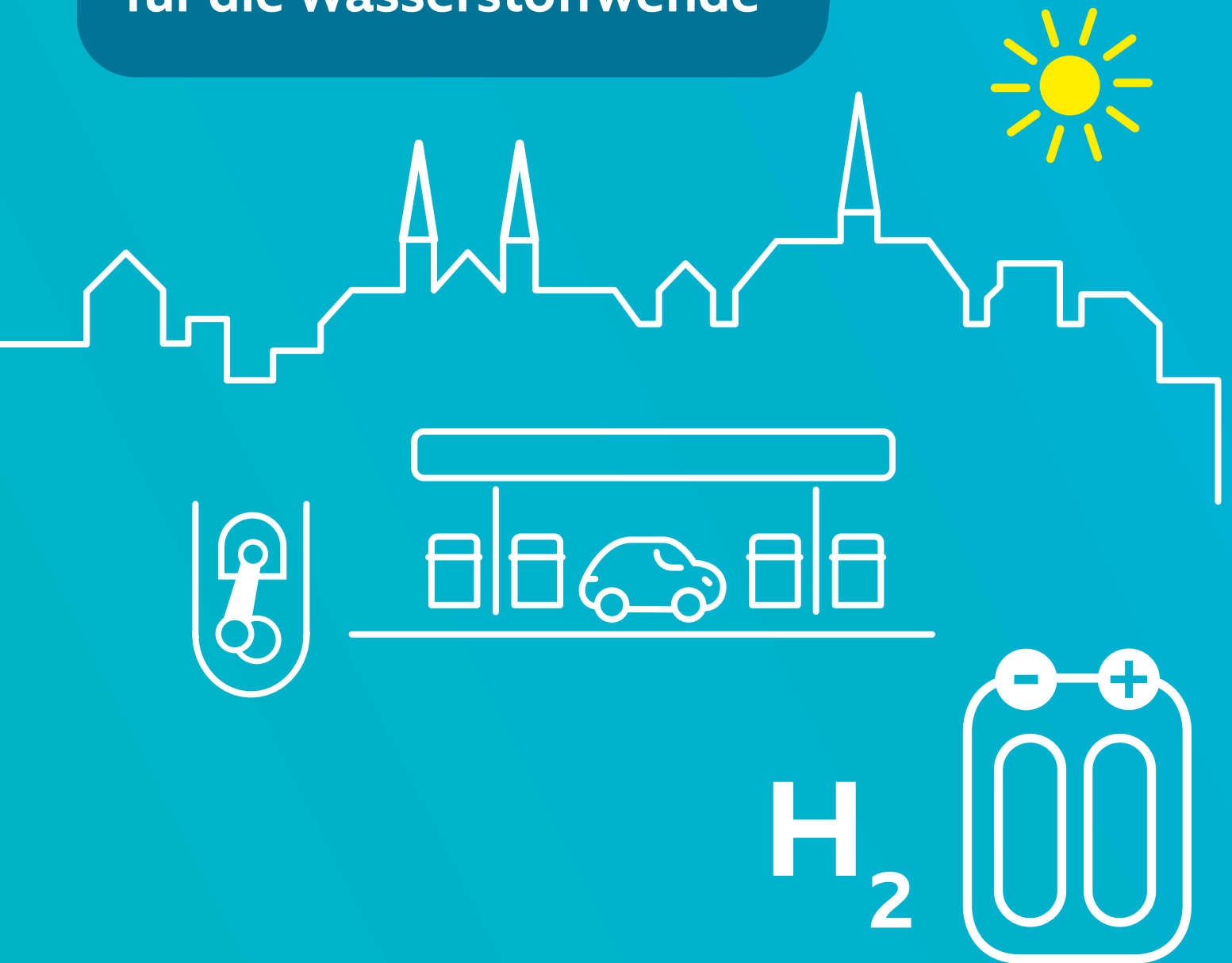


POSITIONSPAPIER

Dezentrale Infrastrukturen für die Wasserstoffwende



Executive Summary

5 Thesen für die dezentrale Wasserstoffwirtschaft

Wasserstoff ist ein wichtiger Hoffnungsträger für die Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft und damit für eine nachhaltige Zukunft. Um der Wasserstoffwirtschaft zum Durchbruch zu verhelfen, reicht es nicht aus, auf einen großindustriellen Ausbaupfad zu setzen. Wasserstoff muss in der Breite aus erneuerbaren Energien erzeugt und angewandt werden. Die gezielte Förderung einer dezentralen Wasserstoffwirtschaft ist essentiell, damit viele Menschen profitieren können, denn:

» **These 1: Die dezentrale H₂-Produktion ist notwendig für eine umfassende Wasserstoffwende**

Regionale Elektrolyseinfrastrukturen ermöglichen eine schrittweise Skalierung der Wasserstoffwirtschaft. Für den Markthochlauf müssen daher die infrastrukturellen und regulativen Voraussetzungen zur H₂-Erzeugung und Abnahme geschaffen und die Kosten für Investition und Betrieb gesenkt werden.

» **These 2: Der Ausbau dezentraler Elektrolyse-Kapazitäten beschleunigt die Energiewende**

Regionale Wasserstoffsysteme beschleunigen die Energiewende, da sie sich zeitnah parallel zum Ausbau der erneuerbaren Energien umsetzen lassen sowie durch kurze Logistikketten Emissionen reduzieren und Kosten sparen. Es sind daher Anreize zum Bau von Elektrolyseanlagen in den Regionen zu schaffen, um erneuerbaren Strom effektiv zu nutzen.

» **These 3: Die dezentrale H₂-Wirtschaft ermöglicht den sektorenübergreifenden Infrastrukturwandel**

Dezentrale Ansätze ermöglichen eine effiziente Sektorenkopplung. Die Strom-, Gas- und Wärmebereitstellung können über die Integration von H₂-Lösungen besser aufeinander abgestimmt werden. Bereits dezentral angelegte, regionale Infrastrukturen bieten dafür gute Voraussetzungen. Kommunale Akteure sind deshalb für Investitionen in H₂-Lösungen zu mobilisieren.

» **These 4: Dezentrale Ansätze befördern die Entwicklung des H₂-Heimatmarktes in Deutschland**

Ein regionaler Power-to-Gas-Markt erleichtert es KMU und Start-Ups, an der Technologieentwicklung und Markteinführung teilzunehmen. Es gilt, regional die Kompetenzen zu Wasserstofftechnologien zu stärken sowie Transformationsprozesse anzuschieben, um eine leistungsfähige Entwicklungs- und Zulieferindustrie zu etablieren, die im globalen Wettbewerb bestehen kann.

» **These 5: Eine bottom-up getriebene Wasserstoffwende ist sozialverträglich**

Mit der Verwirklichung von lokal verankerten Wasserstoff-Wertschöpfungsketten werden Regionen selbst zu Gestaltern der Energiewende. Dies schafft nicht nur Arbeitsplätze, sondern auch Akzeptanz und Vertrauen in die Technologie. Um Partizipation in der Wasserstoffwirtschaft zu ermöglichen, muss deshalb neben der H₂-Technologieoffensive auch deren gesellschaftliche Integration gefördert werden.

Fazit

Eine breitenwirksame Umsetzung dezentraler Wasserstoffinfrastrukturen ist die notwendige Voraussetzung dafür, dass die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland nachhaltig etabliert werden kann. Jetzt ist das richtige Zeitfenster, um mit dem Transformationsprozess zu beginnen.

h₂-well Positionspapier

Dezentrale Infrastrukturen für die Wasserstoffwende

In der öffentlichen Debatte um die nachhaltige Zukunftsgestaltung unserer Wirtschaft und Gesellschaft ist Wasserstoff zum wichtigen Hoffnungsträger avanciert. Vor allem Industrieprozesse lassen sich durch den Einsatz des Gases, das über die Elektrolyse aus Wasser unter Einbringung regenerativen Stroms treibhausgasneutral erzeugt werden kann, sukzessive dekarbonisieren. So sieht es unter anderem die nationale Wasserstoffstrategie vor. Die Bundesregierung legt darin, ergänzt durch den zusätzlichen Import von grünem Wasserstoff, den Fokus auf die Installation von Elektrolyseanlagen im Industriemaßstab, um die Etablierung eines H₂-Heimatmarktes zu verwirklichen [1]. Für eine schnelle Skalierung von Elektrolyseleistungen in den GW-Bereich ist die Entwicklung und Erprobung von Großanlagen zweifelsohne von zentraler Bedeutung. Es ist jedoch nicht

ausgemacht, ob ein vornehmlich auf zentrale Produktion, Import und hauptsächlich am Bedarf der Industrie ausgerichteter Ausbaupfad allein die gewünschten Skalierungseffekte erbringen kann und wird. Hierzu bedarf es einer breiten Forcierung der Technologie und der dazugehörigen Infrastruktursysteme.

Die gezielte Förderung einer dezentralen Wasserstoffwirtschaft ist für die breitenwirksame Umsetzung der Wasserstoffwende essentiell. Eine dezentrale Wasserstoffinfrastruktur ist die notwendige komplementäre Komponente zu zentralen Anlagen, um technische und wirtschaftliche Innovationen zu befördern, Akzeptanz in der Bevölkerung zu generieren und den Transformationsprozess der Energiewirtschaft auf ein breites Fundament zu stellen.

Die dezentrale Wasserstoffwirtschaft

Kennzeichen des Modells der dezentralen Wasserstoffwirtschaft ist es, Erzeugung und Verwertung von Wasserstoff in eine enge räumliche Nähe zueinander zu bringen und die gesamte Wertschöpfungskette für Wasserstoff in regional vorhandene beziehungsweise in auf den neuen Energieträger adaptierte oder neu zu schaffende Strukturen einzubetten. Statt dem vorrangigen Aufbau von Wasserstoffinfrastrukturen im industriellen Maßstab an wenigen, zentralen Orten forciert das Modell eine am regionalen Bedarf orientierte, engmaschige Umsetzung von Wasserstoffversorgungs- und Nutzungskonzepten, die entsprechend den regionalen Bedingungen und Bedürfnissen ausgestaltet sind.

Das Ziel der dezentralen Wasserstoffwirtschaft ist es, vor Ort erzeugte erneuerbare Energie über die Elektrolyse von Wasser in grünen Wasserstoff umzuwandeln und diesen Einsatzzwecken in unterschiedlichen Sektoren von der Wärmebereitstellung über die Mobilität bis hin zu Industrieprozessen zuzuführen oder aber durch eine spätere Rückverstromung die elektrische Energieversorgung regional zu stabilisieren. Dabei wird eine breitenwirksame Wertschöpfung von der Wasserstofferzeugung über den Transport bis hin zur Nutzung geschaffen, die in den Regionen Arbeitsplätze für den Bau, Betrieb und die Wartung von Anlagen schafft und lokal verankerte Geschäftsmodelle ermöglicht. Die dezentrale Wasserstoffwirtschaft generiert somit einen Mehrwert, in dem die übergeordneten, zentralen Infrastruktursysteme um vernetzte, kleinteilige Strukturen ergänzt werden. Dies schafft Versorgungssicherheit und trägt zur Umsetzung der mit der Energiewende verbundenen Ziele der Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft bei.

5 Thesen für die dezentrale Wasserstoffwirtschaft

Die dezentrale Wasserstoffwirtschaft ist elementar für das Gelingen der Wasserstoffwende, denn:

1. **Die wirtschaftliche Wasserstoffproduktion an dezentralen Standorten ist möglich und notwendige Voraussetzung für eine umfassende Wasserstoffwende auf breiter Basis („Hochskalierungs“-Argument),**
2. **Regionale Wasserstoffsysteme beschleunigen die Energiewende, da sie sich zeitnah umsetzen lassen und durch kurze Logistikketten Emissionen reduzieren und Kosten sparen („Transformations“- und „CO₂-Einsparungs“-Argument),**
3. **Dezentrale Ansätze ermöglichen eine effiziente und weitreichende Sektorenkopplung, die auf regionale Gegebenheiten und Bedürfnisse abgestimmt ist („Infrastruktur“-Argument),**
4. **Die Entwicklung eines nachhaltigen, feinmaschig vernetzten H₂-Heimatmarktes bedarf einer regional ausgerichteten Wasserstoffwirtschaft („Industrie- und Strukturpolitik“-Argument),**
5. **Eine bottom-up getriebene Wasserstoffwende ist sozialverträglich, da sie regional tätige Akteure beteiligt und stärkt („Partizipations“-Argument).**

Dieses Positionspapier benennt vor dem Hintergrund der Infrastruktur- und Technologieentwicklung die Faktoren, die für eine dezentrale Ausgestaltung und Organisation von Wasserstoffanwendungen und -infrastrukturlösungen sprechen. Entlang der oben genannten fünf Thesen zeigt es die Potenziale einer dezentralen Wasserstoffwirtschaft auf, die auf einer lokalen respektive regionalen Erzeugung und Anwendung von grünem Wasserstoff fußt. Hierauf aufbauend werden **Leitgedanken zur Umsetzung der dezentralen Wasserstoffwirtschaft** formuliert.

These 1: Die wirtschaftliche Wasserstoffproduktion an dezentralen Standorten ist möglich und notwendig für eine umfassende Wasserstoffwende auf breiter Basis

Die Realisierung von flächendeckenden, regionalen Elektrolyseinfrastrukturen ermöglicht eine schrittweise Skalierung der Wasserstoffwirtschaft. Sie ist die logische Ergänzung zu einem auf wenige, übergeordnete Zentren konzentrierten Ausbauplan zentraler H₂-Erzeugungsanlagen.

Die alles entscheidende Frage für die Wasserstoffwende ist, unter welchen Bedingungen Wasserstoff nachhaltig und wirtschaftlich erzeugt werden kann, denn Wasserstoff gilt nur dann als grün, d.h. CO₂-frei, wenn er aus erneuerbaren Energieträgern gewonnen wird. Die grüne Erzeugung kann zum Beispiel aus erneuerbarer Elektrizität über das Verfahren der Wasserelektrolyse unter Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff erfolgen. Aber auch die Erzeugung aus Sonnenlicht über ein Photokatalyseverfahren oder aber die Pyrolyse bzw. Dampfpreformierung von Biogas sind denkbare Optionen, um Wasserstoff nachhaltig herzustellen, wenngleich diese Verfahren sich noch in der Entwicklung bzw. einem frühen Umsetzungsstadium befinden. Eine Herausforderung, die der Realisierung einer treibhausgasneutralen Wasserstoffwirtschaft in Deutschland Grenzen setzt, ist damit die ausreichende Verfügbarkeit von erneuerbarer Elektrizität für die Wasserelektrolyse.

Ein möglicher Ausbaupfad für die Wasserelektrolyse ist der Aufbau von zentral organisierten Strukturen zur Wasserstoffbereitstellung über großskalige Elektrolyseanlagen mit installierten Leistungen im GW-Bereich zum Beispiel an Erzeugungsschwerpunkten der Windkraft im Norden Deutschlands. Dies ist jedoch nicht der einzige wirtschaftlich lohnenswerte Ansatz. Mit dem zunehmenden Ausbau der erneuerbaren Energien, das heißt der Umsetzung der Maßnahmen, die für die Vollendung der Energiewende deutschlandweit angestrebt werden, steigt auch die Standortattraktivität für Power-to-Gas-Anlagen in aktuell als nicht oder nur bedingt geeignet eingeschätzten deutschen Landkrei-

sen [2]. Die Entwicklung eines dezentralen Power-to-Gas-Marktes wirkt sich außerdem positiv auf die Stabilität des Elektrizitätsnetzes aus und trägt bei einer Implementierung entsprechender Marktmechanismen zur Reduktion der Herstellungskosten für Wasserstoff bei [3] (siehe These 2).

Elektrolyse-Anlagen, die ausgehend vom heutigen Darlehen an regenerativem Strom mit einer Leistung im kW- oder niedrigen MW-Bereich installiert werden, können in den Folgejahren stufenweise erweitert werden, um den zu erwartenden kontinuierlich steigenden Wasserstoffbedarf zu decken. Ein weiterer Vorteil kleinskaliger, dezentraler Elektrolyse-Anlagen ist, dass die Investitionskosten und damit die finanziellen Risiken vergleichsweise überschaubar sind. Zudem ist bei dezentralen Anlagen die Organisation von Installation und Betrieb in regionalen Verbänden, zum Beispiel in Kooperationsmodellen zwischen Kommunen und lokalen Unternehmen denkbar, die gemeinsam die Erzeugung und Verwertung des Wasserstoffs vor Ort umsetzen.

Der entscheidende Hinderungsgrund für den Markthochlauf sind bisher jedoch die hohen Bezugskosten für den regenerativ erzeugten Strom, die den Wasserstoff im Vergleich zu fossil erzeugtem Wasserstoff nicht wirtschaftlich erscheinen lassen. Hier bedarf es Regelungen, um die Entwicklung des Marktes zu unterstützen. Die in der nationalen Wasserstoffstrategie angedachte Befreiung des Elektrolysestroms von der EEG-Umlage und die dahingehend formulierten Regelungen in der jüngsten Novellierung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes sind daher ein Schritt in die richtige Richtung.

Mit dem Aufbau von dezentralen Elektrolyse-Kapazitäten darf nicht gewartet werden, bis regional erzeugter regenerativer Strom in ausreichender Kapazität verfügbar ist. **Es gilt jetzt die infrastrukturellen Voraussetzungen in den Regionen zu schaffen, um der Wasserstoffwirtschaft zum Durchbruch zu verhelfen**, und zwar nicht nur an einigen wenigen Standorten, sondern in der Breite. Hieraus ergeben sich die folgenden Handlungsempfehlungen:

- » Ein Ansatz, der eine Balance zwischen industriellen (GW-Bereich) und kleinmaßstäblichen Anwendungen (kW und MW-Bereich) der Wasserelektrolyse in den Regionen vorsieht, schafft die besten Voraussetzungen für eine breitenwirksame Umsetzung von H₂-Technologien. Der Aufbau dezentraler Wasserelektrolyseinfrastruktur ist daher zu fördern.
- » In der Forschung und Entwicklung sind für dezentrale Anwendungen relevante Themenfelder wie kompakte Elektrolysesysteme für Kleinanwendungen, die flexible Verschaltung von Anlagen im Verbund und die Gestaltung von effizienten Nutzungsketten in den Bereichen der lokalen Speicherung und Befüllung sowie dem Vertrieb und der Vermarktung zu forcieren.
- » Der regulative Rahmen ist zur Entwicklung des Marktes derart anzupassen, dass eine netzdienliche Nutzung von erneuerbar erzeugtem Strom in Elektrolyseanlagen sowie die netzdienliche Einspeisung von aus Wasserstoff erzeugtem Strom begünstigt werden. Die regulative Anpassung ist differenziert entsprechend der Größe der installierten Leistung vorzunehmen, um Nachteile bezüglich der Investitionskosten für kleinere Anlagen zu reduzieren.

These 2: Der Ausbau dezentraler Elektrolyse-Kapazitäten beschleunigt die Energiewende

Die Flexibilität der dezentralen Wasserstofferzeugung und -nutzung für die Rückverstromung, die stoffliche Anwendung in der Industrie, die emissionsfreie Mobilität sowie die Dekarbonisierung der Erdgasversorgung erlaubt eine flächendeckende Reduktion von CO₂-Emissionen. Kleine, dezentrale Strukturen helfen dabei, bei einem stockenden Ausbau der elektrischen Übertragungsnetze die Energiewende zu beschleunigen, da sie sich planungsrechtlich schneller umsetzen lassen als große nationale Infrastrukturvorhaben und eine integrierte Energiewende befördern.

Der fortschreitende Ausbau von erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung und deren Einbindung in das bestehende Elektrizitätsnetz schafft neue Herausforderungen für das Netzmanagement, da das Netz auf ein immer stärker fluktuierendes Dargebot reagieren und Lastspitzen sowie sogenannte Dunkelflauten in einen Ausgleich bringen muss. Den erforderlichen Ausgleich kann das derzeitige Elektrizitätsnetz, das noch immer stark auf eine zentrale Erzeugung und Verteilung über übergeordnete Knotenpunkte ausgerichtet ist, ohne einen weiteren Ausbau in Zukunft jedoch nur bedingt leisten [4].

Die prioritäre Installation von dezentralen Erneuerbaren-Energien-Anlagen reduziert den Netzausbaubedarf, da Erzeugung und Nachfrage besser aufeinander abgestimmt werden können [5]. Die notwendige Flexibilität schaffen hierbei regional zuschaltbare Power-to-Gas-Anlagen zur Wasserstofferzeugung mit einer Rückverstromungsoption

über Brennstoffzellen oder einen H₂-Motor. Sie entlasten und stabilisieren die Verteilnetze, indem sie die Nutzung von regenerativem Strom sowohl aus lokalen als auch aus überregionalen Quellen optimieren und es ermöglichen, den erzeugten Wasserstoff zu speichern, der dann bedarfsgerecht auf lokaler Ebene rückverströmt werden kann. Auch saisonale Unterschiede in der erneuerbaren Stromerzeugung lassen sich so ausgleichen, da Wasserstoff über lange Zeiträume in Röhrenspeichern oder auch in speziellen Kavernenspeichern gespeichert werden kann.

Statt einer Speicherung und Rückverstromung des über die Wasserelektrolyse dezentral erzeugten Wasserstoffs sind auch eine lokale stoffliche Nutzung in der Grundstoffindustrie oder zur Substitution von fossilen Brennstoffen in industriellen Herstellungsprozessen denkbar, um die Dekarbonisierung der Industrie voranzutreiben (siehe These 3). Darüber hinaus spricht die mögliche Einsparung

von umfangreichen Transportinfrastrukturen wie Wasserstoffpipelines oder langen Straßentransportketten für das Modell eines Aufbaus dezentraler Wasserstoffinfrastrukturen. Ein zentraler Aufbaupfad für die inländische Elektrolyse würde hingegen die Einrichtung von Wasserstofflogistikketten zwischen den Stromerzeugungsschwerpunkten in Norddeutschland und den Verbrauchszentren in Süddeutschland erfordern und damit erhebliche finanzielle Ressourcen beanspruchen. Außerdem ist die Realisierungszeit von dezentralen Wasserstoffsystemen wesentlich kürzer zu bemessen als eine Neuverlegung oder Ertüchtigung der Gasnetzinfrastuktur zum Netzanschluss großskaliger Elektrolyseure, da diese komplexe Planfeststellungsverfahren nach sich ziehen. Vor diesem Hintergrund stellt der breitenwirksame Ausbau von Wasserstoffinfrastrukturen eine gangbare Alternative bzw. Ergänzung zum überregionalen Netzausbau dar. Elektrolyseure können darüber hinaus als Flexibilitätsoption im Stromnetz den raschen Zubau erneuerbarer Elektrizitäts-erzeuger sogar noch begünstigen [3].

Die zeitnah erforderliche Reduktion der CO₂-Emissionen im Einklang mit den nationalen Klimaschutzziele [6] lässt keinen Aufschub in der Umsetzung von geeigneten

Maßnahmen zu. **Der parallele Ausbau von Erneuerbaren-Energien-Anlagen zur Stromerzeugung und die regionale Errichtung von dezentralen Elektrolyseanlagen treibt die Energiewende voran**, denn kleinskalige Anlagen bieten die notwendige Flexibilität für eine schnelle Umsetzung. Die hieraus resultierenden Handlungsempfehlungen sind wie folgt:

- » **Die Geschäftsmodelle der dezentralen Wasserelektrolyse und der Bereitstellung von erneuerbarem Strom ergänzen sich. Es sind daher Anreize für die Betreiber von Erneuerbaren-Energien-Anlagen für den Bau und die Instandhaltung von Elektrolyseanlagen zu schaffen.**
- » **Elektrolyseanlagen sind im Zusammenspiel mit Brennstoffzellen und H₂-Motoren zur zeitversetzten Rückverstromung in ihrer Netzdienlichkeit für das regionale Elektrizitätsnetz zu bewerten und entsprechend mit einem gestuften Vergütungssystem über einen klar definierten Zeitraum zu fördern.**
- » **Es sind Anreize für die netzdienliche saisonale Speicherung von Wasserstoff zu schaffen.**

These 3: Die dezentrale Wasserstoffwirtschaft ermöglicht sektorenübergreifend den nachhaltigen Infrastrukturwandel

Wasserstoffinfrastrukturen ermöglichen eine weitreichende Sektorenkopplung und sind damit ein Schlüsselement der Energiewende. Mit der intelligenten Verknüpfung von Wasserstoffherzeugung und -nutzung über die Sektoren der Elektrizitätswirtschaft, der Wärmeversorgung, der Mobilität und der Grundstoffindustrie hinweg besitzt die dezentral ausgerichtete Wasserstoffwirtschaft das Potenzial, einen umfassenden Infrastrukturumbau im Sinne einer integrierten Energiewende anzustoßen.

Ein Bereich, der durch die grüne Wasserstoffherzeugung besonders profitieren könnte und bisher noch nicht ausreichend dekarbonisiert wurde, ist die Wärmeversorgung von Privathaushalten und kommerziell genutzten Gebäudekomplexen. Während über die letzten zwei Jahrzehnte der Anteil fossiler Energieträger in der Elektrizitätswirtschaft kontinuierlich reduziert werden konnte, beruht die Bereitstellung von Wärme nach wie vor größtenteils auf dem Einsatz fossiler Brennstoffe [7]. H₂-Brennstoffzellen-BHKW zur kombinierten Stromerzeugung und Beheizung von Gebäuden sind zwar kommerziell für die Versorgung kleinerer

Privathaushalte verfügbar, werden aber in Ermangelung einer geeigneten Wasserstoffinfrastruktur mit einem Erdgasreformer betrieben, um den benötigten Wasserstoff aus Methan zu erzeugen. Sie sind somit nicht CO₂-neutral. Wasserstoff-Systemlösungen für die Wärmeversorgung von Gebäudekomplexen und Quartieren oder Großverbrauchern in Verbindung mit anderen H₂-Verwertungssträngen, zum Beispiel in Industrieprozessen, sind ebenfalls machbar, sind aber außerhalb von Sonderanwendungen über den Planungs- und Forschungsdemonstrationsstatus noch nicht herausgekommen.

Um den Einsatz von Wasserstoff in der Wärmeversorgung marktfähig zu machen, ist zunächst der Aufbau von dezentralen Wasserelektrolyseanlagen mit lokalen H₂-Netz- und Speicherinfrastrukturen im Inselbetrieb sinnvoll. Denkbar sind hierbei neben reinen H₂-Heizgeräten auch H₂-Brennstoffzellensysteme und H₂-Motoren zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung, wobei die Stromerzeugung mit dem Bedarf im Elektrizitätsnetz und dem Strombezug der Elektrolyse in Einklang gebracht werden muss, um einen energie-wirtschaftlich sinnvollen Betrieb zu gewährleisten.

Ein weiterer, noch nicht ausgespielter Vorteil der Wasserstoffverwertung in der Wärmeversorgung liegt insbesondere in der Möglichkeit, bestehende Infrastrukturen auf dezentraler Ebene schrittweise zu transformieren. So lassen sich bisher mit Erdgas betriebene BHKW im Zusammenspiel mit Wasserelektrolyseanlagen zur Optimierung von Angebot und Nachfrage im Elektrizitätsnetz und lokalen Wasserstoffspeichern stufenweise auf H₂-Brennstoffzellen oder H₂-Motoren umrüsten. Hierbei kann die in der Elektrolyseanlage entstehende Prozesswärme zusätzlich für die Wärmeversorgung nutzbar gemacht werden, wodurch sowohl im Elektrolyseur als auch im H₂-BHKW-Betrieb die Wärmeversorgung in einem Nah- oder Fernwärmenetz abgesichert werden kann. Eine an regionalen Versorgungslösungen orientierte Wasserstoffwende ermöglicht somit neue Systemkonfigurationen, die dabei helfen, sowohl Ressourceneinsatz als auch Treibhausgasemissionen zu vermindern.

Lokale bzw. regionale H₂-Versorgungskonzepte können außerdem zu einer Reduktion von CO₂-Emissionen in der Mobilität beitragen. Die H₂-Brennstoffzellentechnologie für Pkw, Busse und Lkw ist ausgereift, wenngleich der für den Markthochlauf erforderliche Ausbau der Tankstelleninfrastruktur in Deutschland nur langsam vorangeht. Die Verfügbarkeitsproblematik, die der überregionalen Wasserstoffmobilität bislang Grenzen setzt, kann auf regionaler Ebene leichter gelöst werden, und zwar durch eine Wasserstoffversorgung, die gezielt auf den örtlichen Bedarf in der Mobilität abgestimmt ist. Ausgangspunkt für die Entwicklung regionaler H₂-Versorgungsinfrastrukturen im Verkehrswesen können insbesondere auch Nahverkehrslösungen mit H₂-Brennstoffzellenbussen und schienengebundenen H₂-Brennstoffzellentriebwagen sein, da hier konstante Abnahmemengen zu verzeichnen sind, was die Wirtschaftlichkeit positiv beeinflusst.

Schließlich ist nicht nur der bei der Elektrolyse erzeugte Wasserstoff für einen nachhaltigen Infrastrukturaufbau nutzbar. So kann zum Beispiel der Sauerstoff, der im Elektrolyseprozess als Nebenprodukt entsteht, in der kommunalen Abwasserreinigung verwendet werden. Aus dem Elektrolyse-sauerstoff lässt sich nämlich Ozon für den Einsatz in der sogenannten vierten Reinigungsstufe zur Aufspaltung von Mikroschadstoffen erzeugen [8]. Da sich Ozon nicht speichern lässt, muss es vor Ort gewonnen werden, was Synergieeffekte mit dem Aufbau dezentraler Wasserelektrolyseanlagen erzeugt.

Dies liefert ein weiteres Argument für die Sektorenkopplung, zumal zukünftig eine verpflichtende Umsetzung der vierten Reinigungsstufe wahrscheinlich ist.

Über die sektorenübergreifende Integration von Wasserstofflösungen auf einer regionalen Ebene können die Infrastrukturen für Strom-, Gas- und Wärmebereitstellung besser aufeinander abgestimmt und Synergien mit weiteren Infrastrukturbereichen wie dem Verkehr und der Abwasserreinigung erreicht werden [9]. Mit seinen vielfach dezentral angelegten Versorgungsinfrastrukturen der kommunalen Daseinsvorsorge in der Energie- und Wärmebereitstellung, der Abwasserreinigung sowie dem öffentlichen Personennahverkehr hat Deutschland gute Voraussetzungen dafür, mit Hilfe von Wasserstofftechnologien eine umfassende Sektorenkopplung zu realisieren. Die sich hieraus ableitenden Handlungsempfehlungen sind wie folgt:

- » **Pilotprojekte zur Demonstration dezentraler Infrastrukturlösungen auf Basis von Wasserstoff mit einer nachgewiesenen steuerungs- und regelungstechnischen Kopplung der Sektoren Strom und Wärme, Strom und Mobilität, Strom und Gasnetz oder Strom und Abwasserreinigung sind in ihrer Umsetzung finanziell zu fördern.**
- » **Kommunale Akteure sind durch „Push- und Pull-Maßnahmen“ zu mobilisieren, sich am Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur in ihrer Region zu beteiligen und in strategische Projekte wie die Umrüstung bestehender BHKW oder die Errichtung von netzdienlichen Elektrolyseanlagen mit H₂-Kleintankstelle zu investieren. Dies ist durch ein geeignetes finanzielles Anreizsystem zu unterstützen.**
- » **Auf Bundes- und Landesebene ist durch Grundsatzentscheidungen zur Priorisierung von Umsetzungen und des Investitionsrahmens für die dezentrale Sektorenkopplung mittels Wasserstofftechnologien Planungssicherheit für die Kommunen herzustellen.**

These 4: Dezentrale Ansätze befördern die Entwicklung des H₂-Heimatmarktes in Deutschland

Für eine Investition in dezentrale, grüne Wasserstofferzeugungskapazitäten und Wasserstoffanwendungen spricht, dass dies es kleinen und mittelständischen Unternehmen erleichtert, an der Technologieentwicklung und Markteinführung teilzunehmen. Hierdurch wird die Entwicklung des Marktes auf ein breites Fundament gestellt. Weiterhin wird der Zugang zu grünem Wasserstoff für verschiedene Nutzergruppen vereinfacht und der Wettbewerb um die besten Technologien und Marktkonzepte begünstigt.

Die nationale Wasserstoffstrategie sieht zusätzlich zur heimischen H₂-Produktion den Import von grünem Wasserstoff aus Ländern mit einem hohen Potenzial an erneuerbarer Energieerzeugung vor [1]. Für einen breit angelegten Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland ist die Erschließung solcher H₂-Bezugsquellen innerhalb und außerhalb Europas unabdinglich, da der voraussichtliche Bedarf allein über eine inländische Erzeugung nicht abgedeckt werden kann. Von einem Wasserstoffimport profitieren jedoch insbesondere industrielle Großabnehmer und -händler mit einer entsprechenden Marktmacht. Weiterhin haben vor allem große Unternehmen die notwendigen Forschungs- und Entwicklungskapazitäten, um die für den wirtschaftlichen H₂-Import erforderlichen Infrastrukturen zu konzipieren und umzusetzen.

Ein Marktangebot von inländisch produziertem Wasserstoff eröffnet kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) mehr Chancen der Beteiligung an der Wertschöpfung als ein vornehmlich international ausgerichteter Markt, da hierdurch für sie mehr Möglichkeiten entstehen, die technischen Systeme für die H₂-Erzeugung und Nutzung zu entwickeln und umzusetzen.

In der aktuellen Diskussion um die Realisierung der Wasserstoffwirtschaft werden die Erzeugungskosten für grünen Wasserstoff im Ausland in der Regel als niedriger als für die heimische Produktion eingestuft. Dies ist allerdings nicht eindeutig gesichert, denn, wenn Transportkosten und Gewinnaufschläge für importierten Wasserstoff hinzugerechnet werden, ist die heimische Produktion von Wasserstoff nicht zwingend teurer [10]. Eine gut aufgestellte inländische Elektrolyseinfrastruktur in der Fläche sorgt zudem für eine größere Versorgungssicherheit und -stabilität, indem die Abhängigkeit von Importen und den damit implizierten

Risiken, zum Beispiel aufgrund politischer Instabilität in Importländern oder plötzlicher Preisanstiege auf dem internationalen Markt, reduziert wird [10]. Die Erzeugung von grünem Wasserstoff nahe an potenziellen Verbrauchern trägt zudem dazu bei, den Bedarf an die regionale Nachfrage anzupassen.

Ein dezentraler Ausbaupfad der Wasserstofferzeugung ist nicht nur vor dem Hintergrund einer beschleunigten Dekarbonisierung regionaler Industrien und der damit zu erzielenden Skalierungseffekte zu empfehlen. Damit die Potenziale der Wasserstoffwirtschaft vollumfänglich ausgeschöpft werden können, ist vor allem auch der Aufbau von Kompetenzen in den Unternehmen notwendig. Dabei sollte die gesamte Wertschöpfungskette in Blick genommen werden, vom Anlagen- und Behälterbau, der Elektrolyse- und Brennstoffzellentechnik, dem Fahrzeugbau, der Steuerungs- und Regelungstechnik, der Sensorik und der technischen Gebäudeausrüstung über Entwicklungsdienstleister, Wartungsservices und Vertriebsorganisationen. Der dezentrale Ansatz bietet außerdem den Rahmen dafür, um den Know-How-Transfer von regional verankerten Forschungseinrichtungen zu ermöglichen sowie technologische Entwicklungen bei kleinen und mittleren Unternehmen voranzutreiben. Hierdurch kann deren Teilhabe an Geschäftsmodellen im Zukunftsmarkt Wasserstoff sichergestellt und ein nachhaltig wirksamer Markthochlauf angeschoben werden.

Die Entwicklung einer leistungsfähigen Entwicklungs- und Zulieferindustrie für Wasserstofftechnologien in Deutschland profitiert von den Synergien einer über viele Regionen hinweg aufgestellten Wasserstoffwirtschaft, die ihre Kompetenzen aus der Errichtung kleinmaßstäblicher H₂-Infrastrukturen zieht. Replikationspotenziale für dieses Modell ergeben sich global, sowohl in Industrie- als auch

in Schwellen- und Entwicklungsländern, die zur Sicherung der Energieversorgung und Reduktion von Treibhausgasemissionen in Zukunft ebenfalls verstärkt auf Wasserstofflösungen setzen werden [11, 12]. Vor dem Hintergrund der oben genannten industrie- und strukturpolitischen Gründe müssen **bessere Rahmenbedingungen für eine regionale Verankerung der Wasserstoffwirtschaft zur Entwicklung des H₂-Heimatmarktes geschaffen werden**. Hieraus ergeben sich die folgenden Handlungsempfehlungen:

- » Es ist ein breiter Zugang zur Entwicklung und Realisierung von neuen H₂-Technologieansätzen zu schaffen, indem entsprechende Kompetenzen bei KMU gestärkt und regionale Vernetzungsaktivitäten unterstützt werden.
- » Innovationen von KMU und Start-Ups zu Wasserstofftechnologien und -anwendungen sowie deren Markteinführung sind über speziell auf diese Zielgruppe ausgerichtete Unterstützungsformate zu stimulieren.
- » Langfristige Anreize zur Reduktion der CO₂-Emissionen in der Wirtschaft, die auf die Entwicklung des H₂-Heimatmarktes Einfluss nehmen wie zum Beispiel die CO₂-Bepreisung, müssen frühzeitig, auch im Hinblick auf die Innovationskraft regional verankerter KMU, getroffen werden. Das hilft dabei, Transformationsprozesse anzuschieben und im globalen Wettbewerb der Ideen neue Produkte und Services zu platzieren, die erprobt und in ihrer Funktionsfähigkeit nachgewiesen sind.

These 5: Eine bottom-up getriebene Wasserstoffwende ist sozialverträglich und verschafft Wettbewerbsvorteile im internationalen Vergleich

Eine dezentrale Ausgestaltung der Wasserstoffwirtschaft hebt regionale Potenziale vor allem dann, wenn technologische Innovationen aus den Regionen heraus entstehen und dort auch umgesetzt werden. Mit der Verwirklichung von lokal verankerten Wertschöpfungsketten auf Basis von grünem Wasserstoff haben Regionen die Möglichkeit, von reinen „Installationsräumen“ erneuerbarer Energie zu „Gestaltungsräumen“ der Energiewende [13] über mehrere Sektoren zu avancieren. Dies schafft Arbeitsplätze und hilft dabei, in der Bevölkerung Akzeptanz und Vertrauen in die Technologie zu generieren.

In die Prozesse zur Etablierung einer breit aufgestellten Wasserstoffwirtschaft müssen neben Industrieakteuren und KMU auch die kommunale Verwaltung, zivilgesellschaftliche Vertreter sowie Bürgerinnen und Bürger eingebunden werden. Dezentrale Ansätze bieten hierbei den Vorteil, überschaubar zu sein, Transparenz zu schaffen und in räumlicher Nähe zu den Nutzern von Wasserstoffanwendungen geplant werden zu können. Die Bereitschaft zur aktiven Mitwirkung an neuen Entwicklungen ist nämlich bei den Bürgerinnen und Bürgern vor allem auf der lokalen und regionalen Ebene hoch. Das zeigen unter anderem (Bürger-)Energiegenossenschaften, die vielerorts die Energiewende vorantreiben und sich zum Teil bereits mit Wasserstoff auseinandersetzen.

Sowohl auf europäischer als auch auf bundesdeutscher Ebene wurde das Entwicklungspotenzial von Regionen für die Wasserstoffwirtschaft erkannt und wird daher durch entsprechende Förderinitiativen und Programme wie den European Hydrogen Valleys Partnerships (EU), der HyLand-Initiative (Bund) und den Reallaboren der Energiewende (Bund) unterstützt. Mit diesen Maßnahmen konnte bereits eine nennenswerte Anzahl an regional aufgestellten Projekten und Konzepten gezielt gefördert werden.

In vom generellen Strukturwandel betroffenen Regionen kann die Wasserstoffwirtschaft neue Chancen der Wertschöpfung eröffnen und den Austausch zwischen ländlichen Konzentrationsräumen erneuerbarer Energie, die gute Voraussetzungen für die Bereitstellung von Wasserstoff bieten,

und urbanen Energieverbraucherzentren befördern. Durch attraktive, neue Arbeitsmöglichkeiten in der Wasserstoffwirtschaft im ländlichen Raum kann zudem dem demographischen Wandel entgegengewirkt werden. Darüber hinaus erhöhen ganzheitliche Wasserstoffkonzepte für die Mobilität, Wärmeversorgung und Industrie die Versorgungsqualität durch einen emissionsfreien Kraft- bzw. Brennstoff. Dies schafft Akzeptanz, da die Menschen auf der lokalen Ebene profitieren, und wirkt sich positiv auf den Transformationsprozess weg von fossilen Brennstoffen aus.

Ein dezentraler Aufbau von inländischen Infrastrukturen und Wertschöpfungsketten ist nicht mit Isolation und Abkopplung von globalen Handlungsräumen gleichzusetzen. Im Gegenteil, es besteht auch im nichttechnischen Bereich durch die Erprobung neuer Partizipations- und Governance-Ansätze die Chance, zum Vorreiter in der Energie- und Wasserstoffwende zu werden und damit einen Wettbewerbsvorteil zu generieren. Regionen nehmen nämlich als Mittler zwischen der nationalen Ebene und lokalen Firmen sowie Interessengruppen nicht nur eine wichtige Rolle bei der Förderung von Innovationen ein [14], sie stellen darüber hinaus wichtige Arenen für gesellschaftliche Transformationsprozesse wie die Energiewende dar. Regionale Netzwerke schaffen zudem den Raum für kollektive Lern- und Steuerungsprozesse, indem sie Akteure aus unterschiedlichen Handlungskontexten einbinden [15]. Wenn im Rahmen dieser Multi-Akteurs-Netzwerke Innovation und Gesellschaft zusammengedacht und -gebracht werden, kann es gelingen, Systemtransformationen wie die Etablierung dezentraler Wasserstoffinfrastrukturen zu befördern und nachhaltig zu verankern. **Um Partizipation in der entstehenden Wasserstoffwirtschaft von Beginn an zu ermöglichen, muss daher neben der H₂-Technologieoffensive auch deren gesellschaftliche Integration berücksichtigt werden.**

Dies ist durch die folgenden Maßnahmen zu gewährleisten:

- » **Auf die Regionen ausgerichtete Initiativen, die bereits von der Europäischen Union (Hydrogen Valleys) und der Bundesregierung (Hyland) ins Leben gerufen wurden, sind dahingehend zu stärken, als dass die Entwicklung integrierter Wasserstoffsysteme, die die gesamte Wertschöpfungskette betrachten und auf eine nachhaltige Verankerung am Markt ausgerichtet sind, gezielt gefördert wird.**
- » **Die Schaffung neuer Industriearbeitsplätze in der Wasserstoffwirtschaft ist insbesondere in strukturschwachen Regionen durch entsprechende Arbeitsmarktprogramme zu unterstützen.**
- » **Die transdisziplinäre Forschung und Zusammenarbeit in regional verankerten Multi-Akteurs-Netzwerken, die über den Rahmen einer temporären Projektarbeit hinausgeht, ist durch geeignete Maßnahmen zu unterstützen.**
- » **Regional organisierte Informationskampagnen, die auf örtliche Spezifika eingehen und für Transparenz bei der Planung von Wasserstoffinfrastrukturen und Akzeptanz bei den Bürgerinnen und Bürgern sorgen, sind durch die Schaffung von entsprechenden Rahmenbedingungen zu fördern. Dies ist durch eine nationale Kampagne zur Technologiekommunikation zu ergänzen, um Ängsten und Befürchtungen insbesondere in Bezug auf das Thema Sicherheit von Wasserstoff zu begegnen.**

Fazit

Eine breitenwirksame Umsetzung dezentraler Wasserstoffinfrastrukturen ist die notwendige Voraussetzung dafür, dass die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland nachhaltig etabliert werden kann. Die dezentrale Wasserstoffwende schafft integrierte Wertschöpfungsketten, stärkt den Industriestandort Deutschland, komplettiert die Energiewende und schont das Klima. Sie generiert regional neue Arbeitsplätze und wirkt in alle Bevölkerungsschichten. Jetzt ist das richtige Zeitfenster, um mit dem Transformationsprozess zu beginnen.

Literaturquellen

- [1] BMWi. Die Nationale Wasserstoffstrategie. Berlin, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020.
- [2] Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (Hrsg.). Studie zur Regionalisierung von PtG-Leistungen für den Szenariorahmen NEP Gas 2020-2030. München, FFE mbH, 2019.
- [3] Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU). Hydrogen Roadmap Europe. A sustainable pathway for the European energy transition. Brüssel, FCH 2 JU, 2019.
- [4] BMWi. Öffentliche Infrastruktur in Deutschland: Probleme und Reformbedarf. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Berlin, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020.
- [5] Brauner G. Effizienz der dezentralen Energieversorgung. In: Systemeffizienz bei regenerativer Stromerzeugung. Wiesbaden, Springer Vieweg, 2019.
- [6] BMU. Klimaschutzplan 2050. Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2016.
- [7] UBA. Erneuerbare Energien in Zahlen. Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt, 2020.
- [8] Jentsch M.F., Büttner S. Dezentrale Umsetzung der Energie- und Verkehrswende mit Wasserstoffsystemen auf Kläranlagen. *gwf Gas + Energie* 160 (6) 28-39. Essen, Vulkan-Verlag, 2019.
- [9] VKU. Positionspapier – Wasserstoff und kommunale Unternehmen. Berlin, Verband kommunaler Unternehmen e.V., 2020.
- [10] Wuppertal-Institut / DIW Econ. Bewertung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffimporten im Vergleich zur heimischen Erzeugung. Studie für den Landesverband Erneuerbare Energien NRW e. V. (LEE-NRW). Wuppertal, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, Berlin, DIW Econ GmbH, 2020.
- [11] World Bank. Energy Sector Management Assistance Program. Green Hydrogen in Developing Countries. Washington D.C., World Bank, 2020.
- [12] Huegemann, S., Oldenbroek, V. The African Hydrogen Partnership. African Hydrogen Partnership, 2019.
- [13] Röhring A., Gailing L. Energiewende dezentral! Handlungsräume der Energiewende und des Klimaschutzes. Policy Paper erarbeitet im Rahmen des Leitprojektes „Neue Energieräume – Dimensionen sozioräumlicher Beziehungen in regionalen Energiewenden“ (2015-2018) Erkner, Leibniz-Institut für Raumbezogene Sozialforschung (IRS), 2019.
- [14] Asheim B.T., Gertler M.S. The Geography of Innovation: Regional Innovation Systems. In *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford, Oxford University Press, 2005.
- [15] Rückert-John J., Schäfer M. (Hrsg.) Governance für eine Gesellschaftstransformation Herausforderungen des Wandels in Richtung nachhaltige Entwicklung. Wiesbaden, Springer VS, 2017.

Die WIR!-Initiative h₂-well

h₂-well – Wasserstoffquell- und Wertschöpfungsregion Main-Elbe-LINK ist eine Initiative im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Programms WIR! – Wandel durch Innovation in der Region. Die regionale Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff sowie die Schaffung einer sektorenübergreifenden Wertschöpfung sind die Eckpunkte des h₂-well Konzepts, aus dem sich dieses Positionspapier ableitet.

Dieses Konzept wurde in einem offenen Stakeholderprozess von Mai bis Oktober 2018 erarbeitet, mit der Zielstellung in der Region zwischen Main und Elbe einen innovationsbasierten Strukturwandel durch den Aufbau einer dezentralen Wasserstoffwirtschaft anzustoßen. Vornehmlicher Beweggrund war die Beobachtung, dass sich Vorhaben zur Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie oftmals auf

einzelne Sektoren respektive Technologien sowie großmaßstäbliche Demonstrationsvorhaben beschränken. Den Akteuren des Bündnisses ist hierbei klargeworden, dass es der Bottom-up-Initiative bedarf, um die Umsetzung von systemischen Wasserstofflösungen in Deutschland voran zu bringen. Hierzu möchte h₂-well einen Beitrag leisten.

Am WIR!-Bündnis h₂-well sind Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, Kommunalverwaltung und Gesellschaft beteiligt. Die in h₂-well gebündelte Expertise umfasst die grüne Wasserstoffherzeugung aus lokal bereitgestellten erneuerbaren Energien, die Wasserstoffspeicherung, die H₂-Nutzung für Fahrzeugantriebe sowie Anwendungen zur Gebäudeheizung und die Kommunikation der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in die Gesellschaft hinein.



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

wir! Wandel durch
Innovation
in der Region

Kontakt

Bauhaus-Universität Weimar
Bauhaus-Institut für zukunftsweisende
Infrastruktursysteme

Fakultät Bauingenieurwesen
Professur Energiesysteme

Schwanseestraße 1a,
99423 Weimar

Tel: +49 (0)3643 / 584659
energie@uni-weimar.de

h2-well Strategiefortschreibung