

Wasserstoffpotenziale in den Regionen im Strukturwandel



Hamburg, Juli 2022.

In unseren Studien und Veröffentlichungen bemühen wir uns um eine gleichberechtigte Repräsentanz von Frauen und Männern. Gleichzeitig möchten wir unsere Texte möglichst gut und effizient lesbar gestalten. Deshalb verzichten wir auf besondere Hervorhebungen innerhalb von Worten, wie z.B. *_Ix. Beim ersten Benennen einer gemischt-geschlechtlichen Gruppe in einem Text oder einem selbständig lesbaren Abschnitt, nennen wir einmal die weibliche und die männliche Form. Im Anschluss wird dann nur die männliche (oder auch nur die weibliche) Form verwendet, wobei dann immer Männer und Frauen gemeint sind. Dies kann zu einer Uneinheitlichkeit im Text führen, die aber in Teilen unvermeidbar und in Teilen auch gewünscht ist.

Auftraggeberin

Germany Trade and Invest (GTAI) Gesellschaft für Außenwirtschaft und Standortmarketing mbH
Friedrichstr.60
10117 Berlin

Bearbeitung der Studie



Autoren

Prof. Dr. Michal Bräuninger

Jonas Brock

Dr. Silvia Stiller

Dr. David Bothe

Dr. Theresa Steinfurt



Unterstützung bei der Potenzialbewertung

Ansprechpartner der Autoren

Prof. Dr. Michael Bräuninger
ETR: Economic Trends Research
Lerchenstraße 28
22767 Hamburg

Ansprechpartner der Auftraggeberin

Vanessa Becker, Richard Todd
Stabsstelle Neue Bundesländer / Strukturwandel
Germany Trade & Invest
Friedrichstraße 60
10117 Berlin

braeuninger@mb-etr.de
<http://economic-trends-research.de>

vanessa.becker@gtai.com
richard.todd@gtai.com
www.gtai.com

Inhaltsverzeichnis

Das Wichtigste in Kürze	5
1 Einleitung	7
2 Die Bewertung der regionalen Wasserstoffpotenziale	11
2.1 Angebotspotenziale	11
2.1.1 Regionale Erzeugungspotenziale	13
2.1.2 Regionale Importpotenziale	17
2.1.3 Regionen mit hohen Angebotspotenzialen	18
2.2 Nachfragepotenziale	20
2.2.1 Industrie	20
2.2.2 Verkehr	22
2.2.3 Wärme	24
2.2.4 Regionen mit hohen Nachfragepotenzialen	25
2.3 Wissenspotenziale	27
2.3.1 Förderung des Ausbaus der deutschen Wasserstoffindustrie	27
2.3.2 Regionen mit hohen Wissenspotenzialen	28
2.4 Gesamtbewertung	30
3 Regionalprofile der Cluster mit Wasserstoffpotenzialen	33
3.1 Norddeutschland	33
3.1.1 Das Cluster im Überblick	33
3.1.2 Regionalwirtschaft	36
3.1.3 SWOT	37
3.2 Berlin-Brandenburg-Lausitz	43
3.2.1 Das Cluster im Überblick	43
3.2.2 Regionalwirtschaft	45
3.2.3 SWOT	46
3.3 Mitteldeutschland	53
3.3.1 Das Cluster im Überblick	53
3.3.2 Regionalwirtschaft	55
3.3.3 SWOT	56

3.4 Nordrhein-Westfalen	61
3.4.1 Das Cluster im Überblick	61
3.4.2 Regionalwirtschaft	63
3.4.3 SWOT	64
4 Handlungsansätze	69
Literatur	73

Das Wichtigste in Kürze

Für den langfristigen Erfolg der Energiewende ist Wasserstoff von zentraler Bedeutung. Wasserstoff erlaubt es, erneuerbare Energie zu speichern und zu transportieren. Damit eröffnet er in Deutschland die Möglichkeit, regional und temporär vorhandene Überschusserzeugungen von erneuerbarem Strom zu nutzen. Gleichzeitig kann Wasserstoff in verschiedenen Regionen der Welt erzeugt werden, die günstige Bedingungen für erneuerbare Energien bieten (Platzbedarf, Sonne, Wind) und von dort nach Deutschland importiert werden.

Für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft sind erhebliche Investitionen in die Infrastruktur zur Erzeugung und Verteilung von Wasserstoff notwendig. Gleichzeitig müssen über Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten Kompetenzen in neuen Technologien aufgebaut werden. Von den Investitionen in die Wasserstoffwirtschaft können Regionen im Strukturwandel profitieren, wobei drei verschiedene Wirkungskanäle bedeutsam sind:

1. **Zukunftsfähiger Umbau der Industrie:** Die Verwendung von Wasserstoff schafft die Möglichkeit, bestimmte industrielle Strukturen zu dekarbonisieren und zukunftsfähig zu gestalten. Gleichzeitig bietet die Verwendung von Wasserstoff auch neue Optionen, die Energiewende im Verkehrs- und Wärmebereich voranzutreiben.
2. **Zukunftsfähige Energiewirtschaft:** Die Erzeugung und Verteilung von Wasserstoff erfordert den Aufbau einer eigenständigen energiewirtschaftlichen Branche, in der Beschäftigung und Wertschöpfung generiert wird.
3. **Zukunftsfähige neue Technologien:** Da Wasserstoffherstellung und -verwendung in verschiedenen Ländern stattfindet, können mit der Entwicklung von neuen Technologien und Anlagen in Deutschland auch neue Exportprodukte verbunden sein. Der Aufbau einer neuen Branche und der damit verbundenen neuen Infrastruktur kann erhebliche Impulse für die wirtschaftliche Entwicklung an einzelnen Standorten oder in einzelnen Regionen geben.

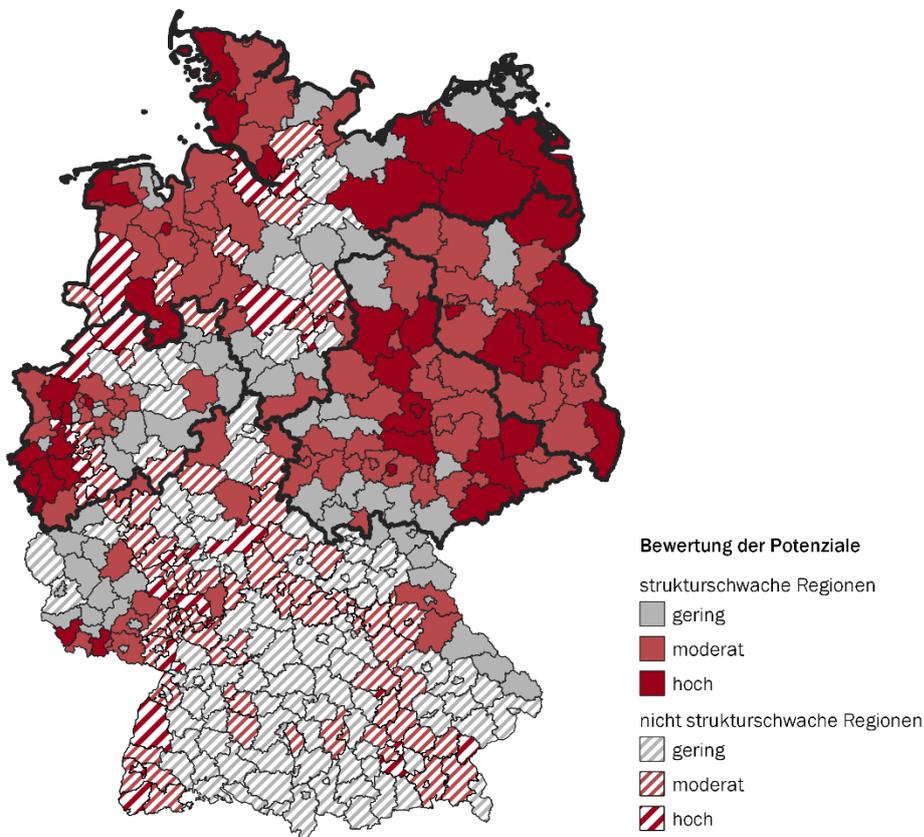
Die positiven Effekte der Wasserstoffwirtschaft auf den Strukturwandel werden nicht in allen Regionen im gleichen Maße eintreten. Um die Potenziale der Wasserstoffwirtschaft in den strukturschwachen Regionen zu ermitteln, werden in der Studie Bewertungen der Angebotspotenziale, der Nachfragepotenziale und der Wissenspotenziale vorgenommen. Dabei zeigt das Angebotspotenzial, ob und in welchem Umfang Wasserstoff in der Region verfügbar ist, wobei die Verfügbarkeit auf der regionalen Erzeugung oder aber auf dem Import beruhen kann. Das Nachfragepotenzial misst, in welchem Umfang Wasserstoff in der Region genutzt werden könnte. Das Wissenspotenzial bildet ab, in welchem Umfang Erfahrungen mit der Herstellung oder Nutzung von Wasserstoff bestehen. Auf Basis der drei Potenzialbewertungen erfolgt dann eine Bewertung des Wasserstoffpotenzials insgesamt.

Die Regionen im Strukturwandel mit hohen oder moderaten Wasserstoffpotenzialen können in vier Clustern geordnet werden:

- Das Cluster Norddeutschland mit 49 Wasserstoffpotenzialregionen, von denen sich 35 im Strukturwandel befinden.
- Das Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz mit 18 Wasserstoffpotenzialregionen, die sich alle im Strukturwandel befinden.
- Das Cluster Mitteldeutschland mit 36 Wasserstoffpotenzialregionen, die sich alle im Strukturwandel befinden.
- Das Cluster Nordrhein-Westfalen mit 32 Wasserstoffpotenzialregionen, von denen sich 19 im Strukturwandel befinden.

In allen vier Clustern lassen sich in Bezug auf die Wirkungen der Wasserstoffwirtschaft auf die wirtschaftliche Entwicklung und den Strukturwandel positive Effekte über alle drei Wirkungskanäle identifizieren, wobei im norddeutschen Cluster ein Schwerpunkt im Bereich der Erzeugung und Verteilung von Wasserstoff liegt. Auch im Cluster Berlin-Bandenburg-Lausitz finden sich hohe Erzeugungspotenziale und zugleich hohe Nachfragepotenziale im Bereich Verkehr und Wärme. In Nordrhein-Westfalen und im mitteldeutschen Cluster liegen die Schwerpunkte in industriellen Anwendungen.

Abbildung: Die regionale Verteilung der Wasserstoffpotenziale

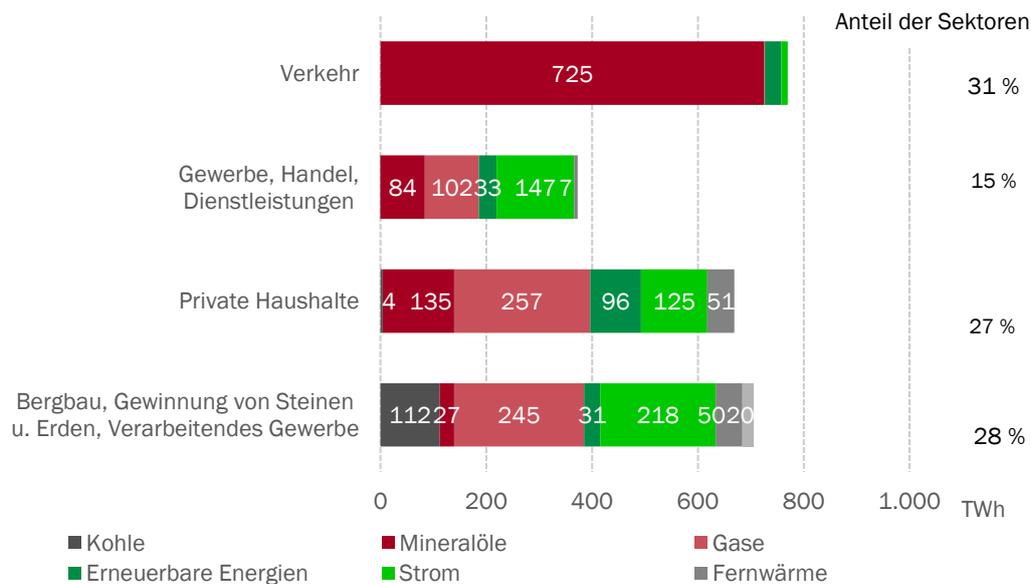


1 | Einleitung

Ausgangssituation

Deutschland hat sich zur Einhaltung ehrgeiziger Klimaziele verpflichtet. Das deutsche Minderungsziel für die Emission von Treibhausgasen bis 2030 von mindestens 55 Prozent gegenüber 1990 wurde im Energiekonzept 2010 erstmals festgelegt. Im Klimaschutzplan 2050 hat die Bundesregierung diese Ziele bestätigt und Sektorziele für die Emissionsminderung festgelegt. Im Klimaschutzprogramm 2030 wurden sektorbezogene und übergreifende Maßnahmen konkretisiert. Von zentraler Bedeutung für das Erreichen der Klimaschutzziele ist der Umstieg auf erneuerbare Energien. Derzeit liegt der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch bei 17,4 Prozent. Dabei werden erneuerbare Energien insbesondere über Strom, der zu 42,3 Prozent erneuerbar erzeugt wird, genutzt. Vor diesem Hintergrund stellt sich das Ziel der Bundesregierung ausgesprochen anspruchsvoll dar.

Abbildung 1: Endenergieverbrauch nach Energieträgern



Quelle: AG-Energiebilanzen Daten für 2019

In den nächsten Jahren müssen die erneuerbaren Energien die Kapazitäten der Kernenergie und der Kohle bei der Stromerzeugung ersetzen.¹ Außerdem wird erneuerbarer Strom für

¹ Dabei hat Kohle derzeit einen Anteil von 19,5 Prozent an der Stromerzeugungskapazität und erzeugt damit 25 Prozent des Stroms. Die Kernenergie hat einen Anteil von 3,6 Prozent an der Kapazität und erzeugt damit 12,4 Prozent des Stroms.

weitere Anwendungen im Verkehr und Wärmebereich benötigt, wobei gleichzeitig die Akzeptanz von Wind- und Solaranlagen sinkt. Vor diesem Hintergrund ist die Fortsetzung der bisherigen Entwicklungen und Strategien in der Energiewende nicht ausreichend. Eine wichtige Option für die Zukunft ist der Einsatz von Wasserstoff, der als Energieträger speicher- und transportierbar ist. In Deutschland können die regional und temporär vorhandenen Überschusserzeugungen von erneuerbarem Strom, die andernfalls abgeregelt werden müssten, für die Erzeugung von Wasserstoff genutzt werden. Darüber hinaus kann Wasserstoff in verschiedenen anderen Regionen der Welt erzeugt werden, die günstige Bedingungen (Platzbedarf, Sonne, Wind) für erneuerbare Energien bieten und von dort nach Deutschland importiert werden.

Der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft

Um grünen Wasserstoff als Kernelement der Energiewende zu etablieren, hat die Bundesregierung die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) verabschiedet. Diese schafft einen Handlungsrahmen und die regulativen Voraussetzungen für die künftige Erzeugung, den Transport, die Nutzung und Weiterverwendung von Wasserstoff. Die NWS definiert die Schritte, die notwendig sind, um zur Erreichung der Klimaziele beizutragen, neue Wertschöpfungsketten für die deutsche Wirtschaft zu schaffen und die internationale energiepolitische Zusammenarbeit weiterzuentwickeln. Damit werden auch die notwendigen Innovations- und Investitionsanreize gesetzt. Indem Forschung und Entwicklung und der Technologieexport rund um innovative Wasserstofftechnologien forciert werden, steigt die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Unternehmen, so dass positive Impulse für Wertschöpfung und Beschäftigung entstehen.

Für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft sind erhebliche Investitionen in die Infrastruktur zur Erzeugung und Verteilung von Wasserstoff notwendig. Die Verwendung von Wasserstoff schafft die Möglichkeit, bestimmte industrielle Strukturen zu dekarbonisieren und zukunftsfähig zu gestalten. Gleichzeitig bietet die Verwendung von Wasserstoff auch neue Optionen, die Energiewende im Verkehrs- und Wärmebereich voranzutreiben. Sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite müssen neue Verfahren und Anlagen entwickelt werden. Dazu sind erhebliche Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten notwendig, die zu einem Aufbau von Kompetenzen im Bereich der neuen Technologien führen. Da Wasserstoffherstellung und -verwendung in verschiedenen Ländern stattfindet, können mit der Entwicklung von neuen Technologien und Anlagen in Deutschland auch neue Exportprodukte verbunden sein.

² Grundlage für diese Untersuchung sind verschiedene Potenzialstudien, in denen die Wasserstoffpotenziale in verschiedenen Sektoren abgeschätzt werden, hervorzuheben sind dabei dena (2016) und Fraunhofer (2019).

Der Aufbau einer neuen Branche und der damit verbundenen neuen Infrastrukturen kann erhebliche Impulse für die wirtschaftliche Entwicklung an einzelnen Standorten oder in einzelnen Regionen geben. Im Folgenden soll untersucht werden, inwieweit die strukturschwachen Regionen in Deutschland durch den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft positive Effekte auf Wertschöpfung und Beschäftigung erwarten können und welche Maßnahmen gegebenenfalls notwendig sind, damit diese eintreten. Abbildung 2 verdeutlicht die drei möglichen Wirkungskanäle. Dabei können sich in einzelnen Regionen über alle drei Kanäle positive Wirkungen entfalten, während in anderen Regionen nur einzelne der Kanäle wirksam werden.

Abbildung 2: Wirkungen des Aufbaus der Wasserstoffwirtschaft auf die regionale Entwicklung

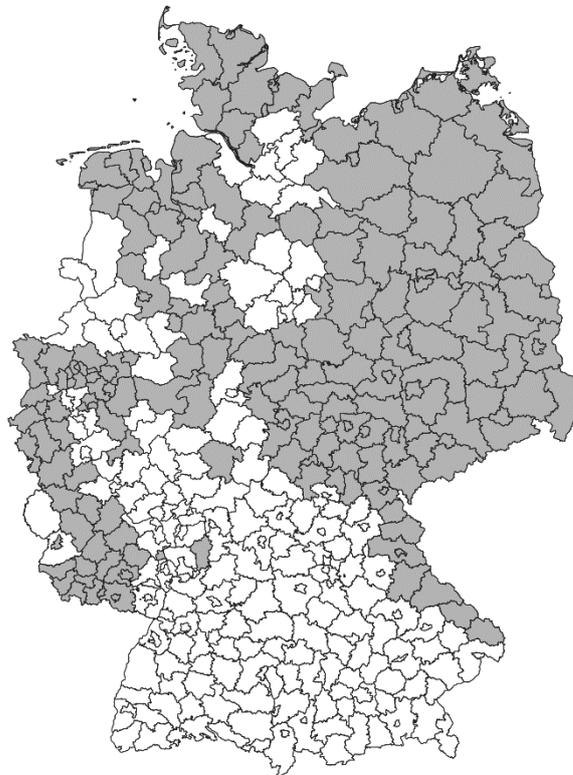


Gang der Untersuchung

Im Folgenden werden die Potenziale der Wasserstoffwirtschaft in den Kreisen und kreisfreien Städten (diese werden im Weiteren als Regionen bezeichnet) in Deutschland bewertet. Im Vordergrund stehen dabei Regionen im Strukturwandel, da diese gezielt gefördert werden sollen. Synonym werden diese entsprechend der GRW-Terminologie auch als strukturschwache Regionen bezeichnet. Zu diesen Regionen gehören die GRW-Fördergebiete sowie die vom Kohleausstieg betroffenen Regionen im Rheinischen Revier (vgl. Abbildung 3). Insgesamt gibt es in Deutschland 193 Regionen im Strukturwandel.

Im nächsten Kapitel werden verschiedene Indikatoren zur Bewertung der Potenziale für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft in den deutschen Regionen entwickelt. Dann folgt die Bewertung der Potenziale in den Kreisen und kreisfreien Städten. Es zeigt sich, dass die Regionen im Strukturwandel mit Wasserstoffpotenzialen im Wesentlichen in vier regionalen Clustern angesiedelt sind. Für diese Cluster wird im dritten Kapitel jeweils ein Regionalprofil mit einer SWOT-Analyse erstellt. Einige Handlungsansätze zur Förderung der Wasserstoffwirtschaft in den strukturschwachen Regionen werden im vierten Kapitel aufgezeigt.

Abbildung 3: Regionen im Strukturwandel



Quelle: BMWI 2021

2 | Die Bewertung der regionalen Wasserstoffpotenziale

Die Bewertung der regionalen Wasserstoffpotenziale gliedert sich in drei Kategorien:

1. Die Angebotspotenziale
2. Die Nachfragepotenziale
3. Die Wissenspotenziale

Das Angebotspotenzial zeigt, ob und in welchem Umfang Wasserstoff in der Region verfügbar ist, wobei die Verfügbarkeit auf der regionalen Erzeugung oder aber auf dem Import beruhen kann. Das Nachfragepotenzial misst, in welchem Umfang Wasserstoff in der Region genutzt werden könnte. Das Wissenspotenzial bildet ab, in welchem Umfang Erfahrungen mit der Herstellung oder Nutzung von Wasserstoff bestehen oder im Rahmen von laufenden Projekten gebildet werden.

Im Folgenden wird für jede Region eine Bewertung des Wasserstoffpotenzials in den drei verschiedenen Kategorien vorgenommen, wobei jeweils verschiedene Indikatoren herangezogen werden. Als Ergebnis der Bewertung erfolgt eine Einstufung der Regionen in solche mit niedrigem, moderatem oder hohem Potenzial. Im Anschluss wird eine Gesamtbewertung der regionalen Wasserstoffpotenziale vorgenommen.

2.1 | Angebotspotenziale

Das zukünftige Angebot von grünem Wasserstoff beruht zum einen auf der heimischen Erzeugung und zum anderen auf Importen. Die Relation dieser beiden Komponenten wird in den Zielen der Bundesregierung deutlich. Für die heimische Erzeugung von Wasserstoff strebt die Bundesregierung an:

- die H₂-Erzeugungslleistung bis zum Jahr 2030 auf 5 GW zu erhöhen und damit eine Erzeugungsmenge von 14 TWh/a zu erzielen³ und
- die Erzeugungslleistung bis zum Jahr 2040 auf 10 GW zu erhöhen, um damit eine Erzeugungsmenge von 28 TWh/a zu erreichen.

Dabei stellen die in der nationalen Wasserstoffstrategie genannten Ziele eine Untergrenze der möglichen Entwicklung dar. So wird zum Beispiel im Entwurf des Koalitionsvertrags vom 24.11.2021 schon für das Jahr 2030 ein Elektrolysekapazität von 10 Gigawatt ange-

³ Annahme: 4.000 Volllaststunden und ein durchschnittlicher Wirkungsgrad der Elektrolyseanlagen von 70 Prozent, vgl. dazu Die Nationale Wasserstoffstrategie (BMW 2020).

strebt. Bei einem erwarteten H₂-Bedarf von 90 bis 110 TWh/a im Jahr 2030 und einer weiter kräftig steigenden Nachfrage in den Jahren danach,⁴ kann demnach nur ein kleiner Teil dieses Bedarfs durch die heimische Produktion gedeckt werden und der größte Teil des Bedarfs muss importiert werden. Dennoch sind die regionalen Erzeugungspotenziale für die wirtschaftliche Entwicklung in den Regionen von großer Bedeutung: Ein starker Heimatmarkt für Wasserstoff generiert Wissens- und Wettbewerbsvorteile, die dann auf dem internationalen Absatzmarkt für Anlagen zur Erzeugung und Weiterverarbeitung von Wasserstoff genutzt werden können.

Die Anlagen mit der größten Bedeutung für die Erzeugung von grünem Wasserstoff sind bisher Elektrolyseure, die mit erneuerbarem Strom Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufspalten. Voraussetzung dafür ist, neben der Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom, insbesondere die hinreichende Verfügbarkeit von Wasser.⁵ Inzwischen wird aber auch in verschiedenen Pilotanlagen Wasserstoff aus anderen Grundstoffen gewonnen. Eine besondere Bedeutung hat dabei die Wasserstoffgewinnung aus Abfall wie zum Beispiel Rest- und Altholz, aufbereiteter Siedlungsabfall, Abfälle aus dem Autorecycling oder aus dem Abwasser.⁶

In vielen Projekten und Anwendungen wird der Wasserstoff nicht direkt genutzt, sondern in Form von Folgeprodukten, wie zum Beispiel als Ammoniak oder nach einer Methanisierung, als erneuerbares Gas oder E-Fuels. Diese werden in Power-to-X-Anlagen (PtX-Anlagen: Power to Gas; Power to Liquid; ...) erzeugt, wo der Wasserstoff mit CO₂ verbunden wird. In kleineren Pilotanlagen wird dieses direkt aus der Luft gewonnen. Im größeren Maßstab kann CO₂ entweder aus Biomasse gewonnen werden oder bei industriellen Prozessen entzogen werden, bei denen die CO₂-Emissionen nicht vermieden werden können.

⁴ Die von BCG für den BDI erstellten Klimaszenarien gehen für 2040 Wasserstoffbedarf 240 TWh aus,
⁵ Für 1 kg Wasserstoff werden 9 kg Wasser benötigt. Die derzeitigen Anlagen verwenden hierfür sauberes Trinkwasser, vgl. TGA (2021). In Forschungsprojekten wird mit Salzwasser und verunreinigtem Wasser experimentiert.

⁶ Beispiele sind das schon seit 2016 laufende Projekt der ReEnvision GmbH in Kooperation mit der Universität Siegen (vgl. EnergieAgentur.NRW) und die in Berlin entwickelte Plasmalyse (vgl. future:fuels 2020).

2.1.1 | Regionale Erzeugungspotenziale

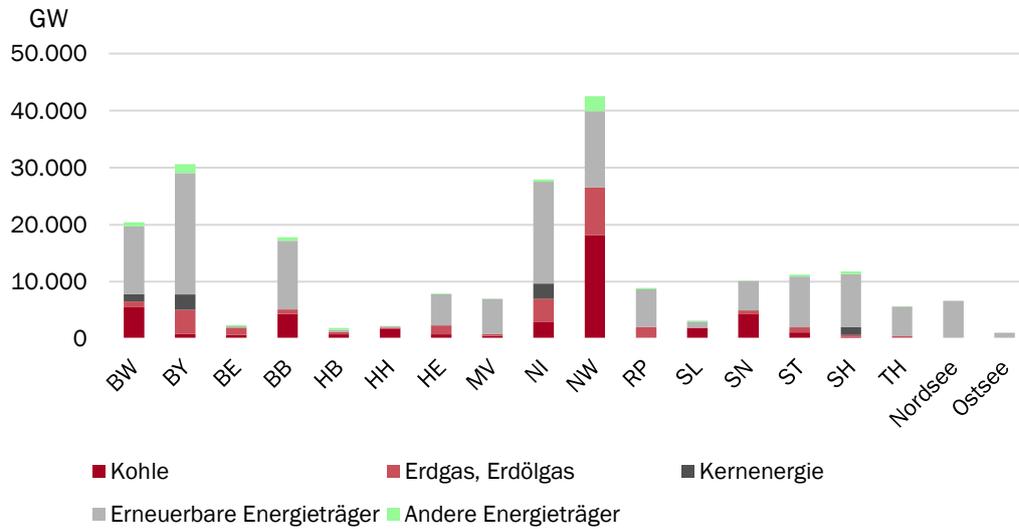
Die regionalen Potenziale zur Erzeugung von grünem Wasserstoff sind zunächst abhängig von der Möglichkeit zur Erzeugung erneuerbaren Stroms. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die direkte Verwendung des erneuerbaren Stroms der Umwandlung in Wasserstoff vorzuziehen ist, da Umwandlungsverluste vermieden werden. Dies bedeutet, dass die Regionen mit hohen Erzeugungspotenzialen von erneuerbaren Energien nur ein geringes Potenzial zur Erzeugung von Wasserstoff haben, wenn der Strom lokal benötigt wird oder Leitungen zur Verfügung stehen, die eine Weiterleitung in andere Regionen mit entsprechendem Bedarf ermöglichen.

Im Folgenden wird zunächst die Stromerzeugung durch erneuerbare Energien betrachtet und in Relation zu der derzeitigen Erzeugung mit fossilen Energieträgern gesetzt. Im Anschluss wird gezeigt, dass über erneuerbare Energien Überschussstrom erzeugt wird, der derzeit nicht verwendet werden kann. In Regionen mit hoher Ausfallarbeit⁷ können heute schon Elektrolyseure für die Erzeugung von Wasserstoff genutzt werden. Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Stromerzeugungskapazitäten über die Bundesländer und Abbildung 5 die Verteilung des damit erzeugten Stroms.

Die höchsten Stromerzeugungskapazitäten liegen in Nordrhein-Westfalen, wo ein Viertel des Stroms in Deutschland hergestellt wird. Die höchsten Kapazitäten zur Erzeugung von erneuerbarem Strom liegen in den Flächenländern Bayern, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. Entsprechend findet in diesen Ländern auch die höchste Erzeugung von erneuerbarem Strom statt. Dabei hat Nordrhein-Westfalen zugleich mit 31 Prozent – abgesehen von den Stadtstaaten – den geringsten Anteil an den erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten und den gesamten Kapazitäten. Bezüglich dieses Indikators ist Thüringen mit einem Anteil von 92 Prozent führend. Die Anteile der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung liegen zwischen 60 Prozent in Schleswig-Holstein und 14 Prozent in Nordrhein-Westfalen.

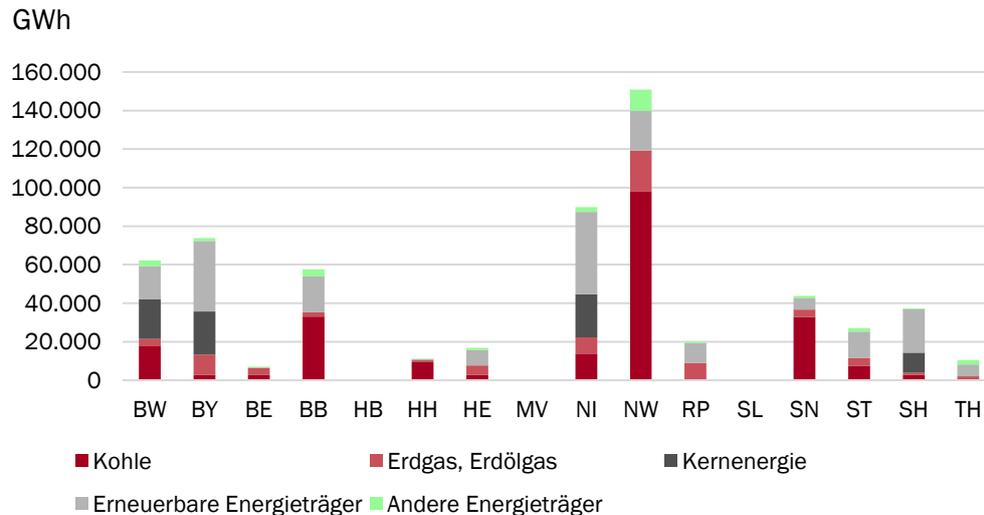
⁷ Die Ausfallarbeit entspricht dem Energieverlust durch Abregelung im Rahmen des Einspeisemanagement. Die Ausfallarbeit wird über die Netznutzungsentgelte entschädigt.

Abbildung 4: Stromerzeugungskapazitäten 2018



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen; ETR.

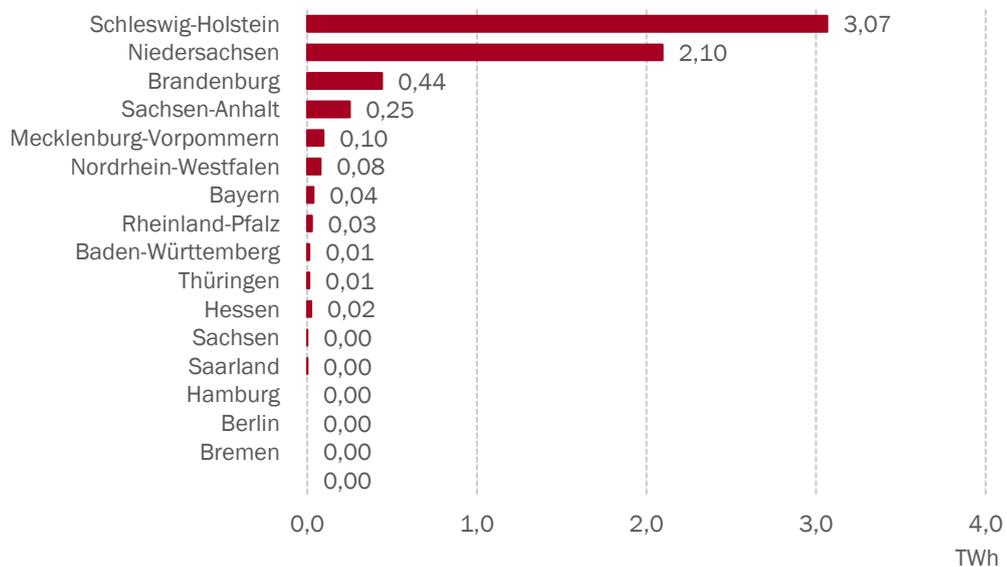
Abbildung 5: Bruttostromerzeugung 2018



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen; ETR.

Im Jahr 2020 hätten in Deutschland aus erneuerbaren Energien 6,14 TWh erzeugt werden können, die aber nicht über das Netz an Anwender gebracht werden konnten und deshalb abregelt wurden. Etwa die Hälfte dieser Abregelung erfolgte in Schleswig-Holstein, wo es eine sehr hohe Einspeisung von Windstrom gibt, wobei der lokale Strombedarf gleichzeitig relativ gering ist (vgl. Abbildung 6). In Nordrhein-Westfalen gab es trotz hoher Erzeugung von erneuerbaren Energien kaum Abregelungen, da der lokale Bedarf hoch ist und zugleich gut ausgebaute Netze in andere Regionen von Deutschland vorhanden sind.

Abbildung 6: Regionale Verteilung der Ausfallarbeit im Jahr 2020



Quelle: BNetzA; ETR.

Bewertung der Erzeugungspotenziale

Obwohl derzeit einige Pilotanlagen in Betrieb sind, in denen Wasserstoff mit Strom aus Photovoltaikanlagen erzeugt wird, ist davon auszugehen, dass die Erzeugung von Wasserstoff in Deutschland in den nächsten Jahren im Wesentlichen über Windenergie erfolgt.⁸ Dabei erfordern die PtX-Anlagen Windparks mit hinreichend großen Kapazitäten, wobei verschiedene Windparks zusammengeschlossen werden können. Insofern werden die Erzeugungspotenziale in den Regionen anhand der kumulierten Windkapazitäten (WK) in den jeweiligen Regionen bewertet, wobei die Grenzen auf Basis der empirischen Verteilung wie folgt gesetzt wurden:

- hoch: $WK > 200 \text{ MW}$ (19 Regionen im Strukturwandel)
- moderat: $100 \text{ MW} < WK < 200 \text{ MW}$ (20 Regionen im Strukturwandel)
- gering: $50 \text{ MW} < WK < 100 \text{ MW}$ (10 Regionen im Strukturwandel).

In den nächsten Jahren werden zunehmend Onshore-Windenergieanlagen in Betrieb sein, die das Alter von 20 Jahren überschreiten. Diese scheiden dann aus der Fördersystematik des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) aus, da diese Förderung auf maximal 20 Jahre

⁸ Dies wird auch aus der Tatsache deutlich, dass die Solaranlagen einen Anteil von etwa 10 Prozent am abgeregelten Strom hatten. Der Anteil der Onshore-Windanlagen lag bei 75 Prozent, der der Offshore-Windanlagen bei 15 Prozent (vgl. Bundesnetzagentur 2020).

begrenzt ist. Ein gewisser Teil der Windenergieanlagen wird repowered, das heißt, es erfolgt ein standortgleicher und leistungsstärkerer Ersatz.⁹ Ein weiterer Teil der Anlagen wird voraussichtlich unverändert oder mit einer Revision weiterbetrieben werden. Strom aus diesen Anlagen wird dann direkt an den Strombörsen oder über sogenannte Power Purchase Agreements (PPA) veräußert. Zudem besteht die Möglichkeit, den Strom mittels PtX-Technologien umzuwandeln.

Abbildung 7 zeigt die regionale Verteilung der Windenergiepotenziale in Deutschland und Abbildung 8 zeigt die Verteilung der Anlagen, die älter als 10 Jahre sind und damit absehbar aus dem EEG ausscheiden. Hohe Windenergiepotenziale finden sich insbesondere an den Küsten in Niedersachsen und Schleswig-Holstein sowie in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg. Die Potenziale im Süden und im Westen von Deutschland sind dagegen gering.

Abbildung 7: Kapazität der Windenergieanlagen
Alle Anlagen

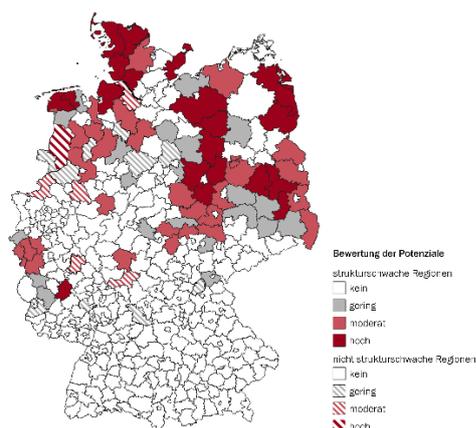
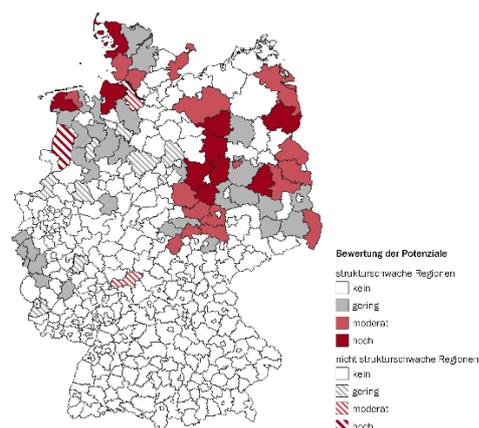


Abbildung 8: Kapazität der Windenergieanlagen
Anlagen, die älter als 10 Jahre sind



Quelle: BNetzA, ETR

⁹ Vgl. dazu Bundesverband WindEnergie e.V. (2018) und (2020) sowie Deutsche WindGuard GmbH (2020) und Fachagentur Windenergie an Land (2018).

2.1.2 | Regionale Importpotenziale

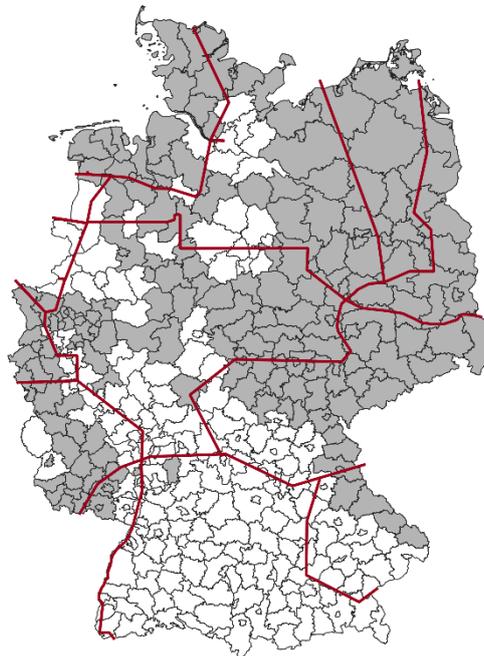
Um in einzelnen Regionen Wasserstoff zu verwenden, muss dieser nicht notwendig in diesen Regionen erzeugt werden, sondern er kann aus anderen Regionen im In- und Ausland importiert werden. Dabei kann der Transport über Schiff, Bahn und Lkw erfolgen. Im Wesentlichen wird er aber über Pipelines erfolgen. Insofern ist die Verfügbarkeit von Wasserstoffleitungsnetzen von zentraler Bedeutung für das Wasserstoffpotenzial einer Region. Um den Netzausbau langfristig zu planen, hat die Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas (FNB) im Jahr 2019 eine Studie zur Regionalisierung von Wasserstoffherzeugung und -verbrauch von der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH erstellen lassen (FfE 2019). Danach sind die potenziellen inländischen Erzeugungsschwerpunkte von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien zukünftig überwiegend in den Regionen Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg zu erwarten. Die Fernleitungsnetzbetreiber haben zudem eine Marktpartnerabfrage für derzeit in der Entwicklung befindliche Grüngasprojekte durchgeführt. Dabei wurden insbesondere die Wasserstoffprojekte in der Industrie berücksichtigt. Vor diesem Hintergrund wurde ein mögliches Zukunftsbild für ein überregionales Wasserstoffnetz entwickelt (vgl. Abbildung 9).

Die dargestellten Leitungen verbinden Regionen der Wasserstoffherzeugung und des Wasserstoffverbrauchs überwiegend unter Nutzung der bestehenden Erdgasnetze. Das gesamte Netz hat dann eine Länge von etwa 5.900 km. Es verläuft durch insgesamt 154 Landkreise, davon sind 66 Regionen im Strukturwandel.

Die Fernleitungsnetzbetreiber werden dieses Wasserstoffnetz stetig weiterentwickeln. Außerdem haben sie im Mai 2020 erste konkrete Pläne für den H₂-Netzaufbau aufgestellt. Erste Leitungen werden 2022 umgestellt. Dann wird schrittweise bis 2030 (insbesondere in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen) der Kern für das deutschlandweite

H₂-Netz geschaffen. Im Jahr 2030 soll das H₂-Startnetz eine Länge von über 1.200 km haben und die wesentlichen Bedarfsschwerpunkte mit Grüngas-Projekten zur Wasserstoff-Erzeugung verbinden.

Abbildung 9: Geplantes Wasserstofffernleitungsnetz



Quelle: FNB Gas; ETR

2.1.3 | Regionen mit hohen Angebotspotenzialen

Die Bewertung der Windenergiepotenziale erfolgt in der vorliegenden Analyse in der Regel auf Basis der Kapazitäten von Windparks, die älter als 10 Jahre sind, da die neueren im EEG geförderten Anlagen vorrangig in das Netz einspeisen werden. Eine Ausnahme von dieser Regel wird in Schleswig-Holstein und Niedersachsen gemacht, wo die Gesamtkapazitäten verwendet werden, da es hier häufiger zu Abregelungen kommt. Für die Bewertung der regionalen Angebotspotenziale wird die Summe aus der Bewertung für die Windeinspeisung und das Wasserstofffernleitnetz gebildet. Es werden die folgenden Bewertungen gebildet:

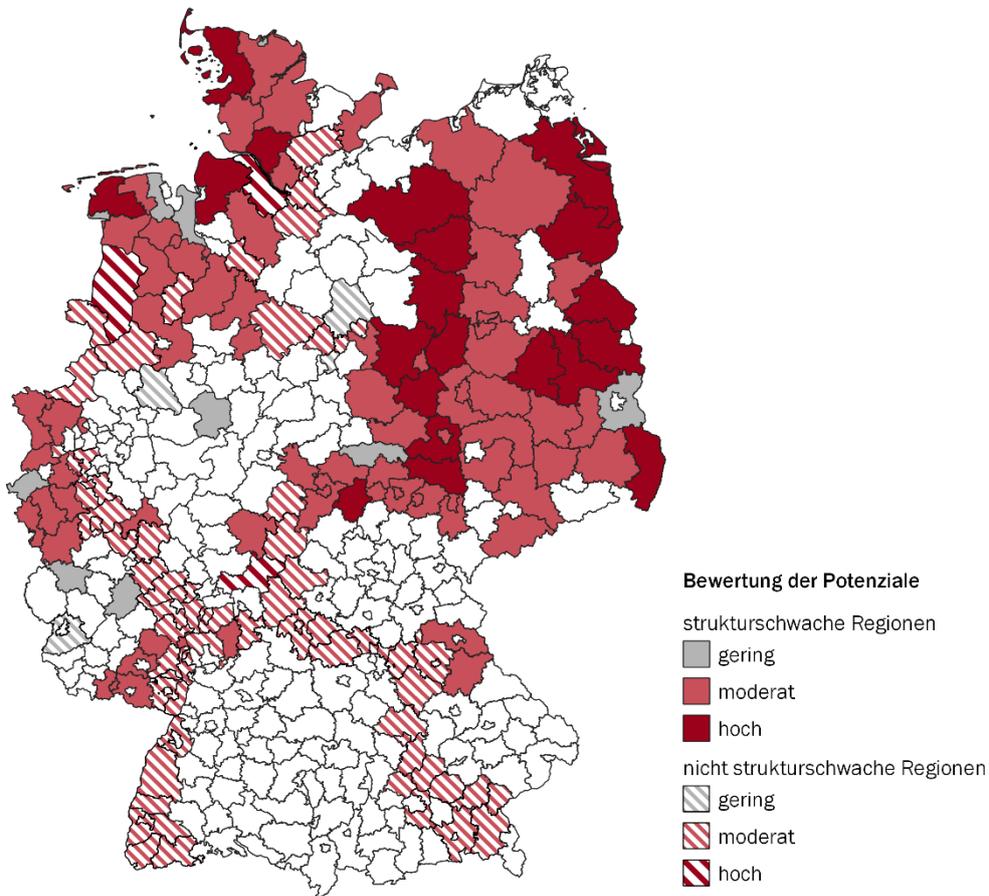
- hoch: Bei einem sehr hohen Einspeisepotenzial oder einem hohen Einspeisepotenzial und einem möglichen Netzanschluss (insgesamt 23 Regionen, davon 20 im Strukturwandel)
- moderat: Bei einem möglichen Netzanschluss oder einem hohen Einspeisepotenzial (144 Regionen, davon 72 im Strukturwandel)
- gering: Bei geringem Einspeisepotenziale und keinem Netzanschluss (14 Regionen, 10 davon im Strukturwandel)

Die Karte in Abbildung 10 zeigt hohe Angebotspotenziale insbesondere im Norden an den Küsten, wo sowohl On- als auch Offshore-Windenergie zur Verfügung steht, um Wasserstoff zu produzieren. Darüber hinaus ergeben sich Potenziale aus den Importmöglichkeiten. Dies gilt insbesondere für Wilhelmshaven, wo die vorhandene Hafeninfrastruktur für den Wasserstoffimport umgewidmet werden kann. Außerdem könnten auch Importe über das bestehende Erdgasnetz aus den Niederlanden erfolgen, wobei der Wasserstoff dort erzeugt oder über die Häfen importiert werden könnte.

Auch im Osten wird ein relativ dichtes Wasserstoffnetz ausgebaut. Gleichzeitig finden sich dort auch relativ hohe Kapazitäten zur Erzeugung erneuerbarer Energien aus Wind. Diese würden noch weiter zunehmen, wenn auch die perspektivisch vorhandene Möglichkeit zur Wasserstoffherzeugung über Photovoltaik berücksichtigt würde. Andererseits herrscht in einigen Regionen mit hohem Erzeugungspotenzial schon heute Wassermangel, was die Erzeugung von großen Wasserstoffmengen über Elektrolyse erschwert. Positiv wirkt sich in Niedersachsen und in Mitteldeutschland auch aus, dass Kavernen vorhanden sind, in denen Wasserstoff gespeichert werden könnte.

In Nordrhein-Westfalen sind zwar in den letzten Jahren auch hohe Kapazitäten zur Erzeugung erneuerbarer Energien aufgebaut worden, wobei diese aber genutzt werden, um den Strombedarf in der Region zu befriedigen. Darüber hinaus gibt es in dem Bundesland, das lange wichtiger Exporteur von Energie war, gute ausgebaute Netze in andere Regionen. Somit steht hier kaum erneuerbarer Strom zur Erzeugung von Wasserstoff zur Verfügung.

Abbildung 10: Bewertung der Angebotspotenziale



2.2 | Nachfragepotenziale

Derzeit wird Wasserstoff in verschiedenen Bereichen der Industrie benötigt, wobei der jährliche Bedarf bei 55 TWh liegt und fast vollständig über fossile Energieträger gewonnen wird. Die Bundesregierung rechnet in der NWS damit, dass der Bedarf bis zum Jahr 2030 von 90 bis auf 110 TWh/a steigt. Für den langfristigen Bedarf bis zum Jahr 2050 sehen verschiedene Studien (z.B. BMU Klimaschutzszenarien, BDI Klimapfade, ...) eine Bandbreite von 110 bis 900 TWh/a. Dabei entstehen die großen Spannen hinsichtlich der Abschätzung des zukünftigen Wasserstoffbedarfs in der Industrie unter anderem, weil es noch sehr unklar ist, in welchen Bereichen Wasserstoff zukünftig eingesetzt wird. In bestimmten Sektoren der Industrie gibt es derzeit keine alternative Lösung, um die Prozesse zu dekarbonisieren. Ähnliches gilt im Verkehrssektor im Bereich der Schifffahrt und des Schwerlastverkehrs.

In der politischen Diskussion wird zum Teil gefordert, den zunächst knappen Wasserstoff für Sektoren vorzuhalten, in denen keine anderen Möglichkeiten zu Dekarbonisierung bestehen. Gegen die bevorzugte Behandlung ausgewählter Sektoren spricht, dass Wasserstoffanwendungen in verschiedensten Sektoren eine stabilere Nachfrageentwicklung garantieren, wobei gerade im Verkehrssektor eine vergleichsweise hohe Zahlungsbereitschaft vorliegt. Eine sehr stabile Nachfrageentwicklung könnte auch die Verwendung von Wasserstoff im Wärmebereich bieten. Die Wasserstoffnachfrage aus dem Verkehrs- und Wärmesektor treibt die Preise für grünen Wasserstoff nach oben. Steigende Preise geben Anreize, Investitionen vorzunehmen und Produktionskapazitäten auszubauen (vgl. Bräuninger u.a. 2020). So sorgt die mit einer hohen Zahlungsbereitschaft verbundene stabile Nachfrage für Investitionen, die den Kapazitätsaufbau für die Wasserstoffproduktion ermöglichen, der notwendig ist, um die anfängliche Knappheit des Angebots von Wasserstoff zu überwinden.

Im Folgenden werden die Industrie, der Verkehrssektor und der Wärmebereich betrachtet. Es wird jeweils dargestellt, welche Möglichkeiten für den Einsatz von Wasserstoff bestehen und wo die initialen Einsatzmöglichkeiten sind, die gegebenenfalls schon kurzfristig umgesetzt werden können. Darauf aufbauend findet eine Gesamtbewertung der regionalen Nachfragepotenziale von Wasserstoff statt.

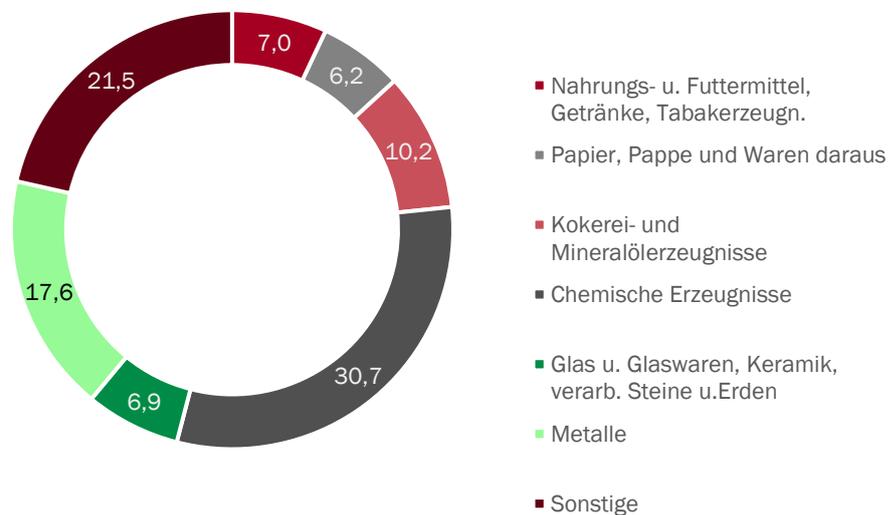
2.2.1 | Industrie

Derzeit wird der Wasserstoff im Wesentlichen in Raffinerien und in der chemischen Industrie eingesetzt. Hier ist Wasserstoff unverzichtbar für die Herstellung von Ammoniak und Methanol, die wichtige Grundstoffe für viele chemische Anwendungsfelder darstellen (vgl. Navigat 2019). Dabei wird der heute eingesetzte Wasserstoff für diese Anwendungen fast vollständig mit fossilen Energieträgern erzeugt. Die Dekarbonisierung der industriellen

Prozesse erfordert es, in den nächsten Jahren grünen Wasserstoff einzusetzen, so dass mit Sicherheit eine Nachfrage nach grünem Wasserstoff entsteht. Außerdem ist Wasserstoff in der Stahlindustrie unverzichtbar, um Koks bei der Reduktion von Eisenerz zu Roheisen zu ersetzen.

Über diese Anwendungen hinaus kann Wasserstoff als Energieträger der Zukunft verwendet werden. Die Industrie verbraucht 29 Prozent der Energie, die insgesamt in Deutschland benötigt wird, wobei sich der Verbrauch auf einige besonders energieintensive Branchen konzentriert (vgl. Abbildung 11). Besonders hervorzuheben sind auch hier die Chemieindustrie, die Metallerzeugung und die Mineralölerzeugung.

Abbildung 11: Endenergieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes



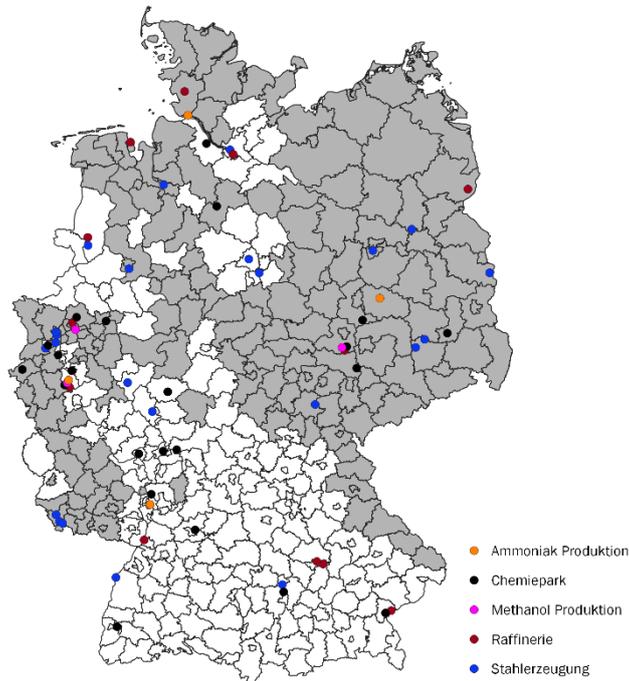
Quelle: Destatis (2020); ETR. Daten für 2018

Der Energiebedarf der Industrie wird in Teilen durch Strom befriedigt, in Teilen aber auch über Kohle und Erdgas, wobei diese entweder direkt verwendet oder mit unternehmenseigenen Kraftwerken in Strom umgewandelt werden. Insofern kann Wasserstoff über Brennstoffzellen oder in Form von Folgeprodukten zum Einsatz kommen.

Standorte wichtiger Industrie

Für die Bewertung der Potenziale für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft werden die Industriestandorte betrachtet, in denen Wasserstoff schon derzeit eine hohe Bedeutung hat oder diese schon bald erhalten wird. Dazu gehören die acht Standorte der Ammoniak- und Methanolproduktion in Deutschland, von denen vier in den strukturschwachen Regionen liegen. Insgesamt gibt es in Deutschland 22 Stahlwerke, davon haben 11 ihren Standort in den Regionen im Strukturwandel. Für einige der Stahlwerke ist Wasserstoff ein unverzichtbarer Ersatz für die bisher zur Reduktion verwendete Koks Kohle. Andere Stahlwerke sind nicht notwendig an Wasserstoff gebunden, könnten diesen aber auch als Energieträger verwenden. Weitere wichtige Industrieanwendungen für Wasserstoff gibt es in 14 Raffinerien, von denen sich sechs in Regionen im Strukturwandel befinden. Letztlich sind die 25 Chemieparke, von denen elf in Regionen im Strukturwandel stehen, interessante Standorte für den Einsatz von Wasserstoff. Insgesamt besteht damit an 62 Industriestandorten ein hoher Bedarf für Wasserstoff in industriellen Anwendungen, von denen 25 in strukturschwachen Regionen gelegen sind. Eine besonders hohe Dichte von energieintensiven Industrien findet sich in Nordrhein-Westfalen und im Mitteldeutschen Revier.

Abbildung 12: Nachfragepotenziale der Industrie



Quelle: Verbändeinformationen

2.2.2 | Verkehr

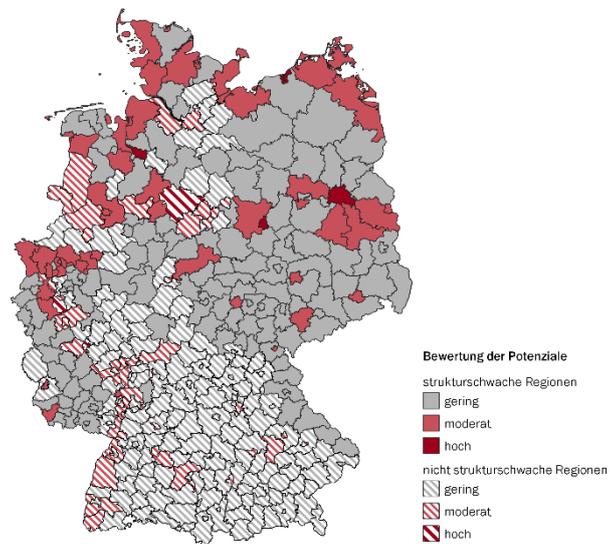
Bisher ist die Energiewende im Verkehrssektor vergleichsweise wenig umgesetzt worden. Die Gründe dafür sind das steigende Verkehrsaufkommen und der nur zögerliche Wechsel von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zu batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen. Zu der dringend erforderlichen Reduzierung der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor könnte grüner Wasserstoff direkt oder in Form von Folgeprodukten wie E-Fuels einen wesentlichen Beitrag leisten. Das betrifft unstrittig den Luft- und Schiffverkehr sowie den Transport

schwerer Lasten über große Distanzen, da in diesen Verkehrssegmenten auch perspektivisch keine Alternativen zu flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen existieren. Gegebenenfalls könnten Wasserstoff und E-Fuels aber auch im Pkw-Bereich genutzt werden.¹⁰

Einem schnellen flächendeckenden Einsatz von Wasserstoff im Verkehrssektor steht neben der Verfügbarkeit des Wasserstoffs insbesondere die fehlende Infrastruktur entgegen. Bei deren Aufbau stellt sich das Problem, dass die Umstellung der Fahrzeuge ohne Infrastruktur nicht sinnvoll ist und umgekehrt der Aufbau der Infrastruktur nur erfolgt, wenn auch Abnehmer für den Wasserstoff da sind.

Initiale Keimzellen für die Wasserstoffanwendungen im Verkehrsbereich können Güterverkehrszentren darstellen. Diese sind häufig intermodale Schnittpunkte verschiedener Verkehrsträger (Binnenschiff, Bahn, Lkw). So kommen Waren über das Binnenschiff oder mit der Bahn und werden mit dem Lkw zum Endverbraucher transportiert. Alle drei Verkehrsträger können grundsätzlich mit Wasserstoff betrieben werden, wobei es in Pilotprojekten verschiedene Anwendungsbeispiele gibt. Ausgehend von den Güterverteilzentren erfolgt die Auslieferung der Waren an die Kunden in der Region, wobei der Radius begrenzt ist, sodass immer die Möglichkeit besteht, den Wasserstoff im Güterverteilzentrum zu tanken.

Abbildung 13: Nachfragepotenziale des Verkehrssektors



Quelle: Verbändeinformationen

Eine Alternative zum direkten Einsatz von Wasserstoff im Verkehrssektor ist die Verwendung von E-Fuels. Diese haben den Vorteil, dass sie ohne Anpassungen der Motoren und Infrastruktur eingesetzt werden können. Außerdem kann grüner Wasserstoff bereits kurzfristig bei der Produktion von Benzin und Diesel in Raffinerien genutzt werden und so die Emissionen der bestehenden Produktionsinfrastruktur und Fahrzeugflotte senken.

¹⁰ Dies wird zum Teil sehr kritisch eingeschätzt, da das vorhandene Potenzial von Wasserstoff nicht ausreichend wäre, Sektoren zu bedienen, die nicht notwendig Wasserstoff benötigen. Vgl. dazu zum Beispiel: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (2020). Diese Bewertung ist jedoch problematisch, da das Wasserstoffpotenzial als gegeben angenommen wird. Tatsächlich muss es aber aufgebaut werden und der Aufbau wird in Abhängigkeit von Nachfrage und Preisen erfolgen. Insofern könnte eine erhöhte Nachfrage auch zu einem schnelleren Ausbau des Wasserstoffangebots führen. Vgl. dazu Bräuninger u.a (2020) sowie frontier economics (2020)

Insgesamt zeigt sich, dass Wasserstoff in allen Regionen im Verkehrssektor genutzt werden kann. Dabei wird das Potenzial wesentlich durch die gesamte Verkehrsnachfrage bestimmt. Für die direkte Verwendung von Wasserstoff im Verkehrsbereich sind aber erhebliche Investitionen in die Infrastruktur notwendig. Da die Keimzellen eines Wasserstoffnetzes für den Verkehrssektor bei Güterverteilzentren und Häfen liegen werden, haben diese in der Bewertung der Nachfragepotenziale nach Wasserstoff eine besondere Bedeutung. Außerdem werden bei der Bewertung die 102 bestehenden Wasserstofftankstellen berücksichtigt, von denen sich 39 in 31 strukturschwachen Regionen befinden. Besonders relevant sind diese, wenn sie sich im Umfeld von Güterverkehrszentren befinden.

2.2.3 | Wärme

Auf die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser für den Gebäudesektor entfällt fast die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs in Deutschland. Deshalb kommt dem Wärmemarkt eine zentrale Rolle bei der Energiewende zu. Gemäß des Klimaschutzplans 2050, der im Klimaschutzprogramm 2030 von 2019 konkretisiert wurde, sollen die Emissionen des Gebäudesektors bis 2030 auf 70 Mio. t/a gesenkt werden. Dies entspricht einer Reduktion von etwa 40 Prozent gegenüber den etwa 122 Mio. t CO₂ im Jahr 2019.

Die bisherigen Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs im Wärmebereich setzt vor allem bei der Förderung von effizienten Heizungen sowie beim baulichen Wärmeschutz an. Dabei liegen die Sanierungsraten nur bei einem Prozent des Wohnungsbestands pro Jahr, wobei in der Regel auch keine Vollsanierung vorgenommen wird. Als regenerativer Energieträger kommt bisher im Wärmebereich neben Holz und Biogas vor allem Strom zum Einsatz, wobei dieser über Wärmepumpen sehr effizient genutzt werden kann. Da der Wohnungsbestand auf absehbare Zeit nicht perfekt gedämmt sein wird, würde die vollständige Umstellung der Wärmeversorgung auf Strom erhebliche zusätzliche erneuerbare Stromerzeugungskapazitäten erforderlich machen, die aber nur in der kalten Jahreszeit genutzt würden. Die Verwendung von Wasserstoff könnte hier aufgrund seiner Speicher und Transportierbarkeit Abhilfe schaffen (vgl. Frontier Economics 2021).

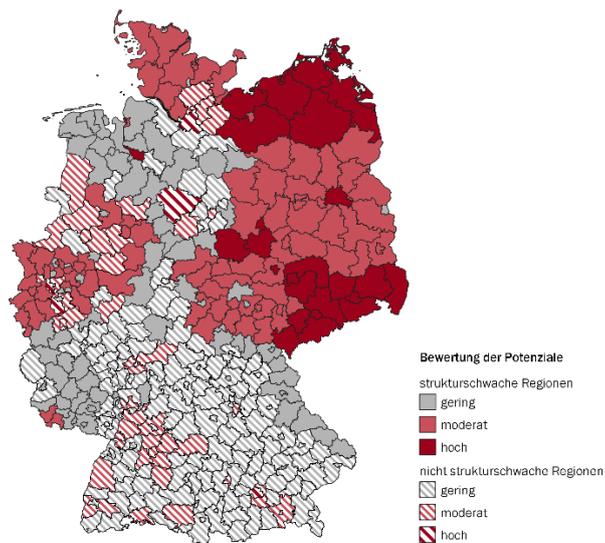
Dabei kann der Wasserstoff in verschiedener Form für die Wärmeerzeugung genutzt werden. Eine Option sind Brennstoffzellen, die in einem sehr effizienten elektrochemischen Prozess gleichzeitig Strom und Wärme erzeugen. Wegen der Effizienz dieser Technik hat die Bundesregierung ein attraktives Förderprogramm für Brennstoffzellen im Gebäudebereich aufgelegt. Dabei können Brennstoffzellen sowohl die Beheizung einzelner Gebäude übernehmen als auch im Fern- und Nahwärmebereich eingesetzt werden. Da für die Verwendung im Einzelgebäude die Wasserstoffleitung zum Gebäude bestehen muss, ist ein komplexer Leitungsaus- oder umbau notwendig, der einer schnellen flächendeckenden Einführung entgegensteht. Sehr viel größer ist das Brennstoffzellenpotenzial im Bereich der

Fern- und Nahwärme, sofern hier schon Netze vorhanden sind. Abbildung 14 zeigt eine Abschätzung der regionalen Nachfragepotenziale für Wasserstoff im Wärmebereich anhand der Verbreitung von Fernwärme. Das Potenzial von Wasserstoff für den Wärmebereich wird als hoch eingestuft, wenn in einer Region mehr als 30.000 Haushalte Fernwärme beziehen und als moderat, wenn die Zahl der Haushalte größer als 10.000 ist. In den übrigen Regionen wird das Potenzial als gering eingestuft, da hier erst Fernwärmenetze oder Wasserstoffinfrastrukturen aufgebaut werden müssten, was längerfristig natürlich möglich ist.

Die alternative Möglichkeit, Wasserstoff im Wärmemarkt einzusetzen, wäre die Verwendung von Power to X-Technologien, mit denen erneuerbare Gase oder flüssige Energieträger erstellt werden, die dann in konventionellen Heizungen, wie heute Erdgas oder Heizöl, verwendet werden können.

Dafür spricht, dass sich Wasserstoff und synthetisches Methan in das gut ausgebaute Erdgasnetz einspeisen und darin speichern lassen. Erneuerbare flüssige Energieträger können ebenfalls über die bestehende Infrastruktur für flüssige Brennstoffe gelagert und transportiert werden. Problematisch sind hier vor allem die Zusatzkosten gegenüber der reinen Wasserstoffnutzung. Diese entstehen für die Abspaltung von CO₂ aus anderen Prozessen oder aber aus der Umgebungsluft.

Abbildung 14: Nachfragepotenziale des Wärmemarkts



Quelle: ETR

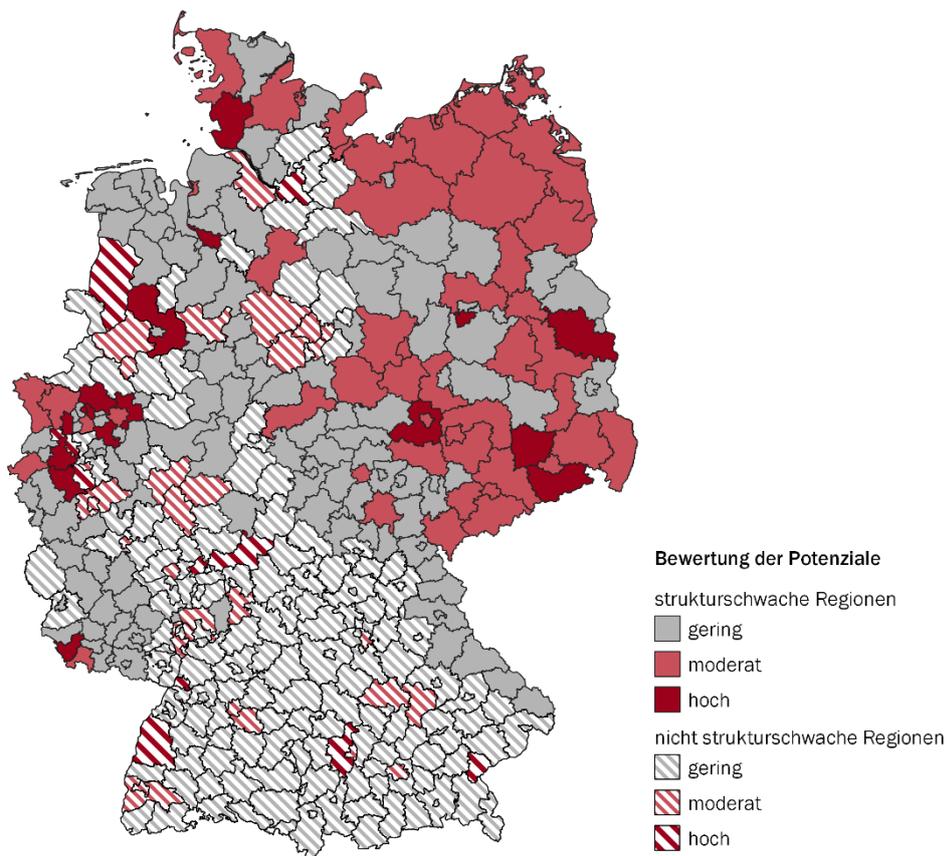
2.2.4 | Regionen mit hohen Nachfragepotenzialen

Insgesamt ist die potenzielle Wasserstoffnachfrage sehr viel stärker in der Fläche verbreitet als das Angebotspotenzial für Wasserstoff. Dies ist vor allem auf die Sektoren Verkehr und Wärme zurückzuführen, die fast flächendeckend zu einer möglichen Wasserstoffnachfrage beitragen, wenn auch in unterschiedlichem Maße. Gleichzeitig wird die „sichere“ Nachfrage nach Wasserstoff in den nächsten Jahren von einigen Industriestandorten sowie von einigen initialen Standorten für den Verkehrsbereich bestimmt. Deshalb hat das Wasserstoffnachfragepotenzial der Industrieunternehmen eine höhere Bedeutung für das Nachfragepotenzial als die Nachfrage aus dem Verkehrs- oder Wärmesektor. Die Gesamtbewertung in den

Stufen (hohes Potenzial = 3 Punkte, moderates Potenzial = 2 Punkte oder geringes Potenzial = 1 Punkt) erfolgt auf Basis der drei Einzelbewertungen wie folgt:

- hoch: Bei einem hohen Potenzial der Industrie oder bei einem moderaten Potenzial der Industrie und einer Punktbewertung für Verkehr und Wärme, die in der Summe größer als 3 ist (insgesamt 27 Regionen, davon 16 im Strukturwandel)
- moderat: Sofern der Industriestandort ein moderates Potenzial hat und die Punktbewertung für Verkehr und Wärme in der Summe kleiner als 3 ist. Außerdem wird in Regionen, in denen keine relevanten Industriestandorte liegen, aber das Potenzial aus Verkehr und Wärme und in der Summe größer als 3 ist, das Gesamtpotenzial als moderat eingestuft (78 Regionen, davon 48 im Strukturwandel)
- gering: Sofern in der Region keine relevanten Industriestandorte liegen und das Potenzial aus Verkehr und Wärme in der Summe kleiner als 3 ist, wird das Gesamtpotenzial als gering eingestuft (296 Regionen, 129 im Strukturwandel)

Abbildung 15: Bewertung der Nachfragepotenziale



Quelle: ETR

Besonders hoch sind die Nachfragepotenziale in Nordrhein-Westfalen und in Mitteldeutschland. Hier liegen Zentren der energieintensiven Industrien, mit Schwerpunkten in der Chemieindustrie und in der Stahlerzeugung. In beiden Regionen wird derzeit Wasserstoff überwiegend mit fossiler Energie erzeugt und in chemischen Prozessen verwendet. In Nordrhein-Westfalen als hoch verdichtetem Raum mit einer großen Bevölkerung besteht auch das Potenzial für Wasserstoffanwendungen im Verkehr. Hohe Potenziale im Verkehrssektor liegen auch im Umland der Großstädte vor. Bezogen auf die strukturschwachen Regionen ist hier besonders Berlin relevant. Hamburg und Köln sind nicht strukturschwach, bieten aber Potenziale, die auch für die umliegenden strukturschwachen Regionen positive Wirkungen entfalten könnten.

2.3 | Wissenspotenziale

2.3.1 | Förderung des Ausbaus der deutschen Wasserstoffindustrie

Die Entwicklung der Wasserstoffindustrie erfordert Innovationen und neue Technologien, die kontinuierlich weiterentwickelt werden müssen. Dies setzt Wissen und Erfahrung voraus, die sich am besten durch die Anwendung der neuen Technologien gewinnen lassen. In großen Teilen werden diese Erfahrungen in Unternehmen gesammelt, die Wasserstoff anwenden.

Aktuelle Entwicklungen und neue Technologien in der Erzeugung und Anwendung von Wasserstoff werden derzeit in der Regel durch Förderprogramme unterstützt. Hervorzuheben sind dabei die folgenden Programme:

- **Important Projects of Common European Interest (IPCEI):** Dabei werden wichtige Projekte von europäischem Interesse gefördert. Im Mai 2021 wurde die Realisierungsphase des ersten IPCEI Wasserstoff begonnen: Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) haben dafür 62 deutsche Großvorhaben ausgewählt. Die Vorhaben werden mit über acht Milliarden Euro Bundes- und Landesmitteln gefördert werden. Insgesamt sollen dadurch allein in Deutschland Investitionen in Höhe von 33 Milliarden Euro ausgelöst werden (vgl. BMWI 2021).
- **Reallabore der Energiewende:** Mit dem Programm fördert das BMWi zwischen 2019 und 2022 die Erprobung zukunftsfähiger Energietechnologien unter realen Bedingungen im industriellen Maßstab mit Fördermitteln in Höhe von bis zu 100 Millionen Euro pro Jahr (vgl. PTJ 2021).

- Das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP): Das Programm dient der Förderung der Markteinführung der Technologien mit den Förderrichtlinien für Forschung und Entwicklung sowie zur Marktaktivierung. Koordiniert wird das Programm durch die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie NOW. Im Zeitraum von 2007 bis 2016 lag die Fördersumme bei 700 Millionen Euro; in der zweiten Phase des Programms wurden für den Zehnjahreszeitraum 2016 bis 2026 weitere 2 Mrd. Euro vorgesehen (vgl. Regierungsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2016 – 2026).
- Nationale Wasserstoffstrategie: Mit dem Programm fördert das BMBF die Entwicklung neuer klimafreundlicher Wasserstofftechnologien bis 2023 mit 300 Millionen Euro (vgl. BMBF 2021).
- HyLand – Wasserstoffregionen in Deutschland: Mit dem Programm fördert das BMVI Kommunen und Regionen dabei, die Potenziale von Wasserstoff zu ermitteln und zu heben. Das Fördervolumen in den Jahren 2017 bis 2020 lag bei 6,7 Mio. Euro (vgl. PTJ 2021).

2.3.2 | Regionen mit hohen Wissenspotenzialen

Die Bewertung der Wissenspotenziale erfolgt auf Basis der bestehenden PtX-Anlagen und der Förderprojekte. Insgesamt sind 27 PtX-Anlagen in Betrieb oder in Planung, davon 11 in Regionen im Strukturwandel.

Bei den Förderprojekten haben die IPCEI aufgrund ihrer Größe eine besondere Bedeutung. Dabei ist allerdings die regionale Zuordnung nicht immer eindeutig, da sich die Projekte auf größere Regionen beziehen und in der Regel verschiedene Partner zusammenarbeiten, von denen auf Basis der veröffentlichten Projektdaten nur der führende Projektpartner räumlich zugeordnet werden kann. In den Projektdaten sind 58 der 62 genehmigten Projekte konkretisiert, wobei die konkreten Projekte 36 Regionen zugeordnet werden können, von denen sich 19 im Strukturwandel befinden. Die Projekte beschäftigen sich mit Erzeugungsanlagen für grünen Wasserstoff, mit der Nutzung von Wasserstoff in der Stahl- und Chemieindustrie sowie mit Infrastruktur und Mobilität.¹¹

In Reallaboren der Energiewende werden 20 innovative Technologien aus der Energieforschung praktisch im industriellen Maßstab und unter realen Bedingungen erprobt. Davon

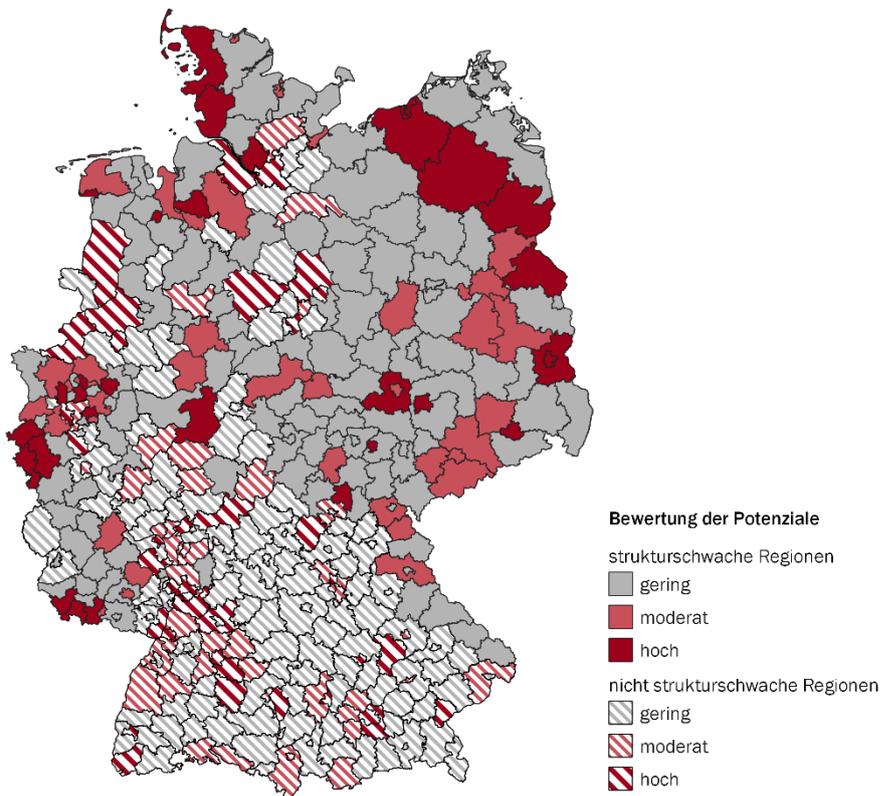
¹¹ Eine Untersuchung des Instituts der deutschen Wirtschaft (vgl. IWConsult 2020) nimmt eine Gesamtbewertung der Innovationssysteme im Bereich Wasserstoff auf Basis von Internetrecherchen, über Webcrawling-Verfahren generierter Daten und Expertenbefragungen vor. In der Gesamtbewertung führt die Metropole Ruhr vor den Metropolregionen Stuttgart, München und Hamburg. Das Mittelfeld belegen die Metropolregionen Mitteldeutschland, Rhein-Neckar sowie Frankfurt/Rhein-Main. Auf den letzten beiden Plätzen sind die Rhein-Region sowie der Großraum Berlin-Brandenburg platziert.

sind 10 Projekte in Regionen im Strukturwandel angesiedelt. Insgesamt 12 Reallabore beschäftigen sich mit Wasserstoff, davon 9 in den Regionen im Strukturwandel.

Es werden die folgenden Bewertungen gebildet:

- hoch: Sofern ein Reallabor oder eine PtX-Anlage oder mehr als 6 Projektpartner aus Wasserstoffforschungsprojekten in der Region ansässig sind (67 Regionen, davon 30 Regionen im Strukturwandel)
- moderat: Sofern Projektpartner aus Wasserstoffforschungsprojekten in der Region ansässig sind (83 Regionen, davon 39 Regionen im Strukturwandel)
- gering: Sofern bisher keine Projekte durchgeführt wurden (251 Regionen, davon 124 Regionen im Strukturwandel)

Abbildung 16: Bewertung der Wissenspotenziale



Quelle: ETR

2.4 | Gesamtbewertung

Um eine Gesamtbewertung der Wasserstoffpotenziale in den Regionen zu erhalten, werden die Bewertungen des Nachfragepotenzials, des Angebotspotenzials und des Wissenspotenzials in Bezug zusammengeführt. Das Bewertungsschema ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Jeder der drei Teilindikatoren wurde auf einer Skala von 1 bis 3 bewertet (1: Potenzial gering; 2: Potenzial moderat; 3: Potenzial hoch). Für die Gesamtbewertung wird die Summe gebildet.

Tabelle 1: Bewertungsschema

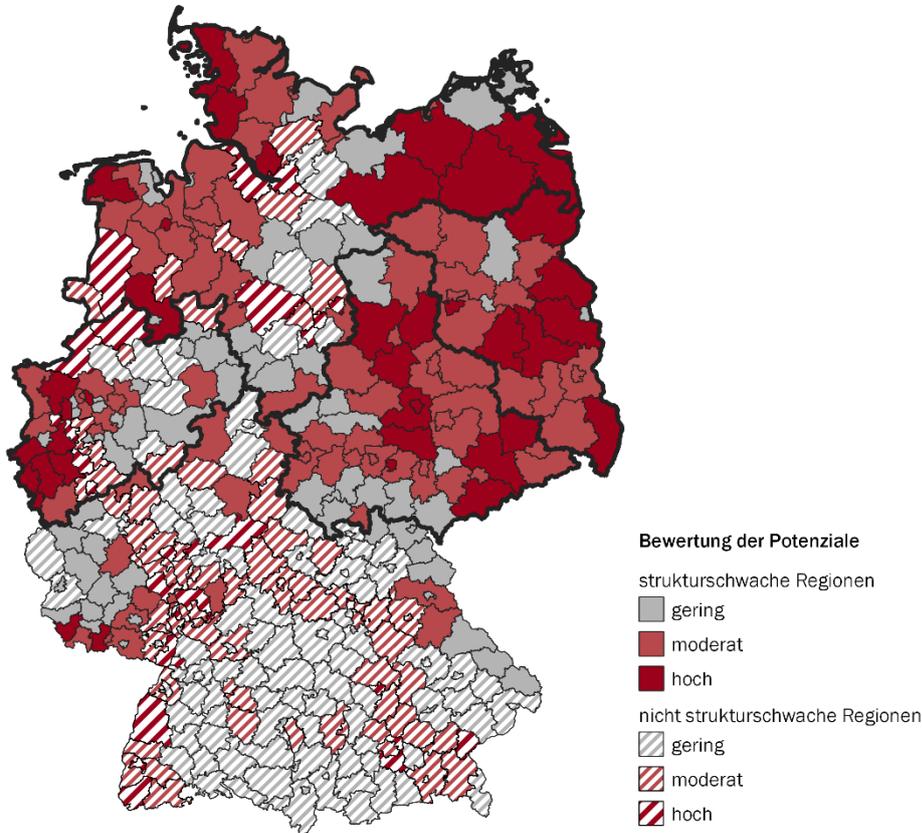
Nachfragepotenzial	Angebotspotenzial	Wissenspotenzial
<p>Industriestandorte Wärme auf einer Skala von 1 bis 3 in Abhängigkeit von der Zahl der Haushalte die mit Fernwärme heizen. Verkehrsstandorte auf einer Skala von 1 bis 3, wobei Güterverteilzentren, Häfen und Wasserstofftankstellen bewertet werden</p>	<p>Windeinspeisung Kapazitäten der Windparks, die älter als 10 Jahre sind (in Schleswig-Holstein und Niedersachsen Gesamtkapazitäten) sehr hoch: WK > 200 MW hoch: 100 MW < WK < 200 MW moderat: 50 MW < WK < 100 MW Wasserstoffnetz Streckenführung durch die Region (ja/nein)</p>	<p>Forschungsprojekte Pilotprojekte Reallabore PtX-Anlagen IPCEI-Projekte</p>
<p>Gesamtbewertung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ hoch, sofern zwei Industriestandorte vorhanden sind oder wenn ein Industriestandort vorhanden ist und die Summe der Bewertungen Wärme und Verkehr größer als 3 ist. ▪ moderat, sofern ein Industriestandort vorliegt oder die Summe der Bewertungen Wärme und Verkehrs größer als 3 ▪ gering: sonst 	<p>Gesamtbewertung Angebotspotenzial</p> <p>Summe Bewertung Windeinspeisung und Wasserstoffnetz</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ hoch: sehr hohes Einspeisepotenzial oder hohes Einspeisepotenzial und Netz ▪ moderat: hohes Einspeisepotenzial oder Netz ▪ gering: kein Netz und geringes Einspeisepotenzial 	<p>Gesamtbewertung Wissenspotenzial</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ hoch: ein Reallabor oder eine PtX-Anlage oder ein IPCEI-Projekt oder mehr als 6 Projektpartner aus Wasserstoffforschungsprojekten ▪ moderat: Projektpartner aus Wasserstoffforschungsprojekten in der Region ▪ gering: keine Erfahrungen
		
<p>Gesamtbewertung Summe Bewertung Nachfragepotenzial, Angebotspotenzial, Wissenspotenzial hoch: größer als 5; moderat: 3 oder 4; gering kleiner 3</p>		

In der Summe ergibt sich die Bewertung

- hoch: für 65 Regionen, davon 37 im Strukturwandel
- moderat: für 157 Regionen, davon 87 im Strukturwandel
- gering: 179 Regionen, davon 69 in Regionen im Strukturwandel

Abbildung 17 zeigt die Verteilung der Regionen mit Wasserstoffpotenzialen.

Abbildung 17: Gesamtbewertung der Wasserstoffpotenziale



Quelle: ETR

Die Regionen im Strukturwandel mit hohen oder moderaten Wasserstoffpotenzialen können in vier Clustern geordnet werden. Dabei umfasst das norddeutsche Cluster Regionen in den Bundesländern Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern. Das Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz umfasst Regionen in Berlin, Brandenburg und Sachsen (sächsischer Teil der Wirtschaftsregion Lausitz). Im Cluster Mitteldeutschland finden sich Regionen in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen und im nordrhein-westfälischen Cluster finden sich schwerpunktmäßig Regionen im Ruhrgebiet und im Rheinischen Revier. Tabelle 2 zeigt die Verteilung der Wasserstoffpotenzialregionen auf die Cluster.

Außerhalb der vier Cluster finden sich nur wenige Regionen im Strukturwandel, die zugleich Wasserstoffpotenziale besitzen. Diese sind im räumlichen Kontext eher an Regionen gebunden, die sich nicht im Strukturwandel befinden und deshalb stehen deshalb in der Analyse nicht weiter im Fokus.

Tabelle 2: Verteilung der Wasserstoffpotenzialregionen

Potenziale Wasserstoffindustrie		
	Moderates Potenzial	Hohes Potenzial
Cluster Norddeutschland	25 (7)	10 (7)
Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz	11 (0)	7 (0)
Cluster Mitteldeutschland	26 (0)	10 (0)
Cluster Nordrhein-Westfalen	11 (7)	8 (6)
Insgesamt	73 (14)	35 (13)

*Angegeben ist die Anzahl der strukturschwachen Regionen mit Wasserstoffpotenzial. In Klammern dahinter steht die Anzahl der nicht-strukturschwachen Regionen mit Wasserstoffpotenzial.

Quelle: ETR

3 | Regionalprofile der Cluster mit Wasserstoffpotenzialen

Im Folgenden werden die Charakteristika der Cluster strukturschwacher Regionen im Überblick dargestellt. Dazu werden ihre regionale Verortung, einige regionalökonomische Kennziffern und die strategischen Rahmenbedingungen für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft erläutert. Daraufaufgehend werden eine Stärken-Schwächen- und Chancen-Risiken-Analyse präsentiert. Dabei bezieht sich die Stärken-Schwächen-Analyse auf die aktuelle Positionierung der strukturschwachen Regionen mit Wasserstoffpotenzialen, wobei der regionale Kontext im Zusammenhang mit den Angebots-, Nachfrage- und Wissenspotenzialen betrachtet wird. Die Chancen und Risiken ergeben sich aus verschiedenen Entwicklungen, die in den kommenden Jahren die sozioökonomische und energiewirtschaftliche Struktur in den Regionen beeinflussen. Die Einschätzungen zu den Stärken-Schwächen beziehungsweise Chancen-Risiken basieren auf der quantitativen Potenzialbewertung im Kapitel 2, einer regionalökonomischen Kontextanalyse sowie den Ergebnissen einer Onlinebefragung von Wirtschaftsförderungen und Industrie- und Handelskammern. Die Bewertung der Wasserstoffpotenziale in den strukturschwachen Regionen wurde auf Workshops mit Akteuren aus verschiedenen Bereichen der Wasserstoffwirtschaft in den jeweiligen Clusterregionen diskutiert. Im Fokus der Workshops standen die SWOT-Bewertungen für die jeweiligen Clusterregionen sowie die diesbezüglichen Handlungsoptionen.

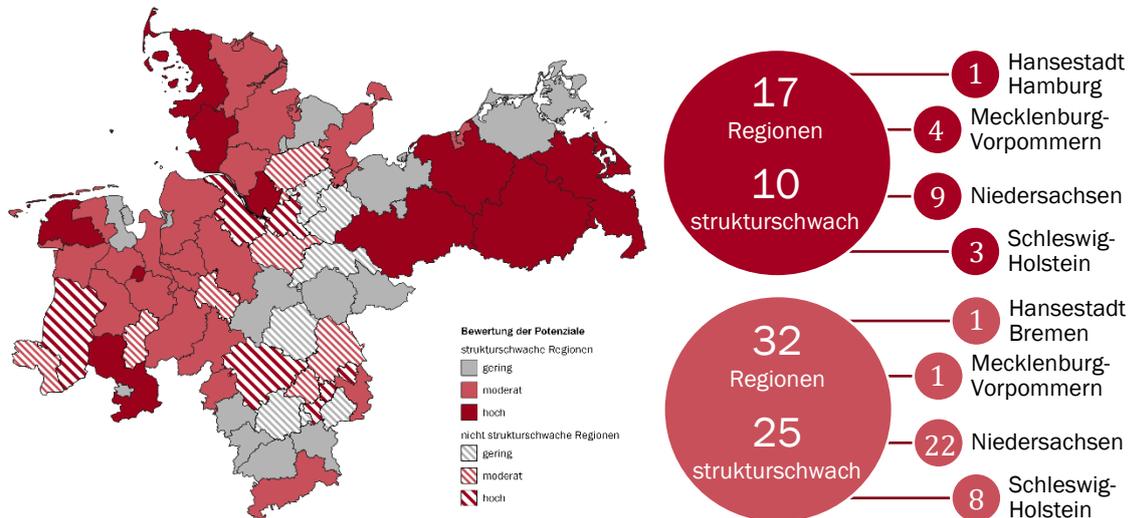
3.1 | Norddeutschland

3.1.1 | Das Cluster im Überblick

Das Cluster Norddeutschland umfasst Regionen in Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein. In den strukturschwachen Regionen, die hier im Fokus stehen, befinden sich insgesamt 35 Landkreise und kreisfreie Städte mit moderatem (25) oder hohem Wasserstoffpotenzial (10). Zudem haben 14 der nicht strukturschwachen Regionen in den Bundesländern des Clusters Norddeutschland Wasserstoffpotenziale. Eine hohe Anzahl von strukturschwachen Städten und Landkreisen mit Wasserstoffpotenzialen befindet sich in den Regionen an oder in räumlicher Nähe zur Nordsee in Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Außerdem zählen auch große Teile Mecklenburg-Vorpommerns zu den Wasserstoffpotenzialregionen. Bremen ist, wie Emden, Oldenburg und Rostock, eine Stadt mit hohem Wasserstoffpotenzial (vgl. Abbildung 18). Die Karte zeigt, dass im Cluster Norddeutschland neben den strukturschwachen Regionen an den Küsten auch verschiedene nicht strukturschwache Regionen mit hohen Potenzialen für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft liegen. Besonders hervorzuheben ist dabei Hamburg, wo

viele Wasserstoffprojekte angesiedelt sind. Bremerhaven ist nur mit geringem Potenzial bewertet worden, obwohl hier verschieden Wasserstoffprojekte angesiedelt sind, die jedoch zum Teil auf den Windkapazitäten im Umland beruhen.

Abbildung 18: Wasserstoffpotenziale Cluster Norddeutschland



Die norddeutschen Bundesländer arbeiten bei dem Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft im Rahmen der norddeutschen Wasserstoffstrategie kooperativ zusammen (vgl. Die Senatorin für Wirtschaft, Arbeit und Europa – Bremen 2021). Hervorzuheben ist hier insbesondere die Kooperation der Bundesländer mit strukturschwachen Regionen mit der Freien und Hansestadt Hamburg, die nicht zu den strukturschwachen Regionen gehört. Mit fünf Bundesländern ist die im Jahr 2019 beschlossene Norddeutsche Wasserstoffstrategie die größte Kooperation dieser Art in Deutschland.

Neben der Wasserstoffstrategie gibt es zahlreiche weitere Initiativen zur Förderung der Wasserstoffwirtschaft auf Landesebene und in verschiedenen interregionalen Kooperationen (vgl. Tabelle 3), etwa in kommunalen Wasserstoffnetzwerken mit verschiedenen Akteuren in Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein.

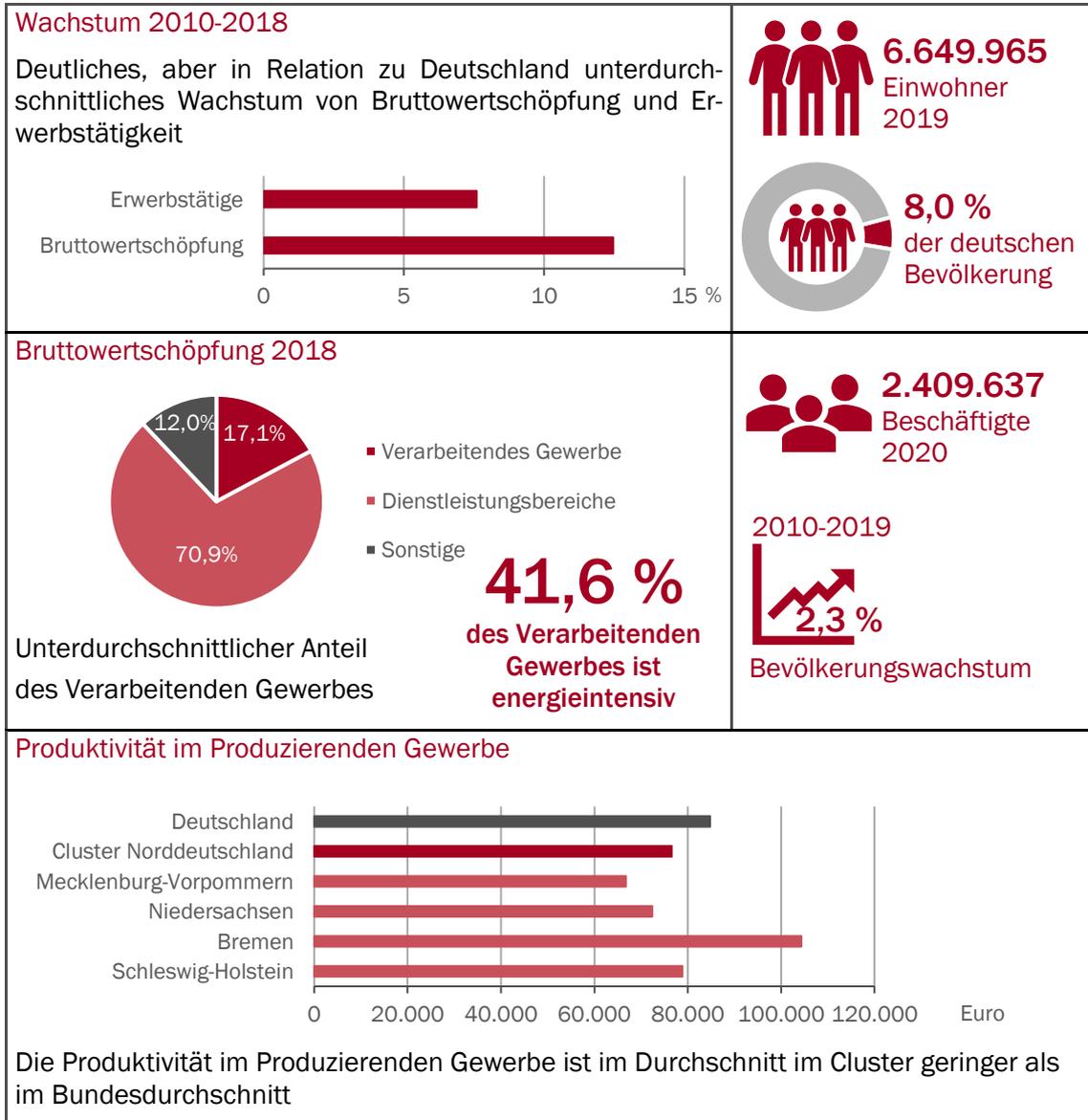
Dabei ist auch der internationale Kontext relevant, etwa im Zusammenhang der Kooperation Niedersachsens mit niederländischen Provinzen im Rahmen von H2Watt (vgl. MARIKO 2021). Expertise zu den verschiedenen Bestandteilen der Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft wird in Norddeutschland in zahlreichen Pilotprojekten in Kooperation zwischen Forschungsinstitutionen und Anwendern aufgebaut.

Tabelle 3: Beispiele für Initiativen zur Förderung der Wasserstoffwirtschaft

<p>Bremen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strategiepapier zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft im Land Bremen liegt im Entwurf vor (2021) ▪ Kooperationspartner norddeutsche Wasserstoffstrategie (beschlossen 2019) ▪ H2B: Roadmap für eine graduelle Defossilisierung der Stahlindustrie und urbaner Infrastrukturen mittels Elektrolyse-Wasserstoff in Bremen, Industriehafen Bremen; Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven (beide Projekte: Land Bremen, EFRE) ▪ Wasserstofftechnologie Business Process Management Modeling (H2BPMM) (Hochschule Bremerhaven, Förderfonds der Länder Bremen und Niedersachsen) ▪ H2BX – Wasserstoff für die Region Bremerhaven (gefördert von der Metropolregion Nordwest)
<p>Niedersachsen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kooperationspartner norddeutsche Wasserstoffstrategie (beschlossen 2019) ▪ Wasserstoffnetzwerk-Nordostniedersachsen (H2.N.O.N.) (Förderung durch GRW) ▪ Niedersächsisches Wasserstoff-Netzwerk (gegründet vom Land Niedersachsen) ▪ Wasserstoffregion Nordwest (angesiedelt bei der Metropolregion Nordwest) ▪ H₂-Allianz Niedersachsen (Wirtschaft und Forschung)
<p>Mecklenburg-Vorpommern</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kooperationspartner norddeutsche Wasserstoffstrategie (beschlossen 2019) ▪ Bau der Forschungsfabrik Wasserstoff Mecklenburg-Vorpommern (Region Rostock) ▪ Blue Line (Fördermittel des Landes Mecklenburg-Vorpommern) ▪ Campfire – Erzeugung und Anwendung von grünem Ammoniak (Fördermittel Bundesministerium für Bildung und Forschung) ▪ HY Rostock! Wasserstoffregion Landkreis Rostock (Kommunen, Wirtschaft, Wissenschaft, IHK)
<p>Schleswig-Holstein</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kooperationspartner norddeutsche Wasserstoffstrategie (beschlossen 2019) ▪ Landeskoordinierungsstelle Wasserstoffwirtschaft (bei der WTSH -Wirtschaftsförderung und Technologietransfer Schleswig-Holstein) ▪ Wasserstoff-Fabrik im Rahmen von eFarm (gefördert durch Bundes- und Landesmitteln) ▪ Reallabor Westküste 100 - Produktion grüner Wasserstoff; Aufbau Pipelinetechnologie (gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie)

3.1.2 | Regionalwirtschaft

Abbildung 19: Soziökonomischen Indikatoren



Quellen: VGR der Länder, Statistisches Bundesamt, ETR

In den strukturschwachen Regionen im Cluster Norddeutschland leben etwa 6,6 Mio. Menschen, die etwa 6,5 Prozent der deutschen Bruttowertschöpfung erwirtschaften. Dabei ist die Bedeutung des Verarbeitenden Gewerbes für die Bruttowertschöpfung relativ gering. Allerdings haben die energieintensiven Industrien eine vergleichsweise hohe Bedeutung, was entsprechende Nachfragepotenziale für Wasserstoff impliziert. In den vergangenen Jahren war die ökonomische Entwicklung im Cluster Norddeutschland etwas weniger dynamisch als in Deutschland.

3.1.3 | SWOT

Stärken

In Norddeutschland gibt es eine räumliche Konzentration von Wasserstoffpotenzialregionen an den Küsten. An diese schließen sich aber auch verschiedene Regionen mit Wasserstoffpotenzialen im Inland an. Insgesamt ergibt sich in Norddeutschland ein großflächig geschlossener Raum von strukturschwachen und nicht strukturschwachen Regionen mit hohen und moderaten Wasserstoffpotenzialen. Damit bestehen in weiten Teilen Norddeutschlands besondere Potenziale für den weiteren Aufbau der Wasserstoffwirtschaft. Viele Regionen des norddeutschen Clusters gehören zur Metropolregion Hamburg oder zur Metropolregion Nordwest und sind in deren räumliche Kontexte eingebettet. Diese räumlichen Strukturen eröffnen vielfältige Möglichkeiten für die Vernetzung der Regionen im Cluster Norddeutschland untereinander sowie mit angrenzenden Regionen in Bezug zum Aufbau der Wasserstoffwirtschaft. Die besonderen interregionalen Kooperationspotenziale werden bereits in zahlreichen regionsübergreifenden Pilotprojekten umgesetzt.¹²

Eine besondere Stärke für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft in Norddeutschland sind die hohen Kapazitäten für die Erzeugung von Windstrom. Hier wurde in der Vergangenheit deutlich mehr Strom erzeugt als in der Region verbraucht wurde, was bisher zu erheblichen Abregelungen der Windstromanlagen geführt hat. Deshalb besteht in der Region ein erhebliches Interesse, die Abregelung über die Erzeugung von Wasserstoff zu vermeiden: Insofern sind die Regionen mit Windenergieerzeugung an den Küsten Vorreiterregionen für die Erzeugung von Wasserstoff mit erneuerbaren Energien, wobei hier diesbezüglich in den vergangenen Jahren bereits hohe Kompetenzen gebildet wurden.

Ein weiterer wichtiger positiver Standortfaktor für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft sind die Potenziale für die Speicherung von Wasserstoff in Kavernen. Dabei stellt die Verbindung zwischen dem geplanten und zum Teil schon vorhandenen Wasserstoffleitungsnetz und den Potenzialen zur Erzeugung von erneuerbarer Energie einen besonderen Standortvorteil des Clusters Norddeutschland dar.

Im norddeutschen Cluster gibt es gewisse Wasserstoffnachfragepotenziale aus der Industrie. So haben etwa verschiedene Raffinerien, Stahlproduzenten, Zementwerke und die Chemieindustrie Standorte im Cluster Norddeutschland. Nachfragepotenziale bestehen im Verkehrsbereich unter anderem im Zusammenhang mit Logistikzentren, Wasserstofftankstellen und dem ÖPNV. Ein Beispiel für ein großdimensioniertes Pilotprojekt für die Nutzung von Wasserstoff im Verkehrsbereich ist „Hyways for Future“ (vgl. EWE GASSPEICHER

¹² Vgl. für einen Überblick zu Wasserstoffprojekten in Norddeutschland IHK Nord (2021).

GmbH 2021), in dessen Rahmen in den Ausbau der Wasserstoffherzeugung, Wasserstofftankstellen und Brennstoffzellenautos in der Metropolregion Nordwest und in anderen Regionen Norddeutschlands investiert werden soll.

Tabelle 4: SWOT Cluster Norddeutschland: Stärken und Schwächen

Stärken	Schwächen
<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Großflächig aneinander angrenzende strukturschwache Regionen mit hohem Potenzial für die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft ▪ Räumliche Ballung von Wasserstoffpotenzialregionen entlang der Nord- und Ostsee mit hohem Vernetzungspotenzial ▪ Interkommunale, auch bundesländerübergreifende, Kooperationen in Pilotprojekten ▪ Zugehörigkeit zur Metropolregion Hamburg beziehungsweise zur Metropolregion Nordwest Zentrale Lage Hamburgs im Cluster Norddeutschland (hohe Vernetzungspotenziale der strukturschwachen Regionen mit Hamburg zum Thema Wasserstoff; Wasserstoffstrategie) <p>Angebotspotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Kapazitäten für die Erzeugung von Windstrom ▪ Küste als Vorreiterregion für erneuerbare Energie ▪ Speicher für Wasserstoff (z.B. Salzkavernen) ▪ Vorhandenes Gas- und Stromnetz <p>Nachfragepotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bestehende Wasserstofftankstellen; Logistikzentren ▪ Industriestandorte mit Nachfragepotenzial Wasserstoff im Cluster/in räumlicher Nähe (Raffinerien, Stahlwerke, Zementindustrie, Chemieindustrie) <p>Wissenspotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Installierte Anlagen im Umfeld von Wissenschaftseinrichtungen; zahlreiche Pilotprojekte ▪ Ausgeprägte Kompetenzen im Bereich erneuerbarer Energien mit Fokus Windenergie 	<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rückläufige Bevölkerung in Teilen des Clusters; potenzieller Fachkräftemangel ▪ Vergleichsweise geringer Anteil von Beschäftigten mit akademischem Abschluss ▪ Teils geringe Internationalisierung der Unternehmen (Potenziale für den Aufbau von Absatzmärkten im Ausland mit Bezug zur Wasserstoffwirtschaft relativ gering)

Die Wissenspotenziale mit Bezug zur grünen Wasserstoffwirtschaft sind vielfältig und betreffen die verschiedensten Regionen im Cluster Norddeutschland. Dabei gibt es zahlreiche Kooperationsprojekte zwischen Forschungseinrichtungen und Anwendern. Für verschiedene Standorte ist die Installation von Elektrolyseuren geplant. So etwa im Industriehafen Bremen im Rahmen von H2B, in Nordfriesland im Projekt eFarm und im Reallabor-Projekt

WESTKÜSTE100. Das Projekt CAMPFIRE in Mecklenburg-Vorpommern, welches Potenzialregionen in Mecklenburg-Vorpommern einschließt, befasst sich mit der Erzeugung und Anwendung von grünem Ammoniak in der Region Nord-Ost (vgl. Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. 2021). Zudem gibt es zahlreiche Pilot- und Forschungsprojekte und ausgeprägte Kompetenzen in der Wissenschaft und der Ausbildung in Bezug zu erneuerbaren Energien.

Schwächen

Gewisse Standortnachteile bestehen im Zusammenhang mit der (teils deutlich) abnehmenden Bevölkerung in verschiedenen Regionen des Clusters Norddeutschland. Dies könnte sich ungünstig auf die Verfügbarkeit von Fachkräften auswirken. Das Qualifikationsniveau der Beschäftigten ist, gemessen als der Anteil der Akademiker an den Beschäftigten, geringer als im bundesdeutschen Durchschnitt. Teils ist die Internationalisierung der Unternehmen vergleichsweise gering, was potenziell negative Effekte für die Erschließung von Auslandsmärkten für die Wasserstoffwirtschaft haben kann.

Chancen

Entwicklungschancen für die Nachfragepotenziale der Wasserstoffwirtschaft ergeben sich aus der hohen Dynamik in der Metropolregion Hamburg. Impulse kommen dabei vor allem aus der Weiterentwicklung der klimafreundlichen Mobilität und Logistik. Darüber hinaus hat auch der klimafreundliche Umbau der Industrie eine hohe Bedeutung. Hervorzuheben sind Chancen, die sich aus dem Handel von Wasserstoff und Komponenten für die Wasserstoffindustrie über Seehäfen in verschiedenen Regionen in Norddeutschland ergeben können. Insbesondere in Wilhelmshaven können die vorhandenen Infrastrukturen für den Energiehandel für die Verwendung von Wasserstoff umgewidmet werden. Potenziale bietet auch die Gewinnung der Schifffahrt als Abnehmer für in der Region erzeugten Wasserstoff.

Für das Wachstum der grünen Wasserstoffindustrie im Cluster Norddeutschland sprechen die hohen Kapazitäten der Offshore-Produktion von Windenergie, die in den nächsten Jahren aufgebaut werden, und das Ausscheiden von Anlagen aus dem EEG (vgl. Kapitel 2). Begünstigt wird die Entwicklung der Wasserstoffindustrie auch durch die perspektivisch gute Anbindung zahlreicher norddeutscher Regionen an das Wasserstofffernleitungsnetz. Zukünftig könnten sich Potenziale für die Wasserstoffwirtschaft durch den Ausbau der Pipelineinfrastruktur zwischen Dänemark und Norddeutschland ergeben.¹³ Zudem gibt es ver-

¹³ Vgl. zu einer Vor-Machbarkeitsstudie zum Aufbau von Wasserstoff-Infrastruktur zwischen Dänemark und Deutschland Gasunie; Energinet (2021).

schiedene Initiativen zum Aufbau eines grenzüberschreitenden Wasserstoffnetzes in Nordwesteuropa zwischen norddeutschen Regionen und den Niederlanden.

Auch die im Cluster Norddeutschland in einer Reihe von Regionen, etwa in Mecklenburg-Vorpommern, vorhandenen umfangreichen Flächenpotenziale für den Ausbau der Erzeugung erneuerbarer Energien und den Aufbau der Wasserstoffherstellung im industriellen Maße können die zukünftigen Standortbedingungen für das Cluster Norddeutschland weiter verbessern. Dabei stellt etwa die Entwicklung von grünen Gewerbegebieten, welche mit Strom aus erneuerbarer Energie versorgt werden, ein Potenzial dar. Generell verändert die Produktion von grünem Wasserstoff die Standortbedingungen, was potenziell Auswirkungen auf die Ansiedlungsentscheidungen von Unternehmen hat.

Der intensive Ausbau der Wissensbasis und der Forschungsaktivitäten trägt zur weiteren Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Wasserstoffwirtschaft im Cluster Norddeutschland bei. Die Anzahl der Projekte mit Wasserstoffbezug steigt, was entsprechendes Wissen und auch Anwendungspraxis generiert: Drei Projekte aus Schleswig-Holstein, zehn aus Niedersachsen, vier aus Mecklenburg-Vorpommern und drei aus Bremen sind für eine Förderung als IPCEI-Wasserstoffprojekt ausgewählt worden (dazu Hamburg als Zentrum der Metropolregion Hamburg mit acht IPCEI-Projekten) mit direkten und indirekten Effekten für die Clusterregionen.

Zudem eröffnet die Weiterentwicklung der energietechnischen Ausbildung und Forschung in den norddeutschen Bundesländern verschiedenste Möglichkeiten, die Fachkräfteverfügbarkeit und das Transferpotenzial aus der Forschung in die Praxis weiter zu verbessern. Dazu tragen etwa entsprechende Schwerpunkte in den Forschungseinrichtungen und Universitäten der Städte im Cluster Norddeutschland bei, die über ein hohes Potenzial für die Wasserstoffwirtschaft verfügen.

In Norddeutschland wird ein auf die Wasserstofftechnologie ausgerichtetes Innovations- und Technologiezentrum (ITZ) für die Luftfahrt und die Schifffahrt im künftigen Netzwerk des Deutschen Zentrums für die Mobilität der Zukunft mit Standorten in Bremen/Bremerhaven, Hamburg und Stade aufgebaut werden. Der Aufbau des Zentrums wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur als eine Maßnahme der Nationalen Wasserstoffstrategie umgesetzt. Ferner eröffnet die weitere Nutzung von Förderprogrammen zur Entwicklung und Umsetzung von Pilotprojekten für die Wasserstoffwirtschaft wichtige Entwicklungspotenziale. Dabei ergeben sich auch Entwicklungsmöglichkeiten für Start-ups und Spinn-offs mit Bezug zur Wasserstoffwirtschaft. Generell verbessert die noch engere Bündelung der wasserstoffbezogenen Kompetenzen in Norddeutschland sowie die Koordination der verschiedenen Aktivitäten in den norddeutschen Bundesländern Möglichkeiten, die Positionierung der norddeutschen Regionen für die Wasserstoffwirtschaft weiter zu stärken.

Tabelle 5: SWOT Cluster Norddeutschland: Chancen und Risiken

Chancen	Risiken
<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Dynamik in weiten Teilen der Metropolregion Hamburg mit großem Markt- und wachsendem Nachfragepotenzial (Klimafreundliche Mobilität, Logistik, Wirtschaft ...) ▪ Perspektivisch zahlreiche Regionen mit sehr guter/guter Anbindung an das Wasserstofffernleitungsnetz ▪ Potenziale der Seehäfen für den Import von Wasserstoff ▪ Umsetzung norddeutsche Wasserstoffstrategie ▪ Ansiedlung von Industrien mit Nachfragepotenzial für Wasserstoff im Umfeld der Standorte für Wasserstoffproduktion ▪ Gewinnung der Schifffahrt (die in dem Cluster eine relativ hohe Bedeutung hat) als Abnehmer für Wasserstoff <p>Energiewirtschaftlich</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Kapazitäten bei der Erzeugung von Windstrom, die in den nächsten Jahren durch die Offshore-Produktion und durch das Ausscheiden von Anlagen aus dem EEG steigen werden ▪ Nutzung der in Teilen des Clusters vorhandenen großen verfügbaren Flächen zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zur Wasserstoffherstellung in industriellem Maßstab <p>Wissenspotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bündelung von Kompetenzen und Koordination von Initiativen zur Förderung der Wasserstoffwirtschaft zwischen den Bundesländern des norddeutschen Clusters ▪ Drei Projekte aus Schleswig-Holstein, zehn aus Niedersachsen, vier aus Mecklenburg-Vorpommern und drei aus Bremen sind IPCEI-Wasserstoffprojekte (dazu Hamburg als Zentrum der Metropolregion Hamburg mit acht IPCEI-Projekten) mit direkten und indirekten Effekten für die Clusterregionen ▪ Weiterentwicklung energietechnischer Kompetenzen in Ausbildung und Forschung (etwa Schwerpunkte in den Forschungseinrichtungen und Universitäten der Städte, die über hohes Potenzial für die Wasserstoffwirtschaft verfügen) ▪ Innovations- und Technologiezentrum (ITZ) für die Luftfahrt und die Schifffahrt <p>Förderung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Weitere Nutzung von Förderprogrammen zur Entwicklung und Umsetzung von Pilotprojekten für die Wasserstoffwirtschaft ▪ Förderung von Start-ups und Spinn-offs mit Bezug zur Wasserstoffwirtschaft 	<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Regional Bevölkerungsrückgang (abnehmendes Arbeitskräftepotenzial und Fachkräftemangel; rückläufiges Nachfragepotenziale) ▪ Regional weiter abnehmende Bedeutung des Verarbeitenden Gewerbes

Risiken

Nachteilig könnte sich regional zukünftig ein im Zuge des demografischen Wandels abnehmendes Arbeitskräftepotenzial, und damit einhergehend ein zunehmender Fachkräftemangel, auf die Rahmenbedingungen für den Aufbau der Wasserstoffindustrie auswirken. Zudem ist die Bedeutung des Verarbeitenden Gewerbes für die Wertschöpfung in einigen Regionen des Clusters bereits relativ gering und die industrielle Basis könnte dort zukünftig weiter abnehmen. Hiermit könnten die Nachfragepotenziale aus der Industrie zurückgehen.

Zusammenfassende Bewertung

Insgesamt lassen sich für das Cluster Norddeutschland in Bezug auf die Wirkungen der Wasserstoffwirtschaft auf die wirtschaftliche Entwicklung und den Strukturwandel die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- Zukunftsfähige Energiewirtschaft: Die direkten Effekte über die Erzeugung von Wasserstoff werden positiv sein. Weitere wichtige Effekte gehen vom Ausbau der Netze aus.
- Zukunftsfähiger Umbau der Industrie: Wasserstoff leistet in einigen Bereichen einen Beitrag zum zukunftsfähigen Umbau der Industrie. Die Industrie könnte durch die Verfügbarkeit (direkte Erzeugung und Import über Häfen) von Wasserstoff gestärkt werden.
- Zukunftsfähige neue Technologien: Neue Technologien, insbesondere zur Erzeugung von Wasserstoff, werden entwickelt und können dann in andere Regionen exportiert werden.

3.2 | Berlin-Brandenburg-Lausitz

3.2.1 | Das Cluster im Überblick

Das Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz umfasst Regionen in Berlin¹⁴, Brandenburg¹⁵ und Sachsen (sächsischer Teil der Wirtschaftsregion Lausitz). In dem Cluster liegen insgesamt 18 strukturschwache Landkreise und Kreisfreie Städte mit moderatem (11) oder hohem Wasserstoffpotenzial (7) (vgl. Abbildung 20). Die Regionen mit hohen Wasserstoffpotenzialen befinden sich vorwiegend im östlichen Teil Brandenburgs. Zu den Regionen mit moderatem und teils hohem Wasserstoffpotenzial zählt das Lausitzer Braunkohlerevier.

Bei dem Ausbau der Wasserstoffwirtschaft arbeiten die Bundesländer des Clusters Brandenburg-Berlin-Lausitz eng zusammen. Außerdem gibt es zahlreiche Initiativen zur Förderung der Wasserstoffwirtschaft auf Landesebene und in verschiedenen interregionalen Kooperationen. Berlin und Brandenburg haben eine gemeinsame Clusterstrategie, in deren Rahmen auch das Cluster Energietechnik, hierunter der Schwerpunkt Wasserstoff, gefördert wird (vgl. Tabelle 6).

Gegenwärtig entwickeln Berlin und Brandenburg gemeinsam eine Wasserstoff-Roadmap. Ein Wasserstoffcluster Ost-Brandenburg befindet sich unter der Federführung des brandenburgischen Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Energie und der Wirtschaftsförderung des Landes Brandenburg im Aufbau. Auch sächsische und brandenburgische Regionen kooperieren bei dem Aufbau der Wasserstoffwirtschaft, etwa im brandenburgisch-sächsischen Netzwerk „Wasserstoffnetzwerk Lausitz DURCH2atmen“ (vgl. Wasserstoffnetzwerk Lausitz DURCH2atmen 2021). In dieser Kooperation arbeiten Akteure aus der Wissenschaft und der Wirtschaft zusammen, um die Innovations- und Technologiebedarfe der Unternehmen im Netzwerk zu eruieren und diese bei der Produktentwicklung zu begleiten.

¹⁴ Eine Untersuchung zu den Wasserstoffpotenzialen in Berlin findet sich in umlaut energy; ETC Energy Transition Consulting (2020).

¹⁵ Für eine ausführliche Analyse zu den Potenzialen der Wasserstoffindustrie in Brandenburg vgl. Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. (2019).

Abbildung 20: Wasserstoffpotenziale Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz

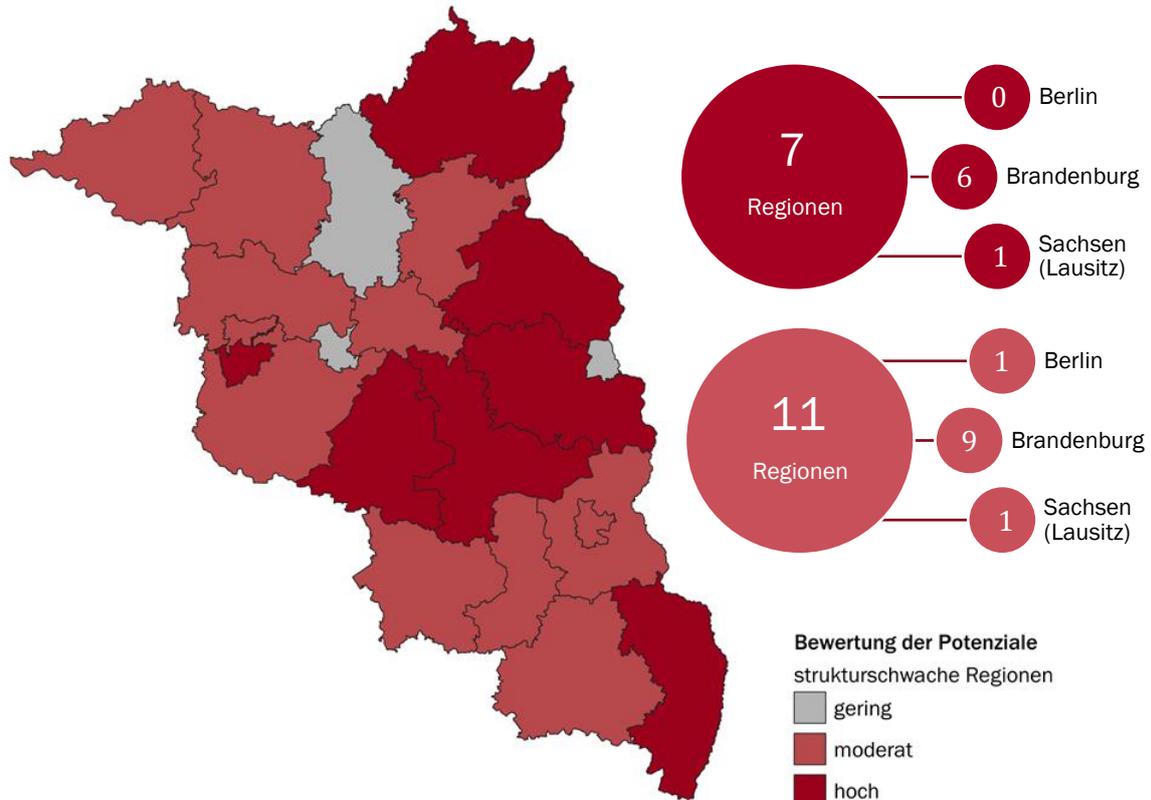
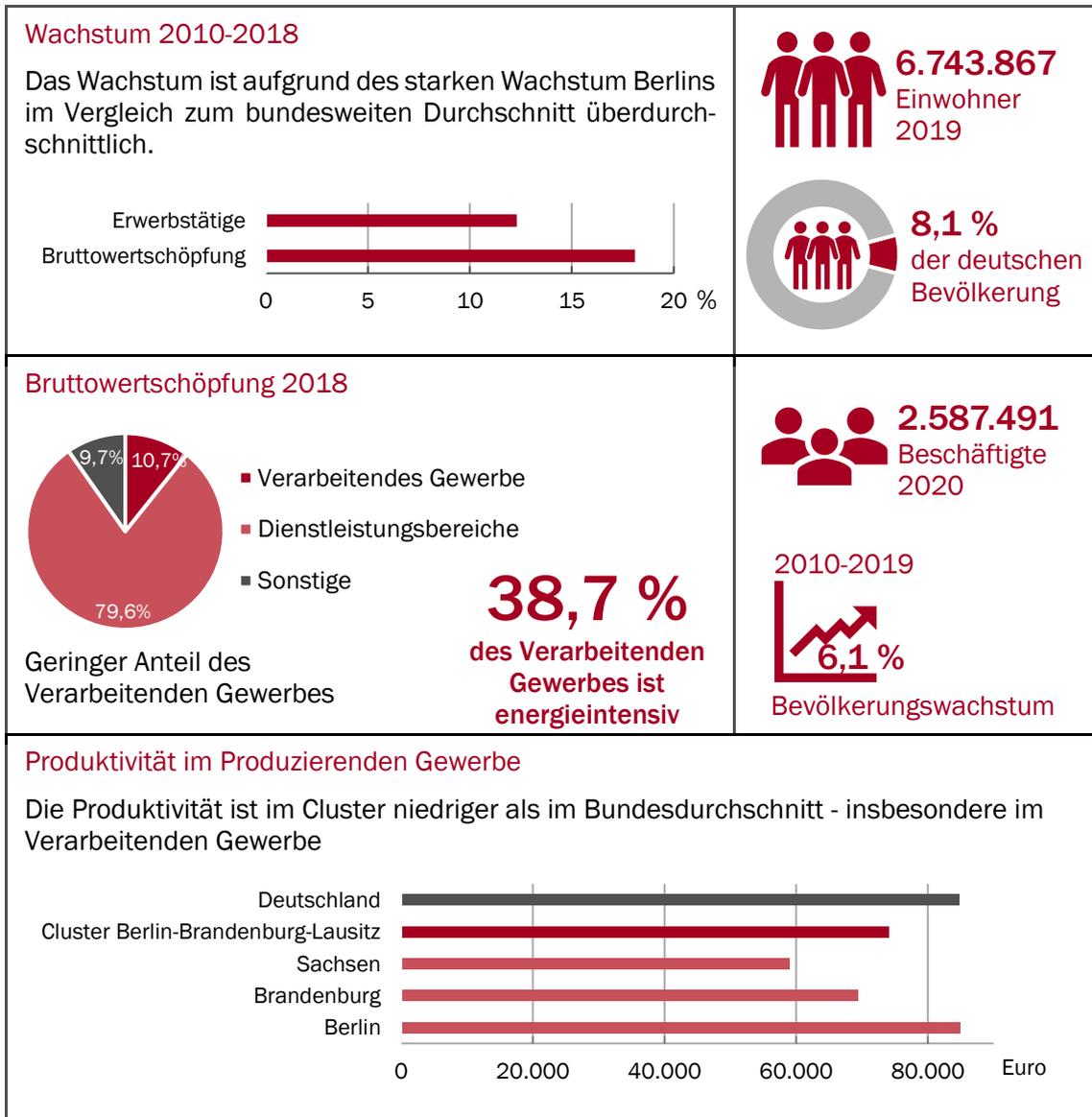


Tabelle 6: Beispiele für Initiativen zur Förderung der Wasserstoffwirtschaft

Berlin	<ul style="list-style-type: none"> Wasserstoffschwerpunkt im Cluster Energietechnik Berlin Brandenburg Laufendes Projekt Entwicklung der „Wasserstoff-Roadmap für Brandenburg und die Hauptstadtregion“ (Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie Brandenburg und Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe Berlin) Wasserstoff-Initiative H2Berlin (Unternehmensinitiative; Basis Potenzialstudie Wasserstoffbedarf Berlin 2025)
Brandenburg	<ul style="list-style-type: none"> Wasserstoffschwerpunkt im Cluster Energietechnik Berlin Brandenburg Laufendes Projekt Entwicklung der „Wasserstoff-Roadmap für Brandenburg und die Hauptstadtregion“ (Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie Brandenburg und Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe Berlin) Brandenburgisch-sächsisches Netzwerk „Wasserstoffnetzwerk Lausitz DurchH2atmen“ (IHK Cottbus, Centrum für Energietechnologie Brandenburg e.V., Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Zittau; Förderprogramm Regionales Investitionskonzept Lausitz) Aufbau des Wasserstoffcluster Ost-Brandenburg (Brandenburgisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie; Wirtschaftsförderung des Landes Brandenburg)

3.2.2 | Regionalwirtschaft

Abbildung 21: Soziökonomischen Indikatoren



Quellen: VGR der Länder, Statistisches Bundesamt, ETR

Im Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz leben etwa 6,7 Millionen Menschen, die 6,9 Prozent der deutschen Bruttowertschöpfung erwirtschaften. Dabei hat der industrielle Sektor eine deutlich geringere Bedeutung als im Bundesdurchschnitt. Die gesamtwirtschaftliche Entwicklung des Clusters Berlin-Brandenburg-Lausitz war in den vergangenen Jahren günstiger als in Deutschland, was im Wesentlichen auf die überdurchschnittliche Entwicklung Berlins zurückzuführen ist.

3.2.3 | SWOT

Stärken

Das Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz umfasst weite Teile der Bundesländer Berlin und Brandenburg sowie die hieran angrenzende sächsische Lausitz, sodass eine breite Basis für die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft gegeben ist. Diese räumlichen Strukturen ermöglichen Wissens-Spillovers für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft über die Vernetzung zwischen den Clusterregionen. Im regionalen Kontext gehen von der hohen wirtschaftlichen Dynamik Berlins positive Impulse auf die wirtschaftliche Entwicklung im Cluster aus. Das überdurchschnittliche Wachstum der Bevölkerung, der Wertschöpfung und der Beschäftigung in der Hauptstadt erfordern einen Ausbau der Energiewirtschaft und erlauben den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft. Dabei bieten die Hauptstadtregion und die Lausitz als Strukturwandelregion mit ihren jeweiligen regionalen Spezifika besondere Umgebungen für Pilotprojekte zur Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff. Auch zur Verfügung stehende große industrielle Flächen zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zur Wasserstoffherstellung in industriellem Maßstab in Brandenburg sind eine Standortstärke des Clusters für die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft (vgl. Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. 2019).

Das Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz weist verschiedene Standortstärken für das Angebot, die Nachfrage und die Wissensbasis in Bezug zu Wasserstoff auf. In dem Cluster bestehen insgesamt hohe Kapazitäten für die Erzeugung von Windstrom, so dass die Angebotspotenziale für grünen Wasserstoff günstig sind. Das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg hat im Jahr 2021 den Aufbau eines Wasserstoffclusters in Ost-Brandenburg initiiert, um potenzielle Erzeugungsstandorte für grünen Wasserstoff zu vernetzen. Dadurch sollen unter anderem Potenziale für Synergien zwischen diesen Standorten entstehen.

Es gibt im Cluster einige Industriestandorte mit Nachfragepotenzial für die Wasserstoffwirtschaft, etwa von Unternehmen aus der Stahlindustrie, der Chemieindustrie, der Zementindustrie und Raffinerien. Hohe Nachfragepotenziale stehen zudem im Zusammenhang mit Logistikzentren und dem Verkehrssektor generell, insbesondere im Großraum Berlin. Im Hinblick auf den Aufbau der Wasserstoffindustrie könnte die Grenzlage des Clusters ein Standortvorteil für die Gewinnung von polnischen Fachkräften sein.

Die Akteure und Institutionen im Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz haben aufgeprägte Expertise in Bezug auf die Wasserstoffwirtschaft und die Energiewirtschaft. Berlin und Brandenburg sind über das Cluster Energietechnik Berlin-Brandenburg eng zur Thematik vernetzt. Die brandenburgischen und sächsischen Kreise der Wirtschaftsregion Lausitz ar-

beiten zu verschiedenen Themen zusammen, auch zur „Energierregion im Wandel“. Im Cluster ist eine hohe und wachsende Anzahl von Forschungsinstituten und Unternehmen mit Bezug zur Wasserstoffwirtschaft angesiedelt. So werden etwa in der Lausitz neue Forschungseinrichtungen, zum Beispiel das PtX Lab Lausitz Praxislabor für Kraft- und Grundstoffe aus grünem Wasserstoff in Cottbus und der Innovationscampus Görlitz aufgebaut.

Es ist eine Standortstärke des Clusters, dass es in verschiedenen Regionen bereits eine längere Tradition der Nutzung und Erzeugung von Wasserstoff, etwa das Wasserstoffhybridkraftwerk in Prenzlau, und etablierte Unternehmen in diesem Marktsegment gibt. Dabei existieren zahlreiche Netzwerke mit Bezug zur Wasserstoffwirtschaft. Beispielsweise entwickeln die Mitglieder des Unternehmensnetzwerks H2Berlin gemeinsam Projekte zur Förderung der grünen Wasserstoffwirtschaft und setzen diese um (vgl. H2Berlin 2021). Themen sind dabei etwa großvolumige Wasserstoffbedarfe in Mobilitätssektor, Wasserstoffanwendungen in der Wärmeversorgung und Wasserstoff aus der Abfallverwertung. Auch die brandenburgischen und sächsischen Kreise der Wirtschaftsregion Lausitz (Energierregion im Wandel) sind in Bezug auf die Erforschung und Anwendung von Wasserstofftechnologien eng vernetzt. In diesem Zusammenhang kommt auch die dortige energiewirtschaftliche Expertise, die im Zusammenhang mit der Braunkohlewirtschaft aufgebaut wurde, zum Tragen.

Schwächen

Als nachteilig im Hinblick auf die regionalen Rahmenbedingungen im Cluster ist die vielerorts in Brandenburg rückläufige Bevölkerung und damit der Rückgang des Arbeitskräfteangebotes zu bewerten. Zudem ist die industrielle Basis des Clusters vielerorts, insbesondere in Berlin, wo der Anteil des Verarbeitenden Gewerbes an der Wertschöpfung besonders gering ist, relativ schwach ausgeprägt. Entsprechend sind die regionalen Nachfragepotenziale nach Wasserstoff aus der Industrie gering, etwa auch aufgrund der vergleichsweise geringen Präsenz von energieintensiven Industrien. In verschiedenen Regionen des Clusters ist es ein Standortnachteil für die Entwicklung der grünen Wasserstoffindustrie, dass die zusätzliche Flächenverfügbarkeit für die Erzeugung von erneuerbarer Energie an der Kapazitätsgrenze ist. In Brandenburg stehen zwar Flächenpotenziale für Ansiedlungen (Gewerbe- und Industrieflächen) in weiten Teilen zur Verfügung (vgl. Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. 2019), aber in stark nachgefragten Lagen und bei kurzfristig notwendiger Flächenverfügbarkeit (Baureife) treten im Cluster jedoch Engpässe auf.

Tabelle 7: SWOT Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz: Stärken und Schwächen

Stärken	Schwächen
<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Überdurchschnittliches Wachstum von Wertschöpfung und Beschäftigung aufgrund der hohen Dynamik Berlins ▪ Großflächig aneinander angrenzende Regionen mit hohem Potenzial für die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft ▪ Die Hauptstadtregion und die Lausitz als Strukturwandelregion bieten mit ihren Spezifika besondere Testfelder für die Wasserstoffwirtschaft ▪ Verfügbarkeit industrieller Flächen in verschiedenen Regionen <p>Angebotspotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Kapazitäten für die Erzeugung von Windstrom ▪ Vernetzung von Standorten zur Erzeugung erneuerbarer Energien schafft Synergien <p>Nachfragepotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einzelne Industriestandorte mit Nachfragepotenzial (Raffinerie, Stahlwerke, Chemieindustrie, Zementindustrie) ▪ Logistikzentren; Wasserstofftankstellen <p>Wissenspotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Enge Vernetzung von Berlin und Brandenburg über ihre Clusterstrategie sowie der brandenburgischen und sächsischen Kreise der Wirtschaftsregion Lausitz (Energierregion im Wandel) ▪ Ausgeprägte Kompetenzen im Bereich Energietechnik (Cluster Energietechnik Berlin Brandenburg) ▪ Zunehmende Anzahl Forschungseinrichtungen ▪ Hohe Wissenspotenziale durch bereits installierte Anlagen ▪ Wasserstoff-Unternehmensnetzwerke ▪ Relativ hoher Anteil von Beschäftigten mit akademischen Abschluss 	<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vielerorts in Brandenburg rückläufige Bevölkerung und damit Rückgang des Arbeitskräfteangebots ▪ Wenig stark ausgeprägte industrielle Basis, insbesondere in Berlin ▪ Relativ geringer Anteil energieintensiver Industrien an der Gesamtbeschäftigung ▪ Damit relativ geringe industrielle Nachfragepotenziale für Wasserstoff ▪ Lokal Engpässe bei Gewerbe- und Industrieflächen

Chancen

Zukünftig eröffnen die regionalen Kontextbedingungen verschiedenste Chancen für die weitere Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft. Dazu zählt etwa eine anhaltend hohe wirtschaftliche Dynamik Berlins, mit welcher eine weitere Zunahme des Marktpotenzials in der Hauptstadt einhergeht. Dabei ist auch die Nutzung von Wasserstoff für die Wärmeerzeugung relevant, wobei in der Region die weite Verbreitung von Fernwärme einen schnellen Ausbau der Wärmeversorgung über Brennstoffzellen ermöglicht. Diese haben aufgrund der wachsenden Bevölkerung in der Hauptstadtregion ein besonders hohes Potenzial. Gleiches

gilt auch für den Verkehrsbereich, wo Wasserstoff für die Verteilung von Gütern genutzt werden kann. Aber auch im öffentlichen Personennahverkehr, zum Beispiel in der Verbindung zwischen Berlin und Brandenburg, könnte Wasserstoff an Bedeutung gewinnen. Weiteres Potenzial bietet im Verkehrsbereich der Bahnverkehr im ländlichen Raum Brandenburgs, wo bereits Pilotprojekte mit wasserstoffbetriebenen Personentriebwagen umgesetzt werden.¹⁶

Aufgrund der weiteren und noch engeren Vernetzung im Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz lassen sich gerade dort aufgrund der hohen Anzahl von Wasserstoffpotenzialregionen weitere Synergien für die Wasserstoffindustrie generieren. Dazu können auch der Beschluss und die Umsetzung der „Wasserstoff-Roadmap für Brandenburg und die Hauptstadtregion“ positive Beiträge leisten.

Generell kann die Ansiedlung von Industrien mit Nachfragepotenzial für Wasserstoff im Umfeld der Standorte für Wasserstoffproduktion zur Stärkung der Wasserstoffwirtschaft im Cluster beitragen. Dabei eröffnen sich beispielsweise mittel- bis langfristig durch den Konversionsprozess im Zuge des Ausstiegs aus der Braunkohlewirtschaft und andere Flächenumnutzungspotenziale zusätzliche (große) Flächen für die industrielle und gewerbliche Nutzung im Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz. Zur Identifizierung solcher Flächen soll das Industrie- und Gewerbeflächenkonzept Brandenburg beitragen, dass bis zum Jahr 2022 für die Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH erarbeitet wird.

Flächenpotenziale bieten dann auch Möglichkeiten zur Wasserstoffherstellung im industriellen Maßstab und für den Ausbau der erneuerbaren Energien. Dabei wird in der Energiestrategie Brandenburg 2040 neben der Windenergie auch der Photovoltaik ein relevanter Anteil an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in den kommenden Jahrzehnten und damit für die Erzeugung grünen Wasserstoffs zugewiesen (vgl. Prognos AG 2021). Zudem ergeben sich aus der perspektivisch guten beziehungsweise sehr guten Anbindung der Regionen an das Wasserstofffernleitnetz Chancen für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft, auch für den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur Richtung Osteuropa. Weitere Potenziale zur Erzeugung von Wasserstoff könnte die Plasmalyse bieten, bei der Wasserstoff aus Abfällen oder Abwasser gewonnen wird (vgl. future:fuels 2020). Die Technologie wurde in Berlin entwickelt und bietet dort aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte besonders hohe Potenziale.

¹⁶ Zu nicht-elektrifizierten Bahnstrecken vgl. die Information: Deutscher Bundestag Wissenschaftliche Dienste (2018).

Tabelle 8: SWOT Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz: Chancen und Risiken

Chancen	Risiken
<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Dynamik Berlins mit großem Markt- und Abnahmepotenzial ▪ Potenziale im Wärmebereich (insbesondere Berlin) und im ÖPNV (Anbindung an Berlin; ländlicher Raum Brandenburgs) ▪ Weiterentwicklung und Aufbau von Vernetzung ▪ Ansiedlung von Industrien mit Nachfragepotenzial für Wasserstoff im Umfeld der Standorte für Wasserstoffproduktion ▪ Nutzung der großen, zukünftig verfügbaren Flächen zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zur Wasserstoffherstellung in industriellem Maßstab (Erarbeitung Industrie- und Gewerbeflächenkonzept Brandenburg 2022) ▪ Perspektivisch zahlreiche Regionen mit sehr guter/guter Anbindung an das Wasserstoffnetz ▪ Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur Richtung Osteuropa ▪ Beschließen und Umsetzung der Wasserstoff-Roadmap <p>Wissenspotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vier IPCEI-Wasserstoffprojekte ▪ Nutzen der Expertise Energiewirtschaft (Lausitzer Braunkohlerevier) <p>Förderung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Weitere Nutzung von Förderprogrammen für Pilotprojekte ▪ Hohes Potenzial von Forschungseinrichtungen zur Energiewirtschaft ▪ Förderung von Start-ups und Spin-offs ▪ Kompensation des Strukturwandels im Lausitzer Braunkohlerevier ▪ Empfehlungen im Abschlussbericht der Kohlekommission für die Ansiedlung unterschiedlicher Forschungseinrichtungen ▪ Ausbau energietechnischer Kompetenzen in Ausbildung/Forschung 	<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Regional weiter abnehmende Bedeutung des Verarbeitenden Gewerbes ▪ Negative regionalökonomische Effekte des Ausstiegs aus der Braunkohleförderung und -verstromung im Lausitzer Braunkohlerevier ▪ Fehlende Koordinierung der Projekte und Programme zur Begleitung des Kohleausstiegs ▪ Wasserknappheit

Durch vier IPCEI-Wasserstoffprojekte wird die Wissensbasis im Cluster Berlin-Brandenburg zukünftig weiter ausgebaut. Ebenso wird sich das Potenzial von Forschungseinrichtungen zur Energiewirtschaft, die sich gegenwärtig in der Gründungsphase oder einem frühen Entwicklungsstadium befinden, zukünftig weiter entfalten. So kann dann etwa in der

Lausitz, durch die neuen Forschungsinstitute die Expertise in der Energiewirtschaft (Lausitzer Braunkohlerevier) für Ausbildung und Forschung noch besser genutzt werden.

Generell bietet die weiter intensive Nutzung von Förderprogrammen für die Wasserstoffwirtschaft, etwa für Pilotprojekte, verschiedenste Möglichkeiten, um die Wasserstoffwirtschaft im Cluster weiterzuentwickeln. Möglichkeiten für die Förderung der Wasserstoffwirtschaft bietet auch die finanzielle Kompensation des Strukturwandels im Lausitzer Braunkohlerevier durch verschiedene Förderprogramme sowie die Umsetzung der Empfehlungen im Abschlussbericht der Kohlekommission für die Ansiedlung unterschiedlicher Forschungseinrichtungen. Potenziale bieten sich in diesem Zusammenhang auch für die Förderung von Start-ups und Spin-offs. Diesbezüglich gibt es generell ausgeprägte Infrastrukturen in Berlin, welche sich auch positiv auf Gründungen mit Bezug zur Wasserstoffwirtschaft auswirken könnten.

Risiken

Den verschiedenen Chancen für den weiteren Aufbau der Wasserstoffwirtschaft in Berlin-Brandenburg-Lausitz stehen einige Risiken für die Entwicklung dieser Industrie gegenüber. Die Kapazitäten für die Erzeugung von Windstrom, als Quelle für die Herstellung von grünem Wasserstoff könnte in Brandenburg zukünftig an ihre Grenzen stoßen, da es bereits Akzeptanzprobleme für den Ausbau der Windenergie gibt. Ein weiteres Risiko für die Erzeugung von Wasserstoff über die Elektrolyse ist die regionale Verfügbarkeit von Wasser. Schon heute sind weite Bereiche von Brandenburg besonders von der Dürre betroffen (vgl. Umweltbundesamt 2021; HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung 2021).

Eine besondere Problematik ist der sich potenziell verschärfende Fachkräftemangel im Cluster. Dies trifft insbesondere auf die peripheren Grenzregionen in Brandenburg und der Lausitz zu. Generell dürften auch zunehmend Probleme im Hinblick auf die Verfügbarkeit von Fachkräften dort im Berliner Umland auftreten, wo die Anbindung über den ÖPNV an die Hauptstadt nicht mehr gegeben ist. Es besteht das Risiko, dass der Fachkräftemangel den Strukturwandel und den Umbau der Energiewirtschaft im Cluster verlangsamt. Die fehlende internationale Bekanntheit Brandenburgs und der Lausitz kann eine Internationalisierung der dortigen Unternehmen und der Akquise von Inverstoren sowie Arbeitskräften aus dem Ausland im Bereich der Wasserstoffindustrie entgegenstehen.

Nachteilig auf die weitere Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft sowie auf den durch sie potenziell angestoßenen Strukturwandel könnte sich ein weiterer Rückgang des Verarbeitenden Gewerbes auswirken. Ebenso könnten sich negative regionalökonomische Effekte des Ausstiegs aus der Braunkohleförderung und -verstromung im Lausitzer Braunkohlerevier ungünstig für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft auswirken. Die Koordinierung der

zahlreichen parallellaufenden Projekte und Programme zur Begleitung des Strukturwandels im Zuge des Kohleausstiegs ist zudem eine Herausforderung, der im Sinne des effizienten Einsatzes von Fördermitteln im Cluster zu begegnen ist.

Zusammenfassende Bewertung

Insgesamt lassen sich für das Cluster Berlin-Brandenburg-Lausitz in Bezug auf die Wirkungen der Wasserstoffwirtschaft auf die wirtschaftliche Entwicklung und den Strukturwandel die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- Zukunftsfähige Energiewirtschaft: Die Erzeugung und Verteilung von Wasserstoff sowie die dazu notwendigen Investitionen schaffen Wertschöpfung und Beschäftigung.
- Zukunftsfähiger Umbau der Industrie: Dieser Aspekt ist aufgrund der nur punktuell vorhandenen industriellen Basis nicht von zentraler Bedeutung. Wichtige Impulse können sich für die Logistik ergeben. Gegebenenfalls kann die Verfügbarkeit von Wasserstoff auch positive Effekte auf Standortentscheidungen auslösen.
- Zukunftsfähige neue Technologien: Zur Erzeugung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff werden entwickelt und können dann in andere Regionen exportiert werden und bieten hohe Potenziale.

3.3 | Mitteldeutschland

3.3.1 | Das Cluster im Überblick

Zum Cluster Mitteldeutschland gehören Regionen in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen¹⁷. Auf das Cluster Mitteldeutschland entfallen insgesamt 36 Landkreise und Kreisfreie Städte mit moderatem (26) oder hohem Wasserstoffpotenzial (10) (vgl. Abbildung 22). Fast alle Kreise in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen besitzen hohe oder moderate Wasserstoffpotenziale. Dresden zählt, wie etwa auch Leipzig, Magdeburg und Jena, zu den Städten mit Wasserstoffpotenzialen.

In den Bundesländern des Clusters Mitteldeutschland gibt es bereits eine Wasserstoffstrategie in Sachsen-Anhalt und Thüringen. In Sachsen befindet sich diese in Entwicklung. Neben der strategischen Ausrichtung der Bundesländer gibt es zahlreiche Projekte zum Aufbau der Wasserstoffwirtschaft (Tabelle 9). Beispielsweise werden im Chemiepark Leuna der Aufbau einer Elektrolysetest- und -versuchsplattform der Fraunhofer-Gesellschaft vom sachsen-anhaltinischen Wirtschaftsministerium sowie die Errichtung einer großdimensionierten Produktionsanlage für grünen Wasserstoff gefördert. Das sächsische Innovationscluster HZWO fokussiert sich auf die Etablierung einer Versorgungsinfrastruktur für grünen Wasserstoff und Komponentenentwicklung für Brennstoffzellenfahrzeuge. Das deutschlandweite Netzwerk HYPOS strebt den Aufbau einer flächendeckenden Grünen Wasserstoffwirtschaft in der Wasserstoffregion Mitteldeutschland an (vgl. HYPOS 2021).

¹⁷ Eine Analyse verschiedener Aspekte der Potenziale der Wasserstoffwirtschaft in diesen Bundesländern findet sich im H2-Masterplan für Ostdeutschland (vgl. Fraunhofer 2021). Für Sachsen und Sachsen-Anhalt vgl. zur Thematik auch Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (2020).

Abbildung 22: Wasserstoffpotenziale Cluster Mitteldeutschland

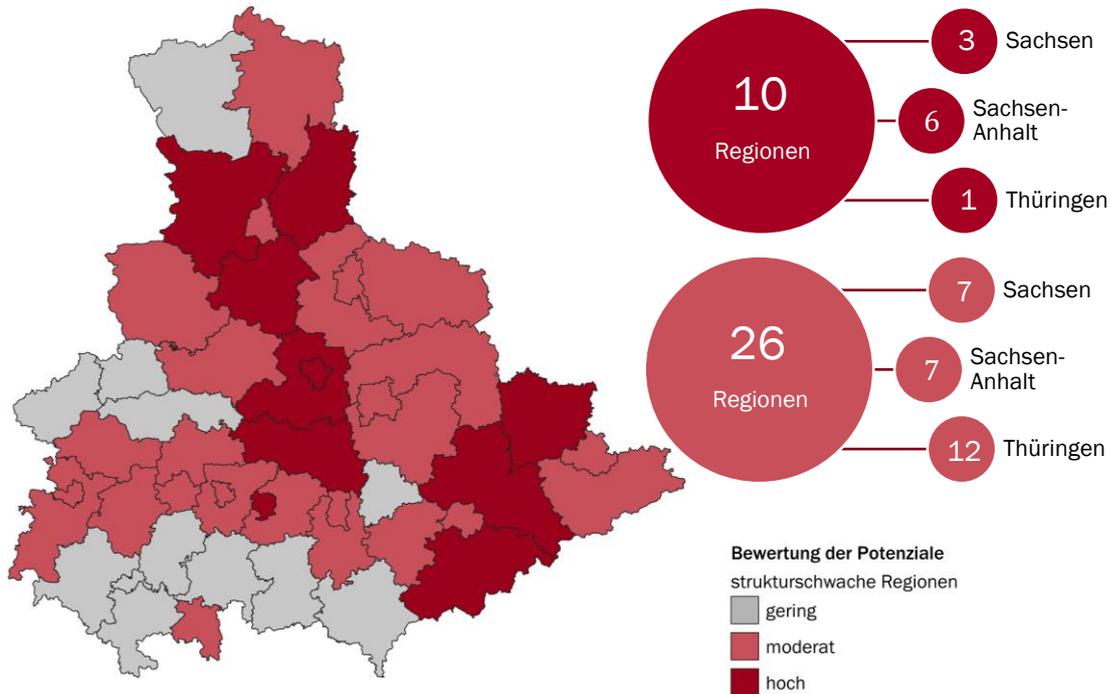
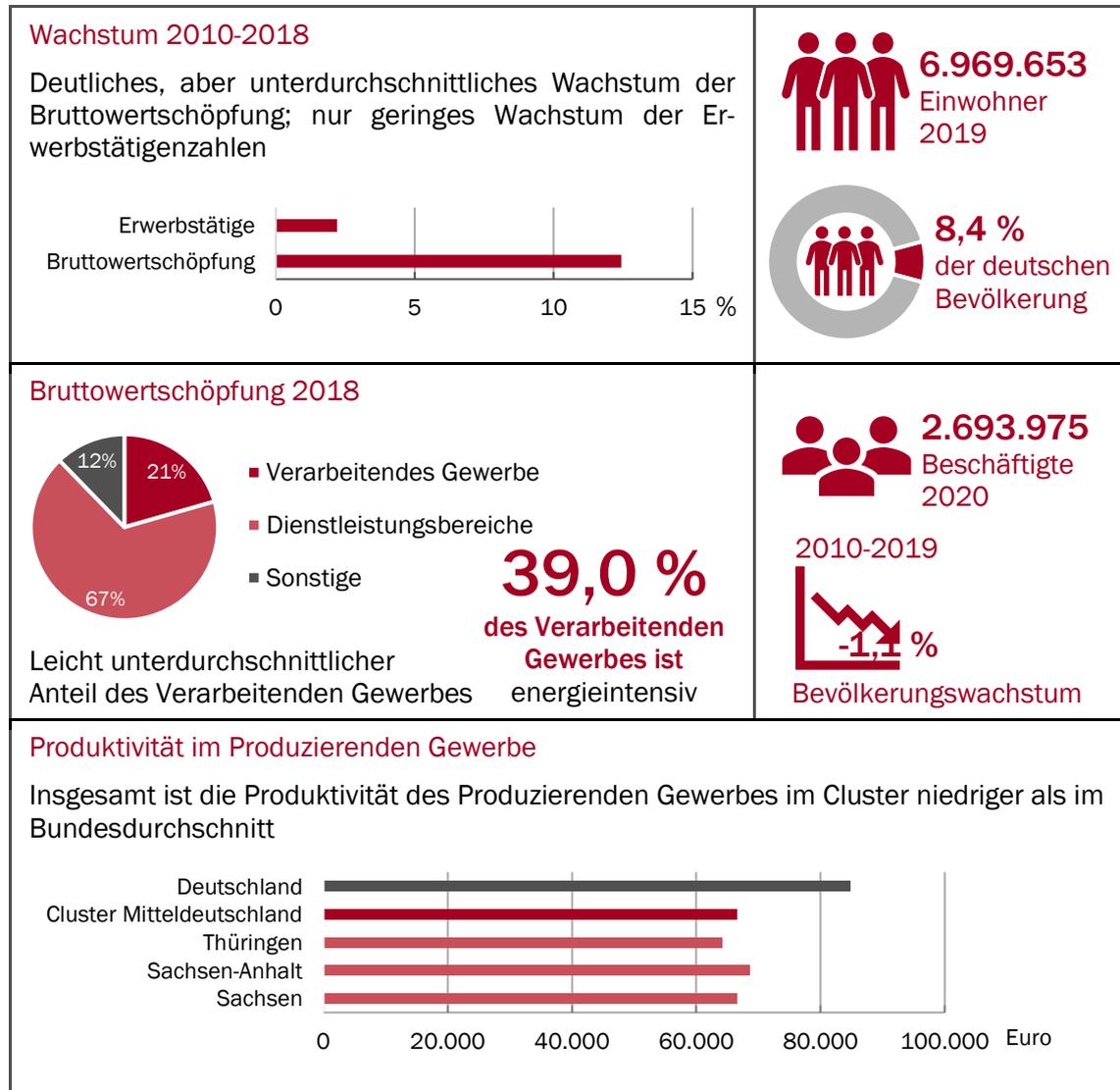


Tabelle 9: Beispiele für Initiativen zur Förderung der Wasserstoffwirtschaft

Sachsen	<ul style="list-style-type: none"> Wasserstoffstrategie in Entwicklung Hzwo e.V. (Sitz Chemnitz) – Innovationscluster: Sächsische Kompetenzstelle Brennstoffzellen und grüner Wasserstoff (mitfinanziert durch den Freistaat Sachsen)
Sachsen-Anhalt	<ul style="list-style-type: none"> Wasserstoffstrategie (2021) Förderung des Aufbaus der Elektrolysetest- und -versuchsplattform der Fraunhofer-Gesellschaft in Leuna (Wirtschaftsministerium Sachsen-Anhalt) Förderung der Errichtung einer großdimensionierten Produktionsanlage zur Erzeugung und Verflüssigung von grünem Wasserstoff in Leuna (Wirtschaftsministerium Sachsen-Anhalt)
Thüringen	<ul style="list-style-type: none"> Wasserstoffstrategie (2021) Wasserstoffmodellregion Schwarzatal (innovative Mobilität) (Umweltministerium) Institut für Angewandte Wasserstoff-Forschung Sonneberg (HySON) bündelt zehn Forschungseinrichtungen unter dem Dach des Forschungs- und Technologieverbundes Thüringen e.V. (FTVT)

3.3.2 | Regionalwirtschaft

Abbildung 23: Soziökonomischen Indikatoren



Quellen: VGR der Länder, Statistisches Bundesamt, ETR

Insgesamt leben im Cluster Mitteldeutschland etwa 7,0 Millionen Menschen, die 6,8 Prozent der deutschen Bruttowertschöpfung erwirtschaften. Dabei hat das Produzierende Gewerbe eine überdurchschnittlich hohe Bedeutung, wobei sich die Industrie in den letzten Jahren auch sehr dynamisch entwickelt hat. Insgesamt ist die ökonomische Entwicklung im Cluster Mitteldeutschland aber etwas ungünstiger verlaufen als im bundesdeutschen Durchschnitt, wobei sich einige Regionen in Sachsen und Thüringen, insbesondere die Städte, positiv absetzen konnten.

3.3.3 | SWOT

Stärken

Fast alle Regionen in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen haben hohe oder moderate Wasserstoffpotenziale. Es gibt somit großräumig Ansatzpunkte für den weiteren Aufbau der Wasserstoffwirtschaft im Cluster Mitteldeutschland. Dabei bestehen etwa Potenziale für die Entwicklung von Synergien in Bezug zum Aufbau der Wasserstoffwirtschaft durch die Kooperation der verschiedenen Akteure aus dem Bereich der Forschung, der Wirtschaft und dem öffentlichen Sektor. Es ist eine besondere Standortstärke, dass es in verschiedenen Teilen des Clusters große Potenzialflächen für die Entwicklung der Wasserstoffindustrie, etwa den Ausbau erneuerbarer Energien und der Ansiedlung von Unternehmen, gibt. So etwa durch die Nach- und Umnutzung von bestehenden Gewerbe- und Industrieflächen.

Im Cluster Mitteldeutschland werden bereits zahlreiche Pilotprojekte in Bezug zur Wasserstoffindustrie umgesetzt, auch im interkommunalen Verbund und in Kooperation zwischen den Bundesländern. Den strategischen Rahmen für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft setzen die Wasserstoffstrategien der Länder, die in Sachsen-Anhalt und Thüringen bereits beschlossen sind und sich in Sachsen im Abstimmungsprozess befindet. Aber auch teilträumlich gibt es strategische Ansätze, um den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft gezielt zu fördern. So etwa das Innovationscluster Sächsische Kompetenzstelle Brennstoffzellen und grüner Wasserstoff (Hzwo e.V.) mit Sitz in Chemnitz.

Die Angebotspotenziale für Wasserstoff in den Regionen des Clusters Mitteldeutschland sind überwiegend positiv. Es gibt hohe Kapazitäten für die Erzeugung von Windstrom und somit günstige Bedingungen für die Produktion von grünem Wasserstoff. Zu den Standortvorteilen für die Wasserstoffwirtschaft trägt auch die gut ausgebaute Infrastruktur bei, die für die Verteilung von Wasserstoff genutzt werden kann. Auch im Bereich der Speicherung von Wasserstoff gibt es verschiedene aktuelle Vorhaben, welche die Standortbedingungen stärken. Ein Beispiel dafür ist der Aufbau einer H₂-Forschungskaverne im Energiepark Bad Lauchstädt in Sachsen-Anhalt (vgl. HYPOS 2021). Diese Kaverne kann potenziell über eine umzuwidmende Erdgaspipeline an die bestehende Wasserstoffinfrastruktur im mitteldeutschen Chemiedreieck angeschlossen werden.

Im Cluster Mitteldeutschland ist das Nachfragepotenzial für Wasserstoff aufgrund der gegebenen industriellen Strukturen hoch. Im Zentrum des Clusters liegt das mitteldeutsche Revier, welches neun Landkreise in Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen einschließt. Einen wirtschaftlichen Schwerpunkt stellt dort (auslaufend) die Braunkohlewirtschaft dar. Im mitteldeutschen Revier und dessen Umfeld haben sich in der Vergangenheit zahlreiche Unternehmen der energieintensiven Industrien entwickelt, woraus sich hohes industrielles

Nachfragepotenzial für Wasserstoff ergibt. Ein industrieller Schwerpunkt ist das mitteldeutsche Chemiedreieck (Leuna-Schkopau-Bitterfeld), wo sich unter anderem verschiedene Unternehmen der Chemischen Industrie, auch Raffinerien, befinden. Im Chemiapark Leuna und dessen räumlicher Umgebung wird mit der Produktion, dem Transport, der Speicherung und der Anwendung von Wasserstoff bereits die gesamte Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft abgedeckt. Im mitteldeutschen Cluster befinden sich zudem verschiedene Stahlwerke, welche potenzielle Nachfrager nach Wasserstoff sind. Im Verkehrsbereich gibt es verschiedene Logistikzentren und Wasserstofftankstellen, wo zukünftig weitere Nachfrage nach Wasserstoff entstehen könnte.

Das Cluster Mitteldeutschland wird bereits im Ausland als Wasserstoffstandort wahrgenommen und in verschiedenen Bereichen ist die Wasserstoffwirtschaft in Mitteldeutschland durch größere, international tätige Unternehmen internationalisiert. So exportieren Unternehmen aus Mitteldeutschland Technologien und Anlagen für die Wasserstoffwirtschaft ins Ausland, etwa Elektrolyseure, die in Sachsen produziert werden. Es finden im Cluster Mitteldeutschland auch bereits Ansiedlungen von Unternehmen aus dem Ausland statt, schwerpunktmäßig im mitteldeutschen Chemiedreieck in Sachsen-Anhalt.

Im Cluster Mitteldeutschland gibt es eine breite und stetig wachsende Wissensbasis in Bezug auf die Wasserstoffwirtschaft. In zahlreichen Pilotprojekten ist in den vergangenen Jahren eine ausgeprägte Expertise in Bezug auf die verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft aufgebaut worden. Dabei stellen die entwickelten Kenntnisse in Bezug auf die Erzeugung und Anwendung von Wasserstoff ein besonderes Potenzial dar, etwa durch verschiedene großdimensionierte Pilotprojekte im Chemiedreieck. Das Institut für Angewandte Wasserstoff-Forschung Sonneberg (HySON) bündelt zehn Forschungseinrichtungen unter dem Dach des Forschungs- und Technologieverbundes Thüringen e.V. (FTVT). Zu dem Wissenspotenzial für die Wasserstoffwirtschaft tragen die generellen Kompetenzen in der Energiewirtschaft, so im Bereich der Energietechnik (etwa im Bezug zum mitteldeutschen Braunkohlerevier) und Expertise im Energiehandel bei.

Schwächen

Eine Schwäche in verschiedenen Regionen des Clusters Mitteldeutschland ist eine rückläufige Bevölkerung und damit eine Abnahme des Arbeitskräftepotenzials, was sich negativ auf die generellen Rahmenbedingungen für die wirtschaftliche Entwicklung des Clusters Mitteldeutschland auswirken könnte. Im Vergleich zu anderen Regionen ist der Anteil Beschäftigter mit akademischem Abschluss geringer. Die in vielen Bereichen kleinteilige Unternehmensstruktur im Cluster Mitteldeutschland kann hinsichtlich des Aufbaus regionaler Wertschöpfungsketten in Bezug zur Wasserstoffwirtschaft in gewisser Weise nachteilig sein.

Denn die Wasserstoffindustrie benötigt verschiedene und umfangreiche technologiebasierte Vorleistungen, für die entsprechende Unternehmen notwendig sind. Die kleinteilige Unternehmensstruktur könnte aufgrund fehlender Vorleistungsproduzenten ein Entwicklungshemmnis für die Wasserstoffwirtschaft sein. Kleinere Unternehmen verfügen häufig nicht über die Kapazitäten für Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsprojekte, welche grundlegend für den weiteren Ausbau der Wasserstoffwirtschaft sind.

Tabelle 10: SWOT Cluster Mitteldeutschland: Stärken und Schwächen

Stärken	Schwächen
<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fast alle Kreise in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen besitzen hohe oder moderate Wasserstoffpotenziale ▪ Große Potenzialflächen für die Entwicklung der Wasserstoffindustrie (Nach-/Umnutzung Industrieflächen) ▪ Pilotprojekte (im interkommunalen Verbund) zu verschiedenen Themen; ausgeprägte interkommunale Verflechtungen ▪ Ansiedelungen von Unternehmen aus dem Ausland mit Bezug zum Wasserstoff finden statt (Schwerpunkt Chemiedreieck) <p>Angebotspotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Überwiegend gut oder moderat: Hohe Kapazitäten bei der Erzeugung von Windstrom ▪ Gut ausgebaute Infrastrukturen, die für die Verteilung von Wasserstoff genutzt werden können ▪ Ausbau der Speicheranlagen für Wasserstoff ▪ Große (teils internationale) Unternehmen, die Ausrüstungen und Geräte für die Wasserstoffindustrie produzieren (auch Bau von Elektrolyseuren) <p>Nachfragepotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Spezialisierung auf die Chemieindustrie (Mitteldeutsches Chemiedreieck); Raffineriestandort und Stahlwerke ▪ Wasserstofftankstellen; Logistikzentren ▪ Nachfragepotenziale Glasindustrie <p>Wissenspotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausgeprägte Expertise in der Anwendung von Wasserstoff (Erprobung von Anwendungen auch in grenzüberschreitende Zusammenarbeit) ▪ Zahlreiche Pilotprojekte (insbesondere bzgl. Erzeugung) ▪ Kompetenzen in der Energiewirtschaft/Energetechnik (Bezug zu Braunkohleregionen) ▪ Expertise im Energiehandel 	<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rückläufige Bevölkerung in Teilen des Clusters Mitteldeutschland ▪ Vergleichsweise geringer Anteil von Beschäftigten mit akademischem Abschluss ▪ Kleinteilige Unternehmensstruktur (vergleichsweise geringer Besatz mit technologie- und forschungsaffinen Unternehmen)

Chancen

Im Cluster Mitteldeutschland gibt es aufgrund der dortigen Standortbedingungen besondere Entwicklungschancen für den weiteren Aufbau einer Wasserstoffindustrie. Eine wichtige Entwicklungschance für die grüne Wasserstoffwirtschaft im Cluster Mitteldeutschland stellen auf der Angebotsseite die hohen Kapazitäten bei der Erzeugung von Windstrom dar, die im Zuge des Ausstiegs aus dem EEG zukünftig zunehmend für die Wasserstoffwirtschaft genutzt werden können. Potenzialflächen können zudem für die Erzeugung von Solarstrom genutzt werden. Hier ergeben sich insbesondere Chancen aus großdimensionierten Anlagen zur Erzeugung von Wasserstoff, die sich derzeit im Aufbau befinden und zukünftig in Betrieb gehen werden. Perspektivisch werden zahlreiche Regionen in Mitteldeutschland im Zuge des infrastrukturellen Ausbaus eine gute Anbindung an das Wasserstofffernleitnetz haben. Zudem könnte die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft von der bereits etablierten, teils internationalisierten, Unternehmenstruktur in der Wasserstoffwirtschaft profitieren.

Die Wissensbasis für die Weiterentwicklung der Wasserstoffwirtschaft im Cluster Mitteldeutschland wird zukünftig durch weitere, teils großdimensionierte, Pilotprojekte gestärkt. Jeweils fünf Projekte aus Sachsen-Anhalt und Sachsen sind IPCEI-Wasserstoffprojekte. Weitere Entwicklungschancen eröffnet der Ausbau der energietechnischen Ausbildung und Forschung im Cluster Mitteldeutschland. Dadurch werden die Fachkräfteverfügbarkeit und das Potenzial für den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis gestärkt. Besondere diesbezügliche Impulse werden im Zusammenhang mit dem Aufbau des Innovations- und Technologiezentrums „Hydrogen and Mobility Innovation Center (HIC)“ in Chemnitz gesetzt werden. Dieses Zentrum wird unter dem Dach des Deutschen Zentrums Mobilität der Zukunft angesiedelt sein, mit dem das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur eine Maßnahme der Nationalen Wasserstoffstrategie umsetzt.

Durch die Umsetzung der Wasserstoffstrategien der Bundesländer des mitteldeutschen Clusters können die dortigen Rahmenbedingungen für die grüne Wasserstoffwirtschaft weiter gestärkt werden, insbesondere auch dann, wenn diesbezügliche Synergien zwischen den Bundesländern genutzt werden. Generell können durch die weitere interkommunale Vernetzung der Akteure der Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft weitere Potenziale generiert werden. Möglichkeiten bietet hier auch die grenzüberschreitende Zusammenarbeit mit Regionen in Polen und Tschechien. Finanzielle Förderung der Kompensation des Strukturwandels im mitteldeutschen Revier eröffnet Potenziale für die Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie. In diesem Zusammenhang ergeben sich auch weitere Chancen für den Aufbau von Rahmenbedingungen zur Förderung von Start-ups und Spinn-offs.

Risiken

Im mitteldeutschen Cluster könnte ein anhaltender Bevölkerungsrückgang, abnehmendes Arbeitskräftepotenzial und damit einhergehend Fachkräftemangel für die Wasserstoffwirtschaft ein Entwicklungshemmnis für den Aufbau dieser Industrie darstellen. Allerdings ist hier regional zu differenzieren, da die größeren Städte auch in Mitteldeutschland weniger von abnehmender Bevölkerung betroffen sein werden.

Tabelle 11: SWOT Cluster Mitteldeutschland: Chancen und Risiken

Chancen	Risiken
<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kooperation regionaler Erzeuger und Verbraucher von Strom in verschiedenen Zusammenhängen ▪ Hohe Kapazitäten bei der Erzeugung von Windstrom, die in den nächsten Jahren durch das Ausscheiden von Anlagen aus dem EEG steigen werden ▪ Potenzialflächen für die Erzeugung von Solar-energie ▪ Perspektivisch gute/sehr gute Anbindung der Regionen an das Wasserstofffernleitnetz <p>Wissenspotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Jeweils fünf IPCEI-Wasserstoffprojekte in Sachsen und in Sachsen-Anhalt ▪ Weiterentwicklung energietechnischer Kompetenzen in Ausbildung und Forschung ▪ Aufbau des Innovations- und Technologiezentrums „Wasserstofftechnologie für Mobilitätsanwendungen“ in Chemnitz <p>Förderung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Umsetzung der Wasserstoff-Strategie (Sachsen-Anhalt, Thüringen) ▪ Beschluss und Umsetzung der Wasserstoff-Strategie Sachsen ▪ Weiterentwicklung der Vernetzung zwischen den Regionen für den Ausbau der Wasserstoffwirtschaft (auch grenzüberschreitend) ▪ Finanzielle Förderung der Kompensation des Strukturwandels im mitteldeutschen Revier eröffnet Potenziale für die Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie ▪ Förderung von Start-ups und Spinn-offs 	<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Regional Bevölkerungsrückgang (abnehmendes Arbeitskräftepotenzial; Fachkräftemangel; rückläufiges Nachfragepotenzial) ▪ Regional weiter abnehmende Bedeutung des Verarbeitenden Gewerbes ▪ Negative regionalökonomische Effekte des Ausstiegs aus der Braunkohleförderung und -verstromung ▪ Kleinteilige Unternehmensstruktur könnte in gewissen Bereichen dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis entgegenstehen

Zudem gibt es in Mitteldeutschland in der Wasserstoffindustrie einige größere Unternehmen, für die die Gewinnung von Fachkräften im Vergleich zu kleineren Unternehmen ein geringeres Problem darstellen dürfte. Generelle Risiken für die Entwicklung des Clusters

Mitteldeutschland bestehen darin, dass das Verarbeitenden Gewerbe regional weiter zurückgehen könnte und dass negative regionale Effekte mit dem Ausstieg aus der Braunkohleförderung und -verstromung auftreten. Zudem könnte die kleinteilige Unternehmensstruktur ein Hemmnis für den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis sein.

Zusammenfassende Bewertung

Insgesamt lassen sich für das Cluster Mitteldeutschland in Bezug auf die Wirkungen der Wasserstoffwirtschaft auf die wirtschaftliche Entwicklung und den Strukturwandel die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- Zukunftsfähige Energiewirtschaft: Die direkten Effekte über die Erzeugung von Wasserstoff werden positiv sein. Weitere positive Effekte entstehen über den Ausbau der Netze.
- Zukunftsfähiger Umbau der Industrie: Wasserstoff leistet einen wichtigen Beitrag zum zukunftsfähigen Umbau der Industrie. Die Verfügbarkeit von Wasserstoff wird sich positiv auf die Standortbedingungen der Industrie auswirken.
- Zukunftsfähige neue Technologien: Neue Technologien, insbesondere zur Nutzung und Erzeugung von Wasserstoff, werden entwickelt und können dann in andere Regionen exportiert werden.

3.4 | Nordrhein-Westfalen

3.4.1 | Das Cluster im Überblick

Auf das Cluster Nordrhein-Westfalen entfallen insgesamt 32 Landkreise und Kreisfreie Städte mit moderatem (18) und hohem Wasserstoffpotenzial (14) (Abbildung 24). Damit hat der Großteil der Kreise in Nordrhein-Westfalen Wasserstoffpotenziale. Dabei befinden sich etwas mehr als die Hälfte der Kreise mit Wasserstoffpotenzialen in Regionen im Strukturwandel. Diese liegen fast ausschließlich im Ruhrgebiet und im Rheinischen Revier, in dem es fast überall ein hohes Wasserstoffpotenzial gibt.

In Nordrhein-Westfalen gibt es eine Wasserstoff-Roadmap und verschiedene weitere Initiativen zur Förderung der Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft, auch in interkommunaler Zusammenarbeit (vgl. Tabelle 14). In den vergangenen Jahren sind zahlreiche Pilotprojekte zur Förderung der Wasserstoffwirtschaft umgesetzt worden oder befinden sich in Umsetzung.

Abbildung 24: Wasserstoffpotenziale Cluster Nordrhein-Westfalen

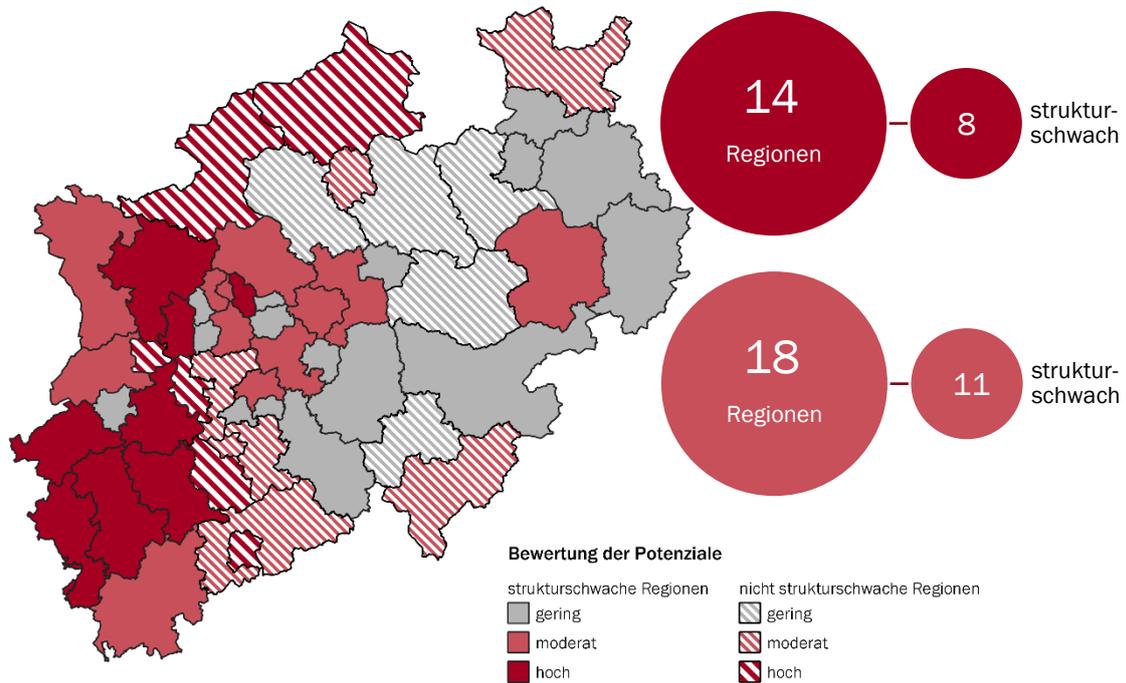
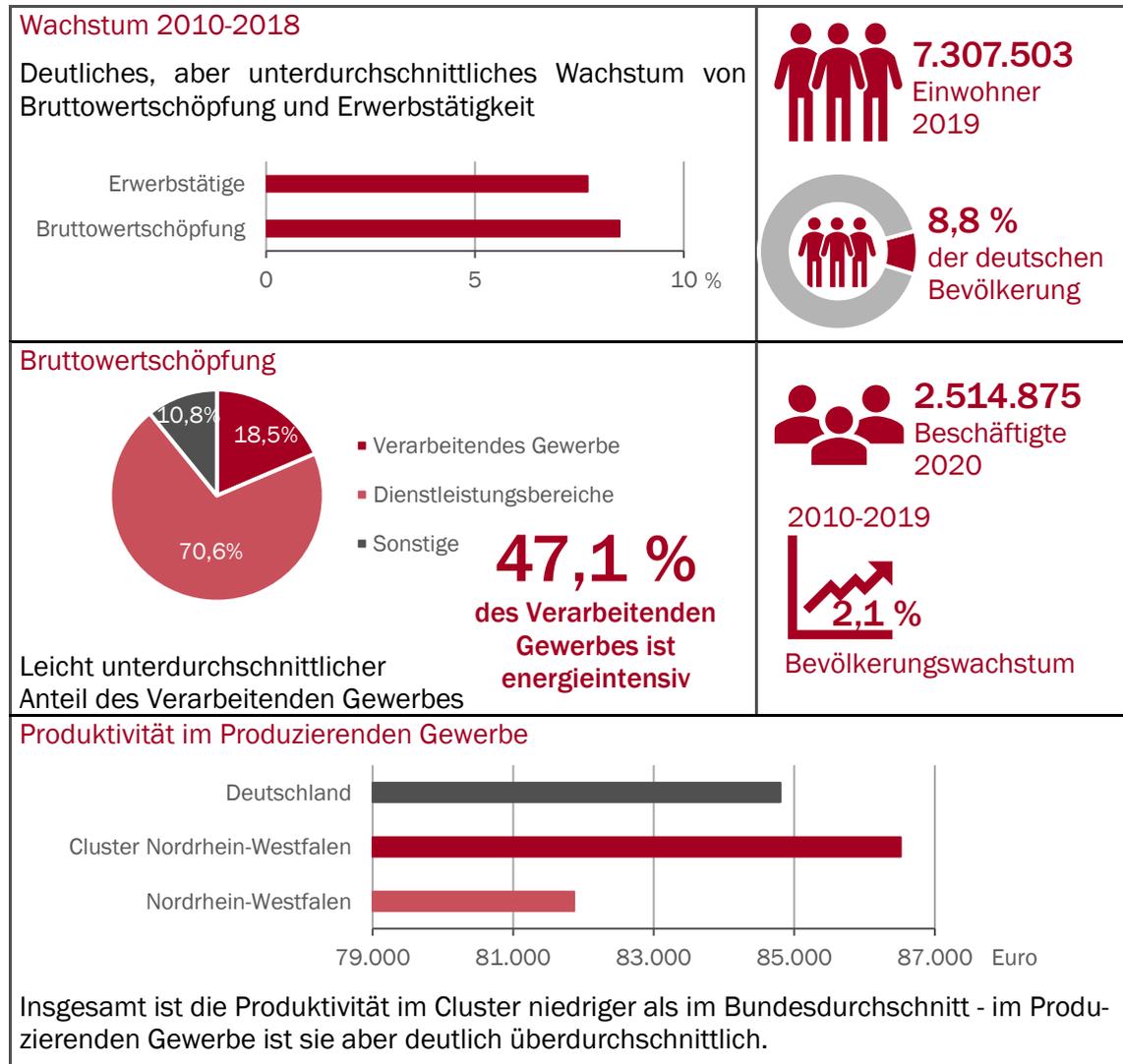


Tabelle 12: Beispiele für Initiativen zur Förderung der Wasserstoffwirtschaft

Nordrhein-Westfalen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wasserstoff-Roadmap für Nordrhein-Westfalen (2020) ▪ Förderung Modellregion Wasserstoffmobilität NRW DüsselRheinWupper (strukturschwache Regionen Duisburg, Rhein-Kreis Neuss und Wuppertal; nicht strukturschwache Region Düsseldorf) (Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen) ▪ Förderung des Aufbaus einer großdimensionierten Anlage zur Speicherung von grünem Wasserstoff im CHEMPARK Dormagen (Ko-Finanzierung durch Landesmittel Nordrhein-Westfalen) ▪ H2R – Wasserstoff Rheinland (mit Roadmap) (ohne strukturschwache Regionen) (Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen) ▪ h2-netzwerk-ruhr e.V. ▪ HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland e. V.
---------------------	---

3.4.2 | Regionalwirtschaft

Abbildung 25: Soziökonomischen Indikatoren



Quellen: VGR der Länder, Statistisches Bundesamt, ETR

Insgesamt leben im Cluster Nordrhein-Westfalen etwa 7,3 Millionen Menschen, die 7,3 Prozent der deutschen Bruttowertschöpfung erwirtschaften. Die Produktivität im Cluster ist geringer als im Bundesdurchschnitt, wobei sie im Verarbeitenden Gewerbe überdurchschnittlich ist. Dies ist auf industrielle Stärken – etwa in der Chemieindustrie – zurückzuführen. Das Wachstum der Bruttowertschöpfung war im Cluster Nordrhein-Westfalen nur halb so hoch wie im bundesweiten Durchschnitt. Eine besondere Bedeutung für die Beschäftigung im Cluster haben energieintensive Industriezweige, insbesondere die Chemie- und Stahlindustrie haben höhere Beschäftigungsanteile als in Deutschland.

3.4.3 | SWOT

Stärken

Der regionale Kontext für die Entwicklung der Wasserstoffindustrie in Nordrhein-Westfalen ist günstig. Ein Großteil der Regionen – mit räumlichen Schwerpunkten im Ruhrgebiet und im Rheinischen Revier – hat Wasserstoffpotenziale. Charakteristisch für das Cluster Nordrhein-Westfalen ist eine hohe Bevölkerungs- und Unternehmensdichte, die ein hohes Marktpotenzial des Clusters bedingen. Die Nachfragepotenziale im Cluster sind aufgrund der gegebenen industriellen Strukturen und der Bedeutung des Clusters als Logistikstandort hoch. Bedeutsam im Hinblick auf die Nutzung von Wasserstoff im industriellen Bereich ist die Spezialisierung der Region auf energieintensive Industrie, insbesondere in der Chemieindustrie und der Stahlerzeugung, aber auch in anderen energieintensiven Industrien wie der Aluminiumindustrie oder der Herstellung von Glas. Zudem ist das Cluster der Standort von verschiedenen Raffinerien.

Das Verkehrsinfrastrukturnetz im Cluster ist dicht ausgebaut und umfasst eine Reihe von trimodalen Logistikstandorten, etwa den Rheinhafen Neuss und den Chempark Dormagen. Generell bieten die Binnenhäfen der Region, insbesondere der trimodale Duisburger Hafen als größter Binnenhafen Deutschlands, Potenziale als Verteilerzentren für Wasserstoff. Die Binnenhäfen in Nordrhein-Westfalen haben den Standortvorteil der guten Erreichbarkeit von internationalen Seehäfen, wie Antwerpen und Rotterdam. Nachfragepotenziale für Wasserstoff werden auch durch verschiedene Projekte, etwa im Verkehrsbereich, gefördert. Exemplarisch sei hier die Modellregion Wasserstoffmobilität NRW DüsselRheinWupper genannt, an der – neben Düsseldorf – die strukturschwachen Regionen Duisburg, Rhein-Kreis Neuss und Wuppertal beteiligt sind (vgl. BBH Consulting AG 2021).

Eine besondere Stärke des Clusters sind die hohen Wissenspotenziale in den Unternehmen. Diese beziehen sich auf die Nutzung von Wasserstoff sowie auf den Bau von Anlagen und Ausrüstungen für die Wasserstoffwirtschaft. So gibt es zahlreiche Unternehmen, auch international tätig, die auf die Energiewirtschaft und deren klimafreundlichen Umbau spezialisiert sind. Entwicklungspotenziale für Wasserstoffanwendungen werden im Ruhrgebiet durch verschiedene großdimensionierte Pilotprojekte für die Herstellung von „Grünem Stahl“ gesetzt. Die Potenziale für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft werden durch die Vernetzung der Unternehmen im Cluster gestärkt. Verschiedene regionale Akteure kooperieren etwa im Rahmen des schon im Jahr 2008 gegründeten h2-netzwerk-ruhr e.V. Seitdem hat die Wissensbasis für die Erzeugung, Anwendung und Speicherung von Wasserstoff im Cluster Nordrhein-Westfalen durch zahlreiche Forschungsprojekte und anwendungsbezogene Pilotprojekte kontinuierlich zugenommen. Wichtige diesbezügliche Impulse werden

zukünftig zunehmend von dem sich im Aufbau befindenden „Helmholtz-Cluster für nachhaltige und infrastruktur-kompatible Wasserstoffwirtschaft (HC-H₂)“ in Jülich ausgehen. Mit dem durch die Bundesregierung und die nordrhein-westfälische Landesregierung geförderten Vorhaben soll das Rheinische Revier zu einer Modellregion für die Erforschung, Entwicklung und großdimensionierten Demonstration von innovativen Wasserstofftechnologien weiterentwickelt werden.

Schwächen

Ein wesentlicher Standortnachteil für den Aufbau der grünen Wasserstoffindustrie im Cluster ist das geringe Angebotspotenzial aus erneuerbaren Energien. Aufgrund der hohen Stromnachfrage in der Region, der guten Vernetzung in anderen Regionen und vor allem aufgrund der zurückgehenden Stromerzeugung aus Kohlekraftwerken wird die gesamte Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien für die Deckung des Strombedarfs benötigt.

Tabelle 13: SWOT Cluster Nordrhein-Westfalen: Stärken und Schwächen

Stärken	Schwächen
<p>Regionaler Kontext</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Räumliche Konzentration von Wasserstoffpotenzialregionen (Ruhrgebiet; Rheinisches Revier) ▪ Hohe Bevölkerungs- und Unternehmensdichte ▪ Speicheranlagen für Wasserstoff <p>Nachfragepotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Spezialisierung auf energieintensive Industrien: Chemieindustrie, Raffinerie, Stahlwerke, Glasindustrie ▪ Logistikstandorte (z.T. trimodal); Wasserstofftankstellen ▪ Binnenhäfen als potenzielle Verteilzentren für Wasserstoff (mit Anbindung an internationale Seehäfen; trimodale Weiterleitung) ▪ Weichenstellungen für kommunale Nutzung von Wasserstoff im Verkehrssektor/ÖPNV <p>Wissenspotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verschiedene Anwendungen von Wasserstoff werden im Cluster erprobt, auch in grenzüberschreitender Zusammenarbeit ▪ Kompetenzen der Unternehmen für den Bau von Anlagen und Maschinen sowie der Herstellung von Ausrüstungen für die Wasserstoffwirtschaft ▪ (Internationale) Unternehmen der Energiewirtschaft ▪ Hohe Anzahl von Pilotprojekten (im interkommunalen Verbund) zu verschiedenen Themen ▪ „Helmholtz-Cluster für nachhaltige und infrastruktur-kompatible Wasserstoffwirtschaft, Jülich“ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Angebotspotenziale auf Basis erneuerbaren Energien eher gering ▪ Hohe Bedeutung von fossilen Rohstoffen für die Industrie (Potenzial für negative Rückwirkungen des Umbaus in der Energieversorgung)

Zudem könnte sich aus dem Umbau der Energieversorgung aufgrund der gegenwärtig noch hohen Bedeutung der Kohleverstromung negative Effekte auf die energieintensiven Industrien ergeben, die dann auch den Ausbau der Wasserstoffwirtschaft behindern würden.

Chancen

Chancen für die zukünftige Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft im Cluster Nordrhein-Westfalen stehen unter anderem im Zusammenhang mit seiner günstigen großräumigen Lage im größten Ballungsgebiet Deutschlands und der Erreichbarkeit von Binnen- und Seehäfen. Die Siedlungsstruktur ist von einem dichten Netz von Zentren und (Groß-)Städten geprägt, die wachsende Nachfragepotenziale für Wasserstoffanwendungen für Mobilität, Logistik, Wärmeerzeugung und die Industrie im Zuge der Energiewende generieren. Die Positionierung des Clusters Nordrhein-Westfalen als wichtiger Standort für die Wasserstoffindustrie wird dadurch weiter begünstigt, dass zahlreiche seiner Regionen perspektivisch eine sehr gute beziehungsweise gute Anbindung an das Wasserstofffernleitungsnetz haben werden. Die Konversionsflächen der Kraftwerksstandorte im Cluster Nordrhein-Westfalen, die im Zuge der Energiewende zukünftig anderen Nutzungen zugeführt werden können, bieten – in der Regel jedoch erst mittel- oder langfristig – Entwicklungsflächen für die Wasserstoffwirtschaft. Es besteht das Potenzial des Imports von Wasserstoff über die Binnenhäfen des Clusters sowie den Anschluss an Erzeugerregionen über eine Pipeline-Infrastruktur. Diesbezüglich gibt es bereits Initiativen zwischen Stahlerzeugern der Region und dem Hafen Rotterdam.

Generell wird die noch intensivere Vernetzung der Wasserstoffpotenzialregionen im Cluster oder auch mit anderen Regionen, etwa grenzüberschreitend mit den Niederlanden, positive Effekte auf die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft haben. Einen wichtigen Beitrag zur Stärkung der Wasserstoffwirtschaft in Nordrhein-Westfalen kann die Umsetzung der Wasserstoff-Roadmap Nordrhein-Westfalen leisten. Zudem wird die regionale Forschungsinfrastruktur in Bezug auf Wasserstoff zukünftig weiter ausgebaut werden. So wird Duisburg Standort eines Innovations- und Technologiezentrums Wasserstoff unter dem Dach des Deutschen Zentrum Mobilität der Zukunft, mit dem das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur eine Maßnahme der Nationalen Wasserstoffstrategie umsetzt. Potenziale für die weitere Stärkung der Wasserstoffwirtschaft resultieren zudem aus zehn IPCEI-Projekten in Nordrhein-Westfalen (neun Industrieprojekte, ein Mobilitätsprojekt) und aus der Nutzung anderer Förderprogramme (etwa der Zukunftsagentur Rheinisches Revier). Generell ist die Weiterentwicklung der Expertise in der Energiewirtschaft, die in der Region eine lange Historie hat, ein wichtige Basis für die Positionierung des Clusters als Wasserstoffregion. Zur Stärkung der Wasserstoffwirtschaft im Cluster werden auch Startups und Gründungen gefördert, etwa seit Anfang des Jahres 2021 im Wasserstoff-Campus Oberhausen HydrOB.

Risiken

Für die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft im Cluster Nordrhein-Westfalen gibt es aber neben den zahlreichen Chancen verschiedene Herausforderungen.

Tabelle 14: SWOT Cluster Nordrhein-Westfalen: Chance und Risiken

Chancen	Risiken
<p>Regional</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Das Cluster befindet sich in einer hoch verdichteten Region in dem größten Ballungsgebiet Deutschlands mit einem dichten Netz von Zentren und damit hohen und wachsenden Nachfragepotenzialen im Zuge der Energiewende (Mobilität, Logistik, Wirtschaft ...) ▪ Weiterentwicklung und Aufbau von Vernetzung zwischen den Regionen – auch grenzüberschreitend mit den Niederlanden ▪ Konversionsflächen Kraftwerksstandorte als Entwicklungsflächen für die Wasserstoffwirtschaft ▪ Umsetzung der Wasserstoff-Roadmap NRW <p>Infrastruktur</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufbau Pipeline-Infrastruktur zwischen Unternehmen und internationalen Seehäfen ▪ Perspektivisch zahlreiche Regionen mit sehr guter/guter Anbindung an das Wasserstofffernleitnetz <p>Wissenspotenziale</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Duisburg wird zukünftig Standort des Innovations- und Technologiezentrums Wasserstoff sein ▪ Zehn IPCEI-Projekte (9 Industrieprojekte; 1 Mobilitätsprojekt) ▪ Nutzen der hohen Expertise in der Energiewirtschaft, diese müsste weiterentwickelt werden <p>Förderung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kompensation des Strukturwandels im Rheinischen Revier für Wasserstoffprojekte (Zukunftagentur Rheinisches Revier) ▪ Weitere Nutzung von Förderprogrammen für Pilotprojekte ▪ Förderung von Start-ups und Spin-offs 	<p>Regional</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Abnehmende Bedeutung des Verarbeitenden Gewerbes ▪ Negative regionalökonomische Effekte des Ausstiegs aus der Braunkohleförderung und -verstromung ▪ Fachkräftemangel ▪ Lokal keine ausreichende Verfügbarkeit von Gewerbe- und Industrieflächen ▪ Fehlende Koordinierung von Projekten und Programmen zur Begleitung des Kohleausstiegs/Strukturwandels <p>Energiewirtschaftlich</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausbaumöglichkeiten für erneuerbare Energien sind begrenzt: Der direkte Bedarf an Strom ist groß

Regional besteht aufgrund des Strukturwandels und der potenziell weiter abnehmenden Bedeutung des Verarbeitenden Gewerbes das Risiko eines Rückgangs des Nachfragepotenzials aus der Industrie. Zudem könnten sich negative regionalökonomische Effekte des Ausstiegs aus der Braunkohleförderung und -verstromung ergeben, welche sich auf die allgemeinen regionalen Rahmenbedingungen für die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft auswirken. Fachkräftemangel wird zukünftig auch das Cluster Nordrhein-Westfalen betreffen, woraus negative Effekte für das Angebot in der und für die Wasserstoffindustrie – etwa

aufgrund unbesetzter Ingenieursstellen im Anlagebau, bei den Ausrüstern und im Maschinenbau – resultieren können. Zudem sind kurzfristig vielerorts keine Industrie- und Gewerbeflächen für Unternehmensansiedlungen oder gegebenenfalls -expansionen verfügbar. Die Koordinierung der zahlreichen parallellaufenden Projekte und Programme zur Begleitung des Strukturwandels im Zuge des Kohleausstiegs ist zudem eine Herausforderung, der im Sinne des effizienten Einsatzes von Fördermitteln im Cluster Nordrhein-Westfalen zu begegnen ist. Energiewirtschaftlich stellen begrenzte Kapazitäten für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ein potenzielles Entwicklungshemmnis für die grüne Wasserstoffwirtschaft dar.

Zusammenfassende Bewertung

Insgesamt lassen sich für das Cluster Nordrhein-Westfalen in Bezug auf die Wirkungen der Wasserstoffwirtschaft auf die wirtschaftliche Entwicklung und den Strukturwandel die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- Zukunftsfähige Energiewirtschaft: Die direkten Effekte über die Erzeugung von Wasserstoff werden gering sein. Gewisse positive Effekte entstehen über den Ausbau der Netze.
- Zukunftsfähiger Umbau der Industrie: Wasserstoff leistet einen wichtigen Beitrag zum zukunftsfähigen Umbau der Industrie, auch wenn die Verfügbarkeit von Wasserstoff in anderen Regionen besser sein wird.
- Zukunftsfähige neue Technologien: Neue Technologien, insbesondere zur Nutzung von Wasserstoff, werden entwickelt und können dann in andere Regionen exportiert werden.

4 | Handlungsansätze

Wasserstoffpotenziale für Wirtschaftswachstum und Strukturwandel

In den Clustern Berlin-Brandenburg-Lausitz, Mitteldeutschland, Norddeutschland und Nordrhein-Westfalen bestehen ausgeprägte Entwicklungschancen und Standortstärken für den Ausbau der Wasserstoffwirtschaft. Durch die Wasserstoffwirtschaft eröffnen sich für die Regionen Potenziale für eine zukunftsfähige Energiewirtschaft, den zukunftsfähigen Umbau der Industrie und die Entwicklung zukunftsfähiger neuer Technologien. Mit dem Ausbau der Wasserstoffwirtschaft verbessern sich die Standortbedingungen in den Clusterregionen, so dass der Strukturwandel begünstigt wird und die Arbeitsplätze sowie die Wertschöpfung zunehmen.

Handlungsansätze zur Stärkung der Wasserstoffwirtschaft

Es gibt eine Reihe von Handlungsansätzen, mit denen die Entwicklungsmöglichkeiten und Standortstärken der Cluster mit Wasserstoffpotenzialen weiter gestärkt werden können. Um die positiven strukturellen Wirkungen der Wasserstoffwirtschaft zu fördern, sind die folgenden Handlungsfelder prioritär:

- Der weitere Ausbau der Infrastruktur
- Die Fortführung von Pilotprojekten
- Das Heben der Potenziale der Forschungsinstitutionen
- Die Fachkräftesicherung
- Die Standortprofilierung und Vermarktung der Wasserstoffregionen
- Die Weiterentwicklung der Internationalisierung
- Die zielgerichtete Ausgestaltung der Förderkulisse
- Die Verbesserung der administrativen Rahmenbedingungen
- Die Entwicklung und Umsetzung von langfristigen Strategien

Der weitere Ausbau der Infrastruktur

Ein besonders wichtiges Handlungsfeld für die Entfaltung der Wasserstoffwirtschaft ist die Weiterentwicklung der Transportinfrastruktur, durch welche die Cluster an das Wasserstofffernleitungsnetz angebunden werden. Darüber hinaus sind auch die Speichermöglichkeiten für Wasserstoff zu berücksichtigen. Beim Netzausbau sollte die europäische Dimension der Transportinfrastruktur, in die Niederlande sowie nach Nord- und Osteuropa, be-

rücksichtigt werden. Dabei sind insbesondere die Importmöglichkeiten über die Anbindungen an die internationalen Seehäfen relevant. Die Verbesserung der Infrastruktur für den Transport von Wasserstoff ist aber auch kleinräumlich bedeutsam, etwa hinsichtlich des Ausbaus der Pipelines für den Transport von Wasserstoff zwischen den Industriestandorten in den Clustern.

Fortführung von Pilotprojekten

Die zahlreichen Pilotprojekte für die Erzeugung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff sind ein wichtiger Baustein im Aufbau der Wasserstoffwirtschaft. Diese müssen fortgeführt und ausgebaut werden. In diesem Kontext ist auch die Zusammenarbeit der kommunalen Akteure der Wasserstoffwirtschaft bedeutsam. Förderlich für die Wasserstoffwirtschaft sind insbesondere innovative Ansätze für die Nutzung von Wasserstoff. Notwendig ist der Umbau der Industrie. Signale können hier auch durch die Entwicklung von klimafreundlichen Industrie- und Gewerbestandorten gesetzt werden. Darüber hinaus kann durch die Nutzung von Wasserstoff im Verkehrs- und Wärmesektor eine stabile Nachfrageentwicklung erzeugt werden, die auch die notwendigen Anreize für Investitionen in Erzeugungs- und Transportanlagen setzt. Insgesamt kann die Wasserstoffwirtschaft in den Clustern gestärkt werden, indem in den Pilotprojekten eine Förderung der Vernetzung von Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette sowie die Vernetzung von KMU und Großunternehmen gefördert werden.

Potenziale der Forschungsinstitutionen heben

Für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft sollte das Potenzial der zahlreichen und überwiegend großdimensionierten Forschungsinstitute mit Wasserstoffbezug genutzt werden. Diese befinden sich in den Clusterregionen zum Teil noch im Aufbau. Dazu sollten Strukturen weiter gestärkt werden, die Unternehmensausgründungen aus den Forschungseinrichtungen fördern. An der Schnittstelle zwischen den Forschungseinrichtungen und Unternehmen könnten Beratungs- und Förderangebote ansetzen, mit denen die Vernetzung zwischen diesen Kooperationspartnern gestärkt wird, sodass sich der Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis beschleunigt.

Fachkräftesicherung

Maßnahmen zur Gewinnung von Fachkräften werden mit dem voranschreitenden demografischen Wandel immer bedeutsamer und damit zu einem zentralen Handlungsfeld für den Aufbau der regionalen Wasserstoffwirtschaft in den Clustern. Bezüglich der Akquise von (internationalen) Fachkräften dürfte die Kooperation verschiedener Akteure, wie etwa der Industrie- und Handelskammern mit den Außenhandelskammern, eine wichtige Option

sein, um einem potenziellen Fachkräftemangel in der Wasserstoffwirtschaft entgegenzuwirken.

Standortprofilierung und Vermarktung

Eine wichtige Thematik ist die weitere Standortprofilierung sowie eine bessere (internationale) Vermarktung und Außendarstellung der Cluster mit Wasserstoffpotenzialen. Um internationale Investoren für die strukturschwachen Regionen mit Wasserstoffpotenzialen zu gewinnen, müssen die spezifischen Stärken der Region, generell und in Bezug auf spezifische technologische Kenntnisse und Innovationen, kommuniziert und als regionale Standortvorteile vermarktet werden. Dabei geht es zum einen um die Vermarktung des Clusters insgesamt, zum anderen aber um konkrete Standorte. So erlauben in den Clustern einige Regionen abseits der Zentren besonderen Gestaltungsspielraum für Investoren und sich hier ansiedelnde Unternehmen. Dazu können die Direktansprache ausländischer Unternehmen durch Institutionen zur Förderung der Standorte und die institutionalisierte Informationsvermittlung über länderspezifische Gegebenheiten beitragen.

Ausbau der internationalen Vernetzung der Wasserstoffwirtschaft

Im Zuge des Aufbaus der Wasserstoffwirtschaft werden in den beteiligten Unternehmen und Forschungsinstitutionen neue Produkte und Verfahren entwickelt. Damit die Energiewende global gelingt, müssen in den verschiedensten Regionen der Welt neue Technologien zur Erzeugung und Verwendung von Wasserstoff eingesetzt werden. Insofern bieten Innovationen in diesem Bereich erhebliche Exportchancen. Damit diese genutzt werden, muss die Internationalisierung der Unternehmen gestärkt werden. Dazu können verschiedenste Maßnahmen, wie etwa die Teilnahme an internationalen Messen oder Unternehmerreisen ins Ausland, beitragen. Bei der Wahl der Maßnahmen und bei Ausrichtung von Förderangeboten sollten insbesondere auch die Bedarfe der KMU im Auge behalten werden, da diese häufig Defizite im Bereich der Internationalisierung haben.

Zielgerichtete Ausgestaltung der Förderkulisse

Es sollte geprüft werden, ob die bestehenden Förderstrukturen für den Aufbau der Wasserstoffindustrie in den strukturschwachen Regionen die richtigen Instrumente sind oder ob dafür gegebenenfalls weitere spezifische Ansätze und Förderprogramme zu entwickeln sind. Für die Weiterentwicklung der Wasserstoffwirtschaft sollten auch möglichst unbürokratische Fördermodelle für Innovationsvorhaben, insbesondere auch für Start-ups, mit Bezug zur Wasserstoffwirtschaft implementiert werden. Dazu ist eine kontinuierliche Evaluation der Förderprogramme notwendig.

Verbesserung der administrativen Rahmenbedingungen

Der Aufbau der Wasserstoffwirtschaft wird durch verschiedene administrative Vorgaben beeinflusst durch deren Verbesserung die Entwicklungshemmnisse für den Aufbau der Branchen reduziert werden könnten. So ist die Beschleunigung der Genehmigungsverfahren für den Ausbau der Erzeugung erneuerbarer Energie auch förderlich für die Erzeugung von grünem Wasserstoff. Auch die Dauer der Genehmigungsverfahren zur Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff sollten überprüft werden.

Langfristige Gesamtstrategien entwickeln und umsetzen

Generell sollte in den Clusterregionen ein strategischer Ansatz zur Etablierung des Marktsegments „Wasserstoffwirtschaft“ umgesetzt werden. Die Rahmenbedingungen für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft müssen vorausschauend und langfristig in interkommunaler Zusammenarbeit geplant werden. Dies betrifft etwa die Verfügbarkeit von Potenzialflächen für die (Ansiedelung von) Unternehmen der Wasserstoffwirtschaft. Auch gibt es Erfordernisse, die regionalen Erzeugungskapazitäten für erneuerbare Energien weiter auszubauen. Dabei sollte nicht nur die Windenergie, sondern auch die Solarstromproduktion berücksichtigt werden. In den existierenden Regionalplänen für die Flächennutzung und -entwicklung in den Clusterregionen ist dies teilweise nicht im ausreichenden Maße vorgesehen, sodass für die Bereitstellung entsprechender Flächenkapazitäten für die Erzeugung erneuerbarer Energie Lösungsmöglichkeiten gefunden werden müssen. Übergeordnet sollte deshalb einem strategischen und zwischen den verschiedenen Akteuren und Institutionen abgestimmten Vorgehen beim Aufbau der Wasserstoffwirtschaft gefolgt werden.

Literatur

- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (2021): Daten und Fakten, <https://ag-energiebilanzen.de/2-0-Daten-und-Fakten.html> [zuletzt abgerufen am 22.10.2021].
- Bräuninger, M.; Schulze, S.; Stiller, S.; Teuber, M. (2020): Szenarien und Rahmenbedingungen für die Marktentwicklung von Wasserstoff und synthetischen Folgeprodukten.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI); Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi); Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016): Regierungsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2016 - 2026 – von der Marktvorbereitung zu wettbewerbsfähigen Produkten zur Fortsetzung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2006 - 2016 (NIP).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie, Berlin.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2021a): Erster Bericht der Bundesregierung zum Gesamtdeutschen Fördersystem für strukturschwache Regionen, Berlin.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2021b): IPCEI Wasserstoff: Gemeinsam einen Europäischen Wasserstoffmarkt schaffen, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/ipcei-wasserstoff.html> [zuletzt abgerufen am 22.10.2021].
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2021): Monitoringbericht 2020.
- Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE) (2018): Effiziente Flächennutzung durch Repowering und Weiterbetrieb von Windenergieanlagen.
- Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE) (2020): Maßnahmenplan Weiterbetrieb von Windenergieanlagen nach 20 Jahren / 20+.
- dena (2016): Potenzialatlas Power to Gas. Klimaschutz umsetzen, erneuerbare Energien integrieren, regionale Wertschöpfung ermöglichen.
- Destatis (2020) Umweltökonomische Gesamtrechnung, Wiesbaden.
- Deutsche WindGuard GmbH (2020): Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland. Jahr 2020.

- Deutscher Bundestag Wissenschaftliche Dienste (2018): Sachstand. Elektrifizierungsgrad der Schieneninfrastruktur, Berlin.
- Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. (2019): H2-Industrie Potenzialstudie Brandenburg. Studie zur Identifizierung und Analyse der Chancen und Potenziale zur Wasserstoffnutzung und Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie im Land Brandenburg, insbesondere unter Beachtung der energie- und industriepolitischen Aspekte, Berlin.
- Die Senatorin für Wirtschaft, Arbeit und Europa Bremen (2021): Norddeutsche Wasserstoffstrategie, <https://norddeutschewasserstoffstrategie.de/> [zuletzt abgerufen am 22.10.2021].
- Energieagentur.NRW (2016): ReEnvision: Aus Müll wird Wasserstoff, https://www.energieagentur.nrw/klimaexpo/reenvision_aus_muell_wird_wasserstoff, [zuletzt abgerufen am 22.10.2021].
- EWE GASSPEICHER GmbH (2021): Hyways for Future, <https://www.hyways-for-future.de/> [zuletzt abgerufen am 22.10.2021].
- Fachagentur Windenergie an Land (2018): Was tun nach 20 Jahren? Repowering, Weiterbetrieb oder Stilllegung von Windenergieanlagen nach Förderende.
- FNB Gas (2021): Netzentwicklungsplan Gas 2020–2030.
- Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2019): Studie zur Regionalisierung von PtG-Leistungen für den Szenariorahmen NEP Gas 2020-2030.
- Fraunhofer (2019): Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland, Karlsruhe und Freiburg.
- Fraunhofer (2021): H2-Masterplan für Ostdeutschland. Bericht.
- frontier economics (2021): Die Rolle von Wasserstoff im Wärmemarkt, Köln.
- frontier economics (2020): Der Effizienzbegriff in der klimapolitischen Debatte zum Straßenverkehr, Ein gesamtheitlicher Ansatz für die Effizienzbewertung von Technologien, Köln.
- future:fuels (2020): Plasmalyse: Grüner Wasserstoff aus schmutziger Brühe? <https://futurefuels.blog/in-der-praxis/plasmalyse-gruener-wasserstoff-aus-schmutziger-bruehe/> [zuletzt abgerufen am 22.10.2021].
- Gasunie; Energinet (2021): Pre-feasibility Study for a Danish-German Hydrogen Network.
- GP JOULE GmbH (2017): Akzeptanz durch Wertschöpfung. Wasserstoff als Bindeglied zwischen der Erzeugung erneuerbarer Energien und der Nutzung im Verkehrs-, Industrie- und Wärmesektor. Machbarkeitsstudie zum Verbundvorhaben.

- gwf Gas + Energie (2020): Das zukünftige Wasserstoffnetz aus Sicht der Fernleitungsnetzbetreiber (FNB), (11-12/2020).
- H2Berlin (2021): H2Berlin, <https://h2berlin.org/> [zuletzt abgerufen am 25.10.2021].
- Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e.V. (2021): HYPOS, <https://www.hypos-eastgermany.de/> [zuletzt abgerufen am 22.10.2021].
- Industrie- und Handelskammer (IHK) Nord (2021): Wasserstoffprojekte im Norden Deutschlands, Stand Februar 2021, Hamburg.
- IW Consult (2020): Wasserstoffranking 2020: Wo steht das Ruhrgebiet im Metropolenvergleich?
- Länderarbeitskreis Energiebilanzen (2021): <http://www.lak-energiebilanzen.de/> [zuletzt abgerufen am 22.10.2021].
- Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP): CAMPFIRE, <https://wir-campfire.de/> [zuletzt abgerufen am 22.10.2021].
- MARIKO 2021 gemeinnützige GmbH (2021): H2Watt, <https://h2watt.eu/> [zuletzt abgerufen am 22.10.2021].
- Navigant Energy Germany GmbH (2019): Energiewende in der Industrie. Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor. Branchensteckbrief der Grundstoffchemie.
- Öko-Institut e.V. (2021): Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland. Untersuchung für die Stiftung Klimaneutralität.
- Prognos AG (2021): Gutachten zur Energiestrategie Brandenburg 2040. Aktualisierung und Weiterentwicklung der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg.
- PTJ (2021): Reallabore der Energiewende, <https://www.ptj.de/index.php?index=701> [zuletzt abgerufen am 22.10.2021].
- Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (2020): Eckpunktepapier der ostdeutschen Kohleländer zur Entwicklung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft.
- TGA (2021): Wasserstoff: Wieviel Wasser wird dafür benötigt? <https://www.tga-fachplaner.de/energietechnik/energietraeger-wasserstoff-wieviel-wasser-wird-dafuer-benoetigt> [zuletzt abgerufen am 22.10.2021].
- umlaut energy GmbH; ETC Energy Transition Consulting GmbH (2020): Wasserstoffpotential in Berlin 2025. Eine Analyse im Auftrag der Initiative H2Berlin.

Wasserstoffnetzwerk Lausitz Durch2atmen (2021): Wasserstoffnetzwerk Lausitz Durch2atmen, <https://durchatmen.org/> [zuletzt abgerufen am 25.10.2021].

Wirtschaftsvereinigung Stahl (2021): Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie, verschiedene Jahrgänge.

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (2020): Bewertung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffimporten im Vergleich zur heimischen Erzeugung. Studie für den Landesverband Erneuerbare Energien NRW e. V. (LEE-NRW).