserstoffs vor allem vom Einsatz der chemischen Rohstoffe und der erforderlichen Energieträger bei dessen Produktion ab [4].

Um hier differenzieren zu können, wurde die »Farbenlehre« des Wasserstoffs eingeführt: »Grüner Wasserstoff« gilt als prinzipiell emissionsfrei. Für seine Erzeugung aus Wasser kommt ausschließlich Strom aus regenerativen Energien bzw. bei der Dampfreformierung Biomethan zum Einsatz. Weitere Herstellungsverfahren, die Emissionen stark reduzieren aber auf der Nutzung fossiler Brennstoffe als Rohstoff basieren, sind die thermische Spaltung von Methan in der Methanpyrolyse (»türkiser Wasserstoff«) oder die Dampfreformierung von Methan mit Abscheidung und dauerhafter Lagerung des im Prozess anfallenden CO₂ (»blauer Wasserstoff«). Wasserstoff aus Dampfreformierung von Methan ohne Carbon Capture and Storage ist dagegen emissionsbehaftet und wird als „grauer Wasserstoff“ gehandelt. Dies trifft auf den überwiegenden Teil des heute genutzten Wasserstoffs zu.

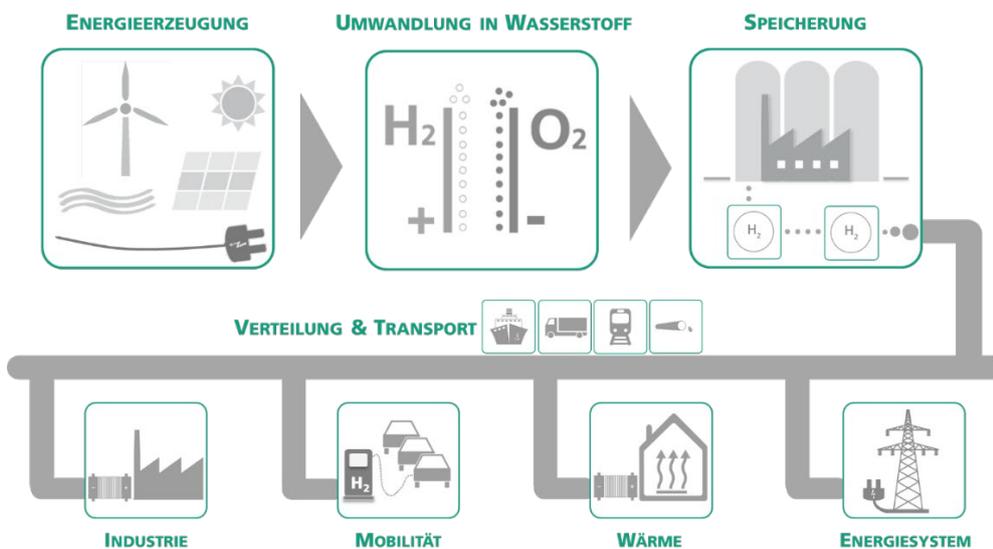


Abb. 01: Wertschöpfungskette von Wasserstoff

Für den Transport von Wasserstoff bieten sich unterschiedliche Vektoren an: Lkw, Bahn, Schiff oder unter-/oberirdisch per Pipeline. Für Herstellung, Transport und Anwendungen von Wasserstoff sind eng auf den Anwendungsfall zugeschnittene Speichertechnologien notwendig. Hierfür eignet sich beispielsweise die Druck- oder Flüssigwasserstoffspeicherung in gekühlter, verdichteter oder tiefkalter Form. Alternativ kann Wasserstoff von festen Speicherstoffen wie Metallhydriden absorbiert oder chemisch an ein flüssiges Trägermedium wie Thermoöl gebunden werden (z. B. Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC) [4, 7].

Wasserstoff stellt eine flexibel einsetzbare und gleichzeitig umweltfreundliche Alternative zu fossilen Energieträgern dar und wird darum häufig als das »Öl der Zukunft« bezeichnet. Mit seinen besonderen Eigenschaften gilt der Energieträger als essentieller Baustein für das Erreichen der Energie- und Klimaziele, insbesondere der Klimaneutralität. Erneuerbare Energieträger produzieren witterungsbedingt häufig nur fluktuierend. Mit der Möglichkeit der Umwandlung erneuerbarer Energien in chemische, speicherfähige

hige Energieträger kann Wasserstoff die Flexibilität des Energiesystems erhöhen. In Zeiten hoher Stromerzeugung kann Wasserstoff produziert, gespeichert oder anderen Energieverbrauchssektoren zur Verfügung gestellt werden. In Zeiten niedriger Stromerzeugung kann Wasserstoff hingegen rückverstromt werden, um zur Deckung des Strombedarf beizutragen. Neben seinen ökologischen Vorteilen besitzt die Wasserstofftechnologie das Potential, auch die Wirtschaftskraft einzelner Regionen wie z. B. Stuttgart zu steigern und eine Vielzahl an neuen Arbeitsplätzen über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg zu schaffen.

Durch die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten in verschiedenen Sektoren und Prozessen über sowohl mobile Systeme (z.B. Brennstoffzellen in Fahrzeugen) als auch stationäre Anlagen (z.B. Brennstoffzellen in der ortsfesten Hausenergieversorgung) ermöglicht Wasserstoff ein sehr breites Anwendungsspektrum. Grüner Wasserstoff bietet dabei vor allem Lösungen zur Dekarbonisierung in Sektoren, die sich nur schlecht elektrifizieren lassen. Wichtige Anwendungsbereiche liegen im Verkehrssektor sowie im Industriesektor zur direkten Nutzung oder zur Prozesswärmeerzeugung gerade auch in energieintensiven Bereichen wie in Raffinerien oder in der Stahl-, Zement-, Glas-, Papier- und Chemieindustrie. Wasserstoff kann auch zur Dekarbonisierung der Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung beitragen, wobei hierbei nicht der Einsatz in herkömmlichen Brennwärtekesseln favorisiert wird, sondern vielmehr die Nutzung der Abwärme aus Elektrolyseanlagen in Kombination mit einer netzgebundenen Wärmeversorgung. Mit solchen und anderen Synergiepotentialen spielt Wasserstoff auch als Bindeglied in der Sektorenkopplung des Strom-, Wärme-, Verkehrs- und Industriesektors zukünftig eine maßgebliche Rolle.

Für den breiten Einsatz von Wasserstoff sind jedoch noch einige Herausforderungen zu meistern. Die Technologien und das Know-how sind zwar in Deutschland und der Region Stuttgart grundsätzlich vorhanden, es fehlt jedoch noch der Schritt hin zur breiten Anwendung mit Serienproduktion und Hochskalierung sowie die hiermit verbundene Realisierung erheblicher Kostensenkungspotenziale. Darum sind die Herstellung und Nutzung von Wasserstoff derzeit in der Regel noch nicht wirtschaftlich darstellbar. Weiterhin ist mangels Infrastruktur und Nachfrage bislang keine flächendeckende Versorgung mit Wasserstoff vorhanden.

3

Wasserstoff-Technologiestandort Region Stuttgart

3.1

Kurzüberblick über die Region Stuttgart

Lage

Die Region Stuttgart befindet sich in zentraler Lage Baden-Württembergs. Sie setzt sich aus der Landeshauptstadt Stuttgart sowie den umliegenden Landkreisen Böblingen, Esslingen, Göppingen, Ludwigsburg und Rems-Murr zusammen. Diese unterteilen sich wiederum in insgesamt 179 Kommunen. Die zentrale Lage der Region Stuttgart begünstigt eine besonders gute Anbindung an das Verkehrsnetz. Dabei bieten sowohl die Bahn mit dem Ausbau des Schienennetzes durch Stuttgart 21, die Hauptverkehrswege der Autobahn in alle Richtungen, als auch der Neckar eine hervorragende Ausgangslage für weiteres Wirtschaftswachstum [8].

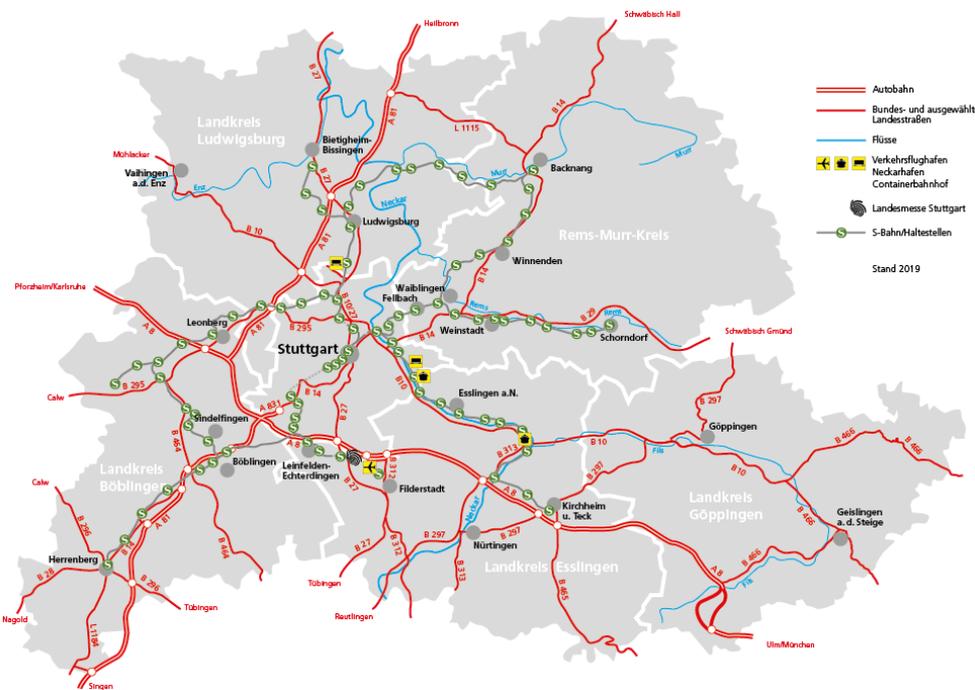


Abb. 02: Landkarte der Region Stuttgart [32].

Branchen

Besonders zwei exportorientierte Branchen beeinflussen die Wirtschaftsstruktur und die Entwicklung der Region: zum einen die Automobilbranche, zum anderen die Produktionstechnik. Erstere besitzt mit ihren OEMs und Zulieferern den höchsten Anteil an der Wertschöpfung. Die regionale Automobilbranche macht mit einem Umsatz von 60,6 Mrd € einen Umsatzanteil von knapp 54 Prozent aus (Stand 2018) [9]. Neben dem Fahrzeugbau und dem Maschinen- und Anlagenbau existieren im verarbeitenden Gewerbe, im Dienstleistungssektor und in der Handwerkswirtschaft zahlreiche weitere Unternehmen, die zentrale Elemente der Wirtschaftsregion Stuttgart darstellen.

Beschäftigung

Die Beschäftigungszahlen der letzten Jahre zeigen einen steigenden Trend. Auch wenn im Vergleich mit dem Bundesdurchschnitt das produzierende Gewerbe weiterhin überdurchschnittlich viele Beschäftigte verzeichnet, gewann der Dienstleistungssektor in der

Region Stuttgart in den vergangenen 20 Jahren stark an Bedeutung (Anstieg des Anteils an der Gesamtbeschäftigung von 46 Prozent in 1991 auf rund 67 Prozent in 2019) [8, 9]. Dabei wird ein überdurchschnittlicher Spezialisierungsgrad in der Region festgestellt. Den höchsten Anteil an beschäftigten Personen machen unternehmensnahe Dienstleistungen aus, gefolgt vom Fahrzeug- und Maschinenbau. Rund 43 Prozent der Arbeitnehmenden in der Region sind dabei in den deutschen Zukunftsfeldern Maschinen- und Fahrzeugbau, wissensintensive Dienstleistungen, Logistik, IT/Elektro, Pharma und Gesundheit tätig [10].

Tab. 01: Allgemeine Informationen und Daten zur Region Stuttgart.

Größe	3654 km ² [8]
Flächennutzung	23 % Siedlungs- und Verkehrsfläche 31 % Waldfläche 45 % Landwirtschaftsfläche [8]
Bevölkerungszahl	2,8 Mio, <i>entspricht ca. 25 Prozent der der Bevölkerung Baden-Württembergs</i> [8]
Bevölkerungsdichte	763 Personen pro m ² , <i>hohe Bevölkerungsdichte im nationalen und europäischen Vergleich</i> [8]
Beschäftigung	1,26 Mio Arbeitnehmende (Stand 2019): 66,7 % Dienstleistungsgewerbe 33 % produzierendes Gewerbe 0,3 % Land- und Forstwirtschaft [9]
Arbeitslosenquote	4,2 % (Stand 2021) [11]
Wirtschaftskraft	BIP: 149 Mrd € (Stand 2017), <i>entspricht ca. 30 Prozent der Wertschöpfung Baden-Württembergs</i> [8]
Exportquote	67 % (Stand 2018) [12]

Klimaziele

Die im Koalitionsvertrag und der Novelle des Klimaschutzgesetzes angestrebten aktuellen Klimaziele des Landes Baden-Württemberg sehen eine Verringerung der Gesamtemissionen um mindestens 65 Prozent bis 2030 und das Erreichen der Klimaneutralität bereits im Jahr 2040 vor. Dies bedeutet nicht nur eine erhebliche Steigerung des Ambitionsniveaus gegenüber den bisherigen Zielen von -42 Prozent bis 2030 und -90 Prozent bis 2050 (jeweils gegenüber 1990), sondern auch gegenüber den Zielsetzungen des Bundes, der gemäß der Novelle des Bundesklimaschutzgesetzes bis 2030 eine Reduktion von -65 Prozent (gegenüber 1990) und das Erreichen der Klimaneutralität bis 2045 anstrebt [34]. Mit diesem neuen Ambitionsniveau werden die Anforderungen im Gebäude-, Energie- und Mobilitätssektor und in der öffentlichen Hand, für die hohe Potentiale für die Einsparung an Emissionen gesehen werden [13], weiter steigen. Die im integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept (IEKK) erarbeiteten konkreten Strategien und Maßnahmen zur Erreichung der Ziele, die unter anderem den Aufbau einer Infrastruktur zur Anwendung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik beinhalten [14], werden mit deutlich höherer Intensität verfolgt werden müssen, um den neuen Zielen gerecht zu werden.

Dass der Klimaschutz ein bedeutendes Thema ist, zeigt exemplarisch auch die Stadt Stuttgart, die innerhalb des Aktionsprogramms Klimaschutz beispielsweise bis 2050 eine Energieversorgung ausschließlich auf Basis erneuerbarer Energien plant [15]. Auch die Reduktion von Luftschadstoffen in Stuttgart und Umgebung ist dabei ein Thema. Für den Zeitraum 2020 bis 2023 wird die Stadt Stuttgart 200 Mio € über einen Klimafond in Klimaschutzmaßnahmen in den Bereichen Heizung und Strom, Mobilität, Ernährung, und öffentliche Emissionen investieren [16].

Innovationsfähigkeit

Baden-Württemberg ist innerhalb der Europäischen Union die Region mit der höchsten Innovationsfähigkeit. Innerhalb Baden-Württembergs weist die Region Stuttgart die höchste Innovationsfähigkeit auf. Dies liegt zum einen an den hohen Investitionen in Forschung und Entwicklung (FuE), dem hohen Anteil an FuE-Personal sowie an den forschungsintensiven Industriezweigen der Region [16].

Kurzfasit

Die gute konjunkturelle Lage und wachsenden Beschäftigungszahlen machen die Region Stuttgart zu einer der wirtschaftlich stärksten Gegenden in Deutschland [8]. Besonders hinsichtlich Demographie, Arbeitsmarkt, Wettbewerb, Innovationsfähigkeit sowie Wohlstand und soziale Lage ist die Region Stuttgart gut aufgestellt. Im Bundesvergleich bieten sich in dieser Region deshalb sehr hohe Zukunftschancen für das Wachstum bestehender sowie neuer Industriezweige wie der Wasserstoffwirtschaft [10].

3.2

Sektoren und Akteure

In der Region Stuttgart sind Akteure der großen Branchencluster Automotive und Produktionstechnik bereits heute in den Themenfeldern Wasserstoff und Brennstoffzelle aktiv oder planen den zeitnahen Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft. Doch auch dienstleistende, beratende und produzierende Branchen, öffentliche Einrichtungen und kommunale Versorger, sowie universitäre und außeruniversitäre Forschungsakteure arbeiten an der Entwicklung einer Wasserstoffregion Stuttgart.

Gemäß der Auswertung von Studien [5, 6, 18], Branchenverzeichnissen [19, 20], Interviews mit Fachexperten und weiteren Recherchen sind in der Region Stuttgart bereits heute 166 Akteure in den Themenfeldern Wasserstoff und Brennstoffzelle aktiv oder planen nach eigener Aussage den kurzfristigen Einstieg in wasserstoffbezogene Geschäfts- oder Forschungsfelder. Aufgrund der dynamischen Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft in der Region Stuttgart erheben die Ergebnisse der Auswertung keinen Anspruch auf Vollständigkeit (insbesondere hinsichtlich zukünftiger Akteure) und stellen eine Momentaufnahme dar.

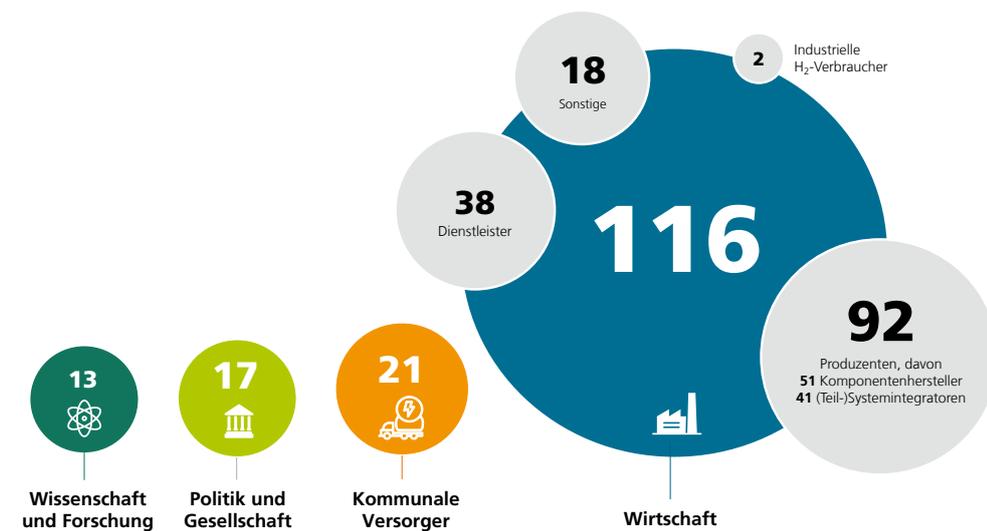


Abb. 03: Klassifizierung der Akteure nach Akteursform.

Werden Akteure nach ihrer Akteursform (Rechtsform und Rolle) gruppiert, lassen sich 116 Wirtschaftsunternehmen, 17 Akteure aus Politik und Gesellschaft (z. B. Kommunen, Regionalparlamente, politische Organisationen und Verbände sowie Cluster und Netzwerke), 13 universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, sowie 21

kommunale Versorger (z. B. Stadtwerke) identifizieren, welche mindestens einen Standort in der Region Stuttgart betreiben und deren Tätigkeiten einen eindeutigen Wasserstoffbezug aufweisen (siehe Abb. 03).

Die Wirtschaft mit unterschiedlichen personen- und kapitalgesellschaftlichen Unternehmensformen stellt die größte Akteursgruppe dar und kann anhand ihres Betriebszweckes weiter unterteilt werden (Mehrfachzuordnungen möglich). Demnach produziert der größte Anteil der Unternehmen (92 Akteure) entweder Komponenten für Wasserstoff- und Brennstoffzellensysteme (41) und/oder integriert diese in (Teil-)Systeme (51). 21 Unternehmen sind in sonstigen privatwirtschaftlichen Geschäftsfeldern der Wasserstoffwirtschaft tätig, unter anderem in der Energie- und Gasversorgung, angewandten Mobilität, Wohnungsbau oder in der Landwirtschaft. Der starke Dienstleistungssektor (38) bietet Beratungs-, Prüf- und Engineeringdienstleistungen im Bereich Wasserstoff und Brennstoffzelle an.

Werden die 166 Akteure nach Sektoren unterteilt, lassen sich genauere Aussagen zu den Tätigkeitsbereichen treffen. Die Sektoren wurden überwiegend an die Einteilung in der Wasserstoff-Roadmap Baden-Württemberg angelehnt und stellen auch die Grundlage des Maßnahmenkatalogs dar (vgl. Kap. 5). Mehrfachzuordnungen sind auch hier möglich, wobei Akteure als sektorübergreifend klassifiziert werden, sofern sie in mehr als vier Sektoren aktiv sind. Die 48 Akteure umfassende Gruppe mit sektorübergreifende Tätigkeiten beinhaltet zudem die inter- und transdisziplinäre (Grundlagen-)Forschung, Aktivitäten in sektorübergreifenden Netzwerken/Clustern/Projekten sowie regulierende Akteure (z. B. Verwaltung, Politik).

Eine etwa gleich große Anzahl an Akteuren umfasst der Sektor »Wasserstoff-Basistechnologie«. Hierzu zählen insbesondere Entwickler und Hersteller von Komponenten mit potentiell Einsatz in unterschiedlichen Anwendungen und Sektoren (z. B. Membran, Stacks, Stapeltechnologie), Hersteller und Entwickler von Maschinen und Anlagen zur Serienproduktion von Wasserstoff-Basistechnologien sowie Anbieter und Betreiber von Prüftechnologien. Stärkster Sektor in der Region Stuttgart ist die »Mobilität«. Neben der klassischen Zulieferindustrie für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien mit direktem Bezug zur Mobilität gehören aktive OEMs, Anwender von wasserstoffbasierenden Mobilitätslösungen (z. B. Wasserstoffbusse) sowie Betreiber von mobilitätsorientierter Infrastruktur (z. B. Wasserstofftankstellen), Mobilitätsnetzwerke und zu Wasserstoff und Mobilität forschende Akteure zu diesem Sektor.

Weniger ausgeprägt sind die Tätigkeiten in den Sektoren »Erzeugung, Speicherung, Verteilung« (z. B. Installateure, Betreiber und Hersteller von Elektrolyseuren und Pipelines), »Stromerzeugung« (z. B. Netzbetreiber, Energieversorger) und »Gebäude« (z. B. Hersteller und Installateure von Wärmesystemen auf Wasserstoffbasis). Aktuell verwenden nur zwei Industrieunternehmen Wasserstoff als Rohstoff oder Energieträger.

Abb. 04: Klassifizierung der Akteure nach Sektoren.



3.3 Situationsanalyse

3.3.1 Tätigkeitsbereiche der regionalen Akteure

Betrachtet man die verschiedenen Bereiche, in welchen die 166 Akteure in der Region Stuttgart tätig sind (Abb. 05, Mehrfachzuordnungen möglich), so zeigt sich ein starker Fokus (75 Akteure) auf die Entwicklung und Produktion von Wasserstofftechnologien. Diese beinhalten sowohl Wasserstoff-Basistechnologien, die übergreifend in unterschiedlichsten Wasserstoffanwendungen eingesetzt werden können (z. B. Stacks, Dichtungen), sowie auch anwendungsspezifische Komponenten und (Teil-) Systeme (z. B. mobile H₂-Tanks, Pkw-Brennstoffzellenantriebe). 52 Akteure sind mit ihren Produkten, Dienstleistungen, Forschungsfeldern und anderen Tätigkeiten in sektorübergreifenden oder nicht direkt wertschöpfenden Bereichen aktiv (z. B. koordinierende oder regulierende Tätigkeiten). Innerhalb des Tätigkeitsbereiches »H₂-Anwendung« finden sich Wasserstoffverbraucher aller Sektoren, nicht nur der Industrie, sondern insbesondere Verbraucher aus dem Sektor Mobilität.

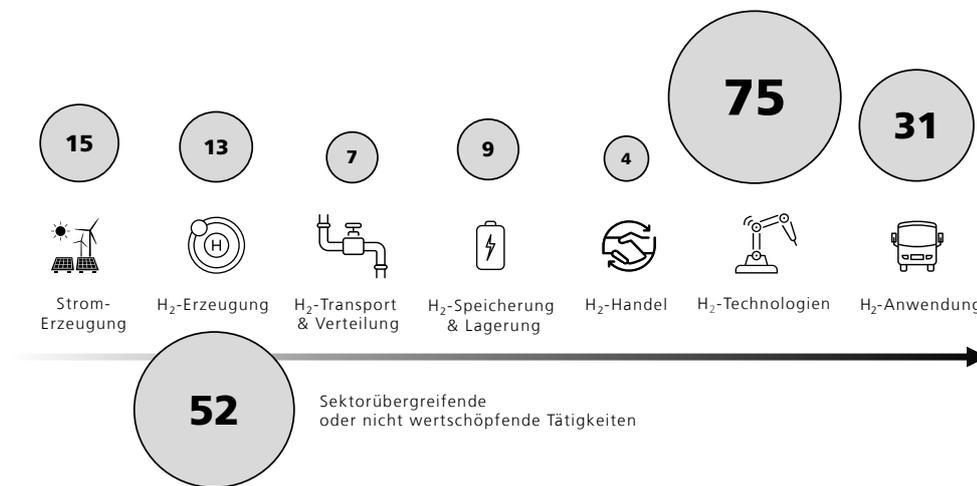


Abb. 05: Klassifizierung der Akteure nach Tätigkeitsbereichen.

Stromerzeugung

Aus Kostengründen wird grüner Wasserstoff vorwiegend dort erzeugt werden, wo es ein hohes Angebot an regenerativen Energien gibt und Energieerzeugungsanlagen mit maximaler Volllaststundenzahl laufen können. Aufgrund der geographischen Lage und dichten Besiedlung zählt die Region Stuttgart nicht dazu. Obwohl beispielsweise Solaranlagen weiter stark ausgebaut werden [35] ist die Region Stuttgart eine Energieimportregion und wird auch im Markthochlauf von Wasserstoff weiter von Importen von erneuerbaren Energien und Wasserstoff abhängig sein.

Wasserstoffherzeugung

Zur Erzeugung von Wasserstoff sind erste Elektrolyseure in Esslingen (»Neue Weststadt – Klimaquartier«) und in Waiblingen (Projekt H₂-Rivers) in Betrieb bzw. im Aufbau. Zwei weitere (Pilot-) Elektrolyseure in der Region sind aktuell außer Betrieb. Die Installation von drei bis vier weiteren Elektrolyseuren ist in Planung.

Wasserstofftransport und -infrastruktur

Als Wirtschafts- und Logistikzentrum mit wichtigen Knotenpunkten für den Schiffs-, Automobil-, Schwerlast- und Bahnverkehr sowie mit der hohen Industriedichte nimmt

die Verteilung von Wasserstoff eine wichtige Rolle in der Region ein. Aktuell sind Möglichkeiten zum kosten- und energieeffizienten Transport von großen Mengen an Wasserstoff in die Region Stuttgart hinein sowie innerhalb der Region (z. B. über Pipelines, Trailer) kaum vorhanden. Kleine Mengen werden derzeit meist als Druckgas per Lkw transportiert. Auch das Wasserstoff-Betankungs- und Abgabennetzwerk (für private und gewerbliche Verbraucher) ist bislang wenig ausgebaut.

Die in der Region ansässigen Unternehmen werden allerdings bei Aufbau, Betrieb und Wartung von Wasserstoff-Infrastrukturanlagen zunehmend aktiv. Regionale und überregionale Unternehmen aus allen Sektoren (v.a. Energieversorgung, ÖPNV, Abfallwirtschaft) planen konkrete Projekte im Bereich Infrastruktur, um Wasserstoff in die Region zu transportieren oder lokal zu produzieren und zu speichern. Hierzu zählt beispielsweise die anvisierte interregionale Wasserstoffversorgung mit einer Pipeline von Heidelberg über Stuttgart bis Ulm (2030 Beginn der Umsetzung, 2035 Beginn der Belieferung).

Wasserstofftechnologien und Industrielandschaft

Die Region Stuttgart weist durch ihre Fachexpertise und Ingenieurskompetenz in Forschung und Wirtschaft sehr gute Voraussetzungen für die Entwicklung von Wasserstofftechnologien auf. Speziell im regionalen Maschinen- und Anlagenbau befinden sich zu großen Anteilen mittelständisch geprägte Unternehmen, die weltweit führend in ihrem Themengebiet sind. Ein Schwerpunkt liegt auf dem Automobilsektor mit einer hohen Dichte an Tier-1-Zulieferern. Das in der ansässigen Industrie vorhandene Know-how zur Produktion von qualitativ hochwertigen Gleichteilen in sehr hohen Stückzahlen gepaart mit dem gesamtsystemischen Verständnis der OEMs kann für die Entwicklung von etwa Elektrolyseuren oder Brennstoffzellen (z. B. Bipolarplatten, Membrane, Katalysatorschichten, Dichtungen, Ventile) ein bedeutender Vorteil für die Region sein, wenn es auf Bereiche der Wasserstoffwirtschaft transferiert wird.

Die mittelständische, häufig international ausgerichtete Zulieferindustrie bietet bereits heute ein Portfolio an Komponenten und Teilsystemen für anwendungsübergreifende Wasserstoff-Basistechnologien an. Speziell für Brennstoffzellenanwendungen sind Produktions- und Testkapazitäten bereits aufgebaut, und nationale und erste internationale Absatzmärkte erschlossen. Akteure in der Region Stuttgart arbeiten intensiv am Aufbau von Produktionsclustern, um ganzheitliche Wasserstoffanwendungen in den Markt zu bringen. Zudem ist punktuell die Integration der Produktion von Wasserstoffkomponenten in die unternehmenseigene Wertschöpfung von OEMs (bspw. über Joint Ventures) zu erkennen. Erste regionale Aktivitäten zur Umrüstung von Fahrzeugantrieben auf Brennstoffzellenantriebe sind speziell bei Schwerlastanwendungen zu beobachten.

Trotz der Ausrichtung der Zulieferindustrie auf wasserstoffbasierte Mobilitätslösungen finden die bereitgestellten Basistechnologiekomponenten auch in stationären Einsatzbereichen Anwendung, welche nach Plänen ansässiger Unternehmen zukünftig in der Region Stuttgart entwickelt und partiell produziert werden (u.a. Komponenten für SOFC-Anlagen). Zudem finden erste unternehmerische Aktivitäten im Bereich der Umrüstung stationärer Anlagen im Gebäudesektor auf Brennstoffzellensysteme zur Wärmeerzeugung statt.

Trotz der guten Voraussetzungen gibt es innerhalb der Wasserstofftechnologien unbesetzte Geschäftsfelder und Produktkategorien in der Region. Dies betrifft vor allem die Herstellung und den Anlagenbau von Elektrolyseuren, synthetischen Kraftstoffen, Wasserstofftankstellen, Pipelines sowie von weiteren stationären Wasserstoffsystemen.

Wasserstoffanwendung

In der Industrie, insbesondere im produzierenden Gewerbe, wird heute vereinzelt Wasserstoff als Rohstoff und Energieträger eingesetzt, jedoch noch nicht in nennenswerten Mengenbereichen. Industrielle Wasserstoffgroßverbraucher mit sehr hohem Bedarf an

Prozesswärme (u.a. Papier-, Glas- und Zementherstellung) oder direkte Wasserstoffverbraucher (u.a. Stahlindustrie und Raffinerien) sind in der Region kaum vertreten. Dies hat einerseits zwar keinen direkten Sogeffekt und Signalwirkung für die Wasserstoffnachfrage zur Folge, bietet andererseits jedoch die Chance für ein ausgeglichenes Wachstum und vermeidet die Abhängigkeit durch einen oder wenige Hauptabnehmer. Nichtsdestotrotz steht durch den geplanten Wasserstoffbezug mehrerer produzierender Unternehmen und den prognostizierten starken Anstieg der Wasserstoffnachfrage (siehe Kap. 3.5) eine bemerkenswerte Nachfrageentwicklung an.

Im Sektor Mobilität sind derzeit einige wenige Brennstoffzellen-Hybridbusse der SSB in Stuttgart und Fellbach sowie eine geringe Zahl an Brennstoffzellen-Sammeltaxis und Fahrzeugen auf dem Vorfeld des Stuttgarter Flughafens in Betrieb. Die Versorgung des Mobilitätssektors mit Wasserstoff findet dabei über fünf Wasserstofftankstellen in der Region statt: in Sindelfingen, Stuttgart-Flughafen, Fellbach, Wendlingen und Stuttgart-Ost. Drei weitere Standorte für Wasserstofftankstellen sind in der Region geplant: In Gaisburg, am Hafen (AWS) sowie in Waiblingen (H₂-Rivers). Am Flughafen Stuttgart hat das Brennstoffzellenflugzeug Hy4 Ende 2020 die Testflugerlaubnis erhalten. Kommunale Versorger planen zudem konkret die Beschaffung von brennstoffzellenbetriebenen Abfallwirtschaftsfahrzeugen.

Im Sektor Gebäude versorgen Brennstoffzellen-Heizungen und KWK-Anlagen erste Gebäude, beispielsweise in der EnBW-Tagesstätte »Energiebündel« oder in der »Neuen Weststadt« in Esslingen.

Sektorübergreifend

Die Region Stuttgart hat aktuell die Förderung einer Wasserstoffmodellregion beantragt. Der Vergabeprozess war bei Veröffentlichung dieses Strategiepapiers noch nicht abgeschlossen. Mit insgesamt 28 Projekten aus Privatwirtschaft, Forschung und öffentlichen Versorgungsunternehmen zu Wasserstoffinfrastruktur und Wasserstoff-Technologieanwendungen bildet der Antrag sektorübergreifend die gesamte Bandbreite an Wasserstoffthemen ab.

3.3.2

Bildung und Forschung

Wasserstofftechnologien sind bereits teilweise in Bildungsinhalten in der Region integriert, insbesondere über stark technikorientierte Vorlesungen und Studiengänge an Universitäten und Fachhochschulen. Wegen der hohen Relevanz des Themas ist etwa in der Gewerblichen Schule Backnang eine „Lernwerkstatt Zukunftstechnologie Wasserstoff und Brennstoffzelle“ geplant.

Insgesamt weist die Region Stuttgart eine besonders hohe Forschungsdichte im Bereich Wasserstoff und Brennstoffzellen auf. Dies gilt vor allem für die Bereiche Wasserstofftechnologien und nachhaltige Mobilität. Ansässige Forschungsinstitute und unternehmensinterne Forschungs- und Entwicklungsorganisationen sind international im Themenfeld etabliert und halten weltweit gültige Patente in vielen Forschungsbereichen der Wasserstoffwertschöpfungskette.

Die Stärke der öffentlichen Forschung in der Region Stuttgart ist auch auf die umfassende Finanzierung auf Regions-, Landes- und Bundesebene zurückzuführen. Die mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien eng verknüpften Themenbereiche Energie, Fahrzeug- und Verkehrstechnologie sowie Elektronik(-systeme) führen die Förderungsliste in der Region Stuttgart an [26]. Im Bundesvergleich weist die Region Stuttgart in diesen Forschungsfeldern eine überdurchschnittlich hohe Forschungsförderungsquote (FuE-Excellence-Index) auf [27].

Im Mai 2021 begann zudem die Förderung des ersten europaweit vernetzten IPCEI (»Important Projects of Common European Interest (IPCEI)« im Forschungsfeld Wasserstoff, welches in Deutschland 62 Großprojekte umschließt. Die drei baden-württembergischen Unternehmen, welche über IPCEI gefördert werden, betreiben Forschungs- oder Produktionsstandorte in der Region Stuttgart. Gefördert werden die Produktion von Brennstoffzellen-Stacks und stationären Festoxid-Brennstoffzellen-(SOFC)-Systemen sowie der Aufbau einer Gigafactory für Brennstoffzellensysteme.

Zu den Bundesforschungsinitiativen, an welchen Akteure aller Kategorien aus der Region Stuttgart über Forschungsprojekte direkt oder indirekt beteiligt sind, finden unter anderem im Rahmen des Forschungsnetzwerks Wasserstoff [29] und des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) statt [30]. Daneben gibt es eine Vielzahl herausragender Forschungsprojekte mit Wasserstoffbezug im Land Baden-Württemberg, an welche Akteure aus der Region Stuttgart beteiligt sind (beispielsweise Projekt »BW-Elektrolyse« [31]).

Offene Forschungsthemen sind hingegen die Senkung von Kosten für die Industrialisierung von Komponenten und Systemen durch massive Leistungs- und Effizienzsteigerungen von Elektrolysetechnologien, stationären und mobilen Brennstoffzellensystemen sowie Infrastrukturmodulen. Dies kann durch techno-ökonomische Optimierung von Materialien, Prozessdesign, Systemarchitektur und Produktionsprozessen erzielt werden. Zudem gilt es, Lösungen für wettbewerbsfähige Konzepte für die dezentrale Erzeugung, Speicherung, Transport und Verteilung von grünem Wasserstoff, auch aus alternativen Quellen wie z. B. Biomasse, zu erforschen. Forschungslücken bestehen darüber hinaus bei der Sicherheit und Qualität von Wasserstoff, der Zertifizierung von Komponenten, Schnellalterungstests und Erhöhung der Lebensdauer für alle Kernkomponenten sowie der Akzeptanzforschung.

3.3.3 Vernetzung der Akteure

Eine Vernetzung der Wirtschaftsakteure in der Region ist bereits an verschiedenen Stellen gegeben. Wasserstoffthemen werden beispielsweise bereits seit dem Jahr 2000 in der Region Stuttgart über die Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH adressiert und vorgebracht. In der Vergangenheit existierten Netzwerke wie das »Kompetenzzentrum Brennstoffzelle Stuttgart/Kirchheim«, der »Treffpunkt Brennstoffzelle« unter Beteiligung von unter anderem ZSW, DLR, Fraunhofer, der Hochschule Esslingen und namhaften Wirtschaftsakteuren sowie die »Batterie- und Brennstoffzellenallianz BW«.

Auf Landesebene ist derzeit besonders die Vernetzung von Akteuren über die Plattform »H2BW« hervorzuheben, die als übergeordnete Organisation der Aktivitäten im Bereich der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg fungieren soll. Im Sektor Mobilität und angrenzenden Bereichen existieren darüber hinaus das Cluster Brennstoffzelle der e-mobil BW. In beiden Netzwerken ist die Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH, neben vielen anderen Akteuren aus der Region Stuttgart, Mitglied. Zudem findet seit 2001 jährlich die Kongressmesse f-cell in Stuttgart statt, welche von der Wirtschaftsförderung Region Stuttgart initiiert und bis heute getragen wird. Auch das Umweltministerium ist über die AG3 »Wasserstoff und Brennstoffzelle« im Rahmen des »Strategiedialogs Automobilwirtschaft« aktiv. Nichtsdestotrotz sollte die Kooperation zwischen Unternehmen weiter ausgebaut werden, vor allem aber auch unter Einbezug von Öffentlichkeit und Kommunen, um diesen eine Anlaufstelle innerhalb der Region zu Wasserstoffthemen zu bieten.

3.4 Potentialanalyse

3.4.1 Europäische und nationale Wertschöpfungspotentiale

Zukunftsprojektionen zeigen massive Wertschöpfungspotentiale für die globale, europäische und nationale Wasserstoffwirtschaft. In der europäischen Wasserstoffstrategie wird der potentielle Umsatz für europäische Unternehmen im gesamten Wasserstoffsektor auf bis zu 140 Mrd € in 2030 geschätzt, bis zum Jahr 2050 könnte dieser auf 820 Mrd € jährlich ansteigen. Die Europäische Kommission geht von europaweiten Investitionen von bis zu 430 Mrd € in die Wasserstoffwirtschaft aus, in der im Jahr 2050 zusätzlich bis zu 5,4 Mio Menschen Arbeit finden könnten [1, 22].

Für Deutschland sind bereits bis 2030 bis zu 70 000 neue Arbeitsplätze realisierbar, die einen Umsatz von 44 Mrd € erwirtschaften können [22]. Je nach Entwicklung von Importen und Exporten könnte Deutschland allein im Bereich der Wasserstoffherzeugung bis zu 30 Mrd € im Jahr 2050 umsetzen und bis zu 800 000 Arbeitsplätze schaffen [22]. Bei einer erfolgreichen Umsetzung der Wasserstoffstrategien könnte beispielsweise mit Brennstoffzellentechnologien im Mobilitätssektor deutschlandweit eine Wertschöpfung von etwa 2,4 Mrd € pro Jahr bis 2030 (26 Mrd € in 2050) realisiert werden. In allen Geschäftsfeldern und Branchen der Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie wäre eine globale Wertschöpfung deutscher Unternehmen von bis zu 10 Mrd € in 2030 (32 Mrd € in 2050) möglich [4]. Die Bundesregierung plant im Rahmen der Wasserstoffstrategie und des Energie- und Klimafonds Investitionen in angewandte Forschung von mehreren Milliarden Euro, um grüne Wasserstofftechnologien marktreif zu machen [4, 33].

Auch für das Land Baden-Württemberg nimmt die Bedeutung von Wasserstoff weiter zu. Bis 2030 werden rund 16 000 Arbeitsplätze und ein Umsatz von 9 Mrd € anvisiert, 8,6 Mrd Umsatz davon allein im Bereich Komponenten und Teilsysteme [5, 6].

3.4.2 Marktpotentiale in der Region Stuttgart

Innerhalb der Region Stuttgart wird eine dynamischen Marktentwicklung von Wasserstofftechnologien und -anwendungen erwartet. Um diese Potentiale zu heben, bedarf es jedoch einer Skalierung in den Fertigungstechnologien, um relevante Stückzahlen realisieren zu können. Die Technologiereife ist zwar beispielsweise im Brennstoffzellenbereich bereits fortgeschritten, die Fertigung und der Einsatz von Wasserstofftechnologien haben jedoch den groß-industriellen Maßstab noch nicht erreicht. So stehen derzeit noch hohe Technologie- und Systemkosten durch geringe Stückzahlen einem Markthochlauf entgegen.

Daher gilt es nun, klassische Geschäftsfelder auf Wasserstoffbereiche auszuweiten und dabei die Herstellungskapazitäten deutlich zu erhöhen, um aus diesen Ansätzen Skaleneffekte zu erzeugen. Nur so kann die Wirtschaftsregion Stuttgart langfristig Geschäftsmodelle aufbauen, die konkurrenzfähig zu Unternehmen etwa aus dem asiatischen Raum sind, und so die enorme Exportnachfrage nach Wasserstofftechnologien aus den Wachstumsmärkten bedienen.

Begründet auf der Branchenstruktur und der Situationsanalyse liegen die größten Marktpotentiale in der Region Stuttgart dabei in den folgenden Bereichen:

Nachhaltige Mobilität

- **Straßenverkehr:** Die Fahrzeughersteller und zahlreichen Zulieferunternehmen können sich mit der Entwicklung von Lösungen für die wasserstoffbasierte Mobilität zukunftsfähig aufstellen. Brennstoffzellenantriebe bieten aufgrund ihrer im Vergleich zu batterieelektrischen Antrieben höheren Komplexität und des höheren Fertigungsaufwands das Potential, qualitativ hochwertige Arbeitsplätze in der Automobilbranche zu erhalten. Die Forschung an neuen Antriebstechnologien wie z. B. Brennstoffzellen stärkt die Innovationskraft und etabliert die Region auch längerfristig als wichtigen Innovationsstandort für Mobilitätslösungen. Der Einsatz von Wasserstoff kann insbesondere für den ÖPNV (Busse) und schwere Nutzfahrzeuge wie etwa in der Abfall-, Bau-, Logistik- und Landwirtschaft eine zentrale Rolle spielen. Der Einsatz in Pkw und leichten Nutzfahrzeugen wird aktuell weniger fokussiert, kann sich jedoch in Abhängigkeit von politischen Schwerpunktsetzungen möglicherweise langfristig durchsetzen.
- **Flugverkehr:** Gerade aufgrund der perspektivisch fehlenden Alternative zu kohlenwasserstoffbasierten Flüssigkraftstoffen für den Langstreckenflugverkehr bietet der Einsatz von synthetischem, auf Wasserstoff basierendem Kerosin am Stuttgarter Flughafen großes Potential. Für Kurzstreckenflüge stellen auch wasserstoffbasierte Antriebe eine Zukunftstechnologie dar. Gemeinsam mit den ansässigen Forschungsinstituten kann sich der Stuttgarter Flughafen hier als Vorreiter positionieren. Projekte, Aktivitäten und Publikationen zur weiteren Entwicklung von synthetischen Kraftstoffen werden über das Programm „reFuels“ im Rahmen des Strategiedialogs Automobilwirtschaft BW vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg koordiniert [37].
- **Schienen- und Schiffsverkehr:** Es gibt in der Region Stuttgart mehrere nicht elektrifizierte Nebenstrecken des Schienenverkehrs, die über Brennstoffzellenantriebe auf Wasserstoff als Energieträger umgestellt werden könnten. Das zu erschließende Potential in diesem Segment ist jedoch ebenso wie bei der Flussschifffahrt auf Teilen des Neckars in der Region Stuttgart eng mit Förderungsmöglichkeiten und der Wirtschaftlichkeit von Konzepten verknüpft.

Maschinen- und Anlagenbau – die Industrialisierung der Wasserstoffwirtschaft

Bei einer wachsenden Nachfrage nach Elektrolyse- und Brennstoffzellentechnologien und deren Anwendung profitiert aufgrund der benötigten Anlagenteile und Komponenten mit hohen Anforderungen an die Fertigungsqualität vor allem der regionale Maschinen- und Anlagenbau. Weitere wichtige Segmente sind die Herstellung von Metallerteugnissen (z. B. Oberflächenveredelung für die Elektrodenbeschichtung), Gummi- und Kunststoffwaren (z. B. Dichtungen, Ersatz von Metall- durch Kunststoffteile bei der Skalierung von Elektrolyseuren), elektrischen Ausrüstungen (z. B. Elektroden) oder von chemischen Erzeugnissen (z. B. Katalysatoren).

Klimaneutrale Produktion in der Industrie

Der Einsatz von grünem Wasserstoff in der Industrie stellt eine Schlüsseltechnologie zum Erreichen einer klimaneutralen Produktion dar. Ein zügiger Ersatz erfordert sowohl den Aufbau einer Erzeugungs- und Verteilinfrastruktur als auch entsprechende Anwendungstechnologien. Hieraus entwickeln sich potentielle Geschäftsfelder unter anderem für Komponenten- und Systemhersteller, Beratungs-/Planungsdienstleister, Maschinen-/Anlagenbauer und Energieversorger in der Region.

Stabilisierung des Stromsystems

Technologien und Systeme für den Einsatz von Wasserstoff in Heizkraftwerken oder Brennstoffzellen zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung sind frühzeitig zu entwickeln. Zudem können Elektrolyseanlagen das Stromsystem durch die Bereitstellung von Systemdienstleistungen wie Regelenergie stützen und auch auf diese Weise zur Flexibilisierung beitragen. In der Region ansässige Komponentenhersteller und Systemintegratoren könnten hiervon besonders profitieren.

Dekarbonisierung der Wärmebereitstellung

Wasserstoff kann in mehrfacher Weise zur Dekarbonisierung der Wärmebereitstellung beitragen, insbesondere durch die Nutzung der Abwärme aus Elektrolyseanlagen in Kombination mit einer netzgebundenen Wärmeversorgung. Hier könnte die »Internationale Bauausstellung 2027 StadtRegion Stuttgart (IBA'27)« ein Testfeld darstellen. Auch zur Sicherstellung hoher Temperaturniveaus bei der Prozesswärmebereitstellung in der Industrie gibt es bisher wenige klimaneutrale Alternativen, weshalb auch hier das Einsatzpotential von Wasserstoff in der Region Stuttgart beispielsweise durch Einsatz stationärer Brennstoffzellen ausgeschöpft werden könnte.

Sektorenkopplung

Großes Marktpotential wird nicht zuletzt in der Verknüpfung der vorgenannten Sektoren gesehen. Mehrere Sektorenkopplungen bieten sich an: Die Wasserstoffbereitstellung aus erneuerbarem Strom und dessen Anwendung in der Mobilität, die Nutzung der Abwärme aus dezentralen Elektrolyseuren für die Wärmeversorgung sowie die Stabilisierung des Stromsystems durch die Bereitstellung von Regelleistung über Elektrolyseure.

3.4.3

Treibhausgas-Einsparpotentiale

Das größte Treibhausgas-Einsparpotential wird allgemein im Industriesektor gesehen, sofern dort der Einsatz von Wasserstoff fossile Brennstoffe verdrängt (beispielsweise in Hochtemperaturprozessen). Wenn beispielsweise in der Chemieindustrie grauer Wasserstoff aus Erdgas durch grünen Wasserstoff ersetzt wird, liegt das Einsparpotential bei 10 kg CO₂/kg Wasserstoff. Potentielle Großverbraucher für Wasserstoff wie die Stahl- oder Zementindustrie sind im Stuttgarter Raum nicht angesiedelt, jedoch lassen sich vielversprechende Einsparpotentiale gegenüber konventionellem Dieseleinsatz im ÖPNV und dem Schwerlastverkehr erzielen.

3.4.4

Stromerzeugungspotentiale aus Alt-EEG-Anlagen

Ein limitierender Faktor für die Produktion von grünem Wasserstoff in der Region Stuttgart ist die begrenzte Verfügbarkeit erneuerbaren Stroms, insbesondere solange kein interregionaler Wasserstofftransport in großen Mengen stattfindet. Neben der Anbahnung von Energiepartnerschaften für den Import gilt es, Lösungen für die regionale Wasserstoffproduktion zu identifizieren und zu unterstützen.

Gerade erneuerbare Stromerzeugungsanlagen (PV, Wind-, Wasserkraft) die über das EEG gefördert wurden und deren Einspeisevergütungszeitraum ablaufen, sind für die Erzeugung von Wasserstoff besonders attraktiv, da sie deutlich kostengünstiger gegenüber Neuanlagen sind. In der Region Stuttgart ist im Jahr 2021 eine Leistung von ca. 44 Megawatt (MW) aus solchen Anlagen installiert. Daraus ergibt sich ein maximales, jährliches Erzeugungspotential von 81 Gigawattstunden (GWh) oder 2.430 Tonnen (t) Wasserstoff pro Jahr [34]. Für das Jahr 2025 steigt dieser Wert auf 139 GWh bzw. 4.160 t Wasserstoff pro Jahr, weil bis dahin Strom aus Erneuerbare-Energien-Anlagen mit etwa 97 MW förderfrei bereitgestellt werden kann [23]. Über die Nutzung von Strom direkt aus neuen Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung, die keine EEG-Förderung in Anspruch nehmen, könnte das erschließbare Potential noch erhöht werden. Hierzu ist die Ausgestaltung des rechtlichen Rahmens z. B. für die Definition von grünem Wasserstoff auf europäischer Ebene abzuwarten, die maßgeblich für die Befreiung der Produktion von grünem Wasserstoff von der EEG-Umlage sein wird.

3.5 Bedarfsprognosen

3.5.1 Bedarfsprognose Deutschland

Szenarien zur prognostizierten Nachfrage nach grünem Wasserstoff in Deutschland zeigen bemerkenswerte Steigerungskurven auf, sind jedoch auch von starken Unsicherheitsfaktoren gezeichnet. Studienübergreifend wird eine relevante Nachfrage nach grünem Wasserstoff in Deutschland erst ab 2030 identifiziert, welche dann zwischen Werten von unter 50 Terawattstunden (TWh) bis zu 80 TWh liegen. Heute liegt die Erzeugungskapazität für Wasserstoff bei 57 TWh, dies jedoch überwiegend aus fossilen Energien. Mit ansteigendem Markthochlauf wird sich die Nachfrage nach grünem Wasserstoff in Deutschland auf 100 bis 300 TWh im Jahr 2040 bzw. 400 bis 800 TWh im Jahr 2050 erhöhen [24].

3.5.2 Zukünftige Nachfrageimpulse in der Region

In der Region Stuttgart werden starke Nachfrageimpulse nach Wasserstoff von der (Fahrzeug-)Industrie erwartet, welche derzeit für Forschungs- und Entwicklungszwecke ihre Versuchs- und Testeinrichtungen ausweitet. Die Bestrebungen zur klimaneutralen Produktion ansässiger Unternehmen können hier einerseits Impulse direkt auf der Nachfrageseite für die eigene Versorgung mit grünem Wasserstoff geben, andererseits aber auch durch verpflichtende Vorgaben an ihre Zulieferer die Nachfrage nach Wasserstoff verstärken. Für Baden-Württemberg wird der Bedarf an grünem Wasserstoff in der Industrie derzeit mit jährlich etwa 1,8 TWh angegeben [5].

Zusätzliche Bedarfe fallen kurz- bis mittelfristig darüber hinaus im Sektor Verkehr an (vgl. Kap. 3.5.3). Eine kommunale Beschaffung im Bereich ÖPNV und Nutzfahrzeuge könnte beispielsweise ein Impulsgeber werden, da die Vorgaben aus der Clean Vehicle Directive eingehalten werden müssen. Da diese auch über batterieelektrische Fahrzeuge erfüllt werden kann, stehen hier allerdings wasserstoffbetriebene Fahrzeuge in Konkurrenz zu batterieelektrischen Fahrzeugen.

Der Logistiksektor muss durch die CO₂-Grenzwerte auf europäischer Ebene auf alternative, emissionsarme Antriebe umstellen. Auch aus der Energiewirtschaft ist eine Steigerung der Nachfrage nach Wasserstoff zu erwarten, wenn dieser z. B. zukünftig Erdgas ersetzt. Gerade Stadtwerke könnten hier eine Schlüsselrolle einnehmen, wenn sie Wasserstoff für Mobilitätsanwendungen anbieten, die Abwärme aus der Wasserstoffherzeugung über Nahwärmenetze vermarkten und potentiell auch die erneuerbare Stromerzeugung für die Elektrolyse betreiben.

3.5.3 Bedarfsprognose für die Region Stuttgart

Gemäß einer Bedarfsabfrage von terranets bw bei Marktteilnehmern im Jahr 2021 kann von einem erheblichen Anstieg des Wasserstoffbedarfs in der Region Stuttgart ab 2031 ausgegangen werden (vgl. Abb. 06, Wasserstoffbedarf in MWh_{thermisch}); und dies, obwohl vermutlich noch nicht alle Marktteilnehmer ihre realen Bedarfe angemeldet haben.

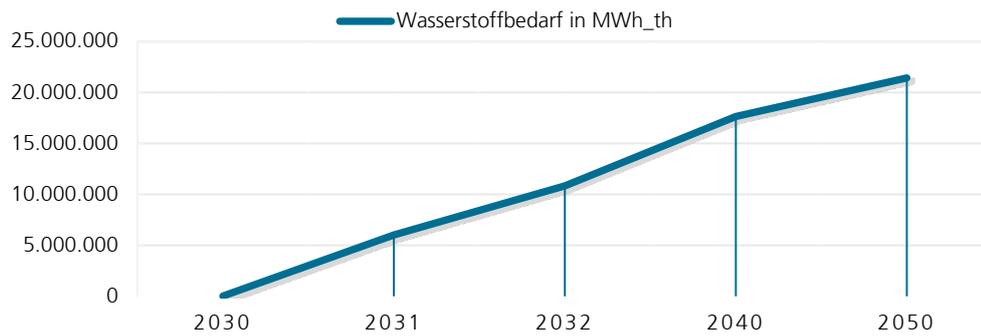


Abb. 06: Projizierte Bedarfe an Wasserstoff in der Region Stuttgart [28].

3.5.4 Regionale Bedarfsprognose für den Sektor Mobilität 2030

Für den Sektor mit dem zumindest kurzfristig relevantesten Wasserstoffverbrauch in der Region Stuttgart »Mobilität« sind die Anwendungsbereiche der Busmobilität (Schwerpunkt ÖPNV), der Abfallwirtschaft, des Straßengüterverkehrs, sowie des Schienenverkehrs auf nicht elektrifizierten Strecken für den Einsatz von Wasserstoff vielversprechend. Die heute vorhandenen Fahrzeugflotten bzw. -zulassungen¹ bilden die Basis für eine Abschätzung der möglichen Nachfrageentwicklungen für Wasserstoff bis 2030² und 2050³.

Bei Technologiedurchdringung im Rahmen der festgelegten Annahmen wird der Wasserstoffbedarf in den o.g. Anwendungsbereichen insbesondere ab dem Jahr 2025 deutlich steigen. Im Jahr 2030 könnte sich die Nachfrage auf 139 GWh Wasserstoff belaufen. Das entspricht durchschnittlich 11,4 t Wasserstoff pro Tag. Der Einsatz von wasserstoffbetriebenen Solo- und Gelenkbussen stellt mit 62 GWh Wasserstoff pro Jahr den mengenmäßig größten Bedarf dar. Es folgen schwere Nutzfahrzeuge im Straßengüterfernverkehr, die Abfallwirtschaft mit Abfallsammelfahrzeugen und sonstigen Nutzfahrzeugen sowie der Schienenverkehr (vgl. Abb. 07).

Während derzeit nur sehr wenige wasserstoffbetriebene Fahrzeuge innerhalb der Region im Einsatz sind, wird sich ein stark wachsender Markt bis 2050 entwickeln. So wird für die genannten Verkehrsbereiche eine mögliche Wasserstoffnachfrage von 2.387 GWh Wasserstoff im Jahr 2050 abgeschätzt. Der Einsatz von wasserstoffbetriebenen Schwerlast-Lkw stellt dann mit 2.250 GWh Wasserstoff pro Jahr den mit Abstand größten Bedarf dar.⁴ Es folgen der öffentliche Personennahverkehr mit Solo- und Gelenkbussen, Nutzfahrzeuge aus der Abfallwirtschaft sowie der Schienenverkehr.

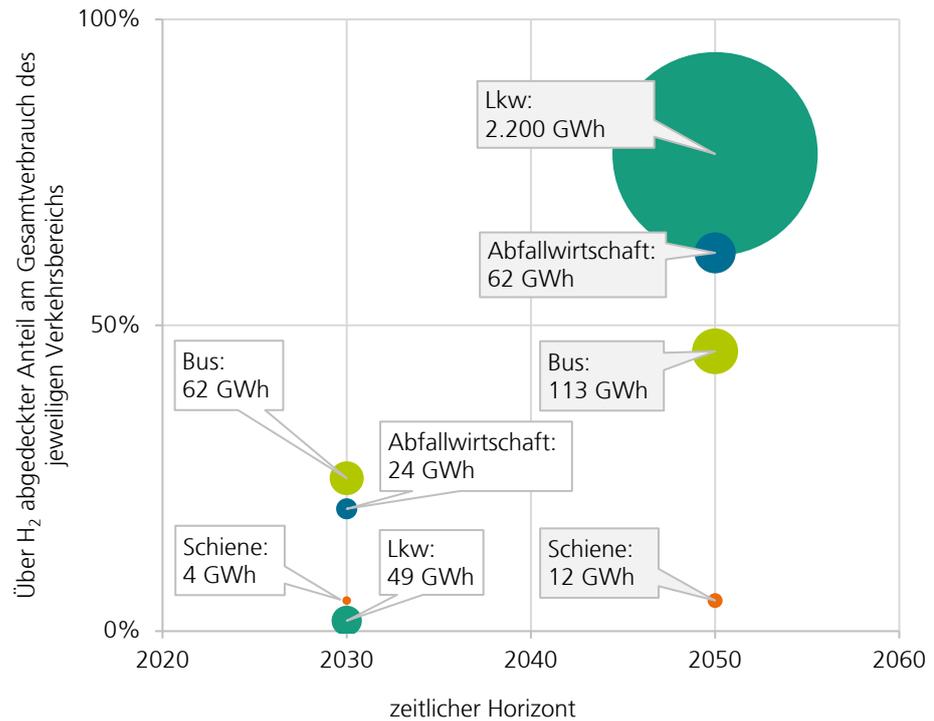
¹ ÖPNV: Solo- und Gelenkbusse, Fahrzeugflotte SSB 2020: 272 Busse; Abfallwirtschaft: Abfallsammelfahrzeuge und sonstige Nutzfahrzeuge, Fahrzeugflotte AWS 2020: 103 Abfallsammelfahrzeuge und 96 sonstige Nutzfahrzeuge, Fahrzeugflotte Region Stuttgart (geschätzt): 450 Abfallsammelfahrzeuge und 420 sonstige Nutzfahrzeuge; Straßengüterverkehr: Sattelzugmaschinen 2020: 4855, Lkw >20t 2020: 4409; Schienenverkehr: nicht elektrifizierte Strecken Wieslauffalbahn, Strogäubahn (Wendlingen-Oberlenningen), Teckbahn, Tälesbahn (Nürtigen-Neuffen).

² Annahmen 2030: 25 Prozent wasserstoffbetriebene Busse; 20 Prozent Brennstoffzellen-Fahrzeuge innerhalb der Abfallwirtschaft; 1,7 Prozent wasserstoffbetriebene Fahrzeuge im Straßengüterfernverkehr [25] jeweils auf Basis des Flottenbestands 2020; Brennstoffzellenhybridtriebzüge auf einer bislang nicht elektrifizierten Strecke.

³ Annahmen 2050: 46 Prozent wasserstoffbetriebene Busse; 62 Prozent Brennstoffzellen-Fahrzeuge innerhalb der Abfallwirtschaft; 78 Prozent wasserstoffbetriebene Fahrzeuge im Straßengüterfernverkehr; Brennstoffzellenhybridtriebzüge vier bislang nicht elektrifizierten Strecken.

⁴ Der Wasserstoffbedarf bezieht sich auf den Untersuchungsgegenstand von der Energieaufnahme (Betankung Wasserstoff) bis zur Umwandlung in kinetische Energie, auch bekannt als Tank to Wheel.

**Abb. 07: Regionale
Nachfrageentwicklung
Wasserstoff im Verkehr.**



Neben den technischen Faktoren, welche die Nachfrage innerhalb bestimmter Schwankungsbreiten beeinflussen können, können sich insbesondere nach 2030 zusätzliche Nachfragesegmente bei den Pkw und den leichten Nutzfahrzeugen ergeben. Diese Nachfrageentwicklungen wurden aufgrund der leistungsfähigen Konkurrenztechnologien der batterieelektrischen Fahrzeuge in diesem Volumensegment jedoch im Rahmen der vorliegenden Bedarfsprognose nicht berücksichtigt. Auch in den Energieverbrauchssektoren Industrie und Wärme sowie in der Stromerzeugung kann sich mangels Alternativtechnologien eine nennenswerte Wasserstoffnachfrage entwickeln.

Die Region Stuttgart hat eine Vision entwickelt, in der sie sich für die kommenden Jahre hohe Ziele zum Auf- und Ausbau der Wasserstoffwirtschaft setzt. Übergreifendes Ziel ist es, bis 2035 eine grüne Wasserstoffwirtschaft in der Region Stuttgart zu etablieren. Die Versorgung mit grünem Wasserstoff soll korrelierend mit der stetig steigenden Nachfrage ausgebaut werden, sodass alle potentiellen Abnehmer zuverlässig versorgt werden können. Der angebotene Wasserstoff ist mit Hilfe erneuerbarer Energien klimafreundlich zu produzieren bzw. als grüner Wasserstoff zu importieren und kann anschließend in der Region Stuttgart in allen wesentlichen energieverbrauchenden Sektoren als emissionsarmer Energieträger zum Einsatz kommen.

Zur erfolgreichen Steigerung regionaler Wertschöpfung und Sicherung von Arbeitsplätzen wird die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie schrittweise in alle Sektoren und Wertschöpfungsstufen der Region Stuttgart integriert.

Die Region Stuttgart will ihre Spitzenposition in Forschung, Entwicklung und Produktion von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien weiter ausbauen und dadurch zum internationalen Entwicklungs- und Produktionszentrum insbesondere für Wasserstofftechnologien, Komponenten, Systeme sowie Anwendungen von Wasserstoff werden. Die Kompetenzen, welche bereits in hohem Maße vorhanden sind, sollen bis 2035 strategisch weiter gestärkt und auf Wasserstofftechnologien transferiert werden. So soll die Region Stuttgart in enger Kooperation mit anderen Regionen und dem Land Baden-Württemberg als Wasserstofftechnologieführer und führender Wirtschaftsstandort etabliert werden und internationale Marktpotentiale heben.

Der Aufbau einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft in der Region Stuttgart beginnt ab sofort, ausgehend vom aktuellen Status Quo (2021), bei dem in einer Anlaufphase die notwendigen Investitionen und Entwicklungen angestoßen werden, um die gute Ausgangslage der Region für die Zukunft zu nutzen. Über eine intensive, industrielle, von Technologieoffenheit und Innovation geprägte Skalierungsphase (ab 2025) soll ab dem Jahr 2035 eine breite Marktdurchdringung in allen Sektoren erreicht werden.



Abb. 08: Zielrahmen zur Entwicklung einer grünen Wasserstoffwirtschaft.

Voraussetzung für die breite Einführung und den Markthochlauf von Wasserstofftechnologien in der Region ist die Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff auf Basis von erneuerbaren Energien, unterstützt durch den massiven Ausbau von Photovoltaik in der Region Stuttgart. Als Energieimport-Region ist für die Versorgung mit grünem Wasserstoff zudem der Anschluss an eine überregionale Pipeline von zentraler Bedeutung. Hierzu zählt ebenfalls der regionsweite Aufbau einer flächendeckenden Wasserstoffinfrastruktur (z. B. regionale Pipeline, Tankstellennetz, Wasserstoff-Hubs) bis 2035.

Um wettbewerbsfähige Geschäftsmodelle in der Region zu ermöglichen, gilt es, die Serienreife von Schlüsseltechnologien zügig herzustellen (teilweise bereits erreicht) sowie diese Technologien in die Serienproduktion mit großen Stückzahlen und in Anwendungen insbesondere in den Sektoren Wasserstoffherzeugung, Speicherung und Verteilung sowie wasserstoffbasierte Mobilität und Industrie zu bringen.

Für die Industrialisierung der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft wird die Region Stuttgart alle wesentlichen Stakeholder einbinden, dabei speziell die Ansiedlung von etablierten Unternehmen und Start-Ups aus der Wasserstoffwertschöpfungskette unterstützen und entsprechende Rahmenbedingungen fördern. Für eine erfolgreiche Marktdurchdringung ist weiterhin eine Sensibilisierung, Vernetzung und Mobilisierung von Akteuren aus Industrie und Handwerk notwendig, ebenso wie die Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz von Wasserstoff als Energieträger.

»Es ist sehr gut, dass sich die Region Stuttgart auf den Weg macht. Es braucht jetzt Dynamik in der regionalen Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft!«

Dr. Stefan Kaufmann, Innovationsbeauftragter »Grüner Wasserstoff« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und Bundestagsabgeordneter für den Wahlkreis Stuttgart Süd

5 Maßnahmen für die Region Stuttgart

Um die Ziele aus der vorangehend beschriebenen »Vision 2035« zur Industrialisierung der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in der Region erfolgreich umzusetzen, sind konkrete Maßnahmen notwendig. Im Rahmen der zur Verfügung stehenden Mittel und unter Berücksichtigung bereits beantragter und laufender Projekte will die Region Stuttgart unter anderem nachfolgend aufgezeigte 57 Maßnahmen in den Bereichen Wasserstoff (H₂) und Brennstoffzelle (BZ) angehen.

Dabei sind Maßnahmen mit sehr hoher Priorität vorrangig zu behandeln. Daran können sich die hoch priorisierten Maßnahmen im weiteren Verlauf anschließen, während die Maßnahmen mit mittlerer Priorität je nach Bedarf ausgewählt oder gegebenenfalls substituiert werden können.

Neben dem Zeithorizont und der Zielgruppe, an die sich die jeweilige Maßnahme richtet, ist die Handlungsebene angegeben. Diese gibt an, ob die Maßnahmen im direkten Einflussbereich der Region Stuttgart liegen oder ob sie auf Landes- bzw. Bundesebene umgesetzt werden müssen. Ist letzteres der Fall, soll sich die Region Stuttgart für eine Umsetzung einsetzen.

Eine ausführliche Beschreibung aller Maßnahmen findet sich nach Sektoren geordnet in Kap. 5.2.

Legende

Sektoren

Erzeugung, Speicherung und Verteilung
Mobilität
Wasserstoff-Basistechnologie
Stromerzeugung
Gebäude
Industrie
Sektorübergreifend

Zielgruppe

Politik	
Unternehmen	
Forschung	
Kommunale Versorger	

Handlungsebene

Region Stuttgart	
Land Baden-Württemberg	
Bund Deutschland	

5.1 Maßnahmenübersicht

5.1.1 Maßnahmen sehr hoher Priorität

Nr.	Zeithorizont					Kurztitel	Handlungs- ebene	Ziel- gruppe
	2020	2025	2030	2035	2040			
01	■					Auswahl und Beauftragung eines Betreibers einer lokalen Pipeline		
02	■	■				Aufbau, Inbetriebnahme und Entwicklung der Neckar-H ₂ -Pipeline		
03			■	■		Ausbau und Skalierung der geplanten Neckar-H ₂ -Pipeline anhand zukünftiger Nachfrageentwicklung		
04	■	■				Aufbau und Entwicklung des H ₂ -Produktionsstandortes Hafen Stuttgart		
05	■	■				Aufbau eines H ₂ -Marktplatzes		
06	■	■	■			Aus- und Aufbau eines leistungsfähigen H ₂ -Tankstellennetzes		
07		■	■			Aufbau und Testbetrieb einer LH ₂ -Tankstelle als Forschungsplattform		
08	■	■				Umstellung der ÖPNV-Flotte auf BZ- oder BZ-REX-Busse		
09	■	■	■			Erprobung und Förderung des Einsatzes von Brennstoffzellen in Lkw		
10	■	■	■			Einsatz von BZ- oder BZ-REX-Fahrzeugen in der Abfallwirtschaft		
11	■	■	■			Unterstützung der synergetischen Nutzung von H ₂ am Flughafen Stuttgart		
12	■	■				Vorbereitung und Unterstützung von industriellen Produktionsclustern zur Serienfertigung von H ₂ -Technologien		
13	■	■	■			Analyse, Bewertung und Nutzung von H ₂ in Heizkraftwerken		
14		■	■			Nutzung der Abwärme aus H ₂ -Erzeugung für Quartiere oder Industriegebäude		
15	■	■	■			Planung, Umsetzung und Betrieb von H ₂ -Stadtquartieren in der Region		
16	■	■				Stärkung der Anschub- und Ansiedlungsfinanzierung zur Unterstützung von Gründung und Ansiedlung von Start-Ups		
17	■	■	■			Erarbeitung einer Ansiedlungsstrategie für Unternehmen im Bereich H ₂ - und BZ-Technologie		
18	■	■				Aufbau und Entwicklung eines H ₂ -Hubs		

5.1.2 Maßnahmen hoher Priorität

Maßnahmen für die Region
Stuttgart

Nr.	Zeithorizont					Kurztitel	Handlungs- ebene	Ziel- gruppe
	2020	2025	2030	2035	2040			
19						Installation von H ₂ -ready-Technologien in Kraftwerken		
20						Anstoß von Pilotprojekten zur H ₂ -Erzeugung aus alternativen Rohstoffen		 
21						Anstoß eines Pilot- und Testprojektes zur Zwischenspeicherung von H ₂		 
22						Entwicklung eines Logistikkonzepts für die H ₂ -Distribution		  
23						Implementierung eines Regelwerks für eine transparente/verursachergerechte Kostenverteilung der H ₂ -Infrastruktur		
24						Analyse der erforderlichen H ₂ -Qualität für die Pipelinebelieferung und Entwicklung entsprechender Reinigungstechnologien		 
25						Implementierung einer Richtlinie zur Einhaltung von Qualitätsanforderungen für Einspeisung in die H ₂ -Pipeline		  
26						Etablierung von Recyclingprozessen für Brennstoffzellen und Elektrolyseuren		
27						Entwicklung von Re-Use Konzepten für Brennstoffzellen und Elektrolyseure		 
28						Start eines FuE-Projekts zu LH ₂ -Speicher-konzepten mit geringerem Abdampfverlust		  
29						Vorbereitung einer H ₂ -Betankungstechnologie für beide Aggregatzustände und verschiedene Druckstufen		  
30						Anstoß von FuE-Projekten zur Optimierung von H ₂ -Tankstellen		
31						Förderung von H ₂ -Taxis und deren Betankungsmöglichkeiten an Knotenpunkten		 
32						Entwicklung, Erprobung und Einsatz von BZ-Baufahrzeugen auf Großbaustellen		
33						Technologieoffene Konzeptentwicklung und Umsetzung von alternativen Antrieben im Schienenpersonennahverkehr		
34						Intensivierung der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit		
35						Beitritt und aktive Mitgliedschaft der Region Stuttgart in der europäischen Allianz für sauberen Wasserstoff		
36						Schaffung einer regionalen H ₂ -Organisationseinheit		
37						Nutzung und Stärkung existierender Koordinationsstellen, Netzwerken und Clustern		
38						Integration von H ₂ -relevanten Themen in Bildungsinhalte		
39						Anschubfinanzierung von H ₂ -Investitionen durch regionale Förderprogramme		

5.1.3 Maßnahmen mittlerer Priorität

Nr.	Zeithorizont					Kurztitel	Handlungs- ebene	Zielgruppe
	2020	2025	2030	2035	2040			
40	■					Implementierung einer Richtlinie zur geregelten Entnahme aus H ₂ -Pipelines		
41	■	■				Anstoß eines Pilotprojektes zur Entwicklung und Installation einer Power-to-Liquid-Anlage		
42	■	■				Erprobung und Aufbau einer prototypischen Anlage zur Ammoniak- und Methanol-Synthese		
43		■				Initiierung eines Pilotprojektes zur Integration von H ₂ in die Strom- und Wärmeversorgung von Gebäuden		
44	■					Durchführung eines Pilotprojektes zur H ₂ -Notstromerzeugung		
45	■	■				Prüfung der Förderung von BZ als lokale Stromversorgungsanlagen		
46	■					Identifikation technischer, ökologischer und wirtschaftlicher Potentiale von H ₂ in industriellen Prozessvarianten		
47	■					Initiierung eines Verbundforschungsprojektes zum Einsatz von H ₂ -Prozesswärme in unterschiedlichen Industriefeldern		
48	■					Weiterentwicklung automatisierter und eichfähiger H ₂ -Messsysteme		
49	■					Ermittlung des Bedarfs an unabhängigen Test- und Prüfzentren, sowie entsprechender Auf- und Ausbau		
50		■				Entwicklung von Geschäftsmodellen für Second Life-Brennstoffzellen		
51		■				Unterstützung mobiler H ₂ -Anwendungen mit wechselbaren Cartridges (Patronen)		
52		■				Prüfung des Einsatzes von BZ-Fahrzeugen in der Intralogistik		
53		■				Entwicklung und Erprobung leichter Nutzfahrzeuge mit BZ-Antrieben		
54		■	■			Einsatz von H ₂ -Fahrzeugen im Neckar-Schiffsverkehr		
55		■				Einrichtung eines regionalen H ₂ -Reallabors		
56	■					Implementierung einer Richtlinie für den sicheren Umgang mit H ₂		
57	■					Berufsbegleitende Schulungs- und Qualifizierungsmaßnahmen in allen H ₂ -Themenfeldern		

5.2 Detailbeschreibung der Maßnahmen

Legende

Sektoren

Erzeugung, Speicherung und Verteilung
Mobilität
Wasserstoff-Basistechnologie
Stromerzeugung
Gebäude
Industrie
Sektorübergreifend

Zielgruppe

Politik	
Unternehmen	
Forschung	
Kommunale Versorger	

Handlungsebene

Region Stuttgart	
Land Baden-Württemberg	
Bund Deutschland	

Priorität

Sehr hoch	
Hoch	
Mittel	

5.2.1 Maßnahmen für den Sektor Erzeugung, Speicherung, Verteilung

Priorität: sehr hoch

01	Auswahl und Beauftragung eines Betreibers einer lokalen H₂-Pipeline	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Der zukünftige Betreiber oder die zukünftigen Betreiber müssen die Interessen und Anforderungen der Region frühzeitig erkennen und aufnehmen sowie langfristig den Anschluss an das deutsche bzw. europäische Wasserstoffnetz sicherstellen. Für den Aufbau einer lokalen Pipeline bieten sich insbesondere regionale Energieversorgungsunternehmen an. Eine Herausforderung stellt hier potentiell die unterschiedliche Regulierung von Netzen auf verschiedenen Ausbaustufen dar (Stichwort: Unbundling). Dies sollte von Beginn an bei der Auswahl des Betreibers mitbedacht werden. Die Wirtschaftsförderung der Region Stuttgart könnte hier eine moderierende Rolle übernehmen.

02	Aufbau, Inbetriebnahme und Entwicklung der Neckar-H₂-Pipeline	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Eine steigende Bedeutung von Wasserstoff für die Region und die resultierende Nachfrageentwicklung erfordert die Entwicklung und den Aufbau einer Wasserstoffpipeline mit mehreren Anschlussstellen in der Region bis 2035. Durchzuführen sind zunächst eine Vorplanung und eine Genehmigungsplanung der Wasserstoff-Pipeline in ihrer Gesamtheit, wahlweise auch in Einzelabschnitten. Im Anschluss erfolgt die Detail- und Bauplanung sowie die Errichtung ausgewählter Pipelineabschnitte. Neben einzelnen Städten der Region soll die Pipeline an die Betriebshöfe und das Brennstoffzellenproduktionszentrum mit Erzeugungsanlagen im Stuttgarter Hafen angeschlossen werden. Der Abschluss der Planungsarbeiten und der Beginn des Planfeststellungsverfahrens soll bis Anfang 2024 erfolgen.

03	Ausbau und Skalierung der geplanten Neckar-H₂-Pipeline anhand zukünftiger Nachfrageentwicklung	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Mit einer steigenden Nachfrage soll die Kapazität der geplanten Neckar-Pipeline und die Vernetzung innerhalb der Region vergrößert werden, sodass weiteren Akteuren die Möglichkeit zur Wasserstoffentnahme und -einspeisung eröffnet werden kann. Da die Trassenführung durch die Verfügbarkeit und den Zugriff auf Flächen bestimmt wird, müssen außerdem Konzepte zur Distribution von Wasserstoff an Unternehmen entwickelt werden, die keinen direkten Pipelineanschluss erhalten können. Neben den klassischen Belieferungen per Trailer gilt es weitere Optionen zu prüfen.

04	Aufbau und Entwicklung des H₂-Produktionsstandortes Hafen Stuttgart	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Am Hafen Stuttgart wird ein Elektrolyseur (1,25 MW) errichtet und zusammen mit dem im Projekt »Elektrolyse made in Baden-Württemberg« entwickelten Elektrolyseblock (1 MW) betrieben. Der Stuttgarter Hafen ist in der ersten Ausbaustufe der Ausgangspunkt der geplanten Wasserstoffpipeline, so dass die Verteilung des erzeugten Wasserstoffs über die Pipeline bzw. an nicht angeschlossene Abnehmer per Trailer erfolgen wird.

05	Aufbau eines H₂-Marktplatzes	Prio: ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Mit dem Aufbau einer Wasserstoffpipeline im Neckartal soll ein zukunftsfähiger und skalierbarer Wasserstoffmarktplatz im mittleren Neckarraum implementiert werden. Dieser soll Wasserstoffherzeuger und Wasserstoffabnehmer flexibel miteinander vernetzen und als Nukleus und Rückgrat für die Versorgung der Region mit grünem Wasserstoff dienen. Der Wasserstoffmarktplatz als übergeordnete Maßnahme soll die Eintrittsbarrieren für neue Akteure weiter reduzieren. Insgesamt entsteht damit eine zukunftsfähige Wasserstoffversorgungsinfrastruktur im hoch industrialisierten Wirtschaftsraum »Mittlerer Neckar« mit einer Ein- bzw. Ausspeisekapazität von mind. 15 t Wasserstoff pro Tag. Dies stellt eine deutlich leistungsfähigere, effizientere und damit wirtschaftlichere Wasserstoffbereitstellung im Vergleich zu rein Trailer-basierten Versorgungslösungen dar.

Priorität: hoch

20	Anstoß von Pilotprojekten zur H₂-Erzeugung aus alternativen Rohstoffen	Prio: ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Alternative Erzeugungsverfahren reduzieren die direkte Abhängigkeit der Wasserstoffherzeugung von der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien. Für die Region Stuttgart, als Stromimportregion, ist die Erforschung alternativer Konversionspfade von besonderer Bedeutung. Neben pyrolytischen Herstellungsverfahren aus Biomasse und Gärresten ist auch die Wasserstoffgewinnung aus Abwässern (via Plasmalyse), die Umwandlung organischer Abfallstoffe sowie die Reformierung von Biogas vielversprechend. Frühzeitige Pilotprogramme in Kooperation mit regionalen Projektpartnern (z. B. Biogasanlagen) schaffen die Grundlage für das zukünftige Wasserstoffangebot.

21	Anstoß eines Pilot- und Testprojektes zur Zwischenspeicherung von H₂	Prio: ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Speziell wenn Wasserstoff in dezentralen Anlagen erzeugt wird, bedarf es einer effizienten Zwischenspeicherung. Hierzu soll ein Projekt (bspw. in Modellregionen) in der Region Stuttgart angestoßen werden, welches die Technologie- und Marktreife demonstriert.

22	Entwicklung eines Logistikkonzepts für die H₂-Distribution	Prio: ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Die Region Stuttgart wird eine systematische Evaluation zukünftiger Wasserstofftransportinfrastrukturen in der und für die Region in Auftrag geben. In Ergänzung zur Pipeline und dem bekannten Transport per Trailer oder Flaschenbündel sind neue Transportkonzepte wie Container per Bahn, Lkw und Schiff zu analysieren. Auch soll eine ökonomische Bewertung in Abhängigkeit der jeweiligen Distanz, der benötigten Wasserstoffmenge und der gewünschten physikalischen Speicherform (komprimierter gasförmiger oder flüssiger Wasserstoff) durchgeführt werden. Hieraus ist ein Logistikkonzept für die Region zu entwickeln, welches die bestehende Logisticklücke zwischen Trailertransport, der Lieferung in Einzelflaschen und dem Pipeline-Transport schließt. Weitere Größenkategorien für einen mobilen Wasserstofftransport über verschiedene Verkehrsträger hinweg ermöglichen insbesondere für KMU niedrigere Eintrittsbarrieren.

23	Implementierung eines Regelwerks für eine transparente/verursachergerechte Kostenverteilung der H₂-Infrastruktur	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:				
				2020	2025	2030	2035	2040

Aufgrund der Topografie, aber auch infolge von ggf. schwankenden Wasserstoffabnahmen, wird die Wasserstoffpipeline zusätzlich Zwischenspeicher benötigen. Auch die Abnahmemengen werden sich zwischen den einzelnen Abnehmern relativ stark unterscheiden. Daher muss eine transparente, faire, diskriminierungsfreie Kostenaufteilung zwischen den Einspeisenden und den unterschiedlichen Abnehmern entwickelt und anschließend implementiert werden. Die Wirtschaftsförderung der Region Stuttgart wird hier eine Moderatorenrolle einnehmen und die entsprechenden Akteure bei der Entwicklung eines ausgewogenen Regelwerks unterstützen. Die Region möchte hiermit auch eine Vorreiterrolle für andere Regionen und Pipeline-Systeme einnehmen.

24	Analyse der erforderlichen H₂-Qualität für die Pipelinebelieferung und Entwicklung entsprechender Reinigungstechnologien	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:				
				2020	2025	2030	2035	2040

Wasserstoffpipelines werden zukünftig aus mehreren Wasserstoffquellen gespeist und versorgen gleichzeitig verschiedene Abnehmer. Daher ist zunächst die Frage zu klären, welchen Reinheitsgrad der Wasserstoff aufweist, wenn er die Elektrolyseanlagen verlässt, um den Ausgangsreinheitsgrad zu bestimmen. Weil Störstoffe im Wasserstoff bestimmte Anwendungstechnologien wie Brennstoffzellen nachhaltig zerstören können, ist zudem zu klären, ob während des Transports in der Pipeline, bei Um- oder Abfüllvorgängen Verunreinigungen auftreten können. Daher soll in einem FuE-Vorhaben eine Standard-Reinigungsanlage entwickelt werden, die Störstoffe im ppm-Bereich zuverlässig entfernt. Auch, wenn die Entwicklung zunächst für die Region Stuttgart erfolgt, wird diese bundesweit in Wasserstoffverteilinfrastrukturen benötigt, sodass die Region hier als Vorreiter fungieren kann.

25	Implementierung einer Richtlinie zur Einhaltung von Qualitätsanforderungen für Einspeisung in die H₂-Pipeline	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:				
				2020	2025	2030	2035	2040

Für unterschiedliche Wasserstoffanwendungen sind verschiedene hohe, definierte Reinheitsgrade von Wasserstoff zu erfüllen. Daher ist zu regeln, welche Qualitätsanforderungen für die Einspeisung in das Wasserstoffnetz erfüllt sein müssen und wie die Einhaltung der Qualitätsstandards auf der Erzeugerseite dokumentiert und dauerhaft erfüllt werden, wo im Netz und durch wen die Qualität zu prüfen ist und wer für Schäden bei mangelnder Wasserstoffqualität aufzukommen hat, sodass ein störungs- bzw. wartungsfreier Betrieb für alle Seiten gewährleistet werden kann.

Priorität: mittel

40	Implementierung einer Richtlinie zur geregelten Entnahme aus H₂-Pipelines	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:				
				2020	2025	2030	2035	2040

Für den Betrieb der Neckar-Pipeline muss die Entnahme von Wasserstoff geregelt werden. Die Entnahmemenge der Verbraucher kann über das Druckniveau mit der Erzeugerseite geregelt werden. Des Weiteren muss die Entnahmerate von insbesondere diskontinuierlichen Abnahmemengen beispielsweise mit Pufferspeichern ausgeglichen werden. Die Wirtschaftsförderung der Region Stuttgart wird hier in einer moderierenden Funktion die Erarbeitung einer Richtlinie vorantreiben, sodass zur Inbetriebnahme der Pipeline ein entsprechendes Regelwerk vorliegt.

41	Anstoß eines Pilotprojektes zur Entwicklung und Installation einer Power-to-Liquid-Anlage	Prio: ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Akteure der Region Stuttgart sollen in enger Abstimmung mit der ansässigen Forschungslandschaft und interessierten Unternehmen ein Pilotprojekt zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe anstoßen. Dies umfasst eine techno-ökonomische Bewertung im Vorfeld, wobei besonders vorteilhafte Einsatzmöglichkeiten (z. B. als Kerosin-Ersatz) herauskristallisiert werden. Darauf aufbauend soll eine Power-to-Liquid Pilotanlage zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe in der Region installiert werden.

42	Erprobung und Aufbau einer prototypischen Anlage zur Ammoniak- und Methanol-Synthese	Prio: ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

In einem ersten Schritt muss der genaue Methanolbedarf in der Region, vor allem der Industrie, quantifiziert werden. Auf Basis der Nachfragebewertung soll eine prototypische Anlage im Forschungs- und Entwicklungskontext entstehen. Der Wasserstoff aus nachhaltigen Energiequellen soll durch die Reaktion mit Kohlendioxid in synthetisches Methanol umgewandelt werden. Ziel ist über FuE-Aktivitäten die Industrie vor Ort auf diese Technologien vorzubereiten und mögliche Exportpotentiale erschließbar zu machen

5.2.2 Maßnahmen für den Sektor Mobilität

Priorität: sehr hoch

06	Aus- und Aufbau eines leistungsfähigen H₂-Tankstellennetzes	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Ein zunehmender Wasserstoffbedarf im Mobilitätssektor erfordert einen schnellen Ausbau des Tankstellennetzes in der Region. Hierfür sind zunächst besonders geeignete Standorte zu identifizieren. Unter anderen bieten sich hierfür Stuttgart-Wangen, Kirchheim oder Göppingen an. Wichtige Auswahlkriterien sind Modularität im Aufbau, öffentliche Zugänglichkeit und Zukunftsfähigkeit (z. B. Betankung von Fahrzeugen mit sogenannten »Typ-IV«-Tanks, die als zukunftsfähiger als die heute in BZ-Bussen zumeist verbauten »Typ-III«-Tanks gelten). Erste Hauptabnehmer sollen BZ-Busse und schwere Nutzfahrzeuge etwa für die Abfallwirtschaft Stuttgart sein, aber auch leichte Nutzfahrzeuge oder Pkw. Die Tankstellen bilden zudem eine Redundanz für die Wasserstoffversorgung etwa der SSB und können als Schnittstelle für die Trailer-Abfüllung bei der Belieferung von weiter entfernten Verbrauchern mit Wasserstoff dienen, für die ein Anschluss an die Wasserstoffpipeline nicht wirtschaftlich ist.

07	Aufbau und Testbetrieb einer LH₂-Tankstelle als Forschungsplattform	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

In der Region Stuttgart sollen verschiedene Möglichkeiten der Betankung von Wasserstoff im Rahmen einer Anwendungsplattform, beispielsweise des Campus der Universität Stuttgart/ARENA2036, aufgebaut und getestet werden, um zur Entwicklung des optimalen Designs beizutragen. Sie soll Nutzungsmöglichkeiten, Neuentwicklungen und Anpassungen von Betankungsstandards untersuchen. Dabei soll die Plattform einen öffentlich nutzbaren Bereich beinhalten, an dem Wasserstoff in den gängigen Formen (gasförmig 350 bar für Nutzfahrzeuge und gasförmig 700 bar für Pkw getankt werden kann. Zusätzlich ist eine Flüssigwasserstoff-Zapfsäule für kryogen komprimierten Wasserstoff (CCH₂) für den Schwerlastverkehr geplant, die unmittelbar mit einer Flotte getestet wird.

08	Umstellung der ÖPNV-Flotte auf BZ- oder BZ-REX-Busse	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Neben rein batterieelektrischen Stadt- und Überlandbussen werden auch wasserstoffbetriebene Busse zukünftig eine wichtige Rolle spielen, da sie sich besonders für anspruchsvolle Nutzungszyklen eignen. Für die Region Stuttgart wird ein gesamter Flottentausch des ÖPNV bis 2035 auf emissionsarme Antriebe (in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von Fahrzeugen) angestrebt, wobei das jeweilige Antriebskonzept in Abhängigkeit vom Einsatzprofil festgelegt wird.

09	Erprobung und Förderung des Einsatzes von Brennstoffzellen in Lkw	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Brennstoffzellen-Lkw müssen ihre Alltagstauglichkeit unter Beweis stellen. Daher soll ihr Einsatz auf bestimmten Routen im Alltagsbetrieb (beispielsweise für Einzelhandelsunternehmen mit Logistikdienstleister) gefördert werden. Es wird erwartet, dass dies eine Signalwirkung für andere Akteure haben wird und eine steigende Nachfrage nach Wasserstoff, die Nutzung von Tankstellen und so die Marktdurchdringung von Brennstoffzellen-Lkw begünstigt.

10	Einsatz von BZ- oder BZ-REX-Fahrzeugen in der Abfallwirtschaft	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Ziel ist es, den Einsatz von Brennstoffzellen in Fahrzeugen im Bereich der Abfallentsorgung der Region Stuttgart zu etablieren. Neben der Neubeschaffung von Fahrzeugen können Umrüstungen eine Option sein. Ein erster Startpunkt liegt bei 13 Müllsammlern und drei Kehrmaschinen. Eine sukzessive Ausweitung wird angestrebt.

11	Unterstützung der synergetischen Nutzung von H₂ am Flughafen Stuttgart	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Die Region Stuttgart soll zusammen mit dem Land Baden-Württemberg eine breite Wasserstoffnutzung am Flughafen Stuttgart aufbauen, um Wasserstoff für prototypische Flugzeuge (H2Fly) und für den Vorfeldverkehr bereitzustellen. Die Region Stuttgart kann Vorhaben zur Umsetzung (beispielsweise durch Letters of Support (LoS) bei der Antragsstellung) gezielt unterstützen. Dies unterstreicht das klare Bekenntnis zum Klimaschutz auch in einer industriell geprägten Region, die auf internationale Vernetzung angewiesen ist.

Priorität: hoch

30	Anstoß von FuE-Projekten zur Optimierung von H₂-Tankstellen	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Ein oder mehrere angewandte FuE-Projekte sollen die Entwicklung von Hardware für Wasserstofftankstellen voranbringen. Hierzu gehören vor allem die Handlungsfelder Logistik für Tankstellen (Speicher, Verdichter, Betankungsinfrastrukturen für Tankstellen mit einem hohen Durchsatz und einer hohen Zahl an Tankvorgängen), Wasserstoffverdichter für Tankstellen mit hohen Abnahmemengen, Reinigungsanlagen für eine einheitliche Wasserstoffqualität an Tankstellen, sowie Betankungsprotokolle für große Fahrzeuge wie beispielsweise Busse und schwere Nutzfahrzeuge.

31	Förderung von H₂-Taxis und deren Betankungsmöglichkeiten an Knotenpunkten	Prio: ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Der Einsatz von Brennstoffzellen in Taxis erlaubt dem Betreiber die Ausübung seiner Tätigkeit ohne jegliche Einschränkungen, etwa bei der Reichweite, und macht gleichzeitig Wasserstofffahrzeuge für den Kunden erlebbar. Daher will die Region Stuttgart über ein breites Spektrum an Maßnahmen Anreize zum Einsatz von Brennstoffzellen-Taxis in der Region schaffen. Die zielorientierte Identifikation und Auswahl geeigneter Maßnahmen (z. B. finanzielle Anreize, Privilegien im Straßenverkehr, Marketingkampagnen) wird zeitnah erfolgen. Schlüsselmaßnahme ist auch hier der Aufbau von Tankstellen an Knotenpunkten (z. B. Bahnhof, Flughafen). Einsatzvorteile gegenüber rein batteriebetriebenen Taxis, Wasserstoffbedarf zur Flottenversorgung und geeignete Tankstellenstandorte sollen in einer begleitenden Machbarkeitsstudie herausgearbeitet und quantifiziert werden.

32	Entwicklung, Erprobung und Einsatz von BZ-Baufahrzeugen auf Großbaustellen	Prio: ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Werden schwere Nutzfahrzeuge mit hohen Nutzungsdauern auf Baustellen mit Brennstoffzellen betrieben, sind positive ökologische Effekte, insbesondere bezüglich der Luftreinhaltung und der Lärmemissionen erzielbar. Neben der Neubeschaffung von Fahrzeugen können Umrüstungen von Baufahrzeugen eine Option sein. Projektpartner zur Umrüstung müssen identifiziert, sowie Produktionsnetzwerke für serienreife BZ-Baufahrzeuge aufgebaut werden. Die Region Stuttgart wird den Einsatz solcher Fahrzeuge vorantreiben, um in diesem Segment eine führende Rolle zu übernehmen. Als erstes Projekt wird die Entwicklung eines Muldenkippers mit Brennstoffzellen-Antrieb angestrebt. Hierfür sollen die Voraussetzungen für eine Kleinserienfertigung von schweren brennstoffzellenbetriebenen Sattelzugmaschinen der Klasse N3 für den kombinierten On- und Off-Road-Einsatz geschaffen werden. Notwendige 700-bar-Wasserstoff-Tanksysteme müssen entwickelt, aufgebaut und getestet werden.

33	Technologieoffene Konzeptentwicklung und Umsetzung von alternativen Antrieben im Schienenpersonennahverkehr	Prio: ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Es existieren mehrere Streckenabschnitte in der Region Stuttgart, welche bisher nicht elektrifiziert sind. Diese müssen zukünftig auf emissionsarme oder lokal emissionsfreie Technologien umgestellt werden. Es ist zu prüfen, ob sich ein Batteriekonzept, ein Brennstoffzellenkonzept oder ein hybrides Konzept für die Streckenabschnitte eignet. Die Region Stuttgart wird zeitnah ein technologieoffenes Konzept entwickeln und umsetzen. Wenn techno-ökonomische und ökologische Vorteile gegeben sind, können Brennstoffzellenzüge auf bisher nicht elektrifizierten Bahnstrecken in der Region (wie z. B. der Wieslaufalbahn, Strohgäubahn, Teckbahn oder Tälesbahn) Triebwagen mit Dieselantrieb ersetzen.

Priorität: mittel

51	Unterstützung mobiler H₂-Anwendungen mit wechselbaren Cartridges (Patronen)	Prio: ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Wechselbare Wasserstofftank-Cartridges bieten Potential zur Erlebbarkeit von sicheren Wasserstoffanwendungen. Einsatzmöglichkeiten bieten insbesondere Pedelecs, Wohnmobile, Kleinfahrzeuge (z. B. Kehrmaschinen) und Drohnen. Um weitere Anwendungsfelder für die Einführung und Sichtbarkeit von Wasserstoff-Cartridges-Anwendungen zu identifizieren und umzusetzen, bietet sich eine Kooperation der Region Stuttgart mit der ansässigen Industrie und Wissenschaft an.

52	Prüfung des Einsatzes von BZ-Fahrzeugen in der Intralogistik	Prio:	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040
					----- ----- ----- ----- -----				

Durch den Aufbau weiterer Wasserstoffinfrastrukturen werden BZ-Flurförderzeuge für Industrieunternehmen an Bedeutung gewinnen. Fahrzeuge und Tankstelleninfrastruktur stehen zur Verfügung und können einen Beitrag zur Klimaneutralität logistischer Lieferketten leisten. Die Wirtschaftsförderung der Region Stuttgart soll frühzeitig Akteure vernetzen und Unternehmen auf Angebote für Fördermöglichkeiten von Flurförderfahrzeugen aufmerksam machen.

53	Entwicklung und Erprobung leichter Nutzfahrzeuge mit BZ-Antrieben	Prio:	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040
					----- ----- ----- ----- -----				

Im Mittelpunkt dieser Maßnahme steht zunächst eine Potentialanalyse für die Einsatzmöglichkeiten von Brennstoffzellenantrieben und Wasserstoffverbrennungsmotoren, um die Erfordernisse für deren Entwicklung und Erprobung in leichten Nutzfahrzeugen (Vans) zu identifizieren. In der Folge werden Vans in verschiedenen Varianten aufgebaut und getestet. Dabei soll die Ausrüstung von Vans mit Wasserstoffverbrennungsmotoren, mit batterieelektrischem Antrieb und zusätzlichem Wasserstoff-Range-Extender oder mit Elektroantrieb und Brennstoffzellen-Energieversorgung erfolgen.

54	Einsatz von H₂-Fahrzeugen im Neckar-Schiffsverkehr	Prio:	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040
					----- ----- ----- ----- -----				

Die entstehende Wasserstoffinfrastruktur am Neckar-Hafen in Stuttgart bietet große Potentiale für den öffentlichkeitswirksamen Einsatz emissionsarmer Wasserstofffahrzeuge im Schiffsverkehr. Hierzu gehören unter anderem die Fahrzeuge der Wasserschutzpolizei, sowie Ausflugschiffe. Die Region Stuttgart wird die Potentiale von Umrüstungen und Neuananschaffungen frühzeitig prüfen, und auf einen Einsatz von Wasserstoffschiffen auf dem Neckar hinwirken.

5.2.3 Maßnahmen für den Sektor Wasserstoff-Basistechnologie

Priorität: sehr hoch

12	Vorbereitung und Unterstützung von industriellen Produktionsclustern zur Serienfertigung von H₂-Technologien	Prio:	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040
					----- ----- ----- ----- -----				

Die Region Stuttgart soll industrielle Produktionscluster für Elektrolyseure, Brennstoffzellen und stationäre Wasserstoffsysteme unterschiedlicher Skalierungen und deren Komponenten in der Region fördern und etablieren. Es ist eine große Nachfrage nach diesen Systemen in der Region, aber insbesondere darüber hinaus zu erwarten, was mit hohen Wertschöpfungspotentialen für die ansässige Zulieferindustrie und den Maschinen- und Anlagenbau einhergeht. Durch Vernetzung, strategische Allianzen, Unterstützung/Förderung und Kooperation soll auf Basis der ausgeprägten Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Forschungsaktivitäten in der Region die industrielle Produktion aufgebaut werden. Auf regionaler Ebene kann die Region Stuttgart die ansässigen Komponentenhersteller und andere Stakeholder gezielt zur Kooperation vernetzen, sodass zeitnah industrielle Produktionscluster entstehen. Für die industrielle Serienfertigung werden angewandte Forschungsprogramme erforderlich sein. Die Region Stuttgart kann beispielsweise eine Forschungsplattform für die automatisierte Fertigung von Elektrolyseuren anregen, welche bestehende Forschungsexpertise bündelt und die Ansiedlung und Etablierung von Industrieakteuren unterstützt.

26	Etablierung von Recyclingprozessen für Brennstoffzellen und Elektrolyseure	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:

Ziel im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft ist es, die kritischen Rohstoffe aus Brennstoffzellen und Elektrolyseuren wieder zu gewinnen und zusätzlich eine hohe Recyclingeffizienz anzustreben. Für Unternehmen der Regionen wird zukünftig parallel zur Produktion von beispielsweise Brennstoffzellen das Recycling von Gütern mit hochwertigen Rohstoffen attraktiv sein. Durch die Initiierung der Regionen und der Partizipation an FuE-Projekten der regionalen Unternehmen wird eine geschlossene Kreislaufwirtschaft ermöglicht sowie neue Geschäftsmodelle und Unabhängigkeit geschaffen.

27	Entwicklung von Re-Use Konzepten für Brennstoffzellen und Elektrolyseure	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:

Akteure aus der Region Stuttgart werden sich an bundesweiten Forschungs- und Pilotprojekten zur Entwicklung von Re-Use-Konzepten (Wiederverwertung und Aufbereitung) für Wasserstoffsysteme (u.a. Brennstoffzelle und Elektrolyseure) beteiligen. Hierzu zählt die Analyse und Entwicklung von Konzepten zur Generalüberholung durch den Austausch von Verschleißteilen zum Instandsetzen von gebrauchten oder defekten Gütern.

28	Start eines FuE-Projekts zu LH₂-Speicherkonzepten mit geringerem Abdampfverlust	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:

Akteure aus der Region Stuttgart werden auf ein bundesweites FuE-Projekt zu fortschrittlichen LH₂-Speicherkonzepten hinwirken. Bei konventionellen LH₂-Speicherbehälter liegen die Verdampfungsverluste bei 2-4 Vol.-Prozent pro Tag. Neue LH₂-Speicherkonzepte sollen diese Verluste reduzieren. Die Boil-Off-Verluste werden aufgefangen und beispielsweise für den Tankstellenbetrieb genutzt, wenn dieser über Brennstoffzellen erfolgt. Hier ergibt sich auch ein interessantes Konzept für Second-Life-Anwendungen von Brennstoffzellen aus Fahrzeugen im stationären Einsatz.

29	Vorbereitung einer H₂-Betankungstechnologie für beide Aggregatzustände und verschiedene Druckstufen	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:

Akteure aus der Region Stuttgart werden sich an bundesweiten Forschungs- und Pilotprojekten zur Entwicklung einer Schnittstelle mit Flüssigwasserstoff bei Wasserstoffbetankungstechnologien für die zukünftige Markteinführung von Flüssigwasserstoff-Lkw und -Bussen beteiligen. Diese Schnittstelle (H₂-Interface) innerhalb der Betankungsinfrastruktur soll den parallelen Einsatz von Druck- und Flüssigwasserstoff kommerziell verfügbar machen.

Priorität: mittel

48	Weiterentwicklung automatisierter und eichfähiger H₂-Messsysteme	Prio: ●	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040
					[Progress bar from 2020 to 2025]				

Akteure aus der Region Stuttgart werden sich an bundesweiten Forschungs- und Pilotprojekten zur Entwicklung eichfähiger Messsysteme für eine kontinuierliche und automatisierte Erfassung der Wasserstoffqualität beteiligen. Hintergrund ist, dass bei schwankenden Wasserstoffanteilen im Erdgas das Problem besteht, dass eine Abrechnung über Nm³ nicht mehr möglich ist, sondern per kWh abgerechnet werden müsste. Hierfür sind bislang keine Messsysteme vorhanden. Wichtig ist auch die Entwicklung von Gaschromatographen/Gasanalytoren für den Nachweis der geforderten Wasserstoffqualität auf Erzeugerseite, insbesondere beim Einspeisen in eine Wasserstoffpipeline. Zudem sollten Konzepte für automatisierte Messsysteme mit reduziertem Kalibrieraufwand verfolgt werden. Dadurch kann kontinuierlich die Wasserstoffqualität, z. B. beim Einspeiseprozess, erfasst werden.

49	Ermittlung des Bedarfs an unabhängigen Test- und Prüfzentren, sowie entsprechender Auf- und Ausbau	Prio: ●	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040
					[Progress bar from 2020 to 2025]				

Ein Ziel der Entwicklungsphase ist unter anderem die Bestimmung der notwendigen Anzahl an unabhängigen Test- und Prüfzentren für (Schlüssel-)Komponenten in der Region. Dies umfasst weiterhin die Schritte der Zertifizierung und Zulassung. Falls konkreter Bedarf besteht, soll die Vernetzung der bestehenden Testzentren und gegebenenfalls der Auf- und Ausbau von Test- und Prüfzentren in enger Abstimmung mit angrenzenden Regionen erfolgen, um existierende Lücken zu schließen.

50	Entwicklung von Geschäftsmodellen für Second Life-Brennstoffzellen	Prio: ●	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040
					[Progress bar from 2020 to 2025]				

Nach der ersten Nutzungsphase einer Brennstoffzelle, beispielsweise in mobilen Anwendungen (bei Nutzfahrzeugen bis zu 20 000 – 30 000 Betriebsstunden), endet der Produktlebenszyklus eines Fahrzeuges. Aufgrund der langen Lebensdauer von Brennstoffzellen (bis zu 60 000 Betriebsstunden) ist eine Zweitnutzung, z. B. für die Bereitstellung von Energiesystemdienstleistungen, sinnvoll. Hier sollte ein erstes Pilotprojekt angestrebt werden. Denkbar ist insbesondere der Einsatz zur stationären Energieversorgung von Tankstellen.

5.2.4

Maßnahmen für den Sektor Stromerzeugung

Priorität: sehr hoch

13	Analyse, Bewertung und Nutzung von H₂ in Heizkraftwerken	Prio: ●●●	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040
					[Progress bar from 2020 to 2040]				

Es soll eine ganzheitliche techno-ökonomische Analyse der Wärmeerzeugung bzw. Kraft-Wärme-Kopplung unter der Nutzung von Wasserstoff als Brennstoff in Heizkraftwerken durchgeführt werden. Geeignet wäre unter anderem das Heizkraftwerk Sindelfingen, für welches eine Machbarkeitsstudie zur Umstellung der erdgasbasierten Strom- und Wärmeerzeugung auf Wasserstoff notwendig ist. Falls in techno-ökonomischen Lebenszyklusanalysen entsprechende Potentiale bestätigt werden, erfolgt die Pilotinstallation eines stationären Brennstoffzellen-Systems. Denkbar wäre beispielsweise ein System mit 100 kW elektrischer Leistung am Standort Sindelfingen, um die technische Realisierbarkeit und Integration in die bestehende Infrastruktur zu demonstrieren. Ziel einer möglichen Umstellung ist unter anderem die Dekarbonisierung der Energieversorgung der Mercedes-Benz Werke Sindelfingen.

Priorität: hoch

19	Installation von H ₂ -ready-Technologien in Kraftwerken	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

In Kraftwerken soll die Umstellung von fossilen Energien zu Wasserstoff erfolgen. Dieser »Fuel-Switch« wird durch die Umstellung auf H₂ready-Technologien erreicht. Die Region unterstützt zum einen die Hochskalierung solcher Technologien und zum anderen die Umstellung von Kraftwerken, besonders im Zusammenhang mit Sanierungsarbeiten. Die Umstellung dieser Kraftwerke auf Wasserstoff wird voraussichtlich erst mit der breiten Verfügbarkeit von Wasserstoff (insbesondere über eine Wasserstoffpipeline) realisierbar.

Priorität: mittel

44	Durchführung eines Pilotprojektes zur H ₂ -Notstromerzeugung	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Die Nutzung von Brennstoffzellen-Notstromaggregaten, beispielsweise in großen Rechenzentren oder in Krankenhäusern bietet ein gutes Demonstrations- und Skalierungspotential für die Brennstoffzellentechnologie in stationären Anwendungen. Ein Pilotprojekt soll die Realisierbarkeit demonstrieren.

45	Prüfung der Förderung von Brennstoffzellen als lokale Stromversorgungsanlagen	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Die Region Stuttgart soll Fördermöglichkeiten für den Einsatz von netzunabhängigen, lokalen Stromversorgungsanlagen auf Brennstoffzellenbasis prüfen. Dezentrale Anwendungsfälle auf Baustellen, Märkten oder Veranstaltungen haben hohe Öffentlichkeitswirkung und dienen der Reduktion lokaler Luftschadstoffemissionen.

5.2.5 Maßnahmen für den Sektor Gebäude

Priorität: sehr hoch

14	Nutzung der Abwärme aus H ₂ -Erzeugung für Quartiere oder Industriebäude	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Bei Nutzung der Abwärme der Elektrolyse kann der Gesamtanlagenwirkungsgrad der Wasserstofferzeugung von etwa 60-65 Prozent auf über 80 Prozent gesteigert werden. Neben der Einspeisung in ein Wärmenetz ist auch eine Speicherung der Abwärme in einem Wärmespeicher oder eine Einspeisung der Abwärme in ein Kältenetz denkbar. Entsprechende Nutzungskonzepte sind zu entwickeln und sollten eine Anschubfinanzierung erhalten.

Priorität: mittel

43	Initiierung eines Pilotprojektes zur Integration von H₂ in die Strom- und Wärmeversorgung von Gebäuden	Prio: ●	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040
					----- ----- ----- -----				

Die Nutzung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie bietet Potentiale für die Wärmeversorgung von Gebäuden. Für die Demonstration in Wohngebäuden werden Projekte im Rahmen von Wasserstoffstadtquartieren oder anderen kombinierten Systemen aus erneuerbarer Stromerzeugung, Wasserstoffherzeugung und Wasserstoffnutzung bevorzugt. Auch die Versorgung von Gewerbegebäuden durch lokale Strom- und Wärmeerzeugung mit Wasserstoff soll demonstriert werden. Beispiele für geeignete Gewerbegebäude sind Einzelhandelsfilialen oder große Logistikzentren.

**5.2.6
Maßnahmen für den Sektor Industrie**

Priorität: mittel

46	Identifikation technischer, ökologischer und wirtschaftlicher Potentiale von H₂ in industriellen Prozessvarianten	Prio: ●	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040
					----- ----- ----- -----				

Mit quantitativen Wirtschaftlichkeits- und Nachhaltigkeitsbewertungen lassen sich Industriefelder definieren, in welchen der Einsatz von Wasserstoff nachhaltige Potentiale bietet. Die Analysen sollen die gesamten Lebenszyklen und Lieferketten vom Aufbau der Infrastruktur bis hin zum Recycling der Komponenten einschließen.

47	Initiierung eines Verbundforschungsprojektes zum Einsatz von H₂-Prozesswärme in unterschiedlichen Industriefeldern	Prio: ●	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040
					----- ----- ----- -----				

Es wird ein Verbundforschungsprojekt zu Erprobung und Aufbau von H₂-Fertigungsstraßen und Produktionsprozessen initiiert. Dies ist besonders für Industrien wünschenswert, welche ein nachhaltiges Potential im Einsatz von Wasserstoff bieten. Neben den Hauptbranchen im Feld Prozesswärme wie z. B. bei Mineralölraffinerien und der Zementherstellung, die in der Region Stuttgart nicht vertreten sind, werden trotzdem Potentiale im Automobil-, Maschinen- und Anlagenbau gesehen.

**5.2.7
Sektorübergreifende Maßnahmen**

Priorität: sehr hoch

15	Planung, Umsetzung und Betrieb von H₂-Stadtquartieren in der Region	Prio: ●●●	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040
					----- ----- ----- -----				

Ziel ist die Förderung kommunaler Wasserstoffnutzung durch Quartierslösungen mit Sektorenkopplung (PV, BHKW, Elektrolyse und Versorgung der Gebäude, stationäre BZ-Anwendung für Strom- und Wärmeversorgung mehrerer Gebäude und Aufbau einer BZ-Fahrzeugflotte ansässiger Firmen, Wasserstofftankstelle). Exemplarisch stehen hierfür die Planung und Umsetzung eines klimaneutralen Stadtquartiers in Esslingen. Dies beinhaltet den Aufbau eines neuen Gasnetzes und die Kopplung des Energieversorgungssystems mit dem Wasserstoff-Klimaquartier »Neue Weststadt«. Dabei erfolgt erstmalig eine Kopplung zweier Wasserstoffnetze/Stadtquartiere (Klimaquartier I und II).

16	Stärkung der Anschub- und Ansiedlungsfinanzierung zur Unterstützung der Gründung und Ansiedlung von Start-Ups	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Ziel ist eine gezielte Unterstützung von neuen Unternehmen im Umfeld Wasserstoff-/ Brennstoffzellentechnologie – von der Gründung, über die Standortsuche und Finanzierung bis zum Markteintritt. Besonders interessant ist die Unterstützung von Neu- und Ausgründungen aus Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Hierzu gehört die Durchführung von zielgruppen-/ branchenspezifischen Workshops und Veranstaltungen für potentielle Gründer/innen, sowie das Angebot von Beratungsleistungen und Kapital für Gründer/innen.

17	Erarbeitung einer Ansiedlungsstrategie für Unternehmen im Bereich H₂- und BZ-Technologie	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Für die Ansiedlung neuer Unternehmen aus dem Bereich Wasserstoff ist die Beratung und Unterstützung entlang der gesamten Wasserstoffwertschöpfungskette essentiell, unter anderem bei der Suche nach geeigneten Gewerbeflächen und Objekten (beispielsweise mittels eines Standortkommunikationssystems). Dies wird ergänzt durch ein proaktives Standortmarketing, sowie in ausgewählten Fällen durch die direkte Ansprache von Unternehmen, welche Interesse an einer Tätigkeit in der Region haben könnten. Neuansiedlungen könnten in einem aufzubauenden Industriepark »Wasserstoff-/ Brennstoffzellentechnologie« gebündelt werden, welcher überregionale Strahlkraft mit Synergieeffekten vereint.

18	Aufbau und Entwicklung eines H₂-Hubs	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Ziel ist der Aufbau eines Wasserstoff-Hubs zur gebündelten Produktion, Speicherung, Betankung und Verteilung von grünem Wasserstoff zur Versorgung von Wasserstoffverbrauchern. Als Standort bietet sich der nähere Umkreis von Wasserstoffsenken (z. B. Betriebshöfe oder Quartiere), sowie Verkehrsknotenpunkte an. Von dort aus sollen Belieferungen kleinerer Verbraucher per Trailer erfolgen.

Priorität: hoch

34	Intensivierung der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Die Aufnahme und Stärkung abgestimmter PR- und Marketingkampagnen führen zur Erhöhung der Akzeptanz und der Kenntnisse in der Bevölkerung zu Wasserstofftechnologien. Dies beinhaltet die Wiederauflage der Brennstoffzellen- und Wasserstofflandkarte Region Stuttgart als Instrument des Standortmarketings (englisch/deutsch), die Wiederauflage von Broschüren (u.a. »High-Tech Region Stuttgart: Wasserstoff und Brennstoffzelle«, engl./ dt.) sowie die Durchführung einer Pressekampagne Wasserstoff und Brennstoffzelle.

35	Beitritt und aktive Mitgliedschaft der Region Stuttgart in der europäischen Allianz für sauberen Wasserstoff	Prio: ● ● ●	Ebene:	Zielgruppe:
			2020	2025

Mit dem Beitritt zur europäischen Allianz für sauberen Wasserstoff (European Clean Hydrogen Alliance) kann sich die Region Stuttgart dafür einsetzen, um beispielsweise im Rahmen des Important Project of Common European Interest (IPCEI) Investitionen für die Region zu gewinnen. Die Tätigkeit in der European Clean Hydrogen Alliance bietet Chancen zur Vernetzung, zum Wissensaustausch und Repräsentation des Wirtschaftsstandortes Stuttgart auf europäischer und internationaler Ebene.

36	Schaffung einer regionalen H₂-Organisationseinheit	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:				
				2020	2025	2030	2035	2040

Ziel ist die Gründung einer zentralen Stelle, welche die Koordination aller Wasserstoffaktivitäten in der Region übernimmt und regionale Interessen zum Thema bündelt. Die Organisationseinheit ist zudem zukünftig der zentrale Ansprechpartner für interessierte Unternehmen und unterstützt die Transformation von KMU. Sie steht im engen Austausch mit den überregionalen Plattformen und vernetzt Akteure aus der Region. Gemeinsame Beschaffung, Planung und Ermittlung von Fördermöglichkeiten sowie Realisierung von Vorhaben sind denkbar. Angewandte Forschung für Projekte im Bereich Wertschöpfungspotentiale für Wasserstoff und erneuerbare Energien werden bedarfsgerecht durch die Organisationseinheit angestoßen.

37	Nutzung und Stärkung existierender Koordinationsstellen, Netzwerken und Clustern	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:				
				2020	2025	2030	2035	2040

Die Schaffung eines Raums für Kooperation und Austausch ist essentiell für erfolgreiche H₂-Projekte und den Anstoß von Markteintritten. Hierfür muss eine Zentralisierung verschiedener überregionaler Themen zu Wasserstoff (Veranstaltungen, Projekte, Fördermöglichkeiten, Kooperationsangebote, etc.) durch den Ausbau der Kompetenzcluster erfolgen. Eine solche zentrale Stelle existiert in Baden-Württemberg bereits z. B. in Form der Landesplattform Wasserstoff H₂BW, die bei der e-mobil BW GmbH angesiedelt ist. Sie ist überregional und dient als zentrale Anlaufstelle für Forschungseinrichtungen, Kommunen und Unternehmen. Weitere Netzwerke sind etwa das Cluster Brennstoffzelle BW und der Strategiedialog Automobilwirtschaft. Hier gilt es für die Region Stuttgart, die Steuerungs-, Vernetzungs- und Unterstützungsfunktionen dieser Plattformen gewinnbringend für die Region zu nutzen, speziell für die Mitwirkung bei Maßnahmen, welche nicht im direkten Einflussbereich der Region Stuttgart liegen.

38	Integration von H₂-relevanten Themen in Bildungsinhalte	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:				
				2020	2025	2030	2035	2040

Die Region Stuttgart wird auf den Ausbau der Aus- und Weiterbildung in die für Wasserstoff relevanten Feldern aller Bildungswege (Schulbildung) hinwirken. Dies beinhaltet die Integration geeigneter Lehrinhalte in Hoch-/Schullehr-, Aus- und Weiterbildungspläne. Dies ist wichtig für die Schaffung von Akzeptanz und wirkt dem Fachkräftemangel entgegen.

39	Anschubfinanzierung von H₂-Investitionen durch regionale Förderprogramme	Prio: 	Ebene:	Zielgruppe:				
				2020	2025	2030	2035	2040

Pilotprojekte entlang der gesamten Wasserstoffwertschöpfungskette fördern Entwicklungen im privaten Sektor und reduzieren Risiken. Dies ist essentiell, um die derzeitigen Nachfrage- und Angebotshemmnisse auf dem Markt zu lösen. Anschubfinanzierungen ermöglichen die Realisation von Skaleneffekten durch Kostendegressionen, beispielsweise bei Anlagen zur Erzeugung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff. Sinnvoll ist hierbei, gezielt Lücken in den europäischen, Bundes- und Landesförderprogrammen zu identifizieren und sich auf die für die Region Stuttgart relevanten Wasserstoffthemen zu fokussieren.

Priorität: mittel

55	Einrichtung eines regionalen H₂-Reallabors	Prio: ●	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040

Die Einrichtung eines H₂-Reallabors dient der Abbildung ausgewählter Themen in den Bereichen Wasserstoff und Brennstoffzelle: Elektrolyse mit erneuerbarer Energie, Lagerung und Transport mit Trailer und Pipeline, industrielle Anwendung, stationäre Anwendung im Quartier und mobile Anwendung von grünem Wasserstoff in Fahrzeugen. Ein Reallaborprojekt unterstützt regionale Akteure bei der Transformation in die Wasserstoffwirtschaft, und schafft einen wissenschaftlichen und organisatorischen Rahmen. Durch die Nachfrageeffekte und die Signalwirkung im Bereich Wasserstoff wird der Grundstein für die Verwirklichung von Synergieeffekten und Marktpotentialen gelegt. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Studie war der Vergabeprozess der Modellregion Wasserstoff noch nicht abgeschlossen. Falls die Region Stuttgart nicht ausgewählt wird, soll sich die Region intensiv um die Einrichtung eines Wasserstoff-Reallabors bemühen.

56	Implementierung einer Richtlinie für den sicheren Umgang mit H₂	Prio: ●	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040

Die Region Stuttgart wirkt darauf hin, dass zwingend erforderliche Richtlinien für Wasserstoff als Energieträger auf Bundesebene implementiert werden. Dies ist zur Vermeidung von Brand- und Explosionsgefährdungen an Tankstellen und Gasfüllanlagen zur Befüllung von Landfahrzeugen notwendig. Ab spätestens 2023 sollte eine Sicherheitskette für Wasserstoffverteilstrukturen mit zahlreichen Erzeugern und Abnehmern vollständig abgebildet sein

57	Berufsbegleitende Schulungs- und Qualifizierungsmaßnahmen in allen H₂-Themenfeldern	Prio: ●	Ebene:	Zielgruppe:	2020	2025	2030	2035	2040

Es soll zukünftig auf ein landesweites Schulungs-, Umschulungs- und Qualifizierungsangebot (Berufsbildung) hingewirkt werden. Dies kann beispielsweise über ein virtuelles oder physisches Wasserstoffschulungszentrum gelingen, welches der Vermittlung von H₂-bezogenem Praxiswissen dient. Zur Bündelung von Wissen und Anstrengungen ist eine Kooperation mit anderen Regionen innerhalb des Landes Baden-Württembergs denkbar. Der zunehmende Ausbau der Wasserstoffwirtschaft in der Region erfordert hochqualifizierte Fachkräfte mit aktuellem Wissensstand in den Wasserstoffthemenfeldern. Dies sichert den fachgerechten Umgang mit H₂-Fahrzeugen und H₂-Infrastruktur sowohl in der industriellen Produktion als auch in der Nutzung und Anwendung.

Fazit und Ausblick

Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien stellen einen elementaren Baustein dar, um die weltweiten Treibhausgasemissionen zu reduzieren und den Klimawandel zu abschwächen. Daraus lassen sich enorme internationale Marktpotentiale ableiten. Um davon zu profitieren und Arbeitsplätze zu sichern bzw. auszubauen, muss sich auch die Region Stuttgart frühzeitig auf den Weg machen, um die Industrialisierung von Wasserstoff- und Brennstoffzellenanwendungen voranzutreiben.

Die Voraussetzungen für ein Gelingen stehen dabei gut. Die Situationsanalyse zeigt, dass eine hohe Forschungsdichte im Bereich Wasserstoff und Brennstoffzellen existiert und ansässige Forschungsinstitutionen international im Themenfeld etabliert sind. Bereits heute sind viele regionale Akteure der Region Stuttgart entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette aktiv oder planen den konkreten Einstieg. Die regionale Industrielandschaft, insbesondere der Maschinen- und Anlagenbau sowie das Automobilcluster, weist langjährige Erfahrung und hochqualifiziertes Personal für die Herstellung komplexer Komponenten mit hohen Qualitätsanforderungen auf. Was nun folgen muss, ist die Übertragung dieses Fachwissens auf Bereiche der Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologien sowie die Skalierung hin zu hohen Stückzahlen, um Kostensenkungspotentiale zu realisieren. Hierzu bedarf es einer Marktaktivierung durch gezielte Unterstützung ansässiger Unternehmen bei ihrer Transformation, sowie eine umfassende Ansiedlungsstrategie für Start-Ups aus dem Bereich Wasserstoff und Brennstoffzelle.

Gleichzeitig sind weitere Maßnahmen notwendig, um die Region Stuttgart als einen führenden Forschungs- und Wirtschaftsstandort der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft zu etablieren. So ist etwa der Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur für die Versorgungssicherheit der Region von essentieller Bedeutung, um den steigenden Bedarf an grünem Wasserstoff zu decken. Elementar für die Energieimportregion Stuttgart ist hierbei sowohl der Anschluss an überregionale Pipelines als auch der Aufbau und die Inbetriebnahme einer Neckar-Wasserstoffpipeline für die regionale Verteilung mit Wasserstoff.

Um den Schwerpunktsektor Mobilität zu stärken, soll darüber hinaus der Einsatz und die Erprobung von Brennstoffzellen im Schwerlastverkehr erfolgen (z. B. Lkw, Baufahrzeuge, Busse des ÖPNV, Fahrzeuge der Abfallwirtschaft). Hierfür ist zudem der Aus- und Aufbau eines leistungsfähigen Wasserstoff-Tankstellennetzes vonnöten.

Wichtig ist weiterhin die Umsetzung und Demonstration von Wasserstoff- und Brennstoffzellenlösungen in Stadtquartieren innerhalb der Region, um Sichtbarkeit für die Region zu generieren und die Machbarkeit nachzuweisen. Weitere Handlungsschwerpunkte betreffen die Integration von Wasserstoffthemen in Bildungsinhalte, die Vernetzung regionaler Akteure und Stakeholder, sowie die Hinwirkung auf einheitliche regulatorische Rahmenbedingungen.

Die Region Stuttgart hat die sich durch die Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft bietenden Chancen erkannt und damit begonnen, politische und unternehmerisch-strategische Weichen zu stellen. Diese werden – in Abhängigkeit von internationalen Entwicklungen und sozio-ökonomischen Faktoren – die Zukunftsaussichten für eine »grüne Wasserstoffregion Stuttgart 2035« bestimmen.

- [1] Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (2019): Hydrogen Roadmap Europe. A sustainable pathway for the European energy transition. <https://www.fch.europa.eu/news/hydrogen-roadmap-europe-sustainable-pathway-european-energy-transition>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [2] Europäisches Parlament (2021): Legislative train schedule. Fit for 55 package under the European Green Deal. <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/package-fit-for-55>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [3] Bundesregierung (2020): Wasserstoff – Energieträger der Zukunft. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/faq-wasserstoff-1732248>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019): Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland. <https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/ueber-fraunhofer/wissenschaftspolitik/Positionen/Fraunhofer-Wasserstoff-Roadmap.pdf>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [5] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2020): Wasserstoff-Roadmap Baden-Württemberg. https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Wirtschaft/Wasserstoff-Roadmap-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [6] Roland Berger GmbH (2020): Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg. https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_wasserstoff_und_brennstoffzellenindustrie.pdf, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [7] Schnabel (in Vorbereitung): Wertschöpfungspotentiale für die deutsche Industrie. In: Neugebauer (Hrsg.), Fraunhofer Forschungsfokus: Fraunhofer Forschungsfokus »Wasserstofftechnologien«, Fraunhofer Verlag
- [8] Verband Region Stuttgart (o.J.): Die Region Stuttgart in Zahlen. <https://www.region-stuttgart.org/information-und-download/region-in-zahlen/>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [9] Verband Region Stuttgart, Handwerkskammer Region Stuttgart, Industrie und Handelskammer Region Stuttgart, IG Metall Region Stuttgart (2019): Strukturbericht Region Stuttgart 2019. <https://www.stuttgart.ihk24.de/blueprint/servlet/resource/blob/669392/3cb5fd8d0d92b0698aec638bbd9fd0b9/strukturbericht-region-stuttgart-2019-data.pdf>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [10] Prognos AG (2019): SWOT-Analyse für den Strategieprozess der Region Stuttgart – Erste Ergebnisse der Benchmarkanalyse und Einordnung, Prognos Zukunftsatlas 2019, Präsentation vom 30.08.2019
- [11]: IHK Region Stuttgart (2021): Arbeitsmarktzahlen, Mai 2021. <https://www.stuttgart.ihk24.de/standort-region-stuttgart/arbeitsmarkt/arbeitsmarkt-aktuell-3176120>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [12] IHK Region Stuttgart (2021): Exporte und Auslandsinvestitionen 2021. <https://www.stuttgart.ihk24.de/standort-region-stuttgart/standortanalysen-und-gutachten/auslandsinvestitionen-677854>, letzter Zugriff am 22.07.2021

- [13]: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2021): Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-baden-wuerttemberg/klimaschutzgesetz/>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [14]: Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg 2017: Verkehrsinfrastruktur 2030. https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/Brosch%C3%BCren_Publikationen/Klimaschutzszenario_10-2017_web.pdf, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [15] Landeshauptstadt Stuttgart (2020): GRDRs 975/2019: Weltklima in Not - Stuttgart handelt Aktionsprogramm Klimaschutz - Verwendung des Klimaschutzfonds. <https://www.stuttgart.de/medien/ibs/Weltklima-in-Not-Endfassung.pdf>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [16] Landeshauptstadt Stuttgart (2020): Das Aktionsprogramm Klimaschutz. 200 Millionen Euro für mehr Lebensqualität in Stuttgart. <https://www.stuttgart.de/serie/newsletter/klimaschutz/das-aktionsprogramm-klimaschutz-200-millionen-euro-fuer-mehr-lebensqualitaet-in-stuttgart.php>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [17] Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2020): Pressemitteilung 322/2020. <https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2020322#ft-nr-ref1>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [18] Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Hochschule Heilbronn, Ferdinand-Steinbeis-Institut, Technische Universität München (2021): H₂-Innovationslabor Heilbronn-Franken. Abschlussbericht. <https://www.kodis.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/kodis/documents/H2-Innovationslabor-HNF-Abschlussbericht.pdf>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [19] Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH (WRS) (o.J.): Die Brennstoffzelle. Übersichtskarte. <https://wrs.region-stuttgart.de/nc/aktuell/publikationen/artikel/die-brennstoffzelle.html>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [20] e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg (2020): Kompetenzatlas. <https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/e-paper/kompetenzatlas2020/index.html#240>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [21] Europäische Kommission (2020): A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [22] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (2020): Bewertung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffimporten im Vergleich zur heimischen Erzeugung, <https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/LEE-H2-Studie.pdf>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [23] 50Hertz Transmission GmbH (o.J.): Netztransparenz-Plattform, <https://www.netztransparenz.de/EEG/Anlagenstammdaten>, Daten entnommen am 04.05.2021
- [24] Wietschel, Zheng, Arens, Hebling, Ranzmeyer, Schaadt, Hank, Sternberg, Herkel, Kost, Ragwitz, Herrmann, Pfluger (2021): Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats, http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-6353721.pdf, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [25] Roland Berger GmbH (2020): Fuel Cells Hydrogen Trucks, Heavy-Duty's High Performance Green Solution, [Fuel cells hydrogen trucks - Publications Office of the EU \(europa.eu\)](https://publications.ec.europa.eu/fuel-cells-hydrogen-trucks), letzter Zugriff am 22.07.2021
- [26] ClusterAgentur Baden-Württemberg (2019): Inno-Trend Radar, Präsentation vom 27.08.2019, Datengrundlage: <https://foerderportal.bund.de/foekat/jsp/StartAction.do>

- [27] Baden-Württembergischer Industrie- und Handelskammertag (o.J.): Technologietrends Baden-Württemberg, <https://www.produktentwicklung.ihk.de/produktmarken/ttm-bw/scouting-5056488>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [28] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (o.J.): IPCEI Wasserstoff. Gemeinsam einen Europäischen Wasserstoffmarkt schaffen, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/ipcei-wasserstoff.htm>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [29] Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH (o.J.): Forschungsnetzwerk Wasserstoff, <https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/wasserstoff>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [30] Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH (o.J.): Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP), <https://www.ptj.de/nip>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [31] Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) (o.J.): Zukunftsmarkt Elektrolyse. So nutzen Mittelständler ihre Chancen, <https://www.bw-elektrolyse.de/>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [32] Verband Region Stuttgart (o.J.): Die Region Stuttgart – Hightechregion in Europa. <https://www.region-stuttgart.de/die-region-stuttgart/wirtschaft-arbeit/standortinformationen.html/>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [33] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (o.J.): Forschung und Entwicklung. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/forschung-fuer-klimaschutz-1792048>, letzter Zugriff am 22.07.2021
- [34] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2021): Jahresvolllaststunden 202, <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/jahresvolllaststunden/>, letzter Zugriff am 30.06.2021
- [35]: Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH (o.J.): Entwicklung des Ausbaus an Solarstrom in der Region Stuttgart, [Entwicklung des Ausbaus an Solarstrom in der Region Stuttgart | Zukunftsenergien Region Stuttgart \(region-stuttgart.de\)](https://www.region-stuttgart.de/Entwicklung-des-Ausbaus-an-Solarstrom-in-der-Region-Stuttgart-Zukunftsenergien-Region-Stuttgart), letzter Zugriff am 22.07.2021
- [36]: Bündnis 90/Die Grünen Baden-Württemberg, CDU Baden-Württemberg (2021): Jetzt für morgen – Der Erneuerungsvertrag für Baden-Württemberg, https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/210506_Koalitionsvertrag_2021-2026.pdf, letzter Zugriff am 28.07.2021
- [37] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (o.J.): Das Programm reFuels, <https://vm.baden-wuerttemberg.de/index.php?id=17389>, letzter Zugriff am 28.07.2021
- [38] terranets bw GmbH (2021): Wasserstoffbedarfe und Ausspeisemengen für die Region Stuttgart auf Basis von Bedarfsmeldungen, E-Mail vom 11.07.2021
- [39]: Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg (2020): Innovationsstrategie Baden-Württemberg. Forschtschreibung 2020, <https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/service/publikation/did/innovationsstrategie-baden-wuerttemberg-2/>, letzter Zugriff am 28.07.2021

Impressum

**Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO**

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

www.iao.fraunhofer.de

© Fraunhofer IAO, 2021

Heraus- und Auftraggeber

**Wirtschaftsförderung
Region Stuttgart GmbH**

Friedrichstraße 10
70174 Stuttgart

Dr. Walter Rogg
Holger Haas
Dr. Taj Kanga

www.region-stuttgart.de

Kontakt

Frieder Schnabel
Energy Innovation
Telefon +49 711 970-2245
frieder.schnabel@iao.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

www.iao.fraunhofer.de

Holger Haas
Telefon +49 711 228 35-14
holger.haas@region-stuttgart.de

Wirtschaftsförderung
Region Stuttgart GmbH
Friedrichstraße 10
70174 Stuttgart

www.region-stuttgart.de