

Fraunhofer ISI Discussion Papers *Innovation Systems and Policy Analysis* Nr. 89

Eine kritische Reflexion des Förderansatzes Modellregionen Grüner Wasserstoff in Baden- Württemberg

Policy Brief I

Thomas Stahlecker und Esther Schnabl

Ort: Karlsruhe

Datum: Juli 2025

Verantwortlich für den Inhalt des Textes

Thomas Stahlecker, thomas.stahlecker@isi.fraunhofer.de

Esther Schnabl, esther.schnabl@isi.fraunhofer.de

Zitierempfehlung

Stahlecker, Thomas; Schnabl, Esther (2025): Eine kritische Reflexion des Förderansatzes Modellregionen Grüner Wasserstoff in Baden-Württemberg (Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis Nr. 89). Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

Veröffentlicht

Juli 2025

ISSN

1612-1430

doi:

[10.24406/publica-4722](https://doi.org/10.24406/publica-4722)

Hintergrund

Im Rahmen der EFRE-Förderperiode 2021-2027 unterstützt Baden-Württemberg zwei Modellregionen bzw. Demonstrationsprojekte bei der Einführung verschiedener Aktivitäten zum Thema grüner Wasserstoff. Diese Aktivitäten beziehen sich im Rahmen investiver Maßnahmen beispielsweise auf den Infrastrukturaus- und -aufbau zur Erzeugung, Verteilung und Nutzung von grünem Wasserstoff für verschiedene Nutzergruppen sowie auf nicht-investive Bereiche wie zum Beispiel Maßnahmen im Hinblick auf die gesellschaftliche Akzeptanz und Sensibilisierung für Wasserstofftechnologien. Schließlich werden Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in den Modellregionen gefördert, die sich auf die Leistungsfähigkeit und Optimierungsoptionen der eingesetzten Verfahren beziehen und technische Monitorings, Messungen, Analysen u.ä. beinhalten können. Neben diesen drei Aktivitäten, die die Umsetzung der Fördermaßnahme in zwei Modellregionen betreffen, widmet sich das Begleitforschungsprojekt H2 Companion der laufenden Integration der Wissensbestände und der unterstützenden Analyse verschiedener übergreifender Themen.

Folgende zwei Modellregionen wurden in einem wettbewerblichen Verfahren zur Förderung ausgewählt:

- H2Wandel: Diese Region umfasst die Region Mittlere Alb-Donau mit den Landkreisen Reutlingen, Alb-Donau-Kreis und die Stadt Ulm sowie die angrenzenden Landkreise Ostalbkreis, mit den Städten Schwäbisch Gmünd, Heidenheim und Tübingen. Hier werden vier eigenständige Leuchtturmprojekte bearbeitet, die verschiedene Aspekte einer Wasserstoff-Wertschöpfungskette sowohl im städtischen als auch im ländlichen Raum umsetzen. Es werden unterschiedlichen Arten und Größen von Elektrolyseuren zur Wasserstoffherzeugung etabliert und die Nutzung von Wasserstoff in den Bereichen Industrie, Verkehr und Wohnen erprobt.
- H2 GeNeSiS umfasst die Region Stuttgart. Im Fokus steht hier die Erzeugung von grünem Wasserstoff sowie die Installation einer Wasserstoff-Pipeline entlang des Neckars zur Versorgung dort ansässiger Nutzer:innen.

Das Ziel des vorliegenden *Policy Briefs* besteht darin, die Erfahrungen der beiden Modellregionen bei der Umsetzung der Fördermaßnahme in den ersten zwei Jahren zusammenzutragen und dabei den jeweiligen regionalen Kontext – im Sinne von Ausgangsbedingungen, aber auch den Zielsetzungen – zu berücksichtigen. Auf dieser Grundlage werden erste Erkenntnisse bzw. Schlussfolgerungen bezüglich des Förderprogramms an sich sowie der anstehenden Herausforderungen skizziert. Diese können aufgrund der zeitlichen Anlage des Förderprogramms bzw. des zunächst nur kurzen Beobachtungszeitraums naturgemäß nur vorläufiger Natur sein. Auch muss berücksichtigt werden, dass es in der ersten Phase der Umsetzung teilweise zu größeren Verzögerungen gekommen ist, beispielsweise im Zusammenhang mit Planungs- und Genehmigungsprozessen, die nur indirekt den Fördermaßnahmen im eigentlichen Sinne (also des Instruments "Modellregion") zuzuordnen sind.

Methodisch basiert der vorliegende *Policy Brief* auf zahlreichen qualitativen Interviews, die mit und in den Modellregionen in der Anfangsphase geführt worden sind (Ebene Gesamtkoordination, Teilprojektleiter/Leiter von Leuchtturmprojekten), der Sichtung und Analyse vorliegender (Strategie-) Dokumente und wissenschaftlicher Publikationen sowie einzelner Arbeitsgruppensitzungen zu spezifischen Themen im Rahmen der Konsortialtreffen mit den Modellregionen und der Begleitforschung.

Die *Struktur des Policy Briefs* orientiert sich an Fragestellungen, die den bisherigen Entwicklungspfad der beiden Regionen beschreiben, die Umsetzung der Fördermaßnahme adressieren sowie darauf aufbauend Schlussfolgerungen benennen (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 1: Struktur des Policy Briefs und Fragestellungen



Eigener Entwurf Fraunhofer ISI

→ Welche institutionellen und sozio-technischen Ausgangsbedingungen kennzeichnen die Modellregionen in Bezug auf eine Wasserstoffwirtschaft?

Im Rahmen der Hintergrundgespräche mit den beiden Modellregionen wurde zunächst auf die institutionellen und sozio-technischen Ausgangsbedingungen eingegangen, um die Umsetzung der Fördermaßnahme ex-post zu kontextualisieren sowie den aktuellen und perspektivisch möglichen Entwicklungspfad der Regionen und Baden-Württembergs insgesamt diskutieren zu können. Letzteres ist, wie weiter oben schon erwähnt, in den ersten beiden Jahren der Laufzeit der Maßnahme noch nicht abschließend möglich.

Vor diesem Hintergrund wurde deutlich, dass die regionalen Ausgangsbedingungen in den beiden Modellregionen zunächst stark von der Struktur- und Innovationsförderung des Landes in den vergangenen Jahren abhängen. Diese waren entsprechend als Landesmaßnahmen konzipiert, hatten aber jeweils räumliche Schwerpunkte – im Sinne der Ansiedlung von Institutionen oder der faktischen Umsetzung.

Im Sinne einer *strategischen Orientierung* des Landes wurde bereits im Jahr 2000 eine Stellungnahme des Ministeriums für Umwelt und Verkehr vorgelegt, in der es heißt: "Der Energieträger Wasserstoff bietet große Chancen für eine zukünftige Energieversorgung, die Umweltvorsorge und Mobilität ohne Schadstoffemissionen besser gewährleisten könnte als heute gebräuchliche Technologien. Voraussetzung ist dabei vor allem die Gewinnung von Wasserstoff auf der Grundlage erneuerbarer Primärenergien. [...] Die schrittweise Substitution der heutigen Energieversorgung durch die Wasserstofftechnologie auf der Grundlage erneuerbarer Energien geht dabei über die Förderung eines neuen Materials oder Produktes deutlich hinaus. Vielmehr zeichnet sich dabei ein tiefgreifender Strukturwandel ab, der nicht rein technischer Natur ist, sondern wegen seiner Implikationen und des Anspruchs der Nachhaltigkeit ein langfristiges Denken und Handeln erfordert." (Landtag von Baden-Württemberg 2000).

Grundlegende *Forschungsarbeiten* wurden aber bereits in den 1980er Jahren an der Universität Stuttgart und beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Stuttgart verfolgt¹. Ein wichtiger Meilenstein war die Etablierung des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) seitens des Landes in Stuttgart und Ulm im Jahr 1988. Ende der 1990er Jahre wurde die Forschungsallianz Brennstoffzellen (FABZ)² im Wissenschaftsministerium gegründet, die sich mit der Koordinierung von Forschungs- und Entwicklungs-Aktivitäten der universitären und außeruniversitären Forschungsinstitute in Baden-Württemberg befasste.³

¹ vgl. zum Beispiel den DFG Sonderforschungsbereich "Wasserstoffverbindungen als Energieträger" an der Universität Stuttgart (<https://www.zsw-bw.de/ueber-uns/geschichte.html>)

² später Brennstoffzellen- und Batterie-Allianz Baden-Württemberg (BBA-BW) zusammen mit Brennstoffzellen-Allianz Baden-Württemberg [BzA-BW]; Drucksache 15-5593)

³ siehe Landtag von Baden-Württemberg (2003), Drucksache 13/1782 zu den beteiligten Forschungseinrichtungen und Zielen der FABZ

Ein weiterer förderpolitischer Impuls erfolgte im Jahr 2010 mit der Gründung der Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive (e-mobil BW). Die Mission der Landesagentur ist mit dem Thema neue Mobilitätslösungen grundsätzlich breit angelegt. Da Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien jedoch – neben rein batterieelektrischen Fahrzeugen – zunehmend an Bedeutung gewinnen, wird das Thema seit einigen Jahren verstärkt in den Mittelpunkt gerückt und insbesondere durch den Cluster Brennstoffzelle BW, institutionalisiert im Jahr 2013, adressiert. Analog zur Zielsetzung von e-mobil BW stehen mobile Brennstoffzellenanwendungen im Mittelpunkt der Aktivitäten.

Neben den *landesweiten Strukturen und Institutionen* wurden in den vergangenen rd. 20 Jahren weitere Aktivitäten entfaltet, die entweder auf dezentraler Ebene oder vom Land sowie Bund initiiert wurden. So wurden in den Hintergrundgesprächen als für die Modellregionen und den beabsichtigten transformativen Strukturwandel wichtige Impulse genannt – beispielweise das 2001 in der Region Stuttgart etablierte Kompetenz- und Innovationszentrum Brennstoffzellen e.V. (KIBZ)⁴ oder das 2002 gegründete Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle Ulm (WBZU) – finanziert mit Mitteln des Landes und des Bundes.⁵ Im Jahr 2009 wurde die erste Wasserstofftankstelle in Baden-Württemberg am Flughafen Stuttgart eröffnet. Dabei handelt es sich um ein vom Land Baden-Württemberg gefördertes Kooperationsprojekt der Unternehmen OMV, Linde und Daimler.⁶ Auf der dezentralen, kleinräumigen Ebene wurden 2011 Planungen für das klimaneutrale Stadtquartier "Neue Weststadt Esslingen" begonnen, das seit 2016 Fördermittel des Bundes bzw. des BMBF und BMWi erhält. In jüngerer Zeit wurden schließlich vielfältige komplementäre FuE- und Innovationsprojekte in den Modellregionen und darüber hinaus durch den Bund gefördert. Zu nennen sind Projekte im Rahmen der HyLand-Initiative des Bundesverkehrsministeriums (HyPerformer: H2Rivers (Rhein-Neckar); HyExperts: Hy PURe (Ulm, Neu-Ulm, LK Alb-Donau), Hy-NATuRe (Reutlingen und Tübingen), H2Ostwürttemberg (Ostalbkreis, LK Heidenheim); HyStarter: Landkreisen Göppingen, Wasserstoffregion Reutlingen).

Als weitere wichtige Ausgangsbedingung für die Umsetzung des Förderprogramms "Wasserstoff-Modellregionen" in den beiden Regionen wurde in den Gesprächen auf die strategischen Weiterentwicklungen im Hinblick auf die *Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft* in Baden-Württemberg Bezug genommen. So wurde im Jahr 2020 mit der Wasserstoff-Roadmap Baden-Württemberg erstmals ein strategischer und förderpolitischer Rahmen gesetzt, der einzelne Maßnahmen (29) auflistet, darunter die Initiierung bzw. Förderung von Modellregionen/regionaler Pilotvorhaben (Maßnahme 3). Der erste diesbezügliche Fortschrittsbericht der Wasserstoff-Roadmap Baden-Württemberg wurde im Mai 2023 veröffentlicht und beinhaltet einen Überblick über geförderte Forschungsprojekte und Programme.

Ergänzend zur Wasserstoff-Roadmap wurde im Jahr 2021 seitens Fraunhofer IAO, DLR, ZSW eine *Wasserstoff- und Brennstoffzellenstrategie für die Region Stuttgart* entworfen, die eine wichtige Grundlage für die Modellregion GeNeSiS bildet. Bezugnehmend auf Ostwürttemberg wurde 2022 der "Masterplan Ostwürttemberg 2030" vorgestellt, in dem vier thematische Ziele zum Aufbau der "Wasserstoffregion Ostwürttemberg" skizziert sind.

Darüber hinaus wurden *mehrere Studien* in den letzten rd. 15 Jahren erstellt, die den Stand der Wasserstofftechnik sowie die Potenziale Baden-Württembergs umreißen. Zu nennen sind

⁴ 2007 wurden KIBZ und FABZ zur Brennstoffzellen-Allianz Baden-Württemberg (BzA-BW) zusammengelegt. 2010 erfolgte die Erweiterung des Tätigkeitsfeldes auf Batterietechnologien und infolgedessen die Umbenennung des Netzwerks in Brennstoffzellen- und Batterie-Allianz Baden-Württemberg, BBA-BW". (<https://www.pressebox.de/inaktiv/peter-sauber-agentur-messen-und-kongresse-gmbh/10-jahre-brennstoffzellen-und-batterie-allianz-baden-wuerttemberg/boxid/495626>)

⁵ siehe Landtag von Baden-Württemberg (2003), Drucksache 13/1782

⁶ <https://www.innovations-report.de/unternehmensmeldungen/omv-eroeffnet-erste-oeffentliche-wasserstoff-134328/>

insbesondere die Studie "Die Brennstoffzelle in der Region Stuttgart, Analyse und Ausbau der Wertschöpfungsketten" aus dem Jahr 2009 (Wirtschaftsförderung Region Stuttgart und Brennstoffzellen-Allianz Baden-Württemberg 2009), die u.a. relevante Firmen und Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg auflistet. In den Jahren 2012 und 2020 wurde mit den Studien "Energieträger der Zukunft" Potenziale der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg (ZSW und WBZU 2012) und "Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg" (Roland Berger GmbH 2020) der Blick auf Baden-Württemberg insgesamt gerichtet.

Ausgehend von den bisherigen Weichenstellungen des Landes zur Förderung einer Wasserstoffwirtschaft in Baden-Württemberg, aber auch einzelner Regionen selbst, stellen sich die Ausgangsbedingungen in den beiden Modellregionen als vergleichsweise positiv dar. Dies bezieht sich zum einen auf die Vorarbeiten einzelner Akteure, zum anderen auf die Fähigkeit zur strategischen Weiterentwicklung der Potenziale sowie die Koordinierung der Maßnahmen. Auch im *privatwirtschaftlichen Bereich* finden sich nennenswerte Aktivitäten, schwerpunktmäßig im Automotive-Sektor der *Region Stuttgart* (z.B. frühzeitige Umsetzung der Brennstoffzellentechnologie als Antrieb für Elektrofahrzeuge seitens der Daimler-Benz AG Anfang der 1990er Jahre⁷, Entwicklung und Erprobung leichter Nutzfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb und Wasserstoffverbrennungsmotoren, Kleinserienfertigung und Fahrzeugvertrieb von Muldenkippern, Nutzung von Wasserstoff im Heizkraftwerk Sindelfingen der Mercedes-Benz AG sowie weitere Angebote/Anwendungen in den Bereichen Grünstrom, Energie-, Gebäude und Solartechnik, Brennstoffzellen (z.B. cellcentric in Kirchheim unter Teck), Einsatz von Brennstoffzellen-Nutzfahrzeugen, Aufbau und Betrieb von Wasserstofftankstellen etc.). Weiterhin ist das im Juli 2023 gestartete Wasserstoffprojekt "Bosch Power Units" am Bosch Forschungscampus in Renningen zu nennen, das als IPCEI – Important Projects of Common Interest der Europäischen Union den Schwerpunkt auf die Erstindustrialisierung von stationären Brennstoffzellensystemen richtet (gemeinsam mit anderen Standorten in Baden-Württemberg, Bayern und dem Saarland).⁸

In der *Modellregion H2-Wandel* bezogen sich die wirtschaftlichen Aktivitäten zu Beginn der Fördermaßnahme auf die Bereiche LKW-Brennstoffzellenantriebe in der Logistik (z.B. mit Blick auf den Schwerlastverkehr/LKW-Zugmaschinen (Brennstoffzellen-LKW von IVECO), Nutzung durch Spediteure), Errichtung einer stationären und mobilen Tankstelle durch IVECO sowie im Infrastrukturbereich im Hinblick auf den Aufbau/Vertrieb von Wasserstofftankstellen, Wärmenutzung über Wärmenetze (Fernwärme) sowie Biogasanlagen/Bioenergie. Im Technologiebereich sind v.a. Unternehmen mit Schwerpunkten bei Wasserstoffantrieben, Brennstoffzellen, -komponenten, Recycling, Wasserstofftanks zu nennen.

→ **Wie passfähig ist die Förderung der H2-Modellregionen im Kontext der regionalen Ausgangsbedingungen und im Hinblick auf die (politischen) Zielsetzungen?**

Auf Basis der zuvor umrissenen Ausgangsbedingungen für eine Wasserstoffwirtschaft in Baden-Württemberg und speziell in den beiden Modellregionen stellt sich im weiteren die Frage nach der Passfähigkeit des Instruments "Modellregionen Grüner Wasserstoff" gemessen an den Zielsetzungen.

Der Förderaufruf "Modellregion Grüner Wasserstoff" benennt als Fördergegenstand: "Die Demonstration des Zusammenspiels von Erzeugung, Speicherung bzw. Lagerung, Transport sowie Nutzung von grünem Wasserstoff, d.h. der Aufbau einer integrierten Wasserstoffwirtschaft in einer Region entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette. [...] Darüber hinaus soll mit der Modell-

⁷ <https://mvcoldtimerticker.de/30-jahre-brennstoffzellenforschung-bei-mercedes-benz/>

⁸ <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/energiewende/wasserstoffwirtschaft/ipcei-wasserstoff>

region Grüner Wasserstoff ein aktiver Beitrag zur gesellschaftlichen Akzeptanz von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien geleistet werden."

Wie oben dargestellt, verfügen die Modellregionen in Wissenschaft, Wirtschaft sowie Politik und Verwaltung über Kompetenzen und Erfahrungen im Bereich Wasserstoff. Die Förderung fokussiert nun auf die *Diffusion der Wasserstofftechnologien* in verschiedenen Bereichen. Dabei sollen verschiedene Wertschöpfungsstufen miteinander vernetzt werden. Damit geht sie über den Einsatz der Brennstoffzellen im Mobilitätssektor, in dem langjährige, v.a. technologische Erfahrungen vorliegen, hinaus. Somit müssen die Modellregionen teilweise Neuland betreten. Dies betrifft insbesondere die Erzeugung und den Transport von Wasserstoff und die damit verbundenen Genehmigungsprozesse. Dennoch können die langjährig aufgebauten Kompetenzen als wichtige Ausgangsbasis betrachtet werden. Dies betrifft beispielsweise auch Bereiche wie Bildung. Die Förderung geht nun einen Schritt weiter: Nicht die technologische Entwicklung einzelner Produkte steht im Vordergrund, sondern die Integration von Erzeugung, Transport und Nutzung von grünem Wasserstoff. Damit einhergehen müssen organisatorische Innovationen (auch in der Verwaltung), Infrastrukturaufbau und die Schaffung gesellschaftliche Akzeptanz. Mit ihren Erfahrungen sollen die Modellregionen als Vorreiter für andere Regionen in Baden-Württemberg fungieren.

Bei dem *Förderaufruf* handelt es sich um einen dezentralen und konzentrierten Ansatz, der es den Akteuren vor Ort ermöglicht, innovative, räumlich begrenzte Pilotprojekte bzw. Demonstrationsprojekte durchzuführen. Diese sollen die jeweils regionalen Potenziale adressieren, sichtbar machen und als Blaupausen für andere Städte und Regionen in Baden-Württemberg dienen. Diesbezüglich ist von Vorteil, dass es sich bei den beiden Modellregionen – trotz ähnlicher einzusetzender Technologien – um *unterschiedlich strukturierte Regionen* handelt, die entsprechend spezifische Vorgehensweisen auf dem Weg zu einer integrierten Wasserstoffwirtschaft gewählt haben. So handelt es sich bei H₂ GeNeSiS mit der Region Stuttgart um einen Ballungsraum, der die Vorteile von "Dichtefaktoren" mit sich bringt und entsprechend zahlreiche mögliche Anwender:innen und Entwickler:innen auf einer vergleichsweise kleinen Fläche vorhält. Aufgrund der anstehenden Transformation des Automotive-Sektors in der Region bzw. der Mobilitätswende erscheint die verstärkte Adressierung der Themen Wasserstoffherstellung,- verteilung-, speicherung und -nutzung sowie Brennstoffzellentechnologie als wesentliches Element des technologischen Wandels. Entsprechend der wirtschaftlichen Potenziale in der Region wurden seitens einzelner Unternehmen bereits einige Innovationen im Themenfeld hervorgebracht (s.o.).

Bei der Region H₂ Wandel handelt es sich im Gegensatz zur Region Stuttgart um einen weniger verdichteten, *teilweise ländlichen Raum*, der anders gelagerte Chancen, aber auch Hemmnisse mit sich bringt. So sind bei dieser Modellregion eher dezentrale Lösungen an verschiedenen Standorten geplant, zum Beispiel im Kontext (kleiner) Elektrolyseure zur Wasserstofferzeugung, aber auch im Hinblick auf die Verteilung des Wasserstoffs und die Nutzung in unterschiedlichen Bereichen wie Verkehr, Industrie und Quartierslösungen.

Die *Stärke des Förderaufrufs* besteht in der prinzipiellen Offenheit bezüglich der inhaltlichen Schwerpunkte sowie der konkreten Maßnahmen vor Ort. Im Sinne eines "Bottom-up-Ansatzes" wurden strategische und konzeptionelle Selbstorganisationsprozesse angestoßen, die zunächst unabhängig von der anschließenden Förderung einen Mehrwert darstellen. Vor diesem Hintergrund stellen – wie weiter oben schon erwähnt – die zum Zeitpunkt der Skizzenerstellung schon getätigten Vorarbeiten einen wichtigen Faktor für die erfolgreiche Teilnahme am Förderaufruf und die Umsetzung der Maßnahmen dar. Wie im Rahmen der Interviews mit den Koordinatoren der beiden Modellregionen thematisiert, waren die vorhandenen informellen Beziehungen in den Regionen ein wichtiger Aspekt, aber auch die "Moderation" der Antragstellung durch eine hoheitliche Instanz (Stadt Ulm) bzw. eine intermediäre Organisation (Wirtschaftsförderung Region Stuttgart).

Verglichen mit ähnlichen *Fördermaßnahmen in Bund und Ländern*, die vergleichbare Zielsetzungen verfolgen (im Technologie- und Innovationskontext sowie mit Blick auf einen Infrastrukturaufbau), stellt sich der gegenständliche Förderaufruf als vergleichsweise modern dar, da sich pilothafte Anwendungen neuer Technologien bzw. die Diffusion von Technologien in die Anwendungen am besten in räumlich und institutionell abgegrenzten Kontexten bewerkstelligen lässt und diese als Blaupause für andere Regionen dienen können. Die Delegation energie- und innovationspolitischer Maßnahmen auf kleinerer Ebenen ist grundsätzlich vorteilhaft, da Kenntnisse über Strukturen, Potenziale und die generelle Realisierbarkeit der Maßnahme vor Ort besser eingeschätzt werden können. Als nachteilig erscheint jedoch die Notwendigkeit der *multi-level governance*, also die Koordination verschiedener (öffentlicher) Maßnahmen im Zusammenspiel von Raum, Thema und Mittelgeber.

Darüber hinaus sind generell bei *komplexen Fördergegenständen bzw. systemischen Herangehensweisen* die verschiedenen Schnittstellen zwischen Wirtschaft, Wissenschaft, Gesellschaft und Verwaltung zu adressieren. In der gegenständlichen Fördermaßnahme sind es neben der Nutzung und Anpassung vorhandener Technologien (v.a. Elektrolyseure) beispielsweise Fragen zum Markthochlauf, zur gesellschaftlichen Akzeptanz von Wasserstofftechnologien, zur Rolle der Wissenschaft oder mit Blick auf administrative Prozesse, Planungs- und Genehmigungsverfahren. Schließlich ist die Begleitforschung H2 Companion als integraler Bestandteil der Fördermaßnahme zu nennen, deren Ziel es ist, sowohl theoretische und praktische Wissensbestände zu integrieren und rückzukoppeln als auch die Modellregionen bei der Umsetzung der Maßnahmen zu unterstützen.

Eine erste *Einschätzung des Förderinstruments* "Modellregionen Grüner Wasserstoff" im Rahmen der Hintergrundgespräche mit den Koordinatoren ergab bezogen auf den bisherigen Förderzeitraum ein insgesamt positives Meinungsbild. So wurde die Angemessenheit des Instruments im Hinblick auf die vom Land verfolgte Zielstellung betont. Der Förderaufruf habe zu einer positiven Aufbruchsstimmung in den Regionen beigetragen, die Fortsetzung einzelner (dezentraler) Vorarbeiten ermöglicht und zum Aufbau leistungsfähiger Netzwerke beigetragen. Der Förderzeitraum wird vor dem Hintergrund der komplexen Thematik als angemessen angesehen, insbesondere auch mit Blick auf Verzögerungen, die sich aufgrund langwieriger Genehmigungsverfahren ergeben haben. Kritische Punkte bei der Umsetzung der Maßnahme wurden v.a. im Hinblick auf langwierige administrative Prozesse bei besagten Genehmigungsverfahren geäußert sowie bei ungeklärten regulatorischen Randbedingungen (z.B. bezüglich der Nutzung der Gasnetze für Wasserstoff oder bezüglich Sicherheitsfragen) (siehe hierzu auch weiter unten zu den Hemmnissen).

Insgesamt ist zu betonen, dass aktuell noch kein Markt für Wasserstoff in den Modellregionen und Baden-Württemberg insgesamt (sowie darüber hinausgehend) existiert. Die geförderten (Infrastruktur-)Maßnahmen stellen insofern ein wichtiges Element hin zu einer integrierten Wasserstoffwirtschaft in den Modellregionen und perspektivisch in Baden-Württemberg dar. Die politische Intervention legitimiert sich daher im Wesentlichen über die Adressierung von Marktversagen in Kombination mit einem politisch motivierten Ziel. Durch sowohl angebotsseitige Maßnahmen (Erzeugung und Verteilung von Wasserstoff über Elektrolyseure und Pipelines), als auch nachfrageseitige Maßnahmen (Einbindung von Nutzer:innen im Sinne von KMU, Verkehrsbetrieben/ÖPNV) wird ein Markthochlauf angestrebt, dessen erfolgreiche Realisierung gegenwärtig noch nicht abschließend eingeschätzt werden kann.

→ **Welche Implikationen hat die bisherige Förderung der beiden Wasserstoff-Modellregionen für das regionale Produktions- und Innovationssystem Baden-Württemberg?**

Zum jetzigen Zeitpunkt können nur erste Hinweise auf längerfristige Wirkungen der Förderung auf das regionale Produktions- und Innovationssystem gegeben werden, da nicht mit schnellen, tiefgreifenden Änderungen in wenigen Jahren zu rechnen ist. Gleichzeitig knüpfen die Aktivitäten an

laufende privatwirtschaftlich als auch öffentlich finanzierte Aktivitäten zum Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft an oder laufen parallel dazu.

Grundsätzlich ist der *Prozess des mittel- bis langfristig vorgesehenen Markthochlaufs* aufgrund der komplexen Angebots- und Nachfragebedingungen und damit verbundenen Preisentwicklung, speziell im Verhältnis der verschiedenen Energieträger zueinander, gegenwärtig schwer einzuschätzen. Insofern werden die regionalen Wirkungen beim Aufbau der baden-württembergischen Wasserstoffwirtschaft stark von den Markt- und Preisentwicklungen der Energieträger insgesamt abhängen. Damit verbunden sind Art und Intensität der Nutzung des Wasserstoffs bei den verschiedenen Zielgruppen. Weiterhin sind die Bedingungen beim baden-württembergischen Import von Ökostrom als Input für die Herstellung von grünem Wasserstoff gegenwärtig unklar. Marktseitig sind daher *große Unsicherheiten* vorhanden, die eine Prognose der regionalen Wirksamkeit der Fördermaßnahme erschweren.

Ein wichtiger Impuls in diesem Zusammenhang geht von den *öffentlichen Haushalten* bzw. der *öffentlichen Nachfrage* aus, zum Beispiel im Kontext des Einsatzes von Wasserstoffantrieben im öffentlichen Nahverkehr mit Bussen und Bahnen oder bei der Beschaffung von Fahrzeugen, die mit Brennstoffzellen betrieben werden. Hierdurch können wichtige Markt- und Innovationsimpulse gesetzt, die generelle Eignung der Technologien in die praktische Anwendung demonstriert und darüber hinausgehend die Akzeptanzförderung vorangetrieben werden. In beiden Modellvorhaben spielen öffentliche Institutionen, die als Nachfrager nach Wasserstoff und als Beschaffer von Ausstattungen infrage kommen, eine zentrale Rolle. Es bleibt gegenwärtig jedoch abzuwarten, welche Dynamik faktisch entfaltet wird und ob es hierbei zu Verzögerungen kommt.

Neben der Schaffung von Marktbedingungen für Wasserstoff und analogen Technologien sind absehbar Effekte im Hinblick auf das baden-württembergische *Produktions- und Innovationssystem* zu erwarten. Auch hierbei sind die Wirkungen aktuell noch gering, da es sich im Automobilssektor (inkl. Zulieferer) zurzeit noch um Kleinserien handelt und Großserienproduktion noch nicht stattfindet. Dennoch sind, wie weiter oben skizziert, zahlreiche baden-württembergische Unternehmen im Bereich Forschung, Entwicklung und Produktion engagiert. Hier gilt es, das Technologieportfolio zu erweitern und mit ersten Produkten am Markt präsent zu sein. Eine noch recht geringe Dynamik, so in den bisherigen Interviews betont, ist derzeit bei Start-ups mit Aktivitäten im Wasserstoffkontext zu beobachten. Die branchenmäßige und technologische Erneuerung des baden-württembergischen Automotive-Sektors findet – zumindest derzeit – noch ohne den nennenswerten Beitrag von (wissenschaftsbasierten) Neugründungen statt.

Mit Blick auf das Innovationssystem im engeren Sinne sind neben den ersten innovativen Kleinserien *Effekte im Technologiebereich* v.a. im Bereich der Brennstoffzellen, weniger bei Elektrolyseuren, zu beobachten. Dies beinhaltet auch die Zulieferung von Systemen und Komponenten. Umfassende, voll integrierte Wasserstoffwertschöpfungsketten mit hoher Technologieintensität sind in Baden-Württemberg – wie auch in anderen Bundesländern – (noch) nicht zu beobachten. Diesbezüglich sind die Märkte zu klein und zu wenig dynamisch. Dennoch bestehen für Baden-Württemberg vor dem Hintergrund der Branchen- und Technologiespezialisierung absehbar mehr Chancen als Risiken. Für die Chancen sprechen grundsätzlich die beträchtlichen ingenieurwissenschaftlichen Kompetenzen im Land, die grundsätzliche Fähigkeit zur Innovation, zum Hochskalieren der Produktion sowie die globale Vertriebskompetenz, speziell der OEM und des großen Mittelstands.

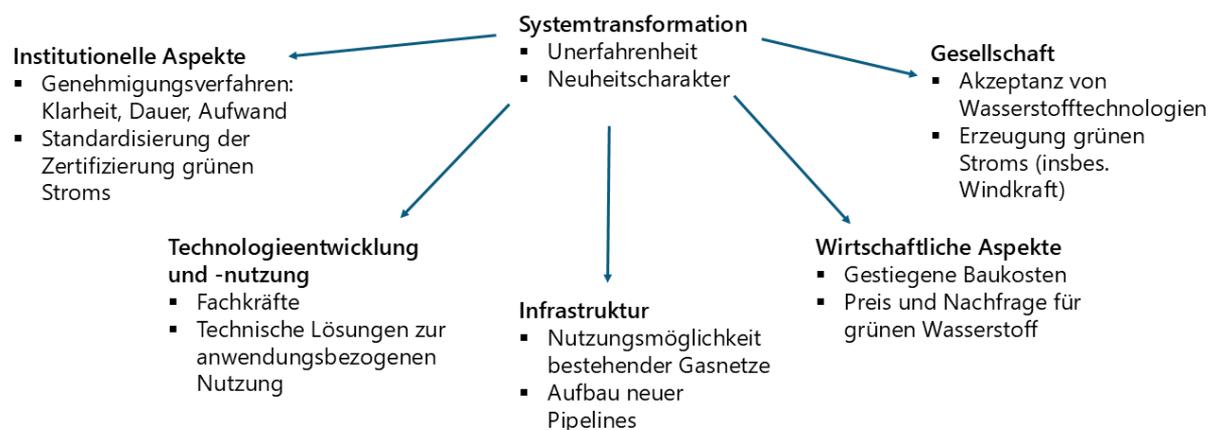
Das Prinzip der *Diversifizierung des Automotive-Sektors* im technologischen Bereich – in Ergänzung zu batteriegetriebenen Antrieben – ist im Hinblick auf die Weiterentwicklung des regionalen Innovationssystems bzw. im Hinblick auf Chancenmaximierung und Risikominimierung zu begrüßen, da der sich ergebende dominante Pfad noch offen ist. Von daher – und vor dem Hintergrund der erst kurzen Dauer der Implementierung der Fördermaßnahme – erscheint es zum jetzigen Zeitpunkt verfrüht, von einer *umfassenden Transformation des regionalen Innovationssystems* zu sprechen.

Vielmehr ist kurz- bis mittelfristig von einer *Erweiterung und Vertiefung des Innovationssystems* auszugehen. Die Diffusion der wasserstoffbezogenen Anwendungen in die Märkte bietet vielfältige Chancen, die es zu nutzen gilt. Dies betrifft neben besagten technologiebasierten Innovationen des förderinduzierten Aufbaus neuer Netzwerke auch den Wissensaustausch innerhalb und zwischen den Modellregionen. Letztlich wird die Intensität des regionalen Wandels von vielfältigen, z.T. auch externen Faktoren abhängen, wie die Zertifizierung von grünem Wasserstoff, die Verfügbarkeit von grünem Strom oder dem Import von grünem Wasserstoff. Ein wichtiger Faktor ist auch der bereits adressierte Aspekt der gesellschaftlichen Akzeptanz.

→ **Welche Herausforderungen und Hemmnisse sind im bisherigen Verlauf der Fördermaßnahme aufgetreten?**

Im Sinne einer ersten Einschätzung zur möglichen Zielerreichung und Wirksamkeit der Fördermaßnahme wurde in den Interviews auf bestehende Hemmnisse im bisherigen Verlauf eingegangen. Darüber hinaus wurde das Thema im Rahmen des Konsortialtreffens im Juli 2023 adressiert. Einen Überblick gibt die folgende Abbildung, in der die wahrgenommenen Herausforderungen in den Modellregionen zusammengefasst sind.

Abbildung 2: Übersicht der Herausforderungen in der Anfangsphase der Fördermaßnahme



Eigener Entwurf Fraunhofer ISI

Die mit der Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff in diversen, z.T. sektorübergreifend gekoppelten, Anwendungsfeldern einhergehende *grundlegende Systemtransformation* ist gekennzeichnet durch den Neuheitscharakter und eine Unerfahrenheit bei allen Beteiligten. Die Umstellung auf Wasserstoff bringt vielfältige Fragestellungen mit sich, für die es noch keine etablierten Lösungen gibt. Wie oben dargestellt, betrifft dies sehr unterschiedliche Bereiche, die jedoch nicht unabhängig voneinander sind.

Institutionelle Aspekte sind Fragestellungen im Bereich von Regularien, Standards, Normen oder Gesetzen. Hier traten im Verlauf der Fördermaßnahme beispielsweise bei der Errichtung von Elektrolyseuren Herausforderungen auf, die die Klarheit über den Prozess von *Genehmigungsverfahren* betreffen. Auch seien sie durch einen hohen Aufwand und eine lange Dauer gekennzeichnet. Ein weiterer Aspekt ist die *Standardisierung der Zertifizierung von grünem Strom*. Deutlich wird, dass bei institutionellen Aspekten unterschiedliche Ebenen betroffen sind: Während die Zertifizierung von grünem Wasserstoff eine international zu lösende Aufgabe darstellt (Kuhn und Koop 2023), sind Genehmigungsprozesse dagegen ein Thema, das sowohl auf übergeordneter Ebene als auch auf regionaler Ebene bedeutsam ist. Ein Beispiel ist das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), das

bei der Errichtung von Elektrolyseuren Anwendung findet, wenn diese zur Herstellung von Wasserstoff in industriellem Umfang eingesetzt werden. Für die Erteilung von Genehmigungen sind in Baden-Württemberg die Regierungspräsidien zuständig. Hierzu wurde geäußert, dass auf Seiten der zuständigen Regierungspräsidien z.T. noch keine oder nur punktuelle Erfahrung mit der Genehmigung von Elektrolyseuren vorliege. Dies führe dazu, dass Verfahren länger dauerten und mit großen Unsicherheiten behaftet wären. Während diesbezüglich also eine *landesweit einheitliche Vorgehensweise* angestrebt werde sollte,⁹ liegt eine Gesetzesänderung dagegen im Zuständigkeitsbereich des Bundes. Ein weiterer Punkt ist, dass Vergabeverfahren auf das etablierte System und die bestehenden Technologien ausgerichtet seien. Der Neuheitscharakter erfordere jedoch mehr Flexibilität.

Weitere Herausforderungen können als Aspekte der *Technologieentwicklung und -nutzung* zusammengefasst werden. Zu nennen ist hier zunächst die Verfügbarkeit von Fachkräften, die die Technologien entwickeln und anwenden können. Während Technologien wie die Brennstoffzelle weit entwickelt sind, besteht Innovationsbedarf hinsichtlich von Lösungen, die für eine anwenderfreundliche und -taugliche Nutzung erforderlich sind. Dies betreffe z.B. Zähler zur Erfassung der abgegebenen Wasserstoffmenge eines bestimmten Reinheitsgrades (Äquivalent Stromzähler). Hier wird deutlich, dass eine enge Verzahnung der Technologieentwicklung mit institutionellen Aspekten besteht, da diese Technologien auch standardisiert bzw. normiert sein sollten. Ein weiteres Beispiel hierfür sind Zertifizierung und Herkunftsnachweis für grünen Wasserstoff, bei dem technologische Lösungen diskutiert werden.

Die Umstellung oder Neuerrichtung von *Infrastruktur* zum Transport und zur Verteilung von Wasserstoff stellt einen weiteren Bereich dar, in dem die Modellregionen bei der Umsetzung ihrer Projekte auf vielfältige Fragestellungen stoßen. Angesprochen wurde, dass eine Unsicherheit bzgl. der Nutzungsmöglichkeit *bestehender Gasnetze* zum Transport von Wasserstoff bestehe. Die im Rahmen von H2 GeNeSiS geplante Pipeline ist ein weiteres Beispiel, das zeigt, dass die Komplexität des Infrastrukturaufbaus groß ist. Vielfältige technologische Aspekte sowie zur möglichen Trassenführung sind dabei zu klären. Wiederum kommen aber institutionelle Fragestellungen hinzu, die etwa den Betrieb der Pipeline durch die Stadtwerke und auch den europäischen Rechtsrahmen betreffen (Stichwort Unbundling).

Letztlich sind *wirtschaftliche Aspekte* sehr wichtig. Kurzfristig stellen die allgemein gestiegenen Baukosten bei konstanten Fördersummen die Modellregionen bei der Umsetzung investiver Vorhaben – insbes. die Errichtung von Elektrolyseuren und der Pipeline – vor Herausforderungen. Langfristig stellt sich die Frage nach dem *Preis und der Nachfrage nach grünem Wasserstoff*. Dies ist insbesondere der Fall für Nutzungsbereiche, in denen andere Technologien, wie beispielsweise der Batteriebetrieb, eine Alternative darstellen. Der Preis wird beeinflusst durch die Kosten der Investitionen für Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff und des Transports, der Kosten für erneuerbaren Strom sowie durch die Volllaststunden der Elektrolyse (siehe auch "Ergebnisse des Fachdialogs Wasserstoffinfrastruktur" (Schmidt 2023, 16f.)). Die Frage nach Preis und Nachfrage ist natürlich nicht nur für die Modellregionen relevant, hier wird sie allerdings konkret, da aktuell die Investitionen getätigt werden. Deutlich wird jedoch an den Kostenfaktoren, dass der angestrebte Ausbau der Nutzung von grünem, in Baden-Württemberg produzierten Wasserstoff eng an den Ausbau der erneuerbaren Energien gekoppelt ist. Allerdings sehen sich die Modellregionen bei der Produktion von grünem Strom teilweise vor Herausforderungen gestellt. Im Ballungsraum Stuttgart ist die

⁹ Dass dieses Thema seitens des Landes Baden-Württemberg aktuell adressiert wird, zeigt sich beispielsweise an der Veröffentlichung von Leitfäden wie dem zur "Genehmigung und Überwachung von Elektrolyseuren zur Herstellung von Wasserstoff in Baden-Württemberg" (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2023) oder der Diskussion zu Genehmigungsverfahren im Rahmen des H2-Kolloquiums Baden-Württemberg 2023.

Flächenverfügbarkeit stark begrenzt. Andernorts kommt es zu Problemen durch konkurrierende Nutzungsansprüche und hohe Preisforderungen für Flächen.

Das Thema *gesellschaftliche Akzeptanz* fand Eingang in den Förderaufruf und wird von den Modellregionen adressiert. Neben den Aktivitäten in den Modellregionen widmet sich auch die Begleitforschung auf übergeordneter Ebene diesem Thema und hat beispielsweise Erkenntnisse aus abgeschlossenen Untersuchungen zusammengestellt (siehe Lohmann und Caspari 2023). Dennoch wurde in den Gesprächen thematisiert, dass sich erst mit der Zeit, wenn der Kontakt der Bevölkerung mit der Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff konkret wird, zeigen müsse, ob und inwiefern Widerstand auftritt. Ein weiterer Punkt ist, dass, wie oben dargestellt, der Zugang zu erneuerbaren Energien ein wesentliches Element für eine konkurrenzfähige Produktion von grünem Wasserstoff in Baden-Württemberg ist. Insbesondere die Aufstellung von Windrädern stößt jedoch teilweise auf erheblichen Widerstand aus der Bevölkerung.

Da in den Modellregionen sehr unterschiedliche Projekte umgesetzt werden, ergibt sich eine Bandbreite von Herausforderungen, von denen die Akteure in unterschiedlichem Maß betroffen sind. Deutlich wird, dass diese multiple Ebenen tangieren. Um die genannten Hemmnisse zu beseitigen, ist das Agieren auf internationaler, europäischer, nationaler, Landes-, regionaler und/oder lokaler Ebene bedeutsam. Dies verdeutlicht die hohe Komplexität dieses Transformationsprozesses.

→ **Welche Schlussfolgerungen im Sinne von "Lessons learned" lassen sich auf Basis der bisherigen Erfahrungen bei der Umsetzung der Fördermaßnahme "Grüner Wasserstoff" ziehen?**

Die Fördermaßnahme Modellregionen grüner Wasserstoff fokussiert auf die Unterstützung der Diffusion von Wasserstofftechnologien und forciert damit die Transformation der Energiesysteme. Hierfür ist *gegenwärtig* für Baden-Württemberg ein ausgeglichener *Chancen-Risiko-Mix* erkennbar.

Zu den *Chancen* zählen, dass die Notwendigkeit der regionalen Transformation vielfach erkannt wird und der politische Wille vorhanden ist. Über viele Jahre konnten ingenieurwissenschaftliche Kompetenzen in Wissenschaft und Wirtschaft im Land aufgebaut werden. Insbesondere in den Modellregionen liegen Kenntnisse und Erfahrungen im Bereich Brennstoffzelle vor – vor allem was die Entwicklung und Anwendung im Mobilitätssektor angeht. Parallel zu den technologischen Kompetenzen haben sich *langjährige Bündnisse und stabile Netzwerke* entwickelt, die durch eine vertrauensvolle Zusammenarbeit geprägt sind. Auch die veränderte Rolle der Energiewirtschaft und sich daraus ergebende neue Geschäftsmodelle sind als Chance zu betrachten.

Risiken bestehen dahingehend, dass Technologielieferant:innen (v.a. Elektrolyseure) außerhalb Baden-Württembergs ansässig sind.¹⁰ Absehbar besteht eine große Abhängigkeit von *regenerativen Energien und grünem Wasserstoff* von außerhalb Baden-Württembergs. Damit einhergehend stellt sich die Frage der *Wirtschaftlichkeit* der Erzeugung und Nutzung von grünem Wasserstoff in Baden-Württemberg. Der Preis grünen Wasserstoffs wird darüber entscheiden, wo und in welchem Ausmaß dieser Energieträger zum Einsatz kommt.

Vor dem Hintergrund der skizzierten Chancen und Risiken und basierend auf den oben genannten Herausforderungen können folgende *Schlussfolgerungen* abgeleitet werden:

Die im Rahmen der Maßnahme Modellregionen grüner Wasserstoff geförderten Projekte zielen auf die Diffusion der Wasserstofftechnologie in heterogenen Bereichen ab und leisten somit einen *Beitrag zur Systemtransformation*, auch indem sie noch auftretende Hemmnisse und

¹⁰ Bestrebungen wie das Verbundprojekt "Elektrolyse made in Baden-Württemberg" adressieren jedoch dieses Defizit.

Herausforderungen und mögliche Lösungswege aufzeigen. Vielfach bauen die Aktivitäten auf vorhergehende Förderprojekte auf oder stehen in Beziehung zu laufenden.

Im Hinblick auf die zu meisternden Herausforderungen zeigt sich, dass diese auf unterschiedlichen Ebenen – international, europäisch, national, Land-, regional und/oder lokal – zu adressieren sind. Themen wie *Standards, Normen, Richtlinien oder Gesetze* erfordern, dass sich das Land sowie Verbände und Gremien über Baden-Württemberg hinaus einbringen, um die wahrgenommenen Hürden zu beseitigen, wie etwa im Fall der *Standardisierung der Zertifizierung* von grünem Wasserstoff oder Bundesgesetzen wie dem Bundes-Immissionsschutzgesetz.

Wichtig ist die Erkenntnis, dass Systemtransformation die Bereitschaft zu innovativem Vorgehen und eine problemlösungsorientierte Haltung seitens aller Akteure erfordert. Die aktuelle Forschung zu regionalen Transformationsprozessen macht dies deutlich, indem sie betont, dass nicht nur Unternehmen innovativ tätig werden. Auch Politik und Verwaltung müssen neue Wege und Risikobereitschaft zeigen und die Ziele der Transformation zu ihren machen (Grillitsch et al. 2023; Isaksen et al. 2019). Was beispielsweise den Aspekt der als teilweise innovationsfeindlich wahrgenommenen *Genehmigungsverfahren* anbelangt, kann der Austausch der betroffenen Verwaltungen untereinander und das Lernen voneinander ein gangbarer Weg sein.

Um den eingeschlagenen Weg weiterzuverfolgen, ist es wichtig, den *politischen und unternehmerischen Willen* beizubehalten. Dies betrifft neben der Diffusion von Technologien zur Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff auch den Ausbau erneuerbarer Energien in Baden-Württemberg. Zielführend sind dabei übergreifende *Koordinierung auf Landesebene und ressortübergreifende Abstimmungsmechanismen* ("multi-level governance"). Die in den Modellregionen gewonnenen Erkenntnisse sollten auf andere Regionen in Baden-Württemberg ausstrahlen. Beispielsweise durch die Förderung des *Austauschs zwischen Modellregionen* und anderen oder dem Erarbeiten und Teilen von "Good Practices". Letzteres lässt sich über eine weitere Vernetzungsförderung in Arbeitskreisen, den Einbezug der Verwaltung in die Umsetzung der Technologie, in der Erarbeitung von Lösungsvorschlägen und eine entsprechende Dokumentation (z.B. Leitfäden) einschließlich der Weitergabe positiver Erfahrungen und "Lessons Learned" auf verschiedenen Ebenen umsetzen.

In den Modellregionen sind Themen zu adressieren wie die *Mitnahme der Bevölkerung* und die Verbreitung von Wissen über das Thema Wasserstoff angesichts der derzeit noch geringen Berührungspunkte. Trotz der Aktivitäten und Bemühungen im Bereich der gesellschaftlichen Akzeptanz ist eine oppositionelle Haltung gegenüber Wasserstoff in Teilen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Deshalb müssen die Menschen mitgenommen und Vertrauen muss aufgebaut werden. Öffentlichkeitsarbeit, die Schaffung von Erlebnisräumen, die (weitere) Förderung von Wasserstofflotsen sowie Maßnahmen zur Diskussion häufiger Fragen und zur Aufklärung (etwa über das Handwerk) sind Aktivitäten, die z.T. bereits angegangen werden und die weiterhin zu unterstützen sind.

Entsprechend der Zielsetzung der Fördermaßnahme, aber auch der bisherigen Erkenntnisse widmet sich die *Begleitforschung* weiterhin zentralen Themen, wie beispielsweise des Aufbaus von Wertschöpfungsketten, neuen Geschäftsmodellen, Entwicklungsszenarien, Angebot und Nachfrage im Bereich der Bildung, der Zertifizierung oder dem regionalen Vergleich in und über Baden-Württemberg hinaus. Im Bereich Wirtschaft scheinen bislang vor allem etablierte Unternehmen zu den Akteuren im Bereich Wasserstoff zu zählen. Eine Frage, die im Rahmen der Begleitforschung weiter zu vertiefen sein wird, ist die Situation bzw. Rolle von Start-ups und jungen Unternehmen im Bereich Technologie und Innovation.

Literaturverzeichnis

Grillitsch, Markus; Sotarauta, Markku; Asheim, Björn; Fitjar, Rune Dahl; Haus-Reve, Silje; Kolehmainen, Jari et al. (2023): Agency and economic change in regions: identifying routes to new path development using qualitative comparative analysis. In: *Regional Studies* 57 (8), S. 1453–1468. DOI: [10.1080/00343404.2022.2053095](https://doi.org/10.1080/00343404.2022.2053095).

Isaksen, Arne; Jakobsen, Stig-Erik; Njøs, Rune; Normann, Roger (2019): Regional industrial restructuring resulting from individual and system agency. In: *Innovation: The European Journal of Social Science Research* 32 (1), S. 48–65. DOI: [10.1080/13511610.2018.1496322](https://doi.org/10.1080/13511610.2018.1496322).

Kuhn, Maximilian; Koop, Peter (2023): Standardizing Hydrogen Certification: Enhance Tracability, Transparency, and Market Access. Hg. v. H2Global Stiftung und Hydrogen Europe (Policy Brief H2Global Stiftung, 05/2023).

Landtag von Baden-Württemberg (2000): Drucksache 12 / 5746.

Landtag von Baden-Württemberg (2003): Drucksache 13 / 1782.

Lohmann, Sophie; Caspari, Milena (2023): Wer will Wasserstoff? Akzeptanz von Wasserstofftechnologien in Deutschland und Baden-Württemberg. Forschungsbericht im Rahmen von H2-Companion.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023): Genehmigung und Überwachung von Elektrolyseuren zur Herstellung von Wasserstoff in Baden-Württemberg. Leitfaden. Hg. v. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Stuttgart. Online verfügbar unter https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Leitfaden-Genehmigung-und-Ueberwachung-Elektrolyseure-zur-Herstellung-von-Wasserstoff.pdf.

Roland Berger GmbH (2020): Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg. Hg. v. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/Wasserstoff/200724-Potentialstudie-H2-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf.

Schmidt, Maike (2023): Ergebnisse aus dem Fachdialog Wasserstoffinfrastruktur. Hg. v. ZSW und Plattform H2BW.

Wirtschaftsförderung Region Stuttgart; Brennstoffzellen-Allianz Baden-Württemberg (2009): Die Brennstoffzelle in der Region Stuttgart - Analyse und Ausbau der Wertschöpfungsketten. Ein Projekt der Region Stuttgart und der Brennstoffzellen-Allianz Baden-Württemberg.

ZSW; WBZU (2012): Energieträger der Zukunft - Potenziale der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg. Hg. v. e-mobil BW GmbH, ZSW, WBZU, Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.