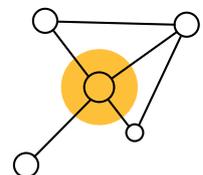
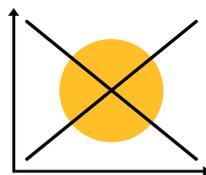
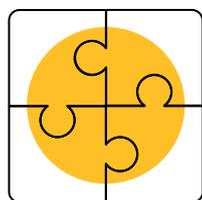
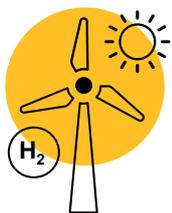


[EWI Policy Brief]

# Zusammen stark: Wie Wasserstoff-Cluster den Markthochlauf in Deutschland vorantreiben können

August 2023



**Energiewirtschaftliches Institut  
an der Universität zu Köln gGmbH (EWI)**

Alte Wagenfabrik  
Vogelsanger Straße 321a  
50827 Köln

+49 (0) 221 650 853 - 60

<https://www.ewi.uni-koeln.de>

**Verfasst von**

Tobias Sprenger  
Patricia Wild  
Maximilian Walde

**Gefördert durch**

Förderinitiative Wasserstoff der Gesellschaft zur Förderung des  
Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität zu Köln e.V.

Das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) ist eine gemeinnützige GmbH, die sich der anwendungsnahen Forschung in der Energieökonomik und Energie-Wirtschaftsinformatik widmet und Beratungsprojekte für Wirtschaft, Politik und Gesellschaft durchführt. Annette Becker und Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge bilden die Institutsleitung und führen ein Team von mehr als 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das EWI ist eine Forschungseinrichtung der Kölner Universitätsstiftung. Neben den Einnahmen aus Forschungsprojekten, Analysen und Gutachten für öffentliche und private Auftraggeber wird der wissenschaftliche Betrieb finanziert durch eine institutionelle Förderung des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE). Die Haftung für Folgeschäden, insbesondere für entgangenen Gewinn oder den Ersatz von Schäden Dritter, ist ausgeschlossen

## Kernaussagen

- In Wasserstoff-Clustern kann durch schrittweise Innovationen entlang der Wertschöpfungskette die ökonomische Entwicklung des neuen Marktes und Kostenreduktion Dank Economies of Scale ermöglicht werden.
- Cluster können Produktivität steigern, Innovationskraft erhöhen und die Gründung von Unternehmen erleichtern. Sowohl auf akademischer als auch politischer Ebene gibt es einen Konsens, dass sich der Wasserstoffmarkthochlauf mit Hilfe von Clustern effizient gestalten lässt.
- Um Cluster gezielt zu fördern, müssen Regionen identifiziert werden, die besonders als Standort für die Wasserstoff-Clusterbildung geeignet erscheinen. Bei der Erkennung helfen die in diesem Policy Brief vorgestellten Identifikationskriterien aus den Bereichen Wasserstoffnachfrage, -produktion, -infrastruktur und Forschung & Bildung.
- Bei bereits realisierten Wasserstoffprojekten in Deutschland lässt sich noch keine Clusterbildung erkennen. Wenn hingegen geplante und im Bau befindliche Projekte betrachtet werden, heben sich vier Regionen hervor in denen eine Konzentration zu verzeichnen ist. Da bislang jedoch nur wenige Projekte den finalen Investitionsstatus erreicht haben, ist schwer abzusehen, wo sich tatsächlich Wasserstoff-Cluster bilden werden.
- **Handlungsempfehlungen:**
  - Um die Entstehung von Wasserstoff-Clustern zu unterstützen, müssten zunächst Regionen mit guten Clusterpotentialen identifiziert werden. Dabei helfen die definierten Identifikationskriterien.
  - Im Weiteren müssten durch Entscheidungsträger:innen Regionen mit guten Voraussetzungen der Clusterbildung priorisiert werden, um unterstützende Maßnahmen und finanzielle Förderung zielgerichtet einsetzen zu können.
  - Schließlich sollte eine fokussierte politische Unterstützung auf verschiedenen Ebenen erfolgen. Neben finanzieller Förderung kann eine gute politische Kommunikation, eine Stärkung zuständiger Ämter oder auch die Unterstützung bei Aus- und Weiterbildung von Fachkräften helfen Wasserstoff-Cluster zu etablieren.

## Hintergrund

Zur Erreichung der Klimaneutralität müssen bestehende energiewirtschaftliche und industrielle Prozesse dekarbonisiert werden. Da die direkte Elektrifizierung nicht in allen Bereichen wirtschaftlich effizient oder technisch realisierbar ist, ist die Verwendung von kohlenstoffarmem Wasserstoff wichtig. Insbesondere in der chemischen Industrie und bei der Primärstahlerzeugung gilt kohlenstoffarmer Wasserstoff als notwendig, um die Emissionen effektiv zu reduzieren.

Für einen erfolgreichen Markthochlauf von kohlenstoffarmem Wasserstoff müssen Erzeugung, Nachfrage und Infrastruktur simultan ausgebaut werden. Dies stellt die Akteure entlang der gesamten Wertschöpfungskette vor ein komplexes Problem, das auch als "dreiseitiges Henne-Ei-Problem" bezeichnet wird: Ohne ausreichendes Angebot wird sich keine Nachfrage entwickeln, ohne Nachfrage wird es kein Angebot geben, und ohne eine gut ausgebaute Transportinfrastruktur

ist ein effizienter und liquider Handel über größere Entfernungen nicht möglich (Schlund, Schulte & Sprenger, 2022).

Ein großes Hemmnis im Wasserstoffmarkthochlauf ist der Zubau bedarfsgerechter Wasserstoffinfrastruktur. Der Bedarf an Infrastruktur kann jedoch durch eine lokale Konzentration von Angebot und Nachfrage reduziert werden. So genannte „Wasserstoff-Cluster“ könnten durch organisches Wachstum unter Nutzung von Netzwerkeffekten und Economies of Scale den Markthochlauf vorantreiben (EWI, 2023). Dies ist insbesondere für den angestrebten kurzfristigen Wasserstoffmarkthochlauf in Deutschland und Europa bis zum Jahr 2030 relevant.

Im Folgenden wird die Bedeutung von Clustern für den Wasserstoffmarkthochlauf erläutert und Handlungsempfehlungen zum kurzfristigen Aufbau von Wasserstoff-Clustern in Deutschland gegeben. Dazu werden allgemeine Vorteile von Industrieclustern beschrieben und Kriterien zur Identifikation relevanter Wasserstoff-Cluster definiert.

## Definition von Clustern

Die Analyse von Clustern im Markthochlauf neuer Technologien ist in der akademischen Literatur etabliert. Ein Cluster eines bestimmten Bereichs ist die geografische Konzentration von miteinander verbundenen Unternehmen, spezialisierten Zulieferern, Dienstleistern, verbundenen Institutionen (z. B. Universitäten, Normungsinstitute, Handelsverbände) oder Unternehmen verwandter Branchen.

Dies Akteure in einem Cluster können sowohl konkurrieren als auch kooperieren, sodass es neben direktem Wettbewerb auch Kooperation entlang der Wertschöpfungskette gibt. Wettbewerb entsteht dabei insbesondere auf horizontaler (z. B. Wettbewerb um Kund:innen) und Kooperation auf vertikaler Ebene (z. B. Zulieferungen oder Dienstleistungen). Beide Aspekte begünstigen eine lokale Konzentration, da ein starker Wettbewerb zwischen Unternehmen vor- und nachgelagerte Industrien und Dienstleister anziehen kann und Kooperation entlang der Wertschöpfungskette diese Konzentration festigt (Porter, 2000).

Die geografische Reichweite von Clustern kann von einer Region oder einer einzelnen Stadt bis hin zu benachbarten Ländern (z. B. Süddeutschland und die deutschsprachige Schweiz) reichen. Diese Reichweite bezieht sich auf die Entfernung, über die Informations-, Transaktions-, Anreiz- und andere Effizienzvorteile auftreten können (Porter, 2000).

Im Rahmen eines Wasserstoffmarktes würde ein Cluster Elektrolysebetreiber, Infrastrukturbetreiber, industrielle und private Abnehmer, Dienstleister und die Ansiedlung akademischer Forschungsinstitute beinhalten. Durch schrittweise Innovationen entlang der Wertschöpfungskette können sowohl die ökonomische Entwicklung eines neuen Marktes als auch Kostenreduktionen Dank Economies of Scale ermöglicht werden. Diese Effekte können einerseits durch komplementäre Entwicklungen (z. B. könnten Entwicklungen in der Transportinfrastruktur neue Anwendungen erschließen) oder durch wettbewerblichen Innovationsdruck (z. B. ein Preiswettbewerb in der Wasserstoffproduktion) entstehen (EWI, 2023).

## Vorteile von Clustern

Cluster bieten unabhängig vom produzierten Gut oder der Dienstleistung eine Reihe von Vorteilen. Diese lassen sich in drei Bereiche unterteilen:

- **Höhere Produktivität:** Die regionale Nähe von vielen Akteuren eines Bereichs ermöglicht einen besseren Zugriff auf spezialisierten Input des Produktionsprozesses wie Komponenten, Maschinen, Dienstleistungen und Fachkräfte. Darüber hinaus wird der Zugang zu Informationen und (quasi-)öffentlichen Gütern, bspw. geteilter Infrastruktur, durch persönliche Beziehungen und institutionalisierte Gemeinschaften erleichtert (Porter, 2000).
- **Gesteigerte Innovationskraft:** Akteure innerhalb von Clustern weisen durch Beobachtung von Wettbewerbern ein erhöhtes Bewusstsein für die Möglichkeit sowie Notwendigkeit von Innovation auf. Durch eine Ansammlung von Abnehmern erhalten sie schneller Einblick in neue Kundenbedürfnisse. Gleichzeitig sind neuartige Materialien und Dienstleistungen flexibler zugänglich. Bei Kooperationen mit lokalen Partnern wie bspw. Forschungsinstituten kann der Lernprozess und Wissenstransfer durch Ortsbesuche und persönlichen Kontakt beschleunigt werden (Porter, 2000; Asheim & Gertler, 2006; EWI, 2023)
- **Vereinfachte Gründung von Unternehmen:** In Clustern haben Stakeholder bessere Information über neue Geschäftsfelder sowie Lücken in der Wertschöpfungskette. Der Aufwand zur Gründung ist niedriger, da benötigte Assets, Wissen, Materialien und Mitarbeitende einfacher verfügbar sind. Durch eine Fülle von Akteuren, zu denen oft bereits Beziehungen bestehen, ist ein Netzwerk aus Kunden und Zulieferern vorhanden (Porter, 2000).

Durch diese Vorteile können Cluster den Markthochlauf eines Technologiebereichs fördern. Sowohl auf akademischer (Bleischwitz et al., 2008; Lambert & Schulte, 2021; Ogden & Nicholas, 2011) als auch politischer Ebene (BMBF, 2019; BMBF, 2022) gibt es einen Konsens, dass der Wasserstoffmarkthochlauf mit Hilfe von Clustern effizient gestaltet werden kann.

Neben allgemeinen Vorteilen von Clustern bieten regionale Wasserstoff-Cluster beim Markthochlauf einen weiteren spezifischen Vorteil. Wasserstoff muss als physisches Gut an die Nachfragepunkte geliefert werden, was eine Transportinfrastruktur und damit Infrastrukturinvestitionen erfordert. Die regionale Nähe vieler Akteure und damit eine lokale Konzentration der Nachfragemengen hat das Potenzial, die erforderlichen Infrastrukturinvestitionen erheblich zu reduzieren (Ogden & Nicholas, 2011).

Bereits heute kann daher die Herausbildung von Clustern zur Nutzung grauen Wasserstoffs beobachtet werden; z. B. verbindet ein von Air Liquide betriebenes Wasserstoff-Infrastrukturnetz im Rhein-Ruhr-Gebiet die Chemieparks und Raffinerien von Dortmund über Marl und Düsseldorf bis nach Leverkusen (Lambert & Schulte, 2021).

Die vielfältigen Vorteile von Clustern legen nahe, dass das Clustermodell im Rahmen einer konsistenten Markthochlaufstrategie eine sinnvolle Option darstellt, um den Markthochlauf

schnell umzusetzen sowie limitierte öffentliche Mittel möglichst effizient einzusetzen (Ogden & Nicholas, 2011).

## Identifikation relevanter Cluster für den Wasserstoffmarkthochlauf

Um den Wasserstoffmarkthochlauf durch Clusterbildung zu beschleunigen, ist es wichtig, dort zu fördern, wo gute Voraussetzungen für die Entwicklung von Clustern vorliegen. Je mehr Voraussetzungen für die organische Entwicklung von Clustern vorliegen, desto effizienter kann die Herausbildung von Clustern gefördert werden. Hierzu lassen sich Identifikationskriterien für die Auswahl von Standorten für potenzielle Wasserstoff-Cluster definieren. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über relevante Kriterien.

**Tabelle 1: Identifikationskriterien für zukunftssichere Wasserstoff-Cluster**

<b>Angebot</b>	Verfügbarkeit erneuerbaren Stroms
	Umweltauswirkungen (z. B. Wasserhaushalt)
<b>Infrastruktur</b>	Bestehende Transportinfrastruktur
	Perspektivische Anbindung an Transportinfrastruktur (z. B. European Hydrogen Backbone, Kernnetz)
<b>Nachfrage</b>	Bestehende Wasserstoffnachfrage
	„No-Regret“ Anwendungen
<b>Forschung &amp; Bildung</b>	Forschung und Entwicklung (F&E)
	Fachkräfte und Ausbildungsprogramme
	Wissens-Spillover

Die Identifikationskriterien für die Auswahl von Standorten können verschiedenen Kategorien zugeordnet werden:

- **Angebot:** Da derzeit und auch im frühen Stadium des Markthochlaufs keine flächendeckende Transportinfrastruktur für Wasserstoff existiert, muss kohlenstoffarmer Wasserstoff bei Bedarf lokal erzeugt werden. Für die Erzeugung grünen Wasserstoffs werden v. a. Strom und Wasser benötigt. Hier sind daher insbesondere Standorte mit guter Verfügbarkeit erneuerbaren Stroms und einem ausgeglichenen Wasserhaushalt vorzuziehen.
- **Infrastruktur:** Auch wenn kohlenstoffarmer Wasserstoff lokal erzeugt werden kann, stellt eine perspektivische Anbindung an ein Wasserstoff-Transportnetz einen Standortvorteil dar. Über einen Anschluss können eine steigende Wasserstoffnachfrage oder Nachfragespitzen gedeckt und mögliche Überschüsse eingespeist werden. Zu berücksichtigen sind bspw. Planungen im European Hydrogen Backbone (EHB, 2023) und dem Kernnetz (FNB, 2023). Bei niedrigen Wasserstoffbedarfen und kurzen Strecken

können auch andere Transportmittel wie Binnenschiffe, Schienen- oder Straßenverkehr für den Transport von Wasserstoff genutzt werden. Bestehende nutzbare Transportinfrastruktur wirkt daher ebenso stärkend für den jeweiligen Standort und sein Potenzial als Clusterstandort.

- **Nachfrage:** Für den Aufbau von Clustern bieten sich u. a. Gebiete an, in denen bereits heute eine (signifikante) Wasserstoffnachfrage existiert. Bei bestehender Nachfrage kann oftmals ohne große technische Hürden konventioneller durch kohlenstoffarmen Wasserstoff substituiert werden („drop-in“ Anwendungen). Zusätzlich zu der heute bestehenden Nachfrage werden einige Anwendungen als „No-Regret“ (ohne Bedauern) bezeichnet. Diese gelten als zukunftssicher oder auch als alternativlos; z. B. der Wasserstoffeinsatz in der Stahlindustrie oder dem Schwerlastverkehr (Agora Energiewende, & AFRY, 2021; EWI, 2022).
- **Forschung & Bildung:** Übergeordnet kann am Standort durch z. B. Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten (F&E), Fachkräfte, Bildung, Ausbildungsprogramme und formellen und informellen Wissens-Spillover der Aufbau von Clustern unterstützt werden. Diese übergeordneten Faktoren können externe Skaleneffekte erzeugen und damit Standortvorteile generieren (EWI, 2023).

Je mehr Kriterien ein Standort oder eine Region erfüllt, desto schneller kann ein lokaler Markthochlauf gelingen. Derzeit wird in Deutschland bislang ausschließlich an Industriestandorten Wasserstoff eingesetzt, v. a. in der Ammoniak- und Methanolherstellung sowie der Erdölraffination. Oftmals ist die Schwer- und Grundstoffindustrie bereits heute schon in Industrieclustern angesiedelt (EWI, 2021). Der Vorteil dieser Wasserstoffnachfragezentren ist, dass die vorhandene Wasserstoffnachfrage einen stabilen und bereits etablierten Absatzmarkt für den Aufbau lokaler Produktionskapazitäten bieten kann. Zudem sind diese Nachfragezentren an Erdgas-Transportnetze angebunden und verfügen über qualifizierte Arbeitskräfte.

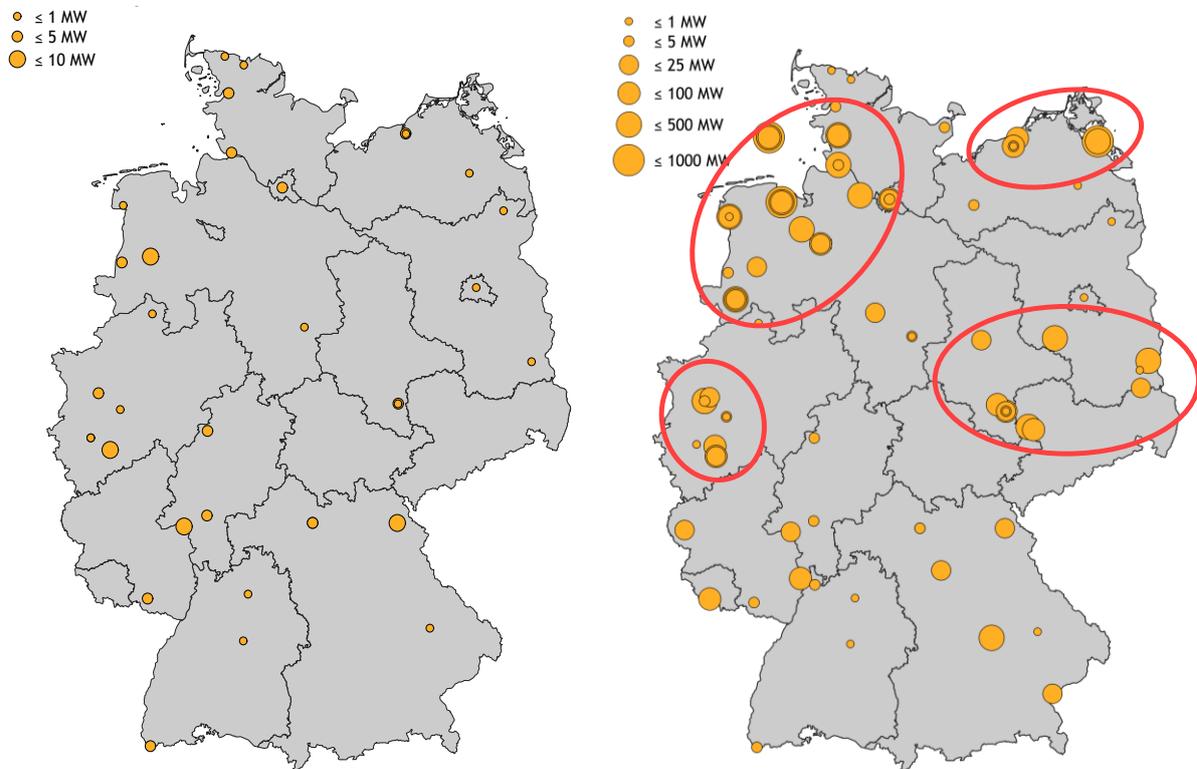
## Status quo von Wasserstoffprojekten in Deutschland

Von der Theorie in die Realität. Um den Status quo rund um Wasserstoff-Clusterbildung zu überprüfen, hilft eine Darstellung öffentlich angekündigter Wasserstoffprojekte. Abbildung 1 zeigt öffentlich bekannte Power-to-X Projekte (Stand Februar 2023), welche für die Datengrundlage der *H<sub>2</sub>Bilanz* aufbereitet wurden (E.ON & EWI 2023).

Es zeigt sich, dass betriebene Elektrolyseure weit über Deutschland verteilt sind (linke Karte in Abbildung 1). Einige von ihnen befinden sich nahe Industriezentren (z. B. 10 MW<sub>el</sub> in Wesseling (REHFYNE, 2023), andere an Küstenstandorten (z. B. 2,4 MW<sub>el</sub> in Brunsbüttel -Wind2Gas Energy (W2G, 2023)). Insgesamt waren bis Ende Februar 2023 lediglich rund 68 MW<sub>el</sub> Elektrolyseure in Deutschland in Betrieb (E.ON & EWI 2023).

Bis Ende 2030 kann hingegen eine lokale Konzentration geplanter Projekte beobachtet werden (rechte Karte in Abbildung 1). Dabei zeichnen sich die Regionen Mitteldeutsches Chemiedreieck (Osten), die Metropolregion Rhein-Ruhr (Westen), Niedersachsen und die Metropolregion Hamburg (Nord-Westen) sowie die Mecklenburgischen Ostseeküste (Nord-Osten) mit vielen

geplanten Projekten aus. Werden die geplanten Projekte in diesen Regionen umgesetzt, könnten Wasserstoff-Cluster entstehen. Da die meisten Projekte jedoch noch keine finale Investitionsentscheidung (FID, *Final Investment Decision*) aufweisen, ist schwer abzusehen, wo sich tatsächlich Wasserstoff-Cluster bilden werden.



**Abbildung 1: Power-to-X Projektkarten für Februar 2023 (links) und 2030 (rechts). Eingezeichnet sind Regionen mit Konzentration von Projekten.**

Quelle: E.ON (2023) und EWI (2023)

Außerhalb dieser vier Regionen sind derzeit auch viele einzelne Elektrolyseure in Betrieb oder geplant. Beispielsweise wurde in Wunsiedel (Bayern) im Jahr 2022 ein 8,8 MW<sub>el</sub> Elektrolyseur in Betrieb genommen, welcher im Umkreis von 150-200 km Endkunden mit LKW-Trailern und mit einer öffentlichen Wasserstofftankstelle LKWs und Busse mit grünem Wasserstoff versorgen soll (Siemens, 2020; pv magazine, 2022). Projekte wie der Elektrolyseur in Wunsiedel zeigen, dass neben Wasserstoff-Clustern auch eine dezentrale Produktion für kleine Nachfrager wie Tankstellen sinnvoll sein können. Regionen mit zukünftig nur geringen Nachfragen nach kohlenstoffarmem Wasserstoff und fehlender Perspektive für Anschlüsse an eine Wasserstoffinfrastruktur können so versorgt werden.

## Beispiele geplanter Wasserstoff-Cluster in Deutschland

Um den Wasserstoffmarkthochlauf voranzutreiben, haben sowohl politische als auch privatwirtschaftliche Akteure Förderungen, Projekte und Kooperationen angekündigt. Diese sind in der Projektstruktur teilweise bereits als Cluster geplant oder weisen durch regionale Konzentration von Projekten eine Clusterstruktur auf. Im Folgenden werden zwei Beispiele vorgestellt:

### Helmholtz-Cluster Wasserstoff HCH2 im rheinischen Revier, Kreis Düren, NRW

Im Jahr 2020 wurde das „Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen“ für die Förderung zum Aufbau eines Wasserstoff-Clusters im Braunkohleabbaugebiet im rheinischen Revier verabschiedet. Die Fördersumme beläuft sich bis zum Jahr 2038 auf 860 Mio. Euro. Gefördert wird sowohl der Aufbau des Instituts für nachhaltige Wasserstoffwirtschaft (INW) am Forschungszentrum Jülich als auch der Aufbau des Wasserstoff-Clusters HCH2 selbst (HCH2, 2023).

Bis Ende 2023 soll das INW mit 100 Mitarbeitenden in vier Institutsbereichen Forschung in verschiedenen Entwicklungsstadien betreiben, von Grundlagenforschung bis hin zu betriebsbereiten Systemen. Bis zum Jahr 2025 soll die Anzahl der Mitarbeitenden auf 400 anwachsen. Unter dem Dach des HCH2 werden geförderte Demonstrationsprojekte in Kooperation mit Partnern aus Forschung und Wirtschaft durchgeführt. Dort sollen die entwickelten Technologien im Industriemaßstab erprobt werden (HCH2, 2023).

Das rheinische Revier bietet dabei gute Voraussetzungen als regionales Wasserstoff-Cluster: Mit dem „Zukunftscluster Wasserstoff“, das im Rahmen der „Clusters4Future“ Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird, befindet sich ein weiteres Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zu Wasserstofftechnologien im Großraum Aachen im Aufbau (ZCW, 2023). Durch das „Center for Sustainable Hydrogen Systems“ an der RWTH Aachen werden dabei wasserstoffspezifische Lehrveranstaltungen angeboten, um zukünftige Fachkräfte auszubilden (CSHS, 2023).

Darüber hinaus weist die angrenzende Chemieregion im Großraum Köln neben einer bestehenden Produktion, Transportinfrastruktur und Nachfrage für Wasserstoff auch Potential für Komplementaritäten entlang der Wertschöpfungskette auf (Schlund, Schulte & Sprenger, 2022; EWI, 2021).

Außerdem ist eine mittelfristige Anbindung der Region Köln und des rheinischen Reviers an das Wasserstoffkernnetz geplant (FNB, 2023).

### Norddeutsches Reallabor im Großraum Hamburg

Im Großraum Hamburg entsteht das Norddeutsche Reallabor als Cluster mit Ausdehnung in die Bundesländer Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern. In diesem Projekt investieren 50 Partner aus Industrie und Forschung insgesamt 405 Mio. Euro, inkl. 55 Mio. Euro Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms. Das Projekt fokussiert sich auf die vollständig integrierte Produktion, Transport und Nutzung von Wasserstoff. Dabei sollen Synergien mit

dem Stromsektor durch netzdienlichen Elektrolyseurbetrieb sowie mit dem Wärmesektor durch Abwärmenutzung betrachtet werden. Konkret ist die Errichtung von Elektrolyseuren an mehreren Standorten geplant (bspw. Hamburger Hafen und Brunsbüttel) sowie der Aufbau neuer Nutzungsformen im Mobilitäts- und Industriesektor (bspw. Wasserstoff für die Kupferherstellung) (NRL, 2023).

Das Norddeutsche Reallabor bietet auch durch andere Faktoren Potential für den Aufbau eines regionalen Wasserstoff-Clusters: Der Großraum Hamburg weist bereits signifikante Kapazitäten erneuerbarer Energien in Form von Onshore Windenergieanlagen auf und bietet großes Potential für einen weiteren Ausbau von On- und Offshore Windenergieanlagen.

Die guten Voraussetzungen für grünen Wasserstoff spiegeln sich in zusätzlich vorhandenen Elektrolyseur-Projekten wider, bspw. dem „Hamburg Green Hydrogen Hub“ mit einer geplanten Kapazität von 100 MW bis 2026 (HGHH, 2023). Zusätzlich befindet sich im Kreis Dithmarschen bei Brunsbüttel mit „Westküste100“ ein weiteres Förderprojekt des BMWK zur Erforschung und Umsetzung der Produktion, des Transports und der Speicherung von Wasserstoff (WK100, 2023).

Schließlich weist die Region durch die vorhandene Chemieindustrie in Hamburg und Dithmarschen hohe Wasserstoffnachfragepotenziale auf (EWI, 2021) und soll mittelfristig an das Wasserstoffkernnetz angebunden werden (FNB, 2023).

Die beiden Beispiele geplanter Wasserstoff-Cluster zeigen Regionen, in denen eine Konzentration lokaler Projekte sowie gute Grundvoraussetzungen für eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft vorliegen. Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass sich erfolgreich Wasserstoff-Cluster bilden, in denen die oben beschriebenen allgemeinen Vorteile eines Clusters realisiert werden können.

## Handlungsempfehlungen zum Aufbau von Wasserstoff-Clustern

Cluster bringen diverse Vorteile mit sich. Sie können die Produktivität erhöhen, Innovationskraft steigern und die Gründung von Unternehmen vereinfachen. Durch organisches Wachstum dieser Cluster lässt sich der Markthochlauf für ein produziertes Gut oder eine Dienstleistung beschleunigen. Dies gilt insbesondere für den Wasserstoffmarkthochlauf. In Bezug auf Wasserstoff können Cluster neben den allgemeinen Vorteilen auch Infrastrukturkosten reduzieren. Dadurch bieten Wasserstoff-Cluster speziell für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft eine Chance.

Die Analyse des Status quos von Wasserstoffprojekten in Deutschland zeigt eine Konzentration geplanter Erzeugungsprojekte in vier Regionen Deutschlands: Mitteldeutsches Chemiedreieck, Metropolregion Rhein-Ruhr, Niedersachsen & Metropolregion Hamburg und Mecklenburgische Ostseeküste. Darüber hinaus ist aber auch eine Vielzahl dezentraler Einzelprojekte geplant. Viele dieser Projekte werden öffentlich gefördert. Die staatliche Förderung wirkt derzeit sehr breitgestreut und ohne klare Fokussierung. Zusätzlich sind viele der Projekte zwar öffentlich angekündigt, allerdings weisen nur wenige auch eine finale Investitionsentscheidung auf, sodass Unsicherheit besteht, wo tatsächlich Projekte realisiert werden.

Um den Wasserstoffmarkthochlauf durch den Aufbau von Clustern zu unterstützen, wird folgendes Vorgehen empfohlen:

1. **Identifikation:** Um die Potentiale für den erfolgreichen Aufbau eines Wasserstoff-Clusters zu identifizieren, sollte eine Analyse von Regionen in Deutschland durchgeführt werden. Diese kann sich nach den oben definierten Kriterien bzgl. Angebot, Infrastruktur, Nachfrage und Forschung & Bildung richten. Clusterpotentiale liegen dann vor, wenn mehrere dieser Kriterien von einem Standort oder einer Region erfüllt werden.
2. **Priorisierung:** Anhand der zuvor identifizierten Potentiale einzelner Regionen, sollte eine Liste ausgewählter Regionen mit besonderem Clusterpotential erstellt werden. Diese Priorisierung könnte in einem nächsten Schritt durch eine Gewichtung der Identifikationskriterien ergänzt werden.
3. **Fokussierte Unterstützung der priorisierten Regionen:** Förderung des Wasserstoff-Markthochlaufs sollte sich auf ausgewählte Regionen mit besonders hohem Wasserstoff-Clusterpotential fokussieren. Neben finanziellen Mitteln kann eine klare und regelmäßige politische Kommunikation helfen private Projekte und Investitionen anzuziehen. Darüber hinaus müssten flankierende Maßnahmen getroffen werden, wie bspw. beschleunigte Genehmigungsverfahren oder der Aufbau neuer und der Ausbau bestehender personeller Strukturen in zuständigen Ämtern. Zusätzlich kann die Förderung von Fachkräften durch Unterstützung bei der Aus- und Weiterbildung in den Regionen einem Fachkräftemangel entgegenwirken.

Durch Umsetzung der vorgestellten Maßnahmen erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einen Aufbau von Wasserstoff-Clustern zum Erfolg zu führen. Dies kann den Markthochlauf von Wasserstoff in Deutschland beschleunigen.

## Literatur

Agora Energiewende, & AFRY Management Consulting. (2021). No-regret hydrogen: Charting early steps for H<sub>2</sub> infrastructure in Europe.

[https://static.agoraenergiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021\\_02\\_EU\\_H2Grid/A-EW\\_203\\_No-regrethydrogen\\_WEB.pdf](https://static.agoraenergiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_02_EU_H2Grid/A-EW_203_No-regrethydrogen_WEB.pdf)

Asheim, B. T., & Gertler, M. S. (2006). The Geography of Innovation: Regional Innovation Systems. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0011>

Bleischwitz, R., Bader, N., Dannemand, P., & Nygaard, A. (2008). EU Policies and Cluster Development of Hydrogen Communities. Bruges european economic research paper No. 14.

[https://mpr.aub.uni-muenchen.de/14501/1/MPRA\\_paper\\_14501.pdf](https://mpr.aub.uni-muenchen.de/14501/1/MPRA_paper_14501.pdf)

BMBF. (2019). Zukunfts-Cluster Initiative „Clusters4Future“.

<https://www.clusters4future.de/foerderinitiative/ziele-der-zukunftscluster-initiative>

BMBF. (2022). Startschuss für Helmholtz-Cluster Wasserstoff.

<https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/kurzmeldungen/de/2022/09/startschuss-wasserstoff-innovationsregion.html>

BMWK. (2023). Fortschreibung der nationalen Wasserstoffstrategie.

[https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/Downloads/Fortschreibung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/Downloads/Fortschreibung.pdf?__blob=publicationFile&v=4)

CSHS. (2023). Center for Sustainable Hydrogen Systems. <https://www.h2.rwth-aachen.de/go/id/qdrlu/>

EHB. (2023). European Hydrogen Backbone Maps. <https://ehb.eu/page/european-hydrogen-backbone-maps>

E.ON & EWI. (2023). Datengrundlage für die H<sub>2</sub>Bilanz 2023. <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/datengrundlage-fuer-die-h2-bilanz-2023/>

EWI (2021). Hydrogen cluster Belgium, the Netherlands, and North-Western Germany: A projection and analysis of demand and production until 2030. [https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2021/10/211019\\_EWI\\_report\\_Hydrogen\\_cluster-BE\\_NL\\_NW-DE.pdf](https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2021/10/211019_EWI_report_Hydrogen_cluster-BE_NL_NW-DE.pdf)

EWI (2022). H<sub>2</sub>-Förderkompass - Kriterien und Instrumente zur Förderung von Wasserstoffanwendungen für den Markthochlauf. <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/h2-foerderkompass/>

EWI (2023). The Power of Scale - Economies of Scale and the Hydrogen Value Chain <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/publikationen/the-power-of-scale/>

FNB. (2023). Planungsstand für ein überregionales Wasserstoff-Kernnetz. <https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/>

HCH2. (2023). Helmholtz-Cluster Wasserstoff. <https://www.hch2.de/>

HGHH. (2023). Hamburg Green Hydrogen Hub. <https://www.hghh.eu/>

Lambert, M., & Schulte, S. (2021). Contrasting European hydrogen pathways: An analysis of differing approaches in key markets. The Oxford Institute for Energy Studies.

NRL. (2023). Norddeutsches Reallabor. <https://norddeutsches-reallabor.de/>

Ogden, J., & Nicholas, M. (2011). Analysis of a “cluster” strategy for introducing hydrogen vehicles in Southern California. Energy Policy, 39(4), 1923-1938.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.005>

Porter, M. E. (2000). Location, Competition, and Economic Development: Local Clusters in a Global Economy. Economic Development Quarterly, 14(1), 15-34.

<https://doi.org/10.1177/089124240001400105>

pv magazine. (2022). Siemens nimmt 8,75-Megawatt-Elektrolyseur in Oberfranken in Betrieb.

<https://www.pv-magazine.de/2022/09/15/siemens-nimmt-875-megawatt-elektrolyseur-in-oberfranken-in-betrieb/>

REFHYNE. (2023). Clean Refinery Hydrogen for Europe. <https://www.refhyne.eu/de/homepage-2/>

Schlund, D., Schulte, S., & Sprenger, T. (2022). The who’s who of a hydrogen market ramp-up: A stakeholder analysis for Germany. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 154, 111810.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111810>

Siemens. (2020). Siemens baut große CO<sub>2</sub>-freie Wasserstoffherstellungsanlage in Bayern.

<https://press.siemens.com/global/de/pressemitteilung/siemens-baut-grosse-co2-freie-wasserstoffherstellungsanlage-bayern>

WK100. (2023). Reallabor Westküste100. <https://www.westkueste100.de/>

W2G. (2019). Wind2Gas. <https://www.enko.energy/portfolio/wind2gas-energy>

ZCW. (2023). Zukunftscluster Wasserstoff. <https://h2-cluster.de/>