



H₂-MASTERPLAN FÜR OSTDEUTSCHLAND

Bericht

Projektteam

Prof. Mario Ragwitz, Kristin Kschammer, Anja Hanßke, Dr. Ben Pfluger, Dr. Alexander Unger

Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie
Gulbener Straße 23, 03046 Cottbus

Prof. Martin Wietschel, Marius Neuwirth, Dr. Andrea Zenker, Dr. Djerdj Horvat

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe

Dr. Matthias Jahn

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme
Winterbergstraße 28, 01277 Dresden

Unterstützung

Eine Mitwirkung und ein Review der Arbeitspakete 5/6 erfolgte durch das Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V. (IKEM).

Studie im Auftrag der VNG AG, Leipzig

Impressum

Herausgeber:

Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie
Gulbener Straße 23, 03046 Cottbus

Deckblatt-Illustration: © iStock.com/BullStock

Veröffentlicht:

Mai 2021

Executive Summary

Nachhaltig erzeugter Wasserstoff ist zusammen mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien ein zentraler Baustein zur Eindämmung der fortschreitenden Klimakrise und bietet gleichzeitig die Chance, die Wirtschaft neu zu gestalten und neue Wertschöpfungspotenziale zu heben. Der hier vorliegende Masterplan analysiert vor diesem Hintergrund die Chancen und Herausforderungen in den neuen Bundesländern und zeigt auf, welche Maßnahmen in den nächsten Jahren ergriffen werden sollten, um eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft zu implementieren.

In den neuen Bundesländern sind eine Reihe an hoch spezialisierten und international renommierten Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau sowie führende Forschungsinstitutionen im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie angesiedelt. Diese Struktur bietet hervorragende Voraussetzungen, um den erwarteten Markthochlauf der Wasserstofferzeugung und -nutzung mitzugestalten. Damit werden Arbeitsplätze in der Region geschaffen und gesichert.

Darüber hinaus erbringt eine Vielzahl ostdeutscher Unternehmen aus dem privaten und kommunalen Sektor gemeinsam mit Kommunen, Regionalentwicklungsgesellschaften und Forschungseinrichtungen im Rahmen von Verbundprojekten Innovationsleistungen. Die Themen, die innerhalb der Konsortien bearbeitet werden, reichen von der Entwicklung strategischer Handlungsansätze über die Erprobung von Energieversorgungsstrategien und die Umsetzung konkreter Mobilitätskonzepte bis hin zu differenzierten, technologischen Entwicklungen.

Der Großteil der Akteure konzentriert sich aktuell in und um die Zentren Dresden, Chemnitz und Berlin sowie im Mitteldeutschen Chemiedreieck mit der Metropolregion Leipzig/Halle. Diese Aktions-Cluster befinden sich somit im Umfeld größerer Städte, die über Hochschul- oder Universitätsstandorte verfügen und im Einzugsbereich gewachsener Industriestandorte. Hier profitiert Ostdeutschland einerseits von Innovationsbereitschaft und Startup-Mentalität und andererseits von gestandenerm Knowhow. Weitere Cluster finden sich bspw. in der Nähe des Seehafens Rostock sowie in den Regionen Magdeburg und Cottbus, wobei insbesondere an der Ostseeküste die Verfügbarkeit von günstigem Windstrom einen Standortvorteil darstellt.

Potenzial zum Aufbau einer ostdeutschen Wasserstoffwirtschaft ist somit vorhanden, allerdings gilt es dieses Potenzial schnell und gezielt auszubauen und zu nutzen, weil der Konkurrenzdruck beim Thema „grüner Wasserstoff“ hoch ist und viele Regionen und Bundesländer sich derzeit gezielt hier positionieren. Mit Blick auf die Klimaziele wird langfristig grüner Wasserstoff den Markt dominieren, für einen effizienten und schnellen Übergang und Markthochlauf sind allerdings auch blauer und türkiser Wasserstoff wichtige Technologieoptionen. Dieser Einschätzung folgend impliziert der Begriff grüner Wasserstoff in dieser Studie auch eine Übergangsphase basierend auf klimaneutralen Gasen. Dabei umfasst der Begriff der Klimaneutralität die Berücksichtigung aller stofflichen und energetisch bedingten Vorkettenemissionen.

Für die Erreichung der Synergieeffekte im Aufbau einer erfolgreichen Wasserstoffwirtschaft arbeiten in Ostdeutschland bereits diverse Kooperationsnetzwerke zusammen. In allen ostdeutschen Bundesländern existieren etablierte interministerielle Arbeitsgruppen, Netzwerke und weitere Gremien, die sich aktiv mit der Entwicklung der Wasserstoffstrategien beschäftigen. Allerdings fehlt bisher eine grundlegende und zugleich stetige politische Koordination über die Grenzen der neuen Bundesländer hinweg, die die Kräfte bündelt und die Initiierung größerer gemeinsamer Vorhaben ermöglicht. Hierdurch könnten Synergieeffekte identifiziert und gehoben werden, wobei die Bundesländer sich auf ihre jeweiligen Stärken fokussieren können. Weiterhin könnte damit ein Schwachpunkt der

neuen Bundesländer, welcher im Fehlen finanzstarker Großunternehmen sowie dem erschwerten Zugang zu Kapital liegt, zumindest teilweise behoben werden. Eine bundeslandübergreifende Standortförderung wird ebenfalls möglich.

Um die genannten Wertschöpfungspotenziale durch eine stärkere länderübergreifende Zusammenarbeit zu heben, ist eine intensivere Koordination der Aktivitäten und Maßnahmen der neuen Bundesländer erforderlich. Hierfür scheint die Etablierung eines Stakeholder-Gremiums "Wasserstoffagentur Ostdeutschland" von zentraler Bedeutung. Dieses Gremium sollte sich aus Vertretern interministerieller Arbeitsgruppen der teilnehmenden Bundesländer sowie Vertretern der weiteren Stakeholder aus Wirtschaft und Wissenschaft zusammensetzen und die Gestaltung und Umsetzung des Masterplans steuern.

Künftig sollten verstärkt die ostdeutschen KMU gefördert und stärker vernetzt werden, die bereits in der Wasserstoffwirtschaft tätig sind oder Potential haben, ihr Geschäft in diese Richtung zu entwickeln. Einhergehen sollte dies mit dem Ausbau des Qualifizierungsangebotes und der länderspezifischen Förderprogramme in denen die Technologien hinsichtlich ihres Entwicklungsstandes sowie ihres Beitrags zur Wertschöpfung und zum Klimaschutz bewertet werden. Bei der Förderung der wirtschaftlichen Umsetzung sind die Nachhaltigkeitskriterien zu berücksichtigen.

Vor allem die beiden Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg weisen ein hohes Potenzial zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf - absolut sowie auch in Relation zum eigenen Strombedarf. Dieses ist essenziell für die Erzeugung von grünem Wasserstoff sowie Syntheseprodukten und bietet ein hohes Potenzial für den Aufbau der Wertschöpfungsketten einer Wasserstoffwirtschaft. Die erneuerbaren Energien sollten dementsprechend weiter ausgebaut werden. In Sachsen-Anhalt existiert eine hervorragend ausgebaute Speicherinfrastruktur. Sachsen wiederum hat eine hohe Expertise im Bereich Anlagen- und Maschinenbau und Thüringen im Bereich der Sicherheits- sowie Mess-, Steuer- und Regelungstechnik.

Auf der Nachfrageseite bieten in den nächsten Jahren insbesondere der Verkehrs- und der Industriesektor interessante Potenziale für Wasserstoff und Syntheseprodukte, die es zu heben gilt. Im Verkehrssektor sind dies der Gütertransport durch schwere LKW, der Flug- und Schiffsverkehr, der überregionale Busverkehr und der Zugverkehr auf nicht-elektrifizierten Strecken. Unter günstigen Voraussetzungen könnten hier bis 2030 2,3 TWh Wasserstoffnachfrage in den neuen Bundesländern entstehen. Die Schaffung einer klimaverträglichen Mobilität bietet für die neuen Bundesländer deshalb einen sehr interessanten Anwendungsfall, der gezielt in Projekten zeitnah angegangen werden sollte.

Relevante Wasserstoffpotenziale in der Industrie liegen bei den Prozessen der energieintensiven Industrien. Zu nennen sind hier Raffinerien (Rohölveredelung, Kraftstoffproduktion) und die Chemieindustrie (Ammoniak, Methanol, etc.), die beide in den neuen Bundesländern von wirtschaftspolitischer Bedeutung sind und im Rahmen der Transformation in Richtung klimaneutralen Wasserstoff als Substitut für fossilen Wasserstoff Schlüsselsektoren darstellen. Dies gilt auch für die Eisen- und Stahlindustrie, die aufgrund ihrer hohen CO₂-Emissionen ein weiterer Schlüsselsektor ist. Die Summe aller Potenziale für den Einsatz von Wasserstoff in den genannten energieintensiven Industrien in Ostdeutschland ergibt ein mögliches Potenzial an Wasserstoffnachfrage von etwa 37 TWh. Dieses gilt es zu heben.

Des Weiteren ist langfristig der energetische Einsatz zur Erzeugung von Prozesswärme bei hohen Temperaturen in verschiedenen Industrieenanwendungen für eine Umstellung auf eine CO₂-neutrale Produktion eine Einsatzoption für klimaneutralen Wasserstoff.

Der Einsatz von Wasserstoff im Wärmemarkt sowie die Bereitstellung von elektrischer Energie bieten aus einer längerfristigen Perspektive heraus betrachtet interessante Potenziale für klimaneutralen Wasserstoff. Man sollte deshalb heute schon darauf achten, hierauf vorbereitet zu sein, gerade bei längerfristigen Investitionsentscheidungen wie der Umstellung der Gasnetze und Investitionen im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung. Hier ist es wichtig, auf Wasserstoff-Readiness zu achten, um dessen künftigen Einsatz im Wärmesektor zu ermöglichen.

Für die Schaffung einer Wasserstoffwirtschaft ist es notwendig, frühzeitig auch in eine Transport- und Verteilungsinfrastruktur zu investieren. Gerade der bei einer höheren Wasserstoffnachfrage sinnvolle Aufbau von H₂-Pipelinenetzen oder die Transformation von bestehenden Gasnetzen für einen H₂-Transport ist zeit- und kapitalintensiv. Ein frühzeitiges, koordiniertes Vorgehen über die neuen Bundesländer hinweg bietet sich deshalb hier an. Dabei sind sowohl die erforderlichen Investitions- und Betriebskosten der Netze als auch die Transportkapazitäten zu betrachten, wobei Gasnetze ein hohes Potenzial für den Transport großer Energiemengen von den Küsten bis nach Süddeutschland aufweisen.

Fazit

Die Entwicklung einer ostdeutschen Wasserstoffwirtschaft bietet große Potenziale für neue, nachhaltige Wertschöpfung und CO₂-Einsparungen in Ostdeutschland. Erfolgreich wird diese Entwicklung aber nur dann sein, wenn jedes Bundesland seine spezifische Stärke bei der Entwicklung nachhaltiger Wasserstoffwertschöpfungsketten einbringt. Zudem müssen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft koordiniert vorgehen und bundesländerübergreifend agieren. Mit dieser Schwarmintelligenz wird die ostdeutsche Stimme und Position im bundesdeutschen und europäischen Kontext deutlicher. In der Folge könnte Ostdeutschland im Wettbewerb mit anderen Regionen um nachhaltige Wasserstoffprojekte und -fördermittel besser bestehen.

Inhalt

<i>Abbildungsverzeichnis</i>	7
<i>Tabellenverzeichnis</i>	8
<i>1 Einleitung</i>	9
<i>2 Status quo und Perspektiven der Wasserstoffwirtschaft</i>	11
2.1 Stand der Technik der Wasserstofferzeugung	11
2.2 Stofflicher und energetischer Einsatz von Wasserstoff in Industrieprozessen	13
2.3 Einsatz von Wasserstoff im Mobilitätssektor	16
2.4 Grüne Syntheseprodukte für den Flug- und Schiffsverkehr	19
2.5 Einsatz von Wasserstoff im Wärmesektor	20
<i>3 Stärken der neuen Bundesländer für den Weg in eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft</i>	23
3.1 Ein wertvolles Potenzial in den neuen Bundesländern: Die erneuerbaren Energien	23
3.2 Vielfältige Potenziale für CO ₂ -freien Wasserstoff in Ostdeutschland	25
3.3 Strukturelle Gegebenheiten Ostdeutschlands	28
3.4 Vorhandene Kompetenzen der ostdeutschen Bundesländer entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette	32
<i>4 Chancen zur strukturellen Entwicklung und Stärkung Ostdeutschlands</i>	41
4.1 Einsatz von Wasserstoff in der Mobilität – Ostdeutschland als Vorreiter für emissionsarmen Verkehr	42
4.2 Einsatz von Wasserstoff in Industrie und Gewerbe– Potenziale in Ostdeutschland zur nachhaltigen Produktion	48
4.3 Einsatz von Wasserstoff für Systemdienstleistungen	56
<i>5 Analyse der aktuellen Wasserstoff-Förderpolitik</i>	60
5.1 Status Quo der Förderpolitik	60
5.2 Maßnahmen/Vorschläge zur Weiterentwicklung der Förderpolitik, mögliche andere Maßnahmen/Handhabungen	65
<i>6 „Aktionsplan Wasserstoff“ – Vorschläge zur Umsetzung des Masterplans Ostdeutschland</i>	69
6.1 Übergeordnete Handlungsempfehlungen	69
6.2 Fallstudien-spezifische Handlungsempfehlungen	78
<i>Anhang</i>	82
Wasserstoffmarkt – Status quo	82
Entwicklung der Wasserstoffnachfrage bis 2030	83
Methodik zur Ermittlung der Wasserstoffnachfrage	83

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausgewählte Umwandlungspfade von grünem Wasserstoff und Syntheseprodukten auf Basis erneuerbaren Stroms _____	11
Abbildung 2: Identifizierung der Industriepotenziale für den Einsatz von grünem Wasserstoff in den energieintensiven Industriebranche _____	14
Abbildung 3: Einsatz von Wasserstoff zur Reduzierung industrieller CO ₂ -Emissionen _____	14
Abbildung 4: Ein optimistisches Szenario der H ₂ -Nachfragepotenziale im Verkehr 2030__	18
Abbildung 5: Ein optimistisches Szenario der H ₂ -Nachfragepotenziale im Verkehr 2050__	19
Abbildung 6: Kostenpotenzialkurve erneuerbarer Energien für den Zeitraum 2021-2030 in Ostdeutschland _____	24
Abbildung 7: Potenziale für Windenergie und PV in Ostdeutschland _____	25
Abbildung 8: Heutige Bereitstellungskosten für grünen Wasserstoff in Deutschland) _____	33
Abbildung 9: Verteilung der ostdeutschen Unternehmen, die im Bereich Wasserstoff aktiv sind _____	35
Abbildung 10: Wasserstoffprojekte Ostdeutschlands _____	38
Abbildung 11: Gesamtbelastung (deutsche und ausländische) der BAB mit schweren Lkw _____	44
Abbildung 12: Szenario 2030 zum potenziellen Wasserstofftankstellenaufbau mit Wasserstoffnachfrage pro Tag in Deutschland _____	45
Abbildung 13: Fallstudie Mobilität _____	47
Abbildung 14: Entwicklung der CO ₂ -Zertifikatskosten _____	48
Abbildung 15: Maximales energetisches (links) und stoffliches (rechts) Wasserstoffpotenzial der energieintensiven Industrien auf Landkreisebene (NUTS3) der jeweiligen Bundesländer inklusive Darstellung der ansässigen Industrien _____	51
Abbildung 16: Maximales Wasserstoffpotenzial der energieintensiven Industrien auf Landkreisebene (NUTS3) _____	52
Abbildung 17: Spezifische CO ₂ -Emissionen bei der Rohstahlproduktion t _____	53
Abbildung 18: Spezifischer Energiebedarf pro t Rohstahl _____	54
Abbildung 19: Darstellung der maximalen Wasserstoffpotenziale der energieintensiven Industrien auf sektoraler Ebene für den gesamten ostdeutschen Raum _____	55
Abbildung 20: Nutzung von Wasserstoff für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen und die Strom- und Wärmeerzeugung _____	58
Abbildung 21: Nutzung von Wasserstoff für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen und die Strom- und Wärmeerzeugung _____	59
Abbildung 22: Konzept zur Positionierung des Stakeholder-Gremiums "Wasserstoff Ostdeutschland" und des unabhängigen Expertengremiums _____	72
Abbildung 23: Wasserstoffherzeugung und -anwendungen weltweit _____	82
Abbildung 24: Identifizierung der Wasserstoffpotenziale in den energieintensiven Industriebranchen der ostdeutschen Bundesländer _____	84
Abbildung 25: Schematische Darstellung der Modellrechnungen und Informationsflüsse für die Entstehung der detaillierten Ergebnisse der Wasserstoffnachfrage der Industrie in Ostdeutschland _____	84
Abbildung 26: Methodische Berücksichtigung standortspezifischer Daten und Darstellung der Ergebnisse auf hohem Detailgrad (NUTS3) inklusive Abschätzungen zu minimalen und maximalen Nachfragepotenzialen _____	85

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Herstellungsverfahren für Wasserstoff</i>	12
<i>Tabelle 2: Bevölkerungsstruktur (Stand 31.12.2019)</i>	28
<i>Tabelle 3: Arbeitslosenquote, BIP, Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen 2019 und F&E-Quote</i>	29
<i>Tabelle 4: Unternehmensstruktur (Stand 2019)</i>	30
<i>Tabelle 5: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen 2019</i>	31
<i>Tabelle 6: Konzeption der Wasserstoff-Wertschöpfungskette</i>	33
<i>Tabelle 7: ostdeutsche Unternehmen, die im Bereich Wasserstoff aktiv sind</i>	34
<i>Tabelle 8: Wasserstoffprojekte Ostdeutschlands</i>	40
<i>Tabelle 9: Potenzielle Wasserstoffnachfrage durch schwere LKW in den neuen Bundesländern in GWh für das Jahr 2030</i>	45
<i>Tabelle 10: Potenzielle Wasserstoffnachfrage durch Busse und Züge in den neuen Bundesländern in GWh für das Jahr 2030</i>	46
<i>Tabelle 11: Wasserstoffpotenziale der energieintensiven Industrien in Ostdeutschland je Bundesland in TWh</i>	50
<i>Tabelle 12: Förderprogramme der Europäischen Union und des Bundes mit Relevanz für die Wasserstoffwirtschaft in den Bundesländern.</i>	65
<i>Tabelle 13: Übergreifende Handlungsempfehlungen</i>	77
<i>Tabelle 14: Spezifische Handlungsempfehlungen Mobilität</i>	78
<i>Tabelle 15: Spezifische Handlungsempfehlungen Industrie</i>	79
<i>Tabelle 16: Spezifische Handlungsempfehlungen Energie</i>	81
<i>Tabelle 17: Wasserstoffpotenzial der energieintensiven Industrien nach Landkreisebene (NUTS3) in TWh</i>	86
<i>Tabelle 18: Techno-ökonomische Eckdaten für Wasserstofftankstellen im Jahr 2050</i>	88

1 Einleitung

Eine erfolgreiche Energiewende erfordert die Kombination von Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Umweltverträglichkeit in Verbindung mit innovativem und intelligentem Klimaschutz. Alternative Optionen zu den derzeit noch eingesetzten fossilen Energieträgern werden hierfür benötigt. Gasförmige und flüssige Energieträger werden langfristig ein integraler Teil des Energiesystems in Deutschland bleiben. Deshalb kommt emissionsfrei erzeugtem Wasserstoff und den daraus erzeugten Syntheseprodukten wie Methanol und Ammoniak künftig eine zentrale Rolle bei der Energie- und Rohstoffwende zu.

Die einzelnen Regionen Deutschlands können künftig von den sich hieraus ergebenden neuen Wertschöpfungspotenzialen der Wasserstoffwirtschaft profitieren. Allerdings haben sie unterschiedliche wirtschaftliche Strukturen und verschiedene geografische, demografische und politische Rahmenbedingungen. Seit der Wiedervereinigung Deutschlands wurde bereits viel in den neuen Bundesländern erreicht: durch Sanierung attraktive Innenstädte, eine gut ausgebaute und moderne Infrastruktur, eine innovative, junge, wachsende Wirtschaft. Die steigende Wirtschaftsleistung, der Rückgang der Arbeitslosigkeit, aber auch eine breite Unternehmens- und Forschungslandschaft zeugen von einer positiven Entwicklung der ostdeutschen Wirtschaft. Bei einem Vergleich der ostdeutschen Bundesländer mit den Westdeutschen lässt sich jedoch auch weiterhin eine geringere Wirtschaftskraft im Osten Deutschlands feststellen. 30 Jahre nach der Wiedervereinigung erreicht keines der neuen Länder, gerechnet pro Erwerbstätigen, die Wirtschaftskraft der alten Länder. Begründet ist das bspw. in der Stärke des Mittelstands und in der allgemeinen Wertschöpfungstiefe. Außerdem verfügen ostdeutsche Unternehmen weniger häufig über die Technologieführerschaft in ihrer Branche.

Zudem ist durch den geplanten Ausstieg aus der Kohleverstromung ein starker Strukturwandel insbesondere in den hiervon betroffenen Regionen zu erwarten. In den kommenden Jahren gilt es, die strukturellen Anpassungsprozesse durch die Ansiedlung innovativer Wirtschaftsbereiche konstruktiv und gewinnbringend zu gestalten und neue Formen der Wertschöpfung zu etablieren, die auf den bestehenden Kompetenzen aufbauen. Die Transformation zu einer Wasserstoffwirtschaft bietet hier Chancen, neue Technologiefelder zu erschließen und auf bestehenden Stärken im Bereich der Energiewirtschaft, der Grundstoffindustrien, des Fahrzeugbaus und des Anlagenbaus aufzubauen.

Um diese Potenziale zu heben und kritische Masse im Wettbewerb für wirtschaftlich tragfähige Projekte zu schaffen, ist es wichtig, die Kräfte zu bündeln, Synergien zu erschließen und engere Kooperationen in den ostdeutschen Bundesländern einzugehen. Sie müssen ihre Kompetenzen, Kräfte, Ideen und Gelder bündeln sowie Alleinstellungsmerkmale und gemeinsame Strategien über Landesgrenzen hinweg für die nächsten 20 Jahre entwickeln, um sich gemeinsam zu unterstützen. Für ein „Miteinander der Länder“ ist vor allem ein offenes Klima unter den Ländern Voraussetzung. Im Wettstreit um Bundesfördermittel werden oftmals aus Kooperationspartnern Konkurrenten. Fördergelder können so nicht effektiv zur Gestaltung eingesetzt werden.

Wie oben dargestellt, sind grüner Wasserstoff und seine Syntheseprodukte in der Zukunft ein wichtiger Baustein für eine erfolgreiche Energiewende. Mit Blick auf die Klimaziele wird langfristig grüner Wasserstoff den Markt dominieren, für einen effizienten und schnellen Übergang und Markthochlauf sind allerdings auch blauer und türkiser Wasserstoff wichtige Technologieoptionen. Dieser Einschätzung folgend impliziert der Begriff grüner Wasserstoff in dieser Studie auch eine Übergangsphase basierend auf klimaneutralen Gasen. Dabei umfasst der Begriff der Klimaneutralität die Berücksichtigung aller stofflichen und energetisch bedingten Vorkettenemissionen.

Sie können wesentlich dazu beitragen, die CO₂-Emissionen auch weit über den Energie- und Umwandlungssektor hinaus deutlich zu senken. Für den Verkehrssektor und energieintensive Branchen der Grundstoffindustrie, wie der Stahlindustrie und der chemischen Industrie, kann die Nutzung von Wasserstoff und Syntheseprodukten ein entscheidender Schritt in Richtung Klimaneutralität sein. Darüber hinaus erschließen sie die Möglichkeit, auch große Mengen erneuerbarer Energien zu transportieren und zu speichern. Der Beitrag von Wasserstoff zur Erreichung der Klimaschutzziele setzt jedoch voraus, dass die Herstellung langfristig klimaneutral, das heißt ohne Treibhausgasemissionen, erfolgt und kurzfristig geringere Emissionen als alternative fossile Brennstoffe verursacht.

In diesem Wasserstoff-Masterplan sollen Wege aufgezeigt werden, wie die ostdeutsche Wirtschaft durch die Bündelung der komplementären Stärken der Bundesländer wettbewerbsfähige und tragfähige Wasserstoffwertschöpfungsketten etablieren kann. Zum besseren Verständnis und zur Hinführung werden in Kapitel 2 die Ausgangslage und Perspektiven der Wasserstoffwirtschaft einleitend dargestellt, während im folgenden Kapitel auf die Stärken der neuen Bundesländer, bspw. das Vorhandensein der erneuerbaren Energien, für den Weg in eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft eingegangen wird. In den anschließenden Fallstudien Mobilität, Industrie und Energie (Kapitel 4) wurden Ideen zur Bündelung der komplementären Stärken der neuen Bundesländer zur Bildung neuer Wasserstoffwertschöpfungsketten entwickelt und sich hieraus ergebende spezifische Handlungsempfehlungen für Entscheidungsträger formuliert. Ergänzt wird dieses Bild in Kapitel 5 durch eine Analyse der aktuellen Förderpolitik, aus der in Kapitel 6 übergeordnete Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungsträger abgeleitet wurden. Hierdurch soll der Aufbau der Wasserstoffwirtschaft durch gezielte und koordinierte Maßnahmen auf Ebene der ostdeutschen Länder unterstützt werden. Der vorliegende Masterplan ist als erstes Konzept und Sammlung von Ideen zu verstehen. In einer weiteren Bearbeitungsphase sollten Detailanalysen erfolgen und die Ideen weiter konkretisiert werden.

2.1 Stand der Technik der Wasserstoffherzeugung

Langfristig werden grüner Wasserstoff und dessen Syntheseprodukte als dominierend für den Aufbau einer nachhaltigen Wasserstoff-Wirtschaft auf Basis von erneuerbarem Strom betrachtet (siehe Nationale Wasserstoffstrategie). Diese Brennstoffe und Chemikalien können über verschiedene Herstellungspfade erzeugt werden und haben ein weites Anwendungsfeld (Vgl. Abb. 1).

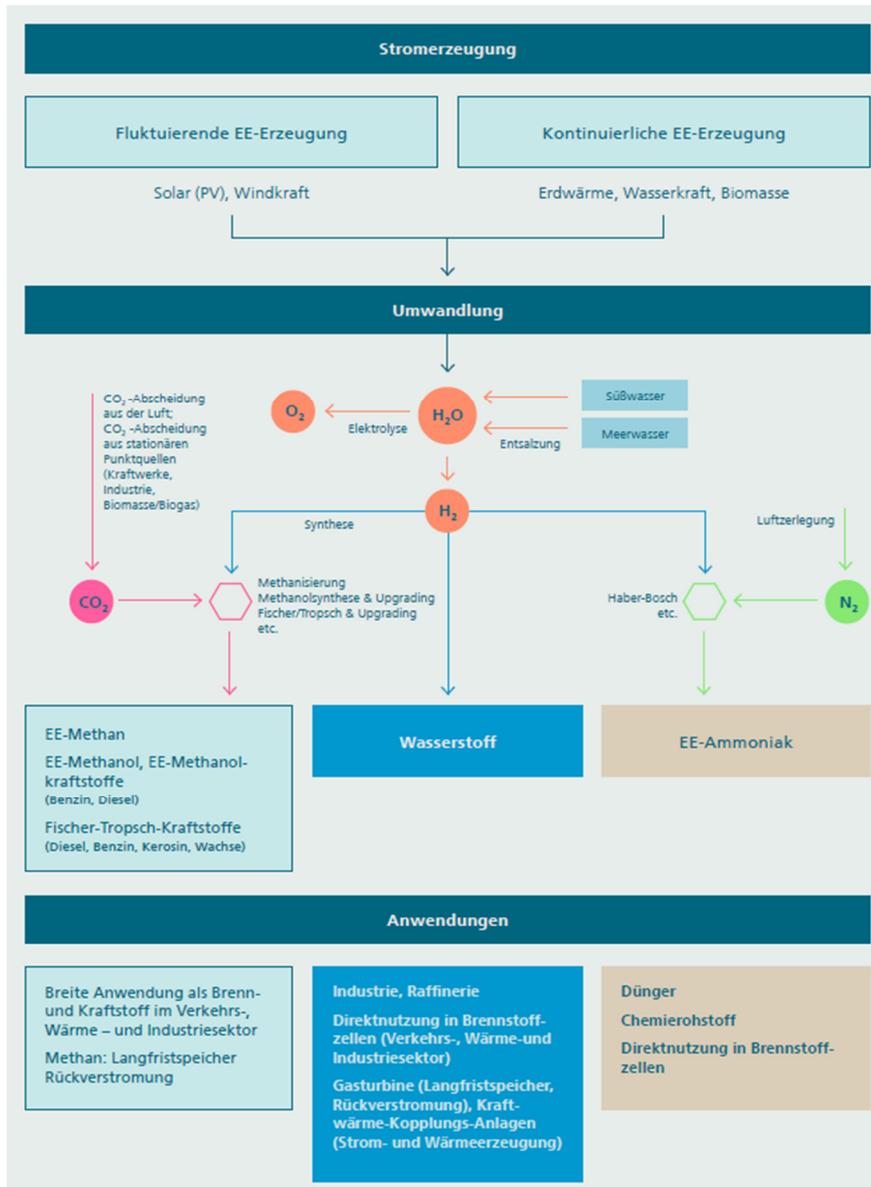


Abbildung 1: Ausgewählte Umwandlungspfade von grünem Wasserstoff und Syntheseprodukten auf Basis erneuerbaren Stroms

Der größte Anteil an Wasserstoff wird heute allerdings über die Dampfreformierung von Erdgas erzeugt und als grauer Wasserstoff bezeichnet. Er weist derzeit die geringsten Kosten auf. Allerdings werden bei der Herstellung große Mengen an CO₂ freigesetzt. Wird dieses CO₂ bei der Reformierung abgetrennt und in Lagerstätten im geologischen Untergrund

gespeichert (Carbon Capture and Storage, CCS), ist von blauem Wasserstoff die Rede. Die Herausforderung dabei besteht in der langfristig sicheren Lagerung des CO₂.

Der sogenannte türkise Wasserstoff wird ebenfalls aus Erdgas erzeugt, wobei Methan durch die Zufuhr von thermischer oder elektrischer Energie in seine Bestandteile Kohlenstoff und Wasserstoff gespalten wird. Bei dem Verfahren der Pyrolyse selbst wird zwar kein CO₂ freigesetzt, jedoch sind wie bei allen erdgasbasierten Herstellprozessen die Vorkettenemissionen zu berücksichtigen. Hierzu zählen insbesondere diffuse Methanemissionen der Erdgasförderung und Leckageverluste beim Erdgastransport, wobei hier insbesondere auf die Vorkettenemissionen, z.B. im außereuropäischen Transport zu achten ist. Zudem sind Nutzungspfade oder die langfristige Lagerung des festen Kohlenstoffs noch ungeklärt.

Bei allen diesen Verfahren besteht auch die Möglichkeit, Biogas anstelle von Erdgas zu verwenden. Dabei ist vor allem der Einsatz biogener Reststoffe im Hinblick auf die Nachhaltigkeit vorteilhaft. Die Herstellkosten liegen jedoch aufgrund der kleineren Anlagengrößen deutlich höher. Weiterhin müssten auch die Prozesskette und die damit verbundenen Emissionen in Abhängigkeit der verwendeten Einsatzstoffe wie Abfall- oder Reststoffe betrachtet werden. In Tabelle 1 sind die verschiedenen Herstellungsverfahren von Wasserstoff bzgl. ihrer Kosten, Emissionen und wesentlichen Defizite auf Basis der aktuellen Literatur dargestellt.

	Herstellung	Herstellkosten	Treibhausgas-Emissionen	Defizite
Grau	Dampfreformierung von Erdgas oder Elektrolyse mit Strom aus fossilen Energieträgern	Aktuell: ca. 1,5 €/kg H ₂ 2030: abhängig vom CO ₂ -Preis, Aufschlag von ca. 1 €/kg H ₂ pro 100 € / t CO ₂	Hoch Ca. 300 g CO ₂ /kWh H ₂ (Dampfreformierung)	Mit hohen CO ₂ -Emissionen verbunden
Blau	Dampfreformierung von Erdgas mit CO ₂ -Abscheidung und Speicherung (CCS) gekoppelt	Aktuell: ca. 2,2 €/kg H ₂ 2030: ca. 2,0 – 3,0 €/kg H ₂	Gering Methanemissionen bei Förderung und Transport	Gefahr der CO ₂ -Freisetzung
Türkis	Pyrolyse von Kohlenwasserstoffen	2030: ca. 2,5 – 3,5€/kg H ₂	Gering Methanemissionen bei Förderung und Transport	Geringer Reifegrad
Grün	Wasser-Elektrolyse mit Strom aus Erneuerbaren Energien	Aktuell 3,5 - 5,5€/kg H ₂ 2030: 3,0 – 4,5 €/kg H ₂	Sehr gering Ca. 26 g CO ₂ /kWh H ₂ (mit heutigem Strommix: ca. 690 g CO ₂ /kWh H ₂)	Regulatorische Bestandteile des Strompreises treiben Erzeugungskosten

Tabelle 1: Herstellungsverfahren für Wasserstoff [eigene Berechnungen]¹²

Weitestgehend emissionsfrei ist die Herstellung von Wasserstoff über die Wasser-Elektrolyse, sofern dafür Strom aus erneuerbaren Energien verwendet wird. In diesem Fall handelt es sich um grünen Wasserstoff. Zur Wasserstoff-Erzeugung durch Elektrolyse sind

¹ A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, COM (2020) 301 final.

² Wissenschaftliche Dienste des Bundestags: Kosten der Produktion von grünem Wasserstoff, Dokumentation WD 5 - 3000 - 029/20, 03. April 2020

prinzipiell mehrere Verfahren nutzbar. Die alkalische Wasserelektrolyse mit flüssiger Kalilauge und die saure Membran- oder auch PEM-Elektrolyse (PEM: Proton Exchange Membran) arbeiten bei niedrigen Temperaturen zwischen 50 und 80 °C. Die Hochtemperatur- oder auch Dampfelektrolyse nutzt einen Festoxid-Elektrolyten aus keramischen Materialien und wird bei ca. 800 °C betrieben. Während bei der alkalischen Elektrolyse Gesamtwirkungsgrade von etwa 80 % in 2030 erwartet werden, liegen diese bei der PEM-Elektrolyse bei 70-80 %. Die Hochtemperaturelektrolyse weist aufgrund der Abwärmenutzung deutlich höhere elektrische Wirkungsgrade von über 95 % auf. Die Kosten der Elektrolyse konnten in der Vergangenheit deutlich gesenkt werden und eine weitere Reduktion der spezifischen Investitionen um den Faktor 3-5 (z.B. Dechema (2017))³ wird in der kommenden Dekade für möglich erachtet. Eine weitere Möglichkeit zur Wasserstofferzeugung bieten biotechnologische Verfahren oder Konzepte zur Gewinnung von solarem Wasserstoff mittels Photokatalyse. Die photokatalytische Wasserspaltung wird derzeit im Labormaßstab erprobt und verspricht zukünftig Kostenvorteile durch eine geringe Systemkomplexität und den Einsatz großtechnisch erprobter Technologien aus der PV-Industrie.

Grüner Wasserstoff ist im Mittel gegenwärtig etwa doppelt so teuer wie blauer Wasserstoff und etwa dreimal teurer als grauer Wasserstoff. Der Kostentrend wird jedoch zukünftig die Marktposition von grünem Wasserstoff verbessern. Ein deutlicher Anstieg der weltweiten Nachfrage nach Elektrolyseuren wird zu einer deutlichen Kostenreduktion bei der Produktion von grünem Wasserstoff führen. Eine Übersicht zur weltweiten Wasserstofferzeugung und -anwendung sowie ein Ausblick auf die Entwicklung der Wasserstoffnachfrage ist im Anhang zu finden.

2.2 Stofflicher und energetischer Einsatz von Wasserstoff in Industrieprozessen

2.2.1 Identifizierung der Potenziale zum Wasserstoffeinsatz zur Reduzierung von energetisch- und prozessbedingten CO₂-Emissionen

Bei der Identifizierung der Wasserstoffpotenziale der Industrie liegt der Fokus auf den Prozessen der **energieintensiven** Industriebranchen. Wie in Abbildung 2 dargestellt, muss hinsichtlich der Verwendung von Wasserstoff in der Industrie grundsätzlich zwischen der stofflichen Nutzung als Rohstoff und dem energetischen Einsatz zur Erzeugung von Prozesswärme differenziert werden.

Die **stoffliche Nutzung** von Wasserstoff als Rohstoff (Feedstock) spielt bereits heute in Raffinerien (Rohölveredelung, Methanolproduktion) und der Chemieindustrie (Ammoniak, Methanol) eine bedeutende Rolle, die auf klimaneutralen Wasserstoff umgestellt werden können. Andererseits könnte Wasserstoff künftig auch in der Eisen- und Stahlindustrie wichtig werden, die aufgrund ihrer hohen CO₂-Emissionen ein Schlüsselsektor auf dem Weg hin zu einer klimaneutralen Welt ist und ein wichtiges großtechnisches Anwendungsfeld über die Direktreduktion mit Wasserstoff bietet.

³ Dechema (2017): Low Carbon Energy and Feedstock for the European Chemical Industry. Technology Study, DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Juni 2017

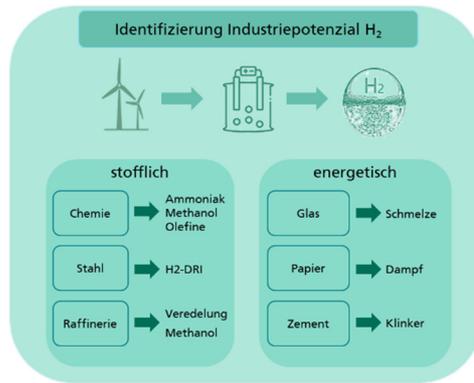


Abbildung 2: Identifizierung der Industriepotenziale für den Einsatz von klimaneutralem Wasserstoff in den energieintensiven Industriebranche

Grundsätzlich können die prozessbedingten Emissionen in einigen Fällen, wie bei der Ammoniak- und der Stahlproduktion, durch eine Anpassung der Verfahren vollständig vermieden werden. Dieser Ansatz wird auch als CDA (=Carbon Direct Avoidance) bezeichnet. In anderen Branchen wie der Kalk- und Zementindustrie ist dies jedoch nicht möglich. Daher kommt dort das Verfahren der CO₂-Abtrennung und Nutzung zum Einsatz (CCU=Carbon Capture und Utilization). In beiden Fällen kommt dem Einsatz von Wasserstoff eine große Bedeutung zu, wie in Abbildung 3 veranschaulicht.

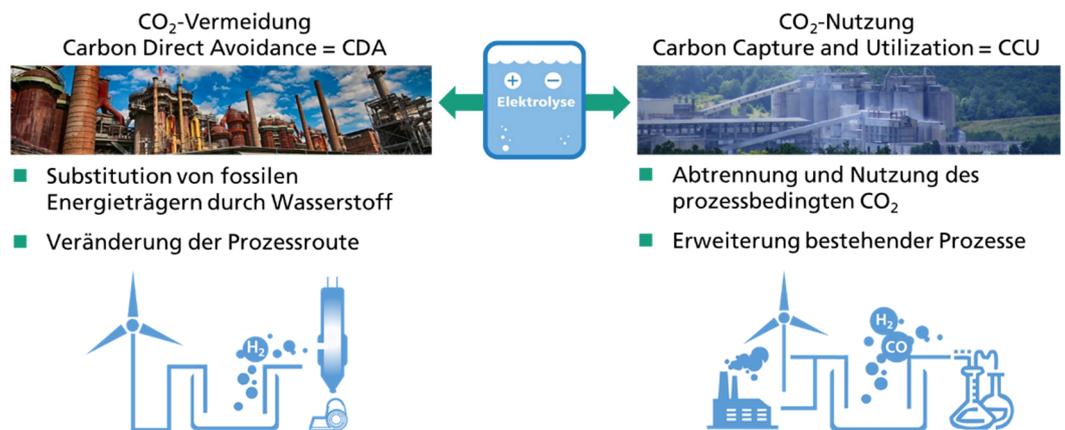


Abbildung 3: Einsatz von Wasserstoff zur Reduzierung industrieller CO₂-Emissionen

Der **energetische Einsatz** zur Erzeugung von Prozesswärme in verschiedenen Industrieenanwendungen ist für eine Umstellung auf eine CO₂-neutrale Produktion eine Zukunftsoption für klimaneutralen Wasserstoff. Bei den energieintensiven Industrien in Ostdeutschland liegt dieser Fokus klar auf den Industriezweigen Papier (Dampferzeugung), Glas (Schmelze) und Zement (Klinker). Allerdings wird diese Option häufig aufgrund der aktuell fehlenden Wirtschaftlichkeit eher in der langfristigen Perspektive gesehen. Kurzfristige geringe Potenziale können hier als sogenanntes Booster-Fuel beim Betrieb mit Sekundärbrennstoffen (biomassebasierter Müll) erschlossen werden. Syntheseprodukte auf der Basis von Wasserstoff, insbesondere Methan, könnten hier zudem interessant werden.

Darüber hinaus sind bereits erste Tests von neuen Produktionsprozessen, wie beispielsweise der Wasserstoff-Direktreduktion in der Stahlindustrie, der Methanol-to-Olefins Route zur Ethylenherstellung sowie die Produktion von Ammoniak auf Basis von Elektrolyse-Wasserstoff, erfolgreich durchgeführt. Die Technologien zeigen großes Potenzial für die

Dekarbonisierung einiger der in Deutschland ansässigen energie- und emissionsintensivsten Prozesstechnologien.

Einschränkungen für die Wasserstoffnutzung existieren in Anwendungen, bei denen energetisch keine Hochtemperaturprozesse betrieben werden müssen und Technologien zur Direktelektrifizierung ebenfalls Potenzial aufweisen. Hier dominieren die direktelektrifizierten Technologien zukünftig möglicherweise aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen.

In Industriebranchen, die Potenziale für eine stoffliche Nutzung von Wasserstoff zeigen, gibt es bereits eine Reihe von Ankündigungen zu Demo- und Pilotprojekten sowie erste Umsetzungsvorhaben im großindustriellen Maßstab. So hat die Firma Linde angekündigt einen Elektrolyseur mit einer Leistung von 24 MW in Leuna aufzubauen⁴, der 2022 in Betrieb gehen soll.

2.2.2 Ergebnisse der Potenzialanalyse für den ostdeutschen Raum

In den ostdeutschen Bundesländern beschränkt sich die Nutzung von Wasserstoff als Rohstoff kurz- und mittelfristig auf drei Standorte für die Herstellung von Ammoniak sowie den Einsatz in Raffinerien. Diese Potenziale sind kurzfristig auf klimaneutralen Wasserstoff umstellbar, da keine Änderung in der Prozesskette vorgenommen werden muss, sondern lediglich der heutzutage aus fossilen Energieträgern erzeugte Wasserstoff durch erneuerbar Gewonnenen ersetzt werden kann.

Im Jahr 2018 wurden in Deutschland 22,8 TWh in Raffinerien eingesetzt, das entspricht 40 % des in Deutschland produzierten Wasserstoffs. Etwa 22 % (5 TWh) des Wasserstoffverbrauchs in den deutschen Raffinerien kommen nicht aus internen Prozessen und werden zusätzlich über Erdgas-Dampfreformierung hergestellt. Der kurzfristige Gesamtbedarf an zukünftig klimaneutralem Wasserstoff in den ostdeutschen Bundesländern als Feedstock für die Raffinerien und Chemieindustrie wird jährlich mit etwa 11 TWh beziffert. Für die Raffinerien liegt die Annahme zugrunde, dass auch weiterhin die flüssigen, dann aber möglicherweise "grünen" Rohprodukte angeliefert werden und die Weiterverarbeitung zum Endprodukt hier erfolgt. Würde jedoch auch die Synthese des Rohprodukts aus einer Kohlenstoffquelle (beispielsweise CO₂) und Wasserstoff in (Ost-) Deutschland erfolgen, wäre der Wasserstoffbedarf wesentlich höher. Im Falle einer weiteren Umstellung in der Chemieindustrie bei der Olefinproduktion (Ethylen) über die Methanol-to-Olefins Produktionsroute ergibt sich ein stark ansteigender Bedarf an wasserstoffbasiertem Methanol. Dieser betrifft im ostdeutschen Raum einen weiteren Standort, bei welchem sich der zusätzliche Wasserstoffbedarf auf rund 9 TWh beziffern lässt. Durch die Umstellung ergibt sich eine deutlich erhöhte Nachfrage nach mit Hilfe von Wasserstoff erzeugtem, synthetischen Methanol, welche die aktuellen Eigenkapazitäten der Raffinerie- und Chemiestandorte übersteigt und durch starken Ausbau der Methanolkapazitäten oder Importe gedeckt werden müsste.

Ein Technologiewechsel in der Stahlindustrie von konventionellen Hochhöfen auf eine Wasserstoff-Direktreduktion ist ein wesentlicher Treiber für eine ansteigende Wasserstoffnachfrage und zusätzlichen Bedarf an klimaneutralem Wasserstoff. Die Stahlproduktion mittels Direktreduktion mit Wasserstoff bietet Potenzial für weitere 4 TWh.

Die Erzeugung CO₂-neutraler Prozesswärme (zum Beispiel in der Glas-, Keramik-, Papier-, Zement- und Kalkindustrie) kann neben der direkten Nutzung von Strom durch die Verbrennung von Wasserstoff erfolgen. Bei entsprechender Weiterentwicklung und breiter

⁴ <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/energiewende-linde-baut-in-leuna-den-weltweit-groessten-wasserstoff-elektrolyseur/26794320.html?ticket=ST-5229650-9HbedH1XoaS5SHwiNDQ5-ap6>

Diffusion von Wasserstoff-Technologien (Brennertechnik) in die Prozesswärme ist langfristig auf Basis der derzeit ansässigen Unternehmen und Produktionsmengen eine maximale Wasserstoffnachfrage zur Erzeugung von Prozesswärme von etwa 13 TWh anzusetzen.

Die Summe aller Potenziale für den Einsatz von Wasserstoff in der energieintensiven Industrie in Ostdeutschland ergibt damit eine maximal mögliche Wasserstoffnachfrage von etwa 37 TWh. Die Ausgestaltung des dazu erforderlichen Transformationsprozesses muss gemeinsam mit den beteiligten Akteuren in einem Dialogprozess erfolgen und ist zudem von den äußeren Rahmenbedingungen auf nationaler und europäischer Ebene abhängig.

2.3 Einsatz von Wasserstoff im Mobilitätssektor

Wasserstoff kann für eine Reihe von Anwendungen im Mobilitätssektor eingesetzt werden. Brennstoffzellen-Fahrzeuge sind schon heute im Pkw-Segment kommerziell in ersten Kleinserien verfügbar. Im Bereich des Materialtransports, beispielsweise bei Gabelstaplern, sind sie im Regelbetrieb zu finden. Weiterhin existieren Flottenversuche in Deutschland im Bus- (Nah- und Fern-) verkehrs-Sektor. Im LKW-Segment, insbesondere bei mittleren und schweren LKWs, gibt es bereits einige Aktivitäten und in naher Zukunft ist die Produktion von Kleinstserien hier vorgesehen. Im Schienenverkehr gibt es erste Flottenversuche bzw. Ankündigungen für nichtelektrifizierte Streckenteile.

Darüber hinaus sind erste Tests von Brennstoffzellen im maritimen Bereich von Fähren und Hochseepassagierschiffen geplant (Brennstoffzellen werden bereits seit Jahren im militärischen Bereich auf See, z.B. bei U-Booten, eingesetzt). Daneben wird die Anwendbarkeit im Luftverkehr erforscht. Auch in Nischenanwendungen besteht zukünftig ein Marktpotenzial (z.B. bei Straßendienstfahrzeugen, Baustellenfahrzeugen und weiteren vergleichbaren Spezialfahrzeugen wie Ground-Handling-Fahrzeugen an Flughäfen oder Lastfahrzeugen für Häfen).⁵

Einschränkungen für Wasserstofffahrzeuge existieren bei Anwendungen, wo eine sehr hohe Energiedichte gefordert wird, wie im internationalen Flug- und Seeverkehr⁶. Auf der anderen Seite gibt es Anwendungen, wo die Anforderungen an die Energiedichte nicht hoch sind. Hier dominieren aus wirtschaftlichen Gründen derzeit und wahrscheinlich auch künftig batterieelektrische Lösungen, wie bei der Micromobilität, Fahrrädern und kleinen und mittleren PKW. Nach Ansicht der Studie des Hydrogen Council⁷ sind nach heutigem Kenntnisstand die vielversprechendsten Einsatzgebiete für Wasserstoff in Kombination mit der Brennstoffzelle (BZ) folgende Anwendungsbereiche: LKW der mittleren und schweren Gewichtsklassen, Fernreisebusse und Langstreckenbusse im urbanen Umfeld, große PKW und SUV mit hohen Reichweitenanforderungen, Taxiflotten, Regionalzüge und Flurförderfahrzeuge.

BZ-Lkw spielen aktuell im Rahmen der nationalen Wasserstoffstrategie eine wichtige Rolle. Die Relevanz von BZ-Lkw auch bei Fahrzeugherstellern hat sich z.B. durch die Entscheidung

⁵ Siehe Roland Berger (2020): Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen- Industrie in Baden-Württemberg. Studie im Auftrag Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden- Württemberg. Download: <https://www.e-mobilbw.de/service/meldungen-detail/neue-studie-zur-wasserstoff-und-brennstoffzellenindustrie-in-baden-wuerttemberg>

⁶ Im nationalen Flug- und Schiffsverkehr ist der Einsatz von Wasserstoff eher möglich und es gibt hier erste Vorhaben.

⁷ Hydrogen Council (2020): Path to hydrogen competitiveness - A cost perspective

von Daimler, den Bereich der BZ-Fahrzeuge im Pkw-Sektor erst einmal zurückzustellen und sich gemeinsam mit Volvo auf BZ-Lkw zu konzentrieren, gezeigt. Der LKW-Sektor steht zurzeit aufgrund der europäischen Flottengrenzwerte sowie der beschlossenen Treibhausgasminderungsziele im Verkehr in Deutschland vor der Herausforderung, Lösungen zur Dekarbonisierung zu finden. BZ-LKW sind hier neben den elektrischen Lösungen, den Batterie-LKW und den Oberleitung-LKW eine wichtige Option. In den neuen Bundesländern sind einige Autobahnen, gerade die Ost-West-Verbindungen, stark mit LKW-Verkehr belastet.

BZ-Busse waren eine der ersten Anwendungen von Wasserstoff in der Mobilität mit einer Reihe an Demonstrations- und Pilotprojekten und aktuell mit Kleinserien⁸. Platz- und Gewichtsverluste spielen hier keine so große Rolle wie bei LKW und PKW. Weiterhin haben in dieser Anwendung die BZ eine recht hohe Lebensdauer gezeigt, weil sie permanent über längere Zeitabschnitte betrieben werden und durch regionale Busverkehre eine Betankungsinfrastruktur gut aufgebaut werden konnte. Eine Tankstelle reicht für die Wasserstoffversorgung einer kleinen, regional agierenden Busflotte. Angesichts der Tatsache, dass viele städtische Busflotten heute subventioniert werden, könnte dies ein Segment sein, in dem politische Entscheidungen eine frühzeitige Einführung fördern könnten. BZ-Busse spielen auch eine wichtige Rolle in der Diskussion um die lokale Emissionsbelastung in den Städten. Nach Ansicht der Studie des Hydrogen Council können sie zu einer kosteneffizienten Möglichkeit werden, um insbesondere Langstreckenbussegmente zu dekarbonisieren. Für städtische Einsatzbereiche werden sie voraussichtlich nicht günstiger werden als Batteriebusse.⁹ Hier sind die Anforderungen an die Batteriekapazitäten geringer und lokale Ladeinfrastrukturen können gut aufgebaut werden.

Neben den Bussen sind aufgrund techno-ökonomischer Rahmenbedingungen und der Einflussmöglichkeiten politischer Entscheidungsträger Brennstoffzellenzüge künftig von Relevanz. Im Jahr 2017 wurden 242,5 Millionen Zug-km und damit 36 % der gesamten im deutschen Schienenpersonennahverkehr (SPNV) erbrachten Betriebsleistung mit Dieseltriebzügen bzw. diesellokbespannten Zügen (DMU) erbracht.¹⁰ Zu dessen Ersatz wird der Einsatz der BZ in Zügen in den letzten Jahren vermehrt verfolgt, neben der Strategie, die Strecken zu elektrifizieren oder Batterie-Züge einzusetzen. In den neuen Bundesländern wurden im Jahr 2017 62 Mio. Zug-km mit Dieselloks erbracht.¹¹ Besonders große Potenziale für den Ersatz dieser Dieselloks haben Sachsen und Thüringen.

Es gibt weitere Anwendungssegmente, wie beispielsweise bei leichten Nutzfahrzeugen oder Taxiflotten. Diese sind in der Abbildung 4 und Abbildung 5 unter "Sonstige" zusammengefasst.

Eine weitere Nachfrage nach Wasserstoff im Verkehr kann sich über Syntheseprodukte ergeben. Diese Potenziale sind hier nicht ausgewiesen und werden im nächsten Kapitel getrennt behandelt. Für die Berechnung der potenziellen Wasserstoffnachfrage wird von einer optimistischen Marktdurchdringung ausgegangen. Die Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen die berechneten Marktpotenziale in den Jahren 2030, welches in der Summe 2,3 TWh beträgt, und 2050, mit einem Gesamtpotenzial von 12 TWh.

⁸ Ehret, O. (2020): Wasserstoffmobilität - Stand, Trends, Perspektiven. Studie im Auftrag des DVGW (Hrsg.). Durchgeführt vom Center of Automotive Management (CAM). DVGW: Bonn

⁹ Vgl. Hydrogen Council (2020): Path to hydrogen competitiveness - A cost perspective

¹⁰ DLR (2020): Marktanalyse alternativer Antriebe im deutschen Schienenpersonennahverkehr. Studie im Auftrag der NOW

¹¹ DLR (2020): Marktanalyse alternativer Antriebe im deutschen Schienenpersonennahverkehr. Studie im Auftrag der NOW

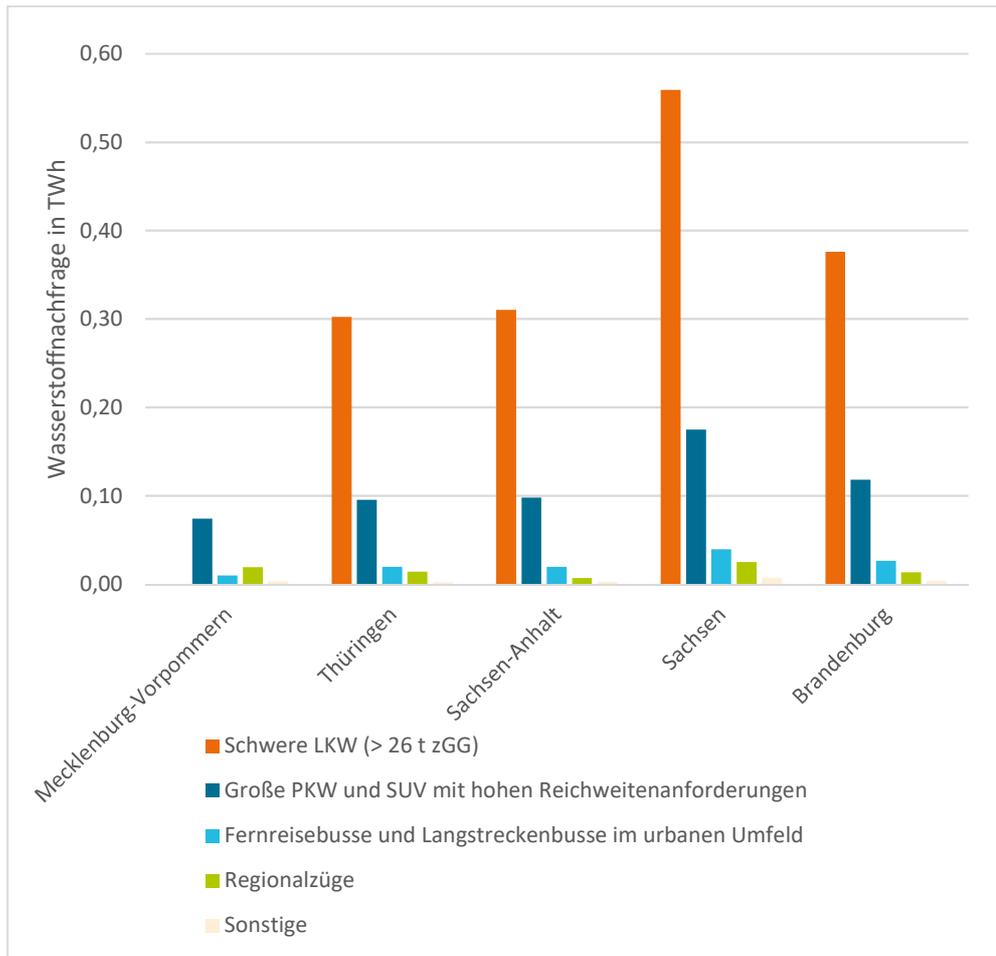


Abbildung 4: Ein optimistisches Szenario der H₂-Nachfragepotenziale im Verkehr 2030 (eigene Berechnungen)

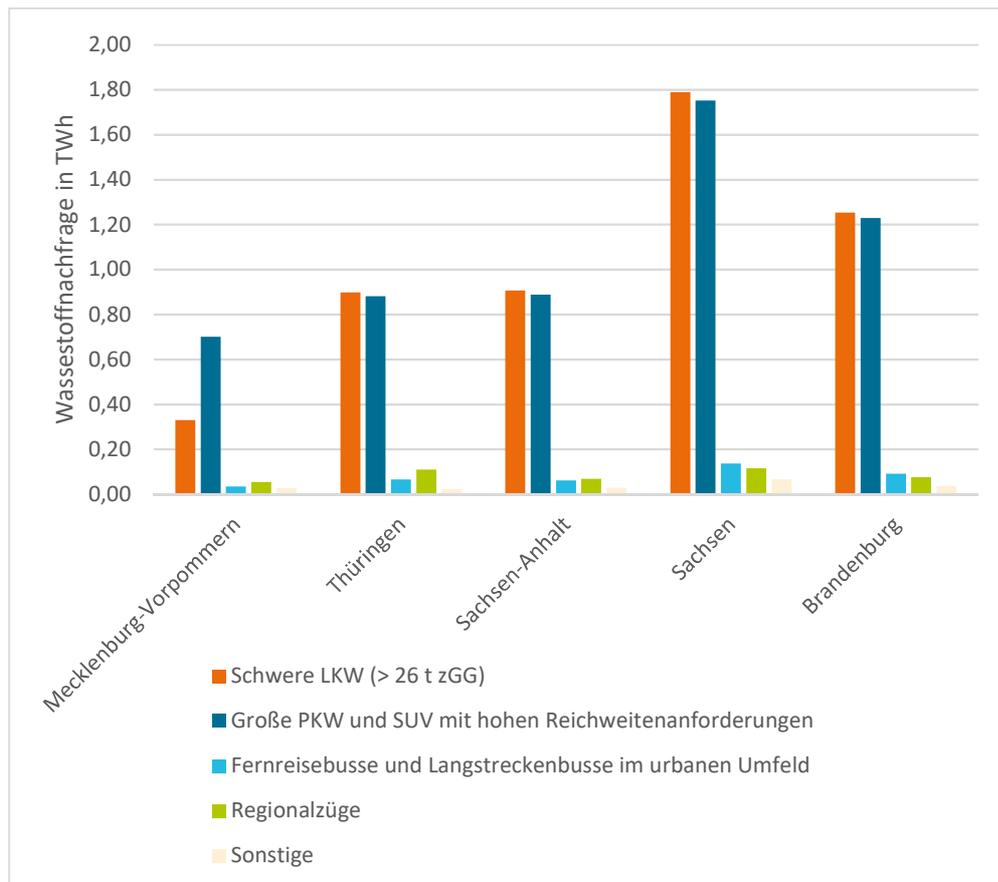


Abbildung 5: Ein optimistisches Szenario der H₂-Nachfragepotenziale im Verkehr 2050 (eigene Berechnungen)

2.4 Grüne Syntheseprodukte für den Flug- und Schiffsverkehr

Einschränkungen für die direkte Nutzung von Wasserstoff im Verkehr existieren bei Anwendungen, bei denen eine sehr hohe Energiedichte gefordert wird. Dies gilt bspw. für den internationalen Flug- und Seeverkehr. Hier ist man i.d.R. auf die Syntheseprodukte von Wasserstoff für eine Treibhausgasminderung angewiesen. Da das Verkehrsaufkommen vor allem im Luftverkehr, aber auch im internationalen Schiffsverkehr in den meisten Prognosen¹² stark wächst, kommt Syntheseprodukten von Wasserstoff hier eine zunehmende Rolle zu. Bei den Treibhausgasemissionen ist der Anteil des internationalen Verkehrs in beiden Bereichen deutlich größer als der Anteil des nationalen Verkehrs (auch innerhalb der EU).

Die Luftfahrt verfolgt das Ziel, langfristig komplett CO₂-neutral zu werden. Dies ist aufgrund der langen Entwicklungszeiten und Einsatzzeiten bei Flugzeugen sowie der vergleichsweise hohen Kosten eine Herausforderung. Es gibt international abgestimmte Instrumente der CO₂-Bepreisung, die einen klaren Begrenzungs- und Reduktionspfad für CO₂-Emissionen im Luftverkehr definieren: Das ist für innereuropäische und innerdeutsche Flüge die Einbeziehung des Luftverkehrs in den Europäischen Emissionshandel und für internationale Flüge das CO₂-Bepreisungsinstrument CORSIA. Derzeit diskutiert die EU-Kommission weitere

¹² Ein möglicher Corona-Effekt ist in den Prognosen i.d.R. noch nicht unterstellt.

Maßnahmen zur CO₂-Reduzierung im Luftverkehr, u.a. eine Mindestquote für nachhaltige Flugkraftstoffe und die Förderung von Investitionen mit öffentlichen Geldern.

Auch im Bereich des Schiffsverkehrs gibt es Bemühungen, die CO₂-Emissionen zu senken. Aufgrund der langen Nutzungsdauer von Schiffen (ca. 35 Jahre) kommen gerade synthetische oder biogene Kraftstoffe dafür in Frage. Allerdings gibt es derzeit nur schwache rechtliche Vorgaben dafür, eine globale Kooperation ist herausfordernd.

Eine Quantifizierung der Nachfrage im Flug- und Schiffsverkehr wird in dieser Studie nicht vorgenommen.

2.5 Einsatz von Wasserstoff im Wärmesektor

Der Einsatz von klimaneutralem Wasserstoff in der Niedertemperaturwärme wird kontrovers diskutiert. Hier gelten im Bereich der Wohn- und Industriegebäude i.d.R. die Kombination aus Energieeinsparmaßnahmen wie Dämmung, Sanierung etc. und Wärmepumpen als energieeffizienter. Die für diesen Weg erforderlichen Technologien sind ausgereift und schon heute verfügbar; allerdings gelingt es bisher in Deutschland noch nicht ausreichend, tiefgreifende Gebäudesanierungen anzureizen. Wird der Wärmebedarf nicht entsprechend reduziert, die notwendige Stromnetzinfrastruktur entsprechend ertüchtigt oder sprechen bauliche oder finanzielle Gründe gegen den Einsatz von Wärmepumpen, dann könnten oder müssten weiterhin stoffliche Energieträger zum Einsatz kommen. Dabei ist zu beachten, dass sich die Wohn- und Siedlungsstrukturen regional stark unterscheiden, und dementsprechend Lösungen unterschiedlich ausfallen können.

Derzeit wird Wasserstoff sowohl in Deutschland als auch weltweit kaum zur Versorgung von Gebäuden mit Wärme eingesetzt. Zurzeit sind keine reinen Wasserstoffverteilnetze regulär in Betrieb. Im HYPOS-Projekt „H₂-Netz“ wird derzeit im Industriepark Bitterfeld-Wolfen ein kleineres Wasserstoffnetz getestet. Im Rahmen des DVGW-Projekts „H₂vorOrt“ wurden die Möglichkeiten für eine Umrüstung der Gasnetze durch die Verteilnetzbetreiber untersucht. Die E.ON-Tochter Westnetz testet im Projekt H₂HoWi in Holzwickede die Umstellung einer Mitteldruckleitung von Erdgas auf Wasserstoff. Das Projekt soll bis 2023 abgeschlossen sein. In den Überlegungen, ob bzw. wo Wasserstoff in der Gebäudewärme zukünftig angewendet werden soll, sind eine Reihe von Aspekten zu berücksichtigen. Diese sollen im Folgenden kurz diskutiert werden.

1. Wasserstoff ist potenziell günstiger als strombasiertes Methan.

Der große Vorteil von Wasserstoff ist, dass die Bereitstellung von treibhausgasneutralem CO₂ und die Methanisierung entfallen, die für die Herstellung von synthetischem Methan erforderlich sind. Dadurch ist die Gesamteffizienz von der Stromerzeugung bis zur Endanwendung höher und der Prozess damit günstiger als der Methanisierungspfad. Allerdings ist der Import von Wasserstoff nach Deutschland und der Transport in Deutschland aufwendiger als bei synthetischem Methan. Wasserstoff könnte mittelfristig verflüssigt auf dem Seeweg nach Deutschland gelangen; allerdings ist dieser Transportweg gegenüber dem Leitungstransport energetisch aufwendig und vergleichsweise teuer. Demnach ist es angeraten, frühzeitig in den Aufbau eines internationalen Pipelinenetzes für Wasserstoff zu investieren, um aufgrund der niedrigeren Transportkosten die Kostenvorteile des Wasserstoffs zu erhalten.

2. Wasserstoff kann bis zu einer gewissen Grenze beigemischt werden.

Auch heute kann Wasserstoff bereits dem Erdgasnetz beigemischt werden. Der Grenzwert der Beimischung liegt derzeit bei bis zu 10 Vol.-% gemäß DVGW-Regelwerk. Verschiedene Studien, insbesondere des DVGW, kommen zu dem Schluss, dass mittelfristig eine Beimischung bis zu 20 oder 30 Vol.-% technisch umsetzbar ist und die netzseitigen Kosten für H₂-Readiness überschaubar sind. Eine Beimischung erfordert aber, neben Investitionen in

die Umstellung bestimmter Anlagen und Anwendungsgeräte, ein gutes Netzmanagement, da unterschiedliche Qualitäten im Netz vorliegen, die Einhaltung der Obergrenzen überwacht werden muss und die Anforderungen aller angeschlossenen Kundengruppen Berücksichtigung finden müssen. Dies kann z. B. erfordern, dass vor den Anlagen, die für ein entsprechendes Gasgemisch nicht geeignet sind, der Wasserstoff herausgefiltert werden muss; entsprechende Filter befinden sich in der Entwicklung. Darüber hinaus muss beachtet werden, dass der Energiegehalt von Wasserstoff nur ein Drittel des Wertes von Erdgas beträgt. Eine grüne Wasserstoffbeimischung von 20 Vol.-% senkt also die Emissionen nur um 6,7 %. Da diese Obergrenze zumindest mit lokaler Wasserstoffeinspeisung kaum für ganze Netzgebiete erreicht werden kann, ist der positive Klimaeffekt einer Wasserstoffbeimischung begrenzt. Ein möglicher Nutzen ergibt sich aber für den Aufbau von Elektrolysekapazitäten: Durch eine Beimischung ins Erdgasnetz können Elektrolyseure auch an Standorten errichtet werden, die noch nicht an ein überregionales Wasserstoffnetz angeschlossen werden können und für die es keine ausreichende regionale Wasserstoffnachfrage gibt. Hierbei ist jedoch zu prüfen, wie eine spätere Nutzung oder Einspeisung in ein reines Wasserstoffnetz erfolgen kann. Ob der realisierbare Mehrwert einer Beimischung den Aufwand rechtfertigt, hängt am Ende stark von den Gegebenheiten vor Ort und der lokalen, langfristigen Wasserstoffstrategie ab.

3. Eine Umstellung der Verteilnetze auf 100 % Wasserstoff muss gebietsweise erfolgen und erfordert einen Austausch aller angeschlossenen Endgeräte.

Jenseits der Beimischung muss entweder eine Umstellung dezidierter Netzabschnitte des Bestandnetzes erfolgen, oder das Wasserstoffnetz muss komplett neu errichtet werden, was im Allgemeinen als kostenintensiver erachtet wird. Erste Bestandsnetze wurden auf ihre Wasserstoffverträglichkeit geprüft; die Netzkomponenten sind dabei weitestgehend als unbedenklich eingestuft worden. Allerdings müssen einige Komponenten ausgetauscht werden, insbesondere Messtechnik und Ventile. Es fehlt jedoch an regulatorischen Rahmenbedingungen zur Prüfung bzw. im Regelwerk beschriebenen Prüfvorgaben auf Methan-Wasserstoff-Gemische bzw. auf Wasserstoff als Reingas. Eine entsprechende Anpassung des DVGW-Regelwerks mit dieser Zielstellung ist derzeit in Bearbeitung. Die Umstellung ist ein komplexer Prozess, der einer umfassenden Erhebungs- und Planungsphase bedarf. Derzeit sind bei den Heizungsherstellern Anlagen in der Entwicklung, die darauf ausgelegt sind, die Zeit für den Umbau von Erdgas auf Wasserstoff zu reduzieren. Ein Ersatz der heutigen Endgeräte ist auch bei diesen Anlagen erforderlich, allerdings könnte dadurch der Gerätetausch schon vor der eigentlichen Umstellung durchgeführt werden. Zum Zeitpunkt der Umstellung wird das Gebiet vom Erdgasnetz getrennt und es beginnt der Austausch oder die Umrüstung aller Endgeräte. Je nach installierten Anlagen kann dies eine Versorgungsunterbrechung von einigen Tagen bis zu zwei Wochen erfordern, bis alle Endgeräte mit reinem Wasserstoff betrieben werden können. Nach der Umstellung muss dann die Versorgung mit Wasserstoff sichergestellt werden. Der Prozess hat damit gewisse Ähnlichkeiten mit der derzeit laufenden Marktraumumstellung von L-Gas auf H-Gas im Nordwesten Deutschlands oder auch der ehemaligen Umstellung von Stadtgas auf Erdgas, da auch in diesem alle Endgeräte getauscht werden mussten. Allerdings war die Anzahl der zu tauschenden Geräte dabei deutlich niedriger. Zusätzlich ist zu beachten, dass es für diese Umstellung noch keine Regulierung oder Zertifizierung gibt und der Bedarf an geschultem und zertifiziertem Personal hoch ist.

4. Eine substantielle Umstellung von Verteilnetzen auf Wasserstoff ist erst ab 2030 wahrscheinlich.

Insgesamt sind die Herausforderungen bei der Umstellung von Verteilnetzen auf Wasserstoff im Bereich der Gasnetze überschaubar, aber im Bereich der Endgeräte hinsichtlich Planungsaufwand, Personalbedarf und Kosten als sehr herausfordernd einzuschätzen. Auf der Zeitskala ist die Wasserstoffnachfrage in größerem Umfang bei den Anschlusskunden im Verteilnetz nicht vor 2030 zu erwarten und steht deshalb in dieser Studie nicht im Fokus der Betrachtungen. Wahrscheinlicher ist in den Gasbestandsnetzen daher eine vorübergehende

Beimischung von Wasserstoff innerhalb der technischen Grenzen, von Biomethan oder in begrenztem Umfang von synthetischem Methan.

5. Wasserstoff für industrielle Prozesswärme

Niedertemperaturanwendungen in der industriellen Prozesswärme könnten technisch auch über Wasserstoff oder Synthesegase gedeckt werden. Dabei könnten diese die fossilen Energieträger verdrängen, die derzeit eingesetzt werden. Die oben für die Gebäudewärme diskutierten Herausforderungen durch die erforderliche Umstellung großer Verteilnetzbereiche kommen dabei eventuell weniger zum Tragen: Zumindest größere Nachfrager könnten über Sticleitungen an ein vorgelagertes Wasserstoff-Backbone-Netz sukzessive angeschlossen werden. Allerdings wird auch eine Vielzahl kleiner und mittlerer Betriebe über das Gasverteilstromnetz versorgt, so dass ein individueller Umstieg auf Wasserstoff für diese ohne eine Umstellung des jeweiligen Gasnetzes schwer umzusetzen ist. Auch haben direktelektrische Anwendungen für die Bereitstellung von Prozesswärme im mittleren Temperaturniveau einen Effizienzvorteil, da diese durch die entfallenden Umwandlungsschritte auch zukünftig im Einsatz technisch effizienter sind. Ohne langfristige unüberwindbare Herausforderungen beim Ausbau der EE-Stromerzeugung oder der Stromnetze sowie bei den Ansprüchen industrieller Anwender in Bezug auf Versorgungssicherheit und -konstanz und einen für Wasserstoff günstigen regulatorischen Rahmen wird sich bei der Prozesswärmeerzeugung Wasserstoff in der Fläche vermutlich nicht gegen direktelektrische Ansätze durchsetzen können. Für welche industriellen Anwendungen welche Energieform aus systemischer und aus Anwendersicht am geeignetsten ist, lässt sich aber derzeit aufgrund der großen Unsicherheiten nicht endgültig klären. Daher sollte beispielsweise vorsorglich auf die Wasserstofftauglichkeit von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, BHKW und GUD geachtet werden.

Zusammenfassende Einschätzung

Die Wärmewende ist einer der wichtigsten Bereiche der Energiewende, da hierbei die Energieversorgung für viele Millionen Kunden umgestaltet werden muss. Gleichzeitig ist es aber auch einer der herausforderndsten Arbeitsfelder: Für einige Bereiche gibt es bereits gute Lösungen, die mit insgesamt vertretbarem Aufwand und Kosten schon heute umgesetzt werden können: So kann z.B. die Versorgung existierender Wärmenetze durch Strom, Solar- und Geothermie defossilisiert werden und Neubaugebiete mit gut isolierten Gebäuden werden auch heute schon mit effizienten Wärmepumpen versorgt. Aber es gibt auch Gebiete, für die alle heute erkennbaren Optionen zur Defossilisierung mit einem hohen Aufwand und substantiellen Kosten einhergehen. So sind z. B. für vorstädtische und dünn besiedelte Gebiete mit wenig effizienten Bestandgebäuden alle denkbaren Optionen aufwendig: Zur effizienten Versorgung mit Wärmepumpen sind Sanierungen unumgänglich und bislang ist es noch nicht gelungen, energetische Sanierungen in ausreichendem Maße voranzutreiben. Biomasse und Biogas sind zwar attraktive Optionen, stehen aber nicht flächendeckend und in einem für die gesamte Wärmenachfrage ausreichendem Umfang zur Verfügung. Zudem setzt der derzeitige regulatorische Rahmen keine Anreize für den Einsatz von Biomethan im Wärmesektor. Wasserstoff bietet sich hier als neue Option an. Mit Wasserstoff könnte das bestehende Erdgasnetz weitergenutzt und in Richtung THG-Neutralität umgebaut werden. Allerdings sind für die Umstellung der Verteilnetze besonders auf der Seite der Endanwender noch substantielle Fragen zu klären und Hürden zu meistern. Ob und in welchen Regionen Wasserstoff die beste Option sein wird, lässt sich heute noch nicht abschließend beurteilen. Darum ist es wichtig, den Wasserstoffpfad weiter zu verfolgen und zu untersuchen, um in diesem wichtigen Handlungsfeld der Energiewende alle Optionen offen zu halten.

3 Stärken der neuen Bundesländer für den Weg in eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft

- **Es können neue Wertschöpfungsmöglichkeiten für Ostdeutschland durch den Strukturwandel eröffnet werden**
 - Chance für lokale Akteure entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungsketten und Entstehung neuer Wertschöpfungsmöglichkeiten durch die Transformation der Industrie in Ostdeutschland
- **Ostdeutschland verfügt bereits jetzt über gutes Knowhow und Mitarbeiterkompetenzen im Bereich Wasserstoff**
 - Es existieren etablierte Arbeitsgruppen und wasserstoffrelevante Netzwerkstrukturen auf Länderebene.
 - Zahlreiche Akteure (sowohl Unternehmen als auch Forschungseinrichtungen) sind entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungsketten vorhanden und aktiv.
- **Eine den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft fördernde Infrastruktur als zentrale Voraussetzung ist in Ostdeutschland bereits vorhanden**
 - Wachstumsbranche erneuerbare Energien für Herstellung von grünem Wasserstoff
 - Es gibt zahlreiche Salzkavernen und andere Speichermöglichkeiten sowie Pipelinenetze und Test- und Versuchsplattformen im FuE-Bereich
- **Es existieren bereits erfolgreiche wasserstoffrelevante Kooperationen zwischen den Akteuren in Ostdeutschland und auch regionsübergreifend.**

3.1 Ein wertvolles Potenzial in den neuen Bundesländern: Die erneuerbaren Energien

Die neuen Bundesländer verfügen über ein wertvolles Potenzial zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, das essenziell für die Energiewende ist. In der folgenden Abbildung 6 ist das Potenzial sortiert nach durchschnittlichen Erzeugungskosten im Zeitraum 2021-2030 für Ostdeutschland abgebildet. Es wird dabei differenziert nach den Technologien Photovoltaik (PV) Freifläche, PV Dachanlagen, Windenergie an Land und Windenergie auf See. Das gesamte Potenzial beträgt beachtliche ca. 246 TWh, was rund ein Viertel des gesamtdeutschen Potenzials ausmacht. Insbesondere bei Windenergie und PV sind bereits 176 TWh zu sehr günstigen Kosten von 55 Euro/MWh verfügbar. Höhere Kosten ergeben sich durch schlechtere Windbedingungen oder geringeres solares Strahlungsangebot. Der unterstellte WACC¹³ nimmt hier eine volkswirtschaftliche Perspektive ein und beträgt 2 %. Die unterstellte Parkgröße der PV Freifläche beträgt in dieser Rechnung 750 kW. Einzelne reale Projekte können hier deutlich größere Leistungen und damit geringere Erzeugungskosten erzielen. Eine Auffälligkeit in der gewählten Darstellung sind die hohen Kosten der Windenergie auf See. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die erheblichen Kosten des Netzanschlusses im Meer hier der Windenergie auf See zugerechnet werden. Sie werden in der Realität nicht von den Betreibern getragen, sondern über die Netzentgelte auf die Kunden gewälzt. Aus gesellschaftlicher Sicht sind sie jedoch vollständig der Windenergie auf See zuzurechnen, da ohne Ausbau der Windenergie auf See auch keine entsprechenden Stationen auf See errichtet werden müssen.

¹³ Weighted Average Cost of Capital (WACC) sind die gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten. Im Text wird der zu Grunde gelegte Zinssatz genannt. Eine Unterscheidung zwischen Eigenkapital und Fremdkapital erfolgt in der volkswirtschaftlichen Perspektive nicht.

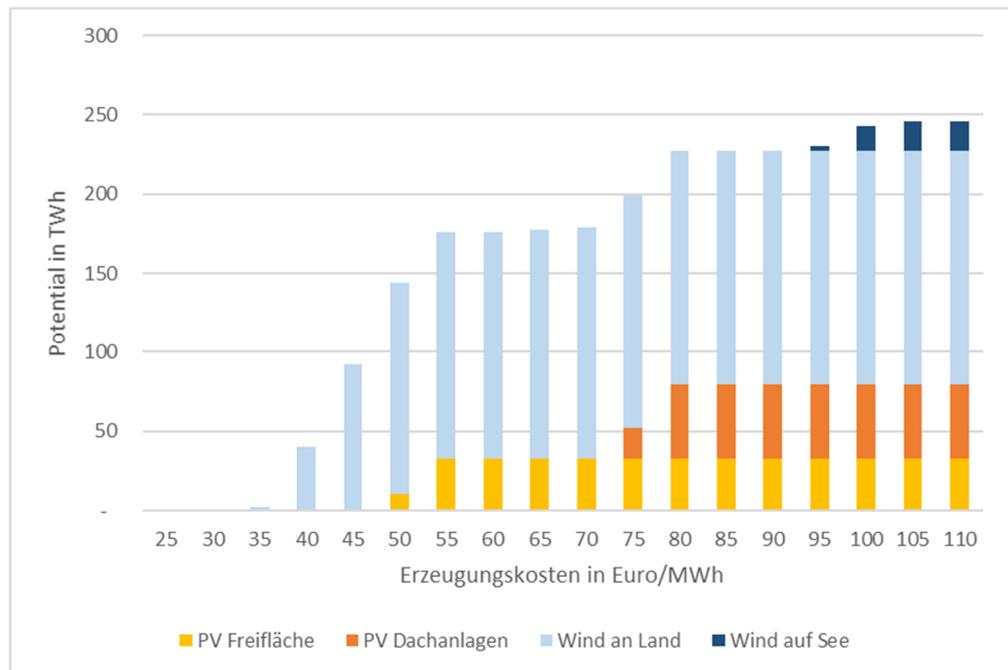


Abbildung 6: Kostenpotenzialkurve erneuerbarer Energien für den Zeitraum 2021-2030 in Ostdeutschland

Dieses Potenzial basiert auf einer detaillierten Modellierung, die Wetterdatensätze, Landnutzungsdaten und eine genaue Abbildung der technischen Parameter der Anlagentechnik im Modell Enertile® RenewablePotentialCalculator 2.0 zusammenfasst¹⁴. Das hier errechnete Potenzial bildet das erschließbare Potenzial ab, wenn eine ambitionierte Ausweisung von Flächen für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erfolgt. Es wird dabei nach Landnutzungsarten wie z.B. Wald, landwirtschaftliche Flächen, oder Brachland differenziert. Abstände zu urbanen Flächen¹⁵ und bekannte Naturschutzgebiete werden für die jeweiligen Technologien berücksichtigt. Es wird bei der Modellierung von einheitlichen Landnutzungsfaktoren in Deutschland ausgegangen, da entsprechende Pläne bis 2050 durchaus überarbeitet werden können. Für Waldgebiete wird z.B. eine maximale windtechnische Abschattung von ca. 11 % der Fläche vorausgesetzt. Unter der politischen Zielsetzung der Klimaneutralität wird davon ausgegangen, dass in den weiterführenden Modellierungen zur Erreichung der Treibhausgasneutralität ein Großteil des hier errechneten Potenzials in Ostdeutschland für die Stromerzeugung bis 2050 erschlossen werden muss.

Die folgende Abbildung 7 zeigt die Stromerzeugungspotenziale nach Regionen. Das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern verfügt insbesondere aufgrund der Windenergie mit einer Summe von 82 TWh über die größten Potenziale. Die Region Berlin-Brandenburg kann aufgrund der großen Fläche ebenfalls mit 62 TWh ein erhebliches Potenzial erschließen. Die übrigen neuen Bundesländer liegen im Bereich von 30-46 TWh.

¹⁴ Die Details der Berechnung werden auf der Projektwebseite der BMWi-Langfristszenarien 3 dokumentiert.

¹⁵ Es wird bei Windenergie ein Abstand zu urbanen Flächen von 1000m eingehalten im Corine Landcoverdatensatz 2018. Dieser hat eine Auflösung von 100m. Einzelgebäude finden dabei keine Berücksichtigung.

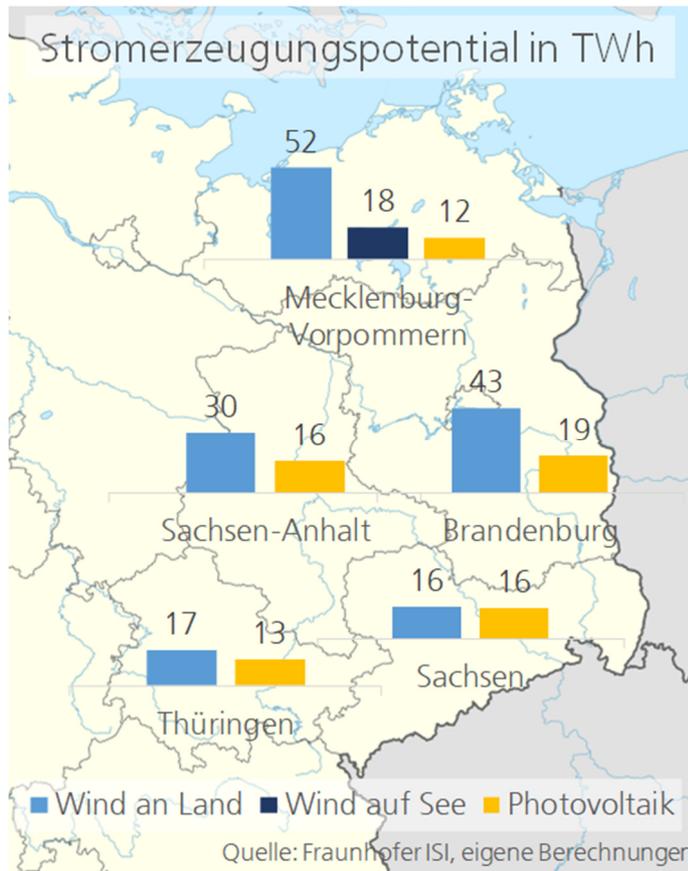


Abbildung 7: Potenziale für Windenergie und PV in Ostdeutschland

Werden die Potenziale ins Verhältnis zum heutigen Stromverbrauch gesetzt, so weist Mecklenburg-Vorpommern das ca. 12-fache an Potenzial zur Deckung der eigenen Stromnachfrage durch erneuerbare Energien auf. Hierdurch ergibt sich ein hohes Potenzial zum Stromexport bzw. zur Erzeugung von grünem Wasserstoff und Syntheseprodukten in diesem Bundesland - gerade auch weil hier die vergleichsweise günstige Windstromerzeugung dominiert. Auch Brandenburg hat mit knapp dem vierfachen erneuerbare-Energien-Potenzial im Verhältnis zur heutigen Stromnachfrage in dieser Hinsicht bedeutsame Vorkommen. In den drei anderen neuen Bundesländern liegt das Verhältnis zwischen 1,4 und 2,3.

3.2 Vielfältige Potenziale für CO₂-freien Wasserstoff in Ostdeutschland

Der Aufbau einer klimaneutralen Wasserstoffwirtschaft spielt eine wichtige geostrategische Rolle in Ostdeutschland - nicht nur aus der ökologischen, sondern auch aus der ökonomischen und sozialen Perspektive. Wie erfolgreich Ostdeutschland mit der Energiewende umgeht, ist auch von der Umstellung seiner Wirtschaftskluster auf eine Wasserstoffnutzung bzw. -erzeugung abhängig. Wesentliche Erfolgsfaktoren in diesem Prozess sind die beteiligten Akteure in den einzelnen ostdeutschen Bundesländern. Sie müssen schließlich die notwendige Bereitschaft dafür aufbringen, ihre Stärken synergetisch zu nutzen, um gemeinsam die durch neue Wertschöpfungsstrukturen entstandenen Chancen zu ergreifen sowie die bestehenden Herausforderungen erfolgreich zu bewältigen.

Als Ergebnis eines Expertenworkshops am 25.09.2020 mit Landesvertreter:innen, einer umfassenden Literatur- und Dokumentenanalyse einschließlich gezielter Online-

Recherchen¹⁶ und Interviews mit 15 Expert:innen aus Wirtschaft, Politik und Intermediärstruktur (Wirtschaftsvertretung, Cluster, Netzwerke) wurden in der Studie einerseits die Stärken und Schwächen einzelner ostdeutscher Bundesländer hinsichtlich der Wasserstoffwirtschaft identifiziert. Andererseits wurden die Möglichkeiten zur Bewältigung der Herausforderungen mittels synergetischer Kollaborationen entlang der wichtigsten Wasserstoff-Wertschöpfungsketten näher erforscht.

Im Folgenden werden zunächst die wichtigsten – über das besondere Potenzial der erneuerbaren Energien hinausreichenden - wasserstoffbezogenen Stärken und Chancen der ostdeutschen Bundesländer zusammenfassend dargestellt, bevor sie in Kapitel 4 näher erläutert und auf ihrer Basis spezifische Anwendungsfelder unter Nutzung des bestehenden Synergiepotenzials erarbeitet werden.

➤ **Neue Wertschöpfungsmöglichkeiten für Ostdeutschland durch den Strukturwandel**

Durch industrielle **Transformationsprozesse** entstehen neue Wertschöpfungsmöglichkeiten, die als Chance für lokale Akteure entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungsketten zu verstehen sind. Ein Beispiel ist der Strukturwandel der Automobilindustrie mit dem Wechsel des Fokus von Verbrennungsmotoren zu Brennstoffzellenfahrzeugen, was neue Chancen für lokale Zulieferer bietet (bspw. Brennstoffzellenentwicklung und -herstellung in Sachsen). Ein weiteres Beispiel ist die Transformation der Kraftwerkstandorte und Braunkohlereviere und die sich hieraus ergebenden Optionen (siehe Kapitel 4.1.2).

Die vorhandenen industriellen Akteure in Ostdeutschland, die bereits grauen Wasserstoff einsetzen, zeigen im Rahmen ihrer Dekarbonisierungsstrategien generell ein großes Interesse an der Substitution ihres Wasserstoff-Einsatzes durch klimaneutralen Wasserstoff. Der Aufbau zusätzlicher Wertschöpfung, insbesondere durch die Skalierung der Wasserelektrolyse auf industriellen Maßstab, bietet neue Chancen für den Anlagenbau und Zulieferer. Die Prämisse dafür bilden jedoch wettbewerbsfähige Preise, was eine der bedeutendsten Herausforderungen darstellt.

➤ **Ostdeutschland verfügt bereits über eine ausgebaute Infrastruktur, die eine zentrale Rolle für eine ostdeutsche Wasserstoffwirtschaft spielt**

Das besondere Potenzial der **erneuerbaren Energien** in den neuen Bundesländern wurde bereits oben in Kapitel 3.1 dargestellt. Erneuerbare Energien, wie etwa Offshore-Wind, Bioenergie und Photovoltaik, stellen als eine zentrale Quelle für die Herstellung grünen Wasserstoffs eine wichtige Wachstumsbranche in Ostdeutschland dar. Außerdem verfügt die Region über Pumpspeicherwerk-Kapazitäten (bspw. in Goldisthal in Thüringen) und mehrere Salzkavernen (bspw. in Bad Lauchstädt). Sie sollen künftig zur **Großspeicherung** von Wasserstoff, und damit zur sicheren Versorgung der industriellen Prozesse dienen. Für den effizienten **Transport** des Wasserstoffs befindet sich in der Region die mit 150 km zweitlängste Wasserstoffpipeline in Deutschland. Diese verfügbare Infrastruktur kann als Ansatzpunkt für den Ausbau der Wasserstoffwirtschaft dienen.

Daneben bestehen unterschiedliche Forschungsschwerpunkte in Energiethemen einschließlich Wasserstoffforschung an ostdeutschen universitären und außeruniversitären wissenschaftlichen Einrichtungen (siehe u.a. auch Kapitel 3.4 und 4).

Neben dem ostdeutschen Industriestandort spielt auch die Transitlage mit gut ausgebauten Ost-West- und Nord-Süd-Verkehrs- und Logistikverbindungen eine potenziell wichtige Rolle

¹⁶ u.a. online verfügbare Strategiedokumente der Bundesländer und der jeweils zuständigen Ministerien sowie intermediärer Akteure wie beispielsweise Cluster, Netzwerke, Industrie- und Handelskammern, Forschungsschwerpunkte der universitären und außeruniversitären wissenschaftlichen Einrichtungen usw.

für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft aus der Perspektive der Mobilitätsbranche (vgl. Kap. 4.1) sowie der Versorgung der Grundstoffindustrie auch über die Grenzen der ostdeutschen Bundesländer hinaus.

➤ **Ostdeutschland verfügt über gutes Knowhow und Mitarbeiterkompetenzen im Bereich Wasserstoff**

Die Materialforschung in Ostdeutschland ist bspw. durch Kälte- und Wärmekopplung, Speichertechnologien, Brennstoffzellenforschung und die Energieeffizienz in der Produktion breit aufgestellt. Einige ostdeutsche Bundesländer haben eine Reihe an **Forschungs- und Entwicklungserfahrungen** in der Elektrolyse. Über alle Technologien hinweg wird Forschung und Entwicklung betrieben und in **Ausgründungen** transferiert. Neben der Forschung sind die ostdeutschen Akteure auch in der **Umsetzung bzw. Herstellung** erfolgreich. In der Region gibt es bereits jahrzehntelange Erfahrung in der großtechnischen Produktion von Wasserstoff, die auch für die Herstellung und industrielle Nutzung von CO₂-freiem Wasserstoff nutzbar gemacht werden kann. Mehrere Unternehmen in der Region verfügen bereits über Kompetenzen und umsetzbare Technologien in den Bereichen Brennstoffzelle und Wasserstoff-Elektrolyseure. Viele Expert:innen gehen davon aus, dass Elektrolyseurhersteller mittelfristig als OEM in der Wertschöpfungskette agieren könnten. Dabei werden das breite Zulieferernetz und die freiwerdenden Kapazitäten aus der Automobilindustrie künftig auch eine wichtige Rolle spielen.

➤ **Auf Bundeslandebene verfügt Ostdeutschland über bereits etablierte Arbeitsgruppen und wasserstoffrelevante Netzwerkstrukturen**

In allen ostdeutschen Bundesländern existieren bereits etablierte **Arbeitsgruppen, Netzwerke und politische Gremien**, die sich aktiv mit Wasserstoffstrategien beschäftigen. Ein gutes Beispiel ist das Referat für Sektorenkopplung und Power-to-X in der Energieabteilung des brandenburgischen Wirtschafts- und Energieministeriums. Beispiele von Arbeitsgruppen sind die interministeriellen Arbeitsgruppen (IMAGs). Diese Arbeitsgruppen, die mit Vertretern aus den Ministerien besetzt sind, welche für die Bereiche Wirtschaft, Wissenschaft, Umweltschutz, Energie und Strukturwandel zuständig sind, wurden in den Bundesländern Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen aufgestellt.

Im Hinblick auf Strategieprozesse erarbeiten die Länder derzeit ihre Wasserstoffstrategien auf der Basis partizipatorischer Prozesse oder haben bereits Strategiedokumente veröffentlicht. Beispiele hierfür sind die "Eckpunkte Thüringer Wasserstoffstrategie" (eine eigene Wasserstoffstrategie ist zur Zeit in Thüringen in der Bearbeitung), die Anfang Mai veröffentlichte "Wasserstoffstrategie Sachsen-Anhalt" oder die bundeslandübergreifenden Dokumente "Eckpunktepapier der ostdeutschen Kohleländer zur Entwicklung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft" zwischen Sachsen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg sowie die "Norddeutsche Wasserstoffstrategie", an der auch Mecklenburg-Vorpommern beteiligt ist. In Sachsen wird derzeit durch das Ministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft die Sächsische Wasserstoffstrategie erarbeitet. Auch in Brandenburg wird derzeit eine eigene Wasserstoff-Strategie entwickelt.

Daneben engagieren sich diverse intermediäre Akteure in energie- und wasserstoffrelevanten Fragen, beispielsweise der **Innovationscluster HZwo**, das **Netzwerk HYPOS** oder der Energy-Cluster Energy Saxony. Auch **Industrie- und Handelskammern** positionieren sich im Hinblick auf Wasserstoff, beispielsweise die IHK zu Schwerin. Schließlich kommt **Industrieparks** wie dem Chemiepark Bitterfeld-Wolfen GmbH eine wichtige Rolle beim Aufbau der Wasserstoffwirtschaft in der Region zu.¹⁷

¹⁷ <https://www.ihkzuschwerin.de/innovation/wasserstoff>, <https://www.chemiepark.de/startseite/>.

3.3 Strukturelle Gegebenheiten Ostdeutschlands

Seit der Wiedervereinigung 1990 hat sich Ostdeutschland in vielen Punkten den westdeutschen Bundesländern angeglichen. Familienmodelle, die Gestaltung der Arbeits- und Freizeit sind nur ein paar Beispiele hierfür¹⁸, aber vor allem bzgl. der Bevölkerungsstruktur und der Wirtschaftskraft gibt es noch wesentliche Unterschiede.

Im Jahr 2019 hatte Deutschland rd. 83,019 Mio. Einwohner. Nur knapp 15,1 %, nämlich ca. 12,53 Mio. Menschen lebten in Ostdeutschland. Somit weisen die westdeutschen Bundesländer mehr als fünfmal so viele Bewohner wie die ostdeutschen Länder auf. Die ostdeutschen Bundesländer haben aufgrund der stärkeren ländlichen Prägung und somit des geringeren Vorhandenseins von Ballungsräumen insgesamt eine geringe Siedlungs- und Bevölkerungsdichte (vgl. Tabelle 2) im bundesweiten Vergleich. Lediglich Sachsen hat mit 221 Einwohnern je km² eine Bevölkerungsdichte, die im bundesweiten Durchschnitt liegt.

	Brandenburg	Sachsen	Sachsen- Anhalt	Thüringen	Mecklenburg- Vorpommern	Deutschland
Fläche [km ²]	29.655	18.450	20.454	16.202	23.295	357.582km ²
Bevölkerung	2.521.893	4.071.971	2.194.782	2.133.378	1.608.138	83.019.213
Bev.Dichte [EW/ km ²]	85	221	107	132	69	232
Altersstruktur						
Bis 14 Jahre	13,26 %	13,36 %	12,34 %	12,75 %	12,78 %	13,6 %
15 – 24 Jahre	7,73 %	8,32 %	7,98 %	8,14 %	8,06 %	10,2 %
25 – 39 Jahre	16,21 %	17,88 %	16,43 %	16,82 %	17,09 %	19,1 %
40 – 64 Jahre	37,91 %	33,97 %	36,29 %	36,02 %	36,80 %	35,3 %
65 Jahre und älter	24,89 %	26,47 %	26,96 %	26,27 %	25,27 %	21,8 %
Altenquotient	43	47	48	46	44	36

Tabelle 2: Bevölkerungsstruktur (Stand 31.12.2019)¹⁹

Auch in der Altersstruktur der Bevölkerung gibt es Unterschiede zwischen den Bundesländern. Zwar steigt das Durchschnittsalter im gesamten Bundesgebiet, jedoch schreitet diese Entwicklung im Osten schneller voran. Mit ca. 17 % war 2019 der Anteil der unter 20-Jährigen in Ostdeutschland um 2 Prozentpunkte geringer als in den alten Bundesländern. Im Vergleich dazu war der Anteil der ab 65-Jährigen mit durchschnittlich 26 % höher als im Westen, wo die Altersgruppe ca. 22 % ausmachte. Im südlichen

¹⁸ Die Bundesregierung; www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/bericht-stand-der-einheit-2020-1787472

¹⁹ Statistische Ämter des Bundes und der Länder; [https://www-statistikportal.de/de/bevoelkerung/flaechen-und-bevoelkerung](https://www.statistikportal.de/de/bevoelkerung/flaechen-und-bevoelkerung); <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=abrufabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1603112943060&auswahloperation=abrufabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=wertabruf&code=12411-0012&auswahltext=&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb>

Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt ist der Anteil der über 65-Jährigen mit 30 % noch wesentlich höher²⁰.

Diese Entwicklung wirkt sich auf den sogenannten Altenquotienten aus. Dieser Wert gibt an, für wie viele potenzielle Rentenbezieher Menschen im Erwerbsalter im weitesten Sinne sorgen müssen. Steigt die Zahl der Senioren und sinkt gleichzeitig die Zahl der Erwerbsfähigen, nimmt der Altenquotient zu. Anfang der 2000er war der Altenquotient in Ost und West annähernd gleich. 2019 entfielen in Deutschland auf 100 Personen im erwerbsfähigen Alter 36 Personen über 65 Jahre, in den alten Bundesländern betrug der Altenquotient 35, in den neuen Bundesländern jedoch 46. Gründe hierfür liegen im Geburtenrückgang nach der Wiedervereinigung und der Abwanderung in die alten Bundesländer²¹. Außerdem haben ein anhaltender Geburtenrückgang und weitere Abwanderungen Auswirkungen auf das zukünftige Fachkräftepotenzial in den ostdeutschen Bundesländern. Für den Aufbau einer ostdeutschen Wasserstoffwirtschaft können die dargestellte Entwicklung der Bevölkerungsstruktur und die resultierenden Probleme bei der Gewinnung von qualifizierten Arbeitskräften ein Hemmnis darstellen, der durch geeignete Maßnahmen entgegengewirkt werden sollte.

	Brandenburg	Sachsen	Sachsen-Anhalt	Thüringen	Mecklenburg-Vorpommern	Deutschland
Arbeitslosenquote	5,8 %	5,5 %	7,1 %	5,3 %	7,1 %	5,0%
BIP [Mrd. EUR]	74,33	128,10	63,55	63,87	46,57	3.435,76
Anteil BIP DE (in %)	2,2	3,7	1,8	1,9	1,4	100
BIP je Erwerbstätigen [EUR]	65.853	61.967	63.244	61.047	61.366	75.927
Bruttowertschöpfung [Mio. Euro]	66.914	115.317	57.205	57.494	41.921	3.092.984
Fischerei, Land- und Forstwirtschaft	1.077	1.058	1.175	802	1.081	27.311
Produzierendes Gewerbe	17.418	36.034	18.198	19.669	9.960	920.807
Dienstleistungsbereiche	48.419	78.225	37.832	37.023	30.880	2.144.866
Interne FuE-Aufwendungen der Wirtschaft ²² [Anteil am BIP 2017 in %]	0,57	1,21	0,41	1,10	0,58	2,10

Tabelle 3: Arbeitslosenquote, BIP, Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen²³ 2019 und F&E-Quote

Bzgl. der Arbeitslosigkeit ist ein positiver Trend zu verzeichnen. 2019 erreichte die Arbeitslosenquote mit 6,4 % einen neuen historischen Tiefstand (Gesamtdeutschland 5,0 %). Vor allem in den mittelständischen Unternehmen wurden in den vergangenen Jahren verstärkt neue Arbeitsplätze geschaffen. Trotz dieser positiven Entwicklung liegt die Wirtschaftskraft der ostdeutschen Bundesländer noch deutlich unter dem gesamtdeutschen Niveau. Mecklenburg-Vorpommern hatte mit rd. 46,57 Mrd. Euro im vergangenen Jahr das geringste BIP der ostdeutschen Bundesländer und trug damit mit lediglich 1,4 % zum

²⁰ Jahresbericht zum Stand der Deutschen Einheit 2020, BMWi

²¹ Jahresbericht zum Stand der Deutschen Einheit 2020, BMWi

²² https://www.stifterverband.org/arendi-zahlenwerk_2019

²³ <https://www.statistikportal.de/de/vgrdl/publikationen>

bundesweiten BIP bei. Die Anteile Sachsen-Anhalts mit 1,8 %, Thüringens mit 1,9 % und Brandenburgs mit 2,2 % waren etwas höher. Sachsen erwirtschaftete 2019 ein BIP i.H.v. 128,1 Mrd. Euro und hatte damit einen prozentualen Anteil am gesamtdeutschen BIP von 3,7 %. Damit ist der prozentuale Anteil des BIP der ostdeutschen Bundesländer am gesamtdeutschen BIP (vgl. Tabelle 3) mit knapp 11 % geringer als der Anteil der Bevölkerung an der gesamtdeutschen Bevölkerung. Das gesamtdeutsche BIP je Erwerbstätigen betrug im Jahr 2019 75.927 Euro und damit durchschnittlich 14 TEuro mehr als in den ostdeutschen Bundesländern.

Ein Grund hierfür kann in der Kleinteiligkeit der Wirtschaft (vgl. Tabelle 4) gesehen werden, die die Angleichung der ostdeutschen Wirtschaftskraft an die alten Bundesländer erschwert. Es fehlt an Standorten hoher industrieller Wertschöpfung, z.B. im Chemie-, Pharma- und Automobilsektor. In den neuen Bundesländern gibt es rund 435 Tsd. Betriebe, von denen mehr als zwei Drittel weniger als 10 Angestellte haben. Somit ist der Anteil an Kleinstbetrieben um 4 Prozentpunkte höher als in den alten Bundesländern. In Ostdeutschland arbeiten ca. 23 % aller Arbeitnehmer in Großbetrieben. In den alten Bundesländern liegt dieser Wert bei 30 %.

Betriebsgrößenklassen	Betriebe [%]		Beschäftigte [%]		Beschäftigte pro Betrieb	
	Ost	West	Ost	West	Ost	West
1 – 9 Beschäftigte	70	66	18	15	4	4
10 – 49 Beschäftigte	24	28	29	28	20	20
50 – 249 Beschäftigte	5	5	30	27	102	98
Ab 250 Beschäftigte	1	1	23	30	521	645

Tabelle 4: Unternehmensstruktur (Stand 2019)²⁴

Die Kleinteiligkeit der Wirtschaft und die damit verbundene schwächere Finanzkraft der Unternehmen bewirkt wiederum, dass die Wirtschaftsaufwendungen in Forschung und Entwicklung (vgl. Tabelle 3) im Vergleich zu industriegeprägten Bundesländern wie Bayern oder Baden-Württemberg mit großen Unternehmen und Konzernen eher gering ausfallen. In Ostdeutschland wurden im Jahr 2017 (2019 veröffentlicht) zwischen 0,41 % und 1,21 % des Bruttoinlandsprodukts von der Wirtschaft in Forschung und Entwicklung investiert. Die bayerische F&E-Quote der Wirtschaft betrug hingegen 2,34 %. In Baden-Württemberg wurden sogar 4,71 % des Wirtschafts-BIP wieder in Leistungen für Forschung und Entwicklung ausgegeben. Auch im bundesweiten Durchschnitt der F&E-Quote der Wirtschaft i.H.v. 2,10 % schneiden die ostdeutschen Bundesländer vergleichsweise schlecht ab²⁵.

Die ostdeutsche Unternehmenslandschaft ist im Vergleich zur westdeutschen deutlich von jüngeren Unternehmen geprägt. Nur 13 % der ostdeutschen Betriebe sind vor 1990 gegründet worden. Weitere 32 % der Unternehmen sind bis zur Jahrtausendwende entstanden. Hingegen wurden in den alten Bundesländern 33 %, also mehr als doppelt so viele Unternehmen, vor 1990 gegründet. Ost und West gemein ist, dass jüngere Betriebe im Allgemeinen weniger Mitarbeitende beschäftigen. Charakteristisch für ostdeutsche Unternehmen, die vor 1990 gegründet wurden, ist, dass sie durchschnittlich nur halb so viele Mitarbeitende beschäftigen wie ältere westdeutsche Unternehmen. Das Vorhandensein

²⁴ IAB-Betriebspanel – Ostdeutschland, Ergebnisse der 24. Befragungswelle 2019

²⁵ Die ausgewiesenen Zahlen beziehen sich ausschließlich auf die Aufwendungen der Wirtschaft. Zur Darstellung der gesamten FuE-Ausgaben wären auch die staatlichen Aufwendungen und die der Hochschulen zu berücksichtigen.

junger und zumeist agilerer Unternehmen und Gründergeist kann sich positiv für die Entwicklung neuer Geschäftszweige im Bereich Wasserstoff auswirken.

Bzgl. der Verteilung der Beschäftigten auf die Wirtschaftsbereiche gibt es zwischen ostdeutschen Unternehmen und den bundesweiten Durchschnittswerten keine nennenswerten Unterschiede (vgl. Tabelle 5). Der Großteil der Erwerbstätigen Ostdeutschlands, aber auch Deutschlands, ist im Dienstleistungssektor beschäftigt, nämlich rund 71,5 % in den neuen Bundesländern und 71,3 % in der Bundesrepublik insgesamt. Im Vergleich der neuen Bundesländer untereinander, werden jedoch Differenzen ersichtlich. In Thüringen sind mit rd. 65,8 % der Erwerbstätigen knapp 10 % weniger Personen im Dienstleistungsbereich beschäftigt als in Brandenburg oder Mecklenburg-Vorpommern. Dafür hat in Thüringen das produzierende Gewerbe bzgl. der Beschäftigtenzahlen eine gewichtigere Bedeutung als in den anderen neuen Bundesländern. Dies spiegelt sich auch in der Bruttowertschöpfung (Tabelle 3) wider. In Thüringen werden 34,2 % der Bruttowertschöpfung durch die Industrie erwirtschaftet. Mecklenburg-Vorpommern erwirtschaftet hingegen 23,8 % im produzierenden Gewerbe, aber 73,7% im Dienstleistungsbereich. Insgesamt sind in Ostdeutschland 26,7 % der Erwerbstätigen im produzierenden Gewerbe beschäftigt, 1,4 Prozentpunkte weniger als in ganz Deutschland. Aufgrund der größtenteils ländlichen Prägung weichen die Beschäftigtenzahlen in der Land- und Forstwirtschaft etwas vom Durchschnittswert Deutschlands i.H.v. 0,6 % ab. In Sachsen sind mit 1,1 % am wenigsten Personen in der Land- und Forstwirtschaft tätig, in Brandenburg und Sachsen-Anhalt gibt es hingegen mit 2,1 % bzw. 1,8 % vergleichsweise viele Beschäftigte in diesem Sektor.

	Brandenburg	Sachsen	Sachsen- Anhalt	Thüringen	Mecklenburg- Vorpommern	Deutschland
Land- und Forstwirtschaft	18.080 (2,1%)	18.402 (1,1%)	13.966 (1,8%)	12.775 (1,6%)	14.800 (2,6%)	225.673 (0,6%)
Produzierendes Gewerbe	201.606 (23,5%)	457.698 (28,1%)	219.693 (27,4%)	262.394 (32,6%)	125.571 (21,8%)	9.474.132 (28,1%)
Dienstleistungsbereiche	638.837 (74,4%)	1.153.704 (70,8%)	567.728 (70,8%)	529.017 (65,8%)	435.874 (75,6%)	24.040.319 (71,3%)
gesamt	858.523	1.629.804	801.387	804.186	576.245	33.740.124

Tabelle 5: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen 2019²⁶

In diesem Zusammenhang ist auch zu erwähnen, dass vor allem ostdeutsche Betriebe Schwierigkeiten haben, ihren Bedarf an Fachkräften zu decken. Dieser ist in den letzten Jahren nahezu stetig gestiegen, nicht selten können angebotene Stellen nicht besetzt werden. Von den angebotenen Fachkräftestellen konnten im Osten 42 %, im Westen 40 % nicht besetzt werden. Der anhaltende Geburtenrückgang in den ostdeutschen sowie die bereits erwähnte Abwanderung in die alten Bundesländer stellen eine Herausforderung für die Gewinnung von Fachkräften²⁷ und somit auch für den Aufbau einer ostdeutschen Wasserstoffwirtschaft dar.

²⁶

https://statistik.arbeitsagentur.de/SiteGlobals/Forms/Suche/Einzelheftsuche_Formular.html?submit=Suchen&to pic f=beschaeftigung-sozbe-wz-heft&r f=bl Mecklenburg-Vorpommern+bl Sachsen-Anhalt+bl Sachsen+bl Thueringen+bl Brandenburg

²⁷ IAB-Betriebspanel – Ostdeutschland, Ergebnisse der 24. Befragungswelle 2019

3.4 Vorhandene Kompetenzen der ostdeutschen Bundesländer entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette

3.4.1 Die Wasserstoffwertschöpfungskette

Eine umfassende Wertschöpfungskette von Wasserstoff und Brennstoffzellen aus einer technologischen Perspektive, welche Produktion, Speicherung und Distribution sowie Endanwendungen verschiedener Bereiche umfasst, lässt sich in drei Oberklassen unterteilen. Dies sind Systemintegratoren, Teil-Systemintegratoren und Komponentenhersteller. Die folgende Tabelle 6 stellt die Oberklassen sowie eine weitere Unterteilung in Unterklassen dar.

Ebenen der Wertschöpfungskette

System- integration	Mobile Systeme im Verkehr (Bau von Brennstoffzellenfahrzeugen oder Fahrzeugen mit Wasserstoffverbrennungsmotoren)	Pkw, leichte Nutzfahrzeuge, Lkw, Busse, Züge, Gabelstapler, etc.
	Stationäre Brennstoffzellenanlagen	in Haushalten, Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie
	H ₂ -Produktionsanlagen	Elektrolyseure, Dampfreformierung, Pyrolyse
	Wasserstofftankstelle	für Pkw, Lkw/Bus, Züge, etc.
	Wasserstofftransport	über Pipeline, Lkw-Transport, etc.
Teilsystem- integration	Elektrolyseure	AEL, PEM, Hochtemperatur, etc.
	Brennstoffzelle	PEM, DMFC, SOFC, etc.
	Kompressoren	für Tankstellen, stationäre Erzeugungsanlagen
	Speicher	Druckgasspeicher mobile Anwendungen, Druckgasspeicher, Flüssiggasspeicher, chemische Speicher, geologische Speicher
	Rohrleitungen	
	Dispenser	

Komponentenhersteller	BZ-Stackkomponenten	Bipolarplatten, Membran-Elektroden-Einheit, Gasdiffusionsschicht, etc.	für den Weg in eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft
	Peripheriekomponenten	Pumpen, Rohrleitungen, Befeuchter, Katalysatoren, Dichtungen, Druckbehälter, Reformer, Kompressoren, Filter, etc.	
	Sonstige Systeme	Kühltechnik, Leistungselektronik, Luftmanagement, Mess-/Steuerungstechnik, etc.	

Abbildung 6: Konzeption der Wasserstoff-Wertschöpfungskette

Die Energiequelle zur Wasserstoffherstellung, bei grünem strombasiertem Wasserstoff die erneuerbaren Erzeugungsanlagen wie Windkraft- und Photovoltaikanlagen, steht am Anfang der eigentlichen Wasserstoffwertschöpfungskette. Ein Vergleich der Wertschöpfungskette mit der Energiequelle nach monetären Gesichtspunkten zeigt, dass ein wesentlicher Teil auf die Energiequelle entfällt. Diese machen rund 50 % der gesamten Herstellkosten für grünen Wasserstoff derzeit aus.

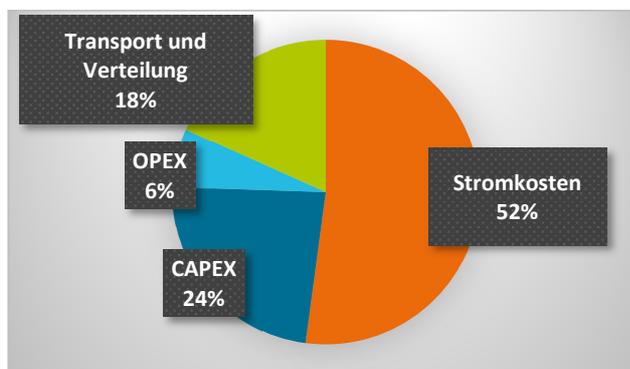


Abbildung 8: Heutige Bereitstellungskosten für grünen Wasserstoff in Deutschland (Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Prognos 2020²⁸, Referenzszenario)

Ein sehr großer Anteil der derzeitigen Stromkosten resultiert aus Steuern und weiteren Abgaben, während die reinen Stromerzeugungskosten aktuell nur einen Anteil von 22% betragen²⁹. Damit besteht ein großes Kostensenkungspotenzial für grünen Wasserstoff durch regulatorische Maßnahmen.

3.4.2 Ostdeutsche Unternehmen der Wasserstoff-Wertschöpfungskette

Zur Identifizierung von bereits aktiven ostdeutschen Akteuren – privaten und kommunalen Unternehmen, Netzwerken und Forschungseinrichtungen – entlang der Wertschöpfungskette wurden im Rahmen des Projektes Auswertungen existierender Studien und Recherchen von Online-Auftritten von Unternehmen, Netzwerken und IHKs durchgeführt. Außerdem wurde eine umfassende Online-Umfrage erstellt, die an ca. 580 Unternehmen sowie an rund 80 Verbände und Netzwerke und die ostdeutschen IHKs versendet wurde. Die angeschriebenen IHKs und Verbände wurden außerdem um die Verteilung der Umfrage in ihrem Netzwerk gebeten.

²⁸ Prognos (2020): Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie

²⁹ <https://strom-report.de/strompreise/strompreis-zusammensetzung/> (abgerufen: 28.12.2020)

Bereich der Wasserstoffwertschöpfungskette	Anzahl Akteure**
Betreiber EE-Anlagen	158 (143)
H ₂ Erzeugung*	68 (59)
H ₂ Anlagenhersteller*	312 (240)
H ₂ Infrastruktur*	69 (57)
H ₂ Nutzung*	169 (148)
Anlagentechnik/Komponenten/MSR und Elektronik*	46 (40)
H ₂ Sicherheit*	14 (12)
* heutige und potenzielle	
** Klammerwert Anzahl der Akteure ohne Berlin	

Tabelle 7: ostdeutsche Unternehmen, die im Bereich Wasserstoff aktiv sind (Ergebnis eigener Recherchen)

Bis zur Fertigstellung des Masterplans konnten auf Basis öffentlich verfügbarer Daten, eigener Internet-Recherchen und der Auswertung der Umfrageergebnisse über 660 aktive ostdeutsche Akteure (inkl. Berlin) identifiziert und den verschiedenen Bereichen der Wasserstoff-Wertschöpfungskette zugeordnet werden (vgl. Tabelle 7). Die Zuordnungen basieren auf eindeutigen Positionierungen und Hinweisen auf den unternehmenseigenen Webseiten, auf Netzwerk- und Projektseiten, aber auch in Pressemitteilungen. Es ist außerdem zu berücksichtigen, dass zahlreiche Akteure in mehreren Bereichen der Wasserstoff-Wertschöpfungskette tätig bzw. diesen mehrfach zugeordnet worden sind. Die geografische Verteilung der Akteure ist in Abbildung 9 zu sehen.

Der Abbildung ist zu entnehmen, dass sich eine Vielzahl der Akteure aktuell in den Zentren Dresden, Chemnitz und Berlin sowie im Mitteldeutschen Industriedreieck mit der Metropolregion Leipzig/Halle konzentriert. Kleinere Cluster finden sich darüber hinaus in der Nähe des Seehafens Rostock sowie in den Regionen Magdeburg und Cottbus.

Als Ausgangspunkt der Wertschöpfungskette spielen Unternehmen, deren Aktivitäten in der Erzeugung erneuerbarer Energien, beispielsweise im Bereich Planung und Errichtung oder beim Betrieb von Wind- oder Solarparks liegen, eine wichtige Rolle. Diese sind vorrangig im nordostdeutschen Raum, also in Mecklenburg-Vorpommern und Berlin/Brandenburg angesiedelt. Die Größe und der Aktionsradius dieser Unternehmen sind divers. Sie treten einerseits als größere Entwicklungs- und Betreibergesellschaften auf, die in Ostdeutschland bzw. darüber hinaus aktiv sind. Andererseits existiert eine Vielzahl von kleineren Gesellschaften, die sich im Wesentlichen auf den Betrieb einzelner Erzeugerparks konzentrieren. Als typische, überregional agierende Vertreter seien hier beispielhaft die Notus Energy Plan GmbH & Co. KG in Potsdam und die UKA-Umweltgerechte Kraftanlagen GmbH & Co. KG mit Standorten in Meißen und Cottbus genannt.

Vor allem in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Berlin/Brandenburg aber auch im Umkreis des Seehafens Rostock sind Unternehmen angesiedelt, die in der Wasserstoffherzeugung aktiv sind. Hierunter sind im Wesentlichen die Betreiber von Elektrolyseuren oder anderweitigen Wasserstoffherzeugungs-Anlagen zu verstehen. Diese Rolle wird unter anderem von den Produzenten technischer Gase wie der Linde AG in Dresden und Leuna, Gasversorgern wie der GASAG AG in Berlin, Energieversorgern wie der LEAG - Lausitz Energie Bergbau AG in Cottbus, aber auch von Unternehmen aus dem Bereich der energieintensiven Industrien wie der ArcelorMittal Eisenhüttenstadt GmbH heute bereits aktiv wahrgenommen oder es existieren konkrete Planungen hinsichtlich zukünftiger Aktivitäten.

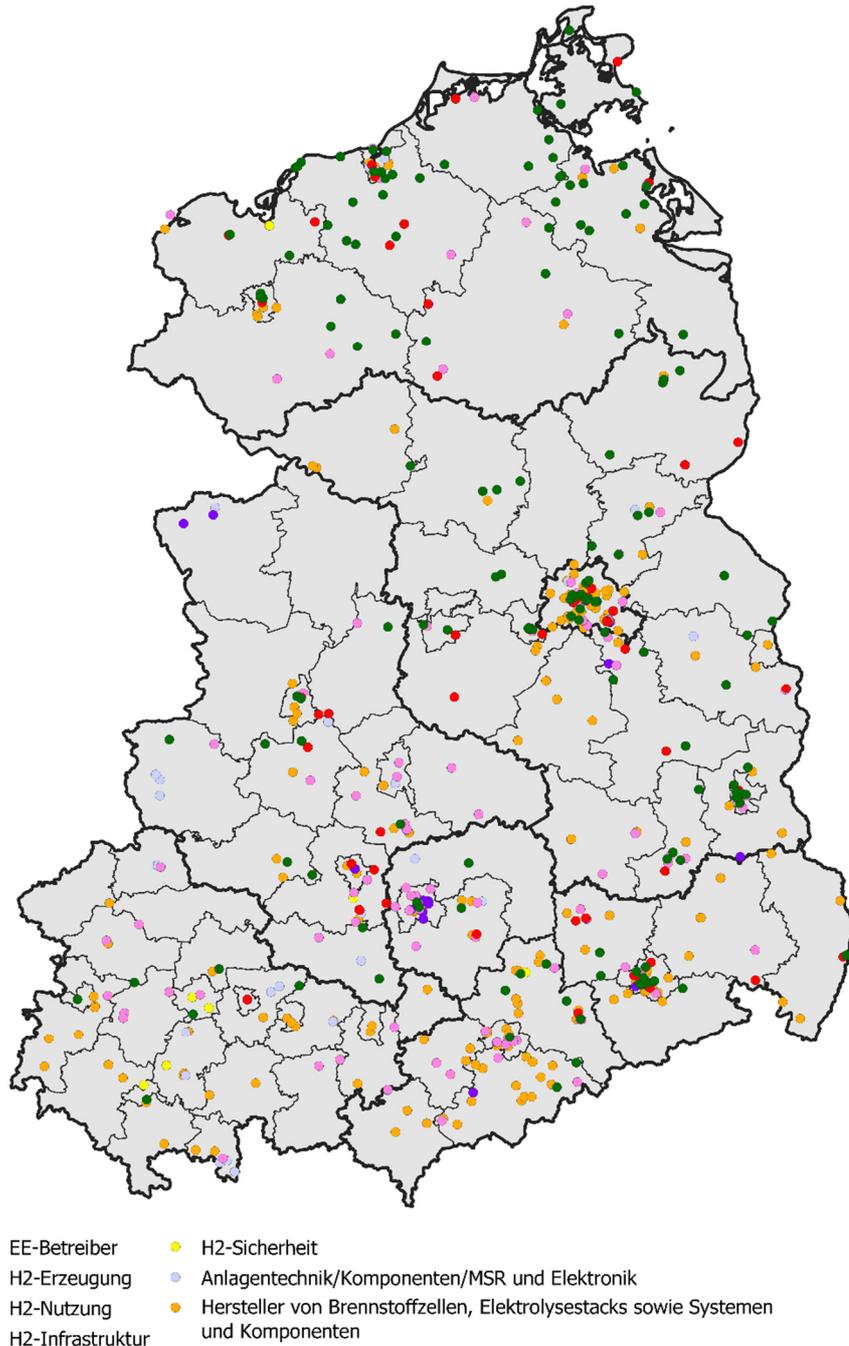


Abbildung 9: Verteilung der ostdeutschen Unternehmen, die im Bereich Wasserstoff aktiv sind (eigene Darstellung)³⁰

Unternehmen, die im Zusammenhang mit ihren eigenen Produktionsprozessen Wasserstoff nutzen und Akteure, die sich mit Technologien zum Einsatz von Wasserstoff auseinandersetzen, finden sich verstärkt in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, aber auch in Berlin und Mecklenburg-Vorpommern wurden Aktivitäten in diesem Bereich identifiziert. Die entsprechenden Unternehmen und Forschungseinrichtungen agieren in den Feldern Industrie und Gewerbe, Mobilität und Haushalt. Vorrangig in Sachsen und Sachsen-Anhalt kommt Wasserstoff in Industrie und Gewerbe zum Einsatz. Als wichtige

³⁰ Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit

Wasserstoffherzeuger und -nutzer im industriellen Bereich sind beispielsweise die Total Raffinerie in Leuna, die Dow Olefinverbund GmbH und die Nouryon Industrial Chemicals GmbH, letztere mit mehreren Standorten in Mitteldeutschland, zu nennen.

Diverse kommunale Verkehrsbetriebe beschäftigen sich in Sachsen und Brandenburg mit der Nutzung von Wasserstoff im Mobilitätsektor. Im Fokus steht hier vorrangig der Einsatz von Wasserstoffbussen. Aber auch im Schienenverkehr sind Aktivitäten vorhanden. Hervorzuheben ist hier das Bahntechnologie-Cluster „Trains“ Dessau, das sich auf die Umrüstung von Dieseltriebzügen auf wasserstofffähige Gasmotoren konzentriert. Darüber hinaus streben mehrere Betreiber nichtelektrifizierter Bahnstrecken, wie beispielsweise die Niederbarnimer Eisenbahn AG (NEB), den Einsatz von Wasserstoffzügen an oder befinden sich bereits im Testbetrieb. Die für den Wasserstoffeinsatz in Fahrzeugen notwendige Ausrüstungstechnik, zum Beispiel Brennstoffzellenantriebe, spezielle Rohr-, Ventil- und Dichtungssysteme liefern Unternehmen wie die FCP Fuel Cell Powertrain GmbH in Chemnitz oder die Swagelok B.E.S.T. Fluidsysteme GmbH mit Standorten in Markranstädt und Berlin. Zunehmend wird auch im Bereich des Schiffsverkehrs über die Nutzung von Wasserstoff nachgedacht. Die BEHALA – Berliner Hafen- und Lagerhausgesellschaft mbH, die Fährhafen Sassnitz GmbH sowie die HanseYachts AG nehmen in diesem Zusammenhang Vorreiterrollen ein. Im Bereich Wasserstoffnutzung im Haushalt sind bisher nur wenige Unternehmen aktiv. Diese arbeiten in der Wärme- oder der kombinierten Strom- und Wärmeversorgung. Beispielhaft ist hier die HPS Home Power Solutions GmbH in Berlin zu nennen.

Dem Bereich Wasserstoff-Infrastrukturen sind Unternehmen zugeordnet, die sich mit den Themen Wasserstoff-Speicherung und Wasserstoff-Transport oder mit dem Aufbau vollständiger Wasserstoff-Infrastrukturen auseinandersetzen. Das Aktionsfeld Wasserstoffspeicherung umfasst sowohl die Erschließung und Nutzung untertägiger Kavernenspeicher als auch mobile Anwendungen. Kavernen, die als Wasserstoffspeicher in Frage kommen, finden sich in Sachsen-Anhalt unter anderem im Salzlandkreis sowie im Raum Halle/Leuna aber auch in Brandenburg. Im Zusammenhang mit dem Betrieb von Kavernenspeichern verfügen beispielsweise die Erdgasspeicher Peissen GmbH, die ESK GmbH in Staßfurt und die VNG Gasspeicher GmbH in Leipzig über Erfahrungen und Kompetenzen. Der Fernleitungsnetzbetreiber ONTRAS Gastransport GmbH in Leipzig beabsichtigt im Zusammenhang mit der Entwicklung zukunftsfähiger Wasserstoff-Infrastrukturen die Transformation des Gasnetzes hin zu einer wasserstofffähigen Transportstruktur während die APEX Energie Teterow GmbH gemeinsam mit Partnern aus dem Forschungssektor im Wasserstoff-Leistungszentrum Norddeutschland in Rostock-Laage komplette Systemlösungen erprobt.

Eine wichtige Rolle in der Wasserstoff-Wertschöpfungskette spielen Akteure, die sich in den Bereichen Herstellung und Entwicklung von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen, sowohl für den stationären als auch für den mobilen Einsatz, identifizieren lassen. Die Kompetenzen liegen über gesamt Ostdeutschland verteilt, wobei die Anzahl der Aktivitäten in Mecklenburg-Vorpommern deutlich geringer ausfällt als in den übrigen Bundesländern. Als Vorreiter in der Elektrolysetechnik sind die SunFire GmbH in Dresden und die KUMATEC Sondermaschinenbau & Kunststoffverarbeitung GmbH in Neuhaus-Schiernitz zu nennen. Brennstoffzellen für stationäre und mobile Anwendungen werden unter anderem von der Fuel Cell Powertrain GmbH in Chemnitz entwickelt und produziert. Neben diesen Hauptakteuren sind zahlreiche Unternehmen im Bereich der Material- und Komponentenentwicklung, aber auch in der Entwicklung von Prüfsystemen aktiv. Hierzu zählen unter anderem die Dessauer Gaszellen GmbH, die gasbefeuerte Warmluftzeuger für Brennstoffzellen produziert oder die HORIBA FuelCon GmbH in Barleben, die im Bereich Mess- und Analysetechnik etabliert ist.

Akteure, die im Bereich H₂-Sicherheit aktiv sind, finden sich im Wesentlichen in Thüringen. Deren Aktivitäten konzentrieren sich stark auf die Entwicklung und Herstellung von Sensorik für Wasserstoff-Anwendungen. Beispielhaft sind hier die UST Umweltsensortechnik GmbH in

Gschwenda und die CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH in Erfurt zu nennen. Darüber hinaus spielt die DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH Leipzig eine wichtige Vorreiterrolle in Sachsen.

Ähnlich wie die Akteure im Bereich H₂-Sicherheit finden sich Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die sich mit der Entwicklung und Herstellung von speziellen Systembestandteilen und elektronischen oder mess-, steuer-, und regelungstechnischen Komponenten für Wasserstoff-Anwendungen auseinandersetzen, vornehmlich in Thüringen, aber auch in Sachsen-Anhalt und in Sachsen. Die Arbeitsschwerpunkte sind divers und reichen von der Herstellung spezieller Leistungselektronik über die Entwicklung und Herstellung von Wasserstoff-BHKWs bis hin zur Planung und Errichtung von Verdichteranlagen für Wasserstoff. Wichtige Vertreter sind die ISLE Steuerungstechnik und Leistungselektronik GmbH in Ilmenau, die MAXIMATOR GmbH in Nordhausen, die 2G Energy AG in Kabelsketal und die STREICHER Anlagenbau GmbH & Co. KG in Gommern.

Tabelle 7 zeigt, dass ostdeutsche Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Netzwerke zwar alle Stufen der Wertschöpfungskette abbilden, die Intensität der Auseinandersetzung in den einzelnen Aktionsfeldern jedoch divers ist. Während 314 Unternehmen oder Institutionen identifiziert werden konnten, die in der H₂-Anlagenherstellung aktiv sind, finden sich lediglich 46 Akteure im Bereich Komponenten und MSR bzw. Elektronik. Der Bereich H₂-Sicherheit wiederum wird nur durch 14 Akteure repräsentiert. Eine beachtliche Präsenz von Akteuren, die im Bereich erneuerbare Energien agieren, wurde in Nordostdeutschland identifiziert, während sich die übrigen Aktivitäten entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette eindeutig im südlichen und mittleren Ostdeutschland lokalisieren lassen. Die stark landwirtschaftlich geprägten Gebiete im Norden Sachsens-Anhalts und Brandenburgs sowie in Mecklenburg-Vorpommern weisen kaum Aktivitäten auf. In Mecklenburg-Vorpommern ist lediglich die aus der Fa. New-Enerday hervorgegangene Fa. Sunfire Fuels GmbH zu nennen, welche das Knowhow der Firma Vaillant übernommen hat, die sich aus der SOFC-Systementwicklung zurückgezogen hat.

Im Allgemeinen zeigen sich Aktions-Cluster im Umfeld größerer Städte, die über Hochschul- oder Universitätsstandorte verfügen, und im Einzugsbereich gewachsener Industriestandorte. Hier profitiert Ostdeutschland einerseits von Innovationsbereitschaft und Startup-Mentalität und andererseits von vorhandenem Knowhow.

Eine Vielzahl ostdeutscher Unternehmen aus dem privaten und kommunalen Sektor erbringt gemeinsam mit Kommunen, Regionalentwicklungsgesellschaften und Forschungseinrichtungen im Rahmen von Verbundprojekten Innovationsleistungen, wobei sich die Vorhaben entlang der gesamten Wasserstoff-Wertschöpfungskette bewegen. Die Themen, die innerhalb der Konsortien bearbeitet werden, reichen von der Entwicklung strategischer Handlungsansätze über die Erprobung von Energieversorgungsstrategien und die Umsetzung konkreter Mobilitätskonzepte bis hin zu differenzierten, technologischen Entwicklungen. Abbildung 10 und Tabelle 8 geben einen Überblick über eine Auswahl der in Ostdeutschland ansässigen Wasserstoff-Projekte und deren Schwerpunktthemen.

Die Mitwirkung in den diversen Konsortien ermöglicht es den bereits im Wasserstoff-Umfeld etablierten Akteuren einerseits, ihre Position durch Zuwachs von Knowhow und gezielter Vernetzung zu stärken. Andererseits bieten diese Vorhaben jungen Akteuren die Möglichkeit, ihr bisheriges und möglicherweise sehr spezialisiertes Tätigkeitsfeld auf den Wasserstoff-Sektor auszuweiten und dort perspektivisch Fuß zu fassen.

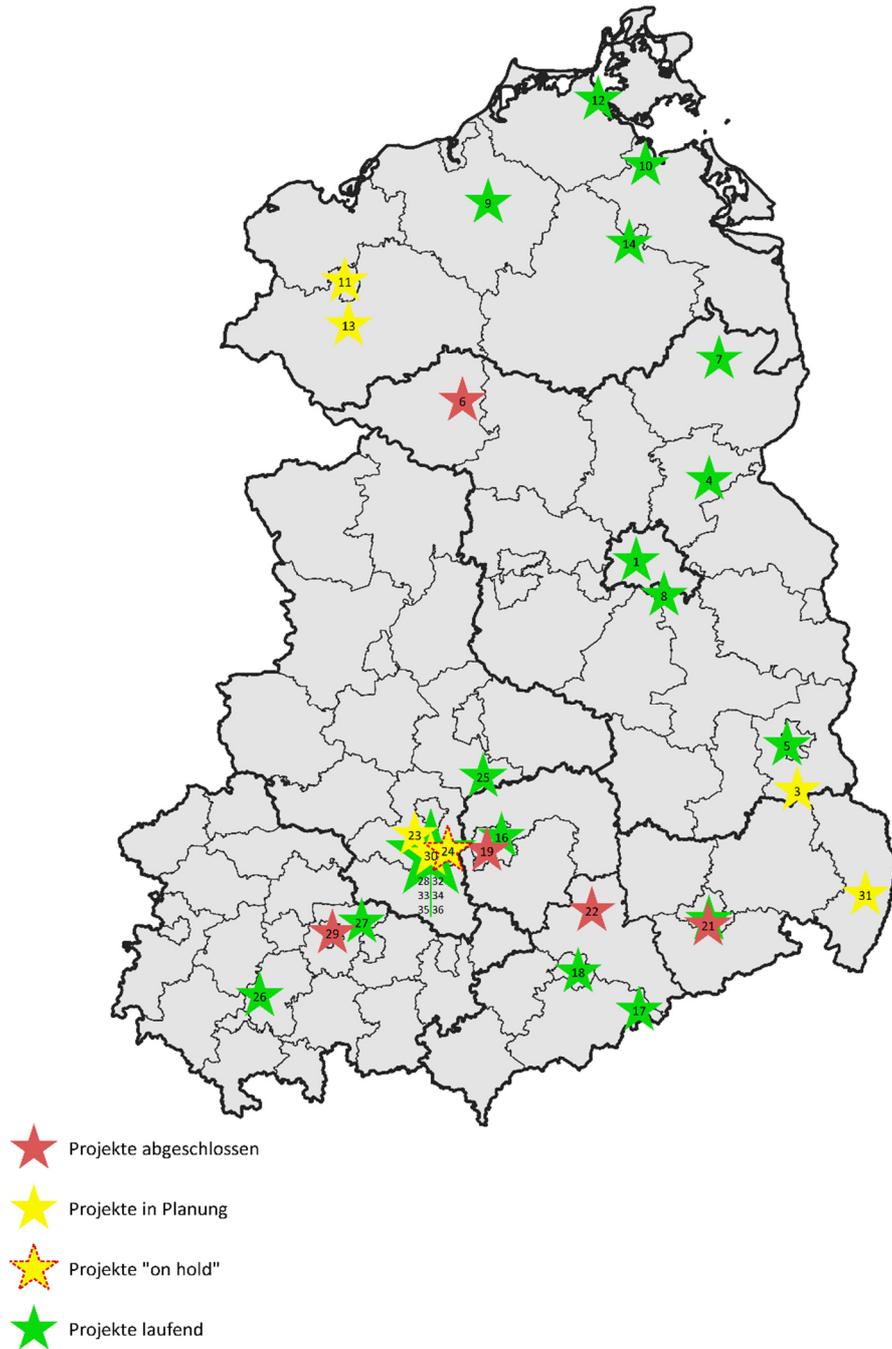


Abbildung 10: Wasserstoffprojekte Ostdeutschlands (eigene Darstellung)³¹

³¹ Abbildung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit

Projekt	Inhalt
1 ELEKTRA-II	Realisierung und Erprobung eines durch Brennstoffzellen und Akkumulatoren hybridbetriebenen Schubschiffes
2 HYStarter Region Lausitz	Entwicklung eines regionalen Handlungsansatzes
3 Referenzkraftwerk Lausitz (RefLau)	Schlüsseltechnologien der Energieversorgung mit erneuerbaren Energien und Wasserstoff als chemischen Speicher in der Praxis erproben
4 Einsatz von Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieben im Nahverkehr	Errichtung eines Wasserstoffwerkes und von H2-Tankstellen für Treibzüge für die Personenzüge der RB27 – Heidekrautbahn
5 Reallabor - Sofortprogramm: TurboFuelCellFuE	Multidisziplinäre Komponentenentwicklung für hybride Mikrogasturbinen-SOFC-Systeme
6 STORE&GO Methanisierung Falkenhagen	Wasserstoffherzeugung mit Windstrom
7 Hybridkraftwerk Prenzlau	Einsatz von Wasserstoff als Speichermedium zur Verbesserung der Lastprognose
8 H2-BER	Elektrolyseur zur Versorgung einer Multi-Energie-Tankstelle mit zwei Wasserstoffzapfsäulen und Elektroladesäulen
9 Wasserstoffkraftwerk in Laage bei Rostock	Aufbau der (bisher) größten netzgekoppelten Wasserstoffanlage Europas
10 Campfire	Dezentrale Produktion von Ammoniak (NH3) aus lokal erzeugtem Wind- oder Solarstrom, Luft und Wasser sowie dessen Verwertung als innovativer Energieträger
11 Norddeutsches Reallabor	Energiewendeallianz für Sektorenkopplung
12 HYStarter Region Rügen-Stralsund	Entwicklung eines regionalen Handlungsansatzes
13 lübesse@energie	Dezentrales Versorgungskonzept des Energiedorfs Lübesse
14 Windpark RH2-WKA	Pilotanlage zur Entwicklung und Erprobung von Wind-Wasserstoff-Systemen
15 Power-Paste	Weiterentwicklung und Erprobung einer quasi drucklosen Wasserstoffversorgung für PEM-Brennstoffzellen-Antriebe auf Basis von POWERPASTE
16 FFZ70 (Grünes Werk 2050)	Entwicklung, Erprobung und Einsatz wasserstoffbetriebener Flurförderfahrzeugflotte für die Produktionsversorgung im BMW Werk Leipzig
17 Hzwo:STACK	Großserientauglich PEM-Brennstoffzellenmodule
18 Hzwo:Frame	Projektinitiative aus dem Entwicklungsbereich Brennstoffzellenfahrzeuge
19 HYPOS:H2-PIMS	Pipeline Integrity Management zur Weiternutzung der bestehenden Erdgasinfrastruktur für Wasserstoff
20 HYPOS-REVAL	Reversible alkalische Anionenaustauschmembran-Elektrolyse
21 HYPOS-RSOC	Reversible Solid Oxid Cell (RSOC) for Industry - Umsetzung
22 HYPOS-HYPROS	Prozess- und Sicherheitssensorik für das Wasserstoff-Qualitätsmanagement

Stärken der neuen Bundesländer
für den Weg in eine nachhaltige
Wasserstoffwirtschaft

23	Energiepark Bad Lauchstädt	Reallabor zur intelligenten Erzeugung, Speicherung, Transport, Vermarktung und Nutzung von grünem Wasserstoff
24	GreenHydroChem Mitteldeutsches Chemiedreieck	50-MW-PEM-Elektrolyseur in Leuna zur industriellen Nutzung von Wasserstoff
25	HYPOS:H2-Netz	Entwicklung innovativer Infrastrukturen zur Versorgung von Verbrauchern im Wasserstoffdorf
26	H2D4EV	Intelligentes Wasserstoffdetektionssystem mit hohem Sicherheitslevel für den Einsatz in Brennstoffzellensystemen von Elektrofahrzeugen
27	H2-Well	Wasserstofftechnologie zwischen Main und Elbe, Demonstrationsprojekte in Apolda und Sonneberg
28	HYPOS-LocalHy	Dezentrale Wasserelektrolyse mit kombinierter Wasserstoff- und Sauerstoffnutzung aus erneuerbarer Energie
29	HYstarter Region Weimar	Entwicklung eines regionalen Handlungsansatzes
30	Hy2Chem-Skalierungsplattform Leuna	Großtechnische Herstellung von Methanol aus H ₂ und CO ₂
31	Hydrogen Lab Görlitz	Entwicklung und Betrieb einer digitalen Kompetenzplattform für angewandte Wasserstofftechnologien für den Technologie- und Wissenstransfer - Systemtest bis 12 MW für Wasserstofftechnologien, Sektorenkopplung, Industrielle Produktion von Wasserstofftechnologien, Digitalisierung im Bereich Wasserstoff
32	Hydrogen Lab Leuna	technologieoffene Pilotanlage für Test, Zertifizierung und Skalierung von Elektrolysesysteme, Power-to-X- und Power-to-Liquid-Projekten bis 5 MW
33	HYPOS-INES	Integrative Erhöhung des Sicherheitsniveaus in der Wertschöpfungskette für Wasserstoff
34	HYPOS-ELKE	Entwicklung leistungsoptimierter und kostengünstiger Elektrodenstrukturen für die alkalische Elektrolyse
35	SynLink	Weiterentwicklung von Technologien und Wertschöpfungsketten zur kommerziellen Einführung von strombasiertem Synthesegas für die Synthese von Kraftstoffen für konventionelle sowie innovative Antriebstechnologien in mobilen Anwendungen
36	HYPOS-Megalysseur	Entwicklung, Design und Aufbau eines modularen, innovativen & kosteneffizienten PEM-Elektrolyse-Systems mit nachgeordneter Kompressionsanlage

Tabelle 8: Wasserstoffprojekte Ostdeutschlands^{32,33}

³² Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit

³³ Quellen: <https://www.energieforschung.de/spotlights/reallabore>,
https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/26?op=enargus.eps2&m=0&v=10&p=0&s=0&q=Wasserstoff&d=complex_date_facet_enargus_fi_von%2F2020-2029
<https://www.hypos-eastgermany.de/die-projektvorhaben/hypos-projekte-zwanzig20/>
https://www.now-gmbh.de/projektfinder/?_sfm_projektstatus=active
<https://www.powertogas.info/projektkarte/>
<http://hzwo.eu/projekte/fue-projekte/>

4 Chancen zur strukturellen Entwicklung und Stärkung Ostdeutschlands

- **Stärken der ostdeutschen Bundesländer nutzen, um eine ostdeutsche Vorreiterposition in der emissionsarmen Mobilität zu erzielen**
 - Eine erste Anwendungsmöglichkeit von grünem Wasserstoff liegt bei Raffinerieprozessen – kurzfristig in bestehenden Anlagen und längerfristig durch den Aufbau und Betrieb von Fischer-Tropsch-Raffinerien.
 - Bis 2030 größtes Potenzial der Wasserstoffnutzung bei der Dekarbonisierung im Schwerlastverkehr (LKW) mit etwa 1,55 TWh
 - Bis 2030 weitere Erstmärkte, u.a. Fernbus- und Schienenverkehr, bei derzeit nicht elektrifizierten Strecken, sowie bei synthetischen Kraftstoffen für den Flugverkehr.
 - Längerfristig kann der PKW-Verkehr noch relevant zur Wasserstoffnachfrage beitragen.
 - In der Summe ergibt sich im Verkehr bis 2050 ein Gesamtnachfragepotenzial von 12 TWh (ohne Raffinerien).

- **Möglichkeit zur CO₂-armen Produktion als wichtiger Standortfaktor für den Erhalt der bestehenden Industrieeinfrastrukturen und die Neuansiedlung von Betrieben ausbauen**
 - Starke Position der ostdeutschen Wirtschaft im Bereich des Anlagenbaus kann durch den Einsatz von Wasserstoff in der Industrie (u.a. durch den Bau von Elektrolyseuren großer Leistung) gestärkt und ausgebaut werden.
 - Einsatz von klimaneutralem Wasserstoff bietet großen Stellhebel zur Dekarbonisierung der energieintensiven Industrien
 - Kurzfristig erschließbares stoffliches Potenzial von ca. 11 TWh in Raffinerien und der Basischemie.
 - Mittelfristig weiteres Potenzial bei Umstellung der Stahlproduktion auf Wasserstoff-Direktreduktion von etwa 4 TWh
 - 9 TWh mittel- bis langfristiges Potenzial in der Basischemie bei Umstellung der Olefinproduktion. Hierzu ist wesentlicher Ausbau der Produktionskapazitäten des Zwischenproduktes Methanol notwendig.
 - Langfristig bei Weiterentwicklung von Brennertechnologien und breiter Diffusion von Wasserstofftechnologien zur Erzeugung von Prozesswärme Potenzial von 13 TWh erschließbar.

- **49 TWh Gesamtnachfragepotenzial in Verkehr und industrieller Nutzung in Ostdeutschland**

- **Wasserstoffbasierte Erzeugungsanlagen können zur Bereitstellung von gesicherter Leistung und von Systemdienstleistungen für den Netzbetrieb genutzt werden**
 - Ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlagen erfordert hohe CO₂-Preise (deutlich über 100 €/t) sowie die Nutzung von Synergien mit anderen Sektoren und eine effiziente Abwärmenutzung der Elektrolyseure und der Anlagen zur Rückverstromung.
 - Mit der Stilllegung von Braunkohlekraftwerken mit einer Leistung von über 3000 MW bis 2030 stünde eine leistungsfähige Stromnetzinfrastuktur für wasserstoffbasierte Ausgleichskraftwerke zur Verfügung.

4.1 Einsatz von Wasserstoff in der Mobilität – Ostdeutschland als Vorreiter für emissionsarmen Verkehr

4.1.1 Grundmotivation und spezifische Voraussetzungen der ostdeutschen Bundesländer

Bedeutende Stärken der ostdeutschen Bundesländer können in synergetischer Weise zusammenwirken, um eine ostdeutsche Vorreiterposition in der emissionsarmen Mobilität zu erzielen. So kann Mecklenburg-Vorpommern durch ein hohes und potenziell steigendes Angebot an erneuerbaren Energien punkten (siehe Kapitel 3), das den Export in andere Bundesländer ermöglicht. Weitere Chancen Mecklenburg-Vorpommerns begründen sich in der günstigen geographischen Lage im Hinblick auf die Wasserstoffwirtschaft (einschl. Häfen), bestehende Forschungs- und Entwicklungskapazitäten, Potenziale in der Logistik sowie bestehende Projekte wie die HyStarter-Wasserstoffregion Rügen-Stralsund. Auch Brandenburg weist einen hohen Anteil erneuerbarer Energien (gemessen in Relation zur Bevölkerung bzw. eigenen Stromnachfrage, siehe Kapitel 3) mit weiteren Exportpotenzialen in andere Bundesländer auf. Zusätzlich bieten sich in der Region um den Flughafen Berlin-Brandenburg gute Optionen für die Etablierung wasserstoffbasierter Wertschöpfungsketten.

Im Hinblick auf Technologie- und Komponentenherstellung bestehen bedeutende Potenziale im Anlagenbau in Sachsen, insbesondere im Bereich der Elektrolyseure und der Komponentenherstellung, ergänzt durch eine starke universitäre und außeruniversitäre Forschung sowie Cluster und Netzwerke (Energy Saxony, HYPOS, HZwo). Weitere Chancen im Hinblick auf das Technologie- und Komponentenangebot bestehen in Leistungselektronik, Sicherheits- und Steuerungstechnik am Standort Thüringen. Infrastrukturelle Stärken wie die Wasserstoffpipeline und die Kavernenspeicher in Sachsen-Anhalt einschließlich der Elektrolyse-Plattform Leuna sowie auch das bestehende Knowhow in der Wasserstoffproduktion (Linde im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen) können neben anwendungsorientiertem Wissenstransfer zum Aufbau der spezifischen ostdeutschen Kompetenz Mobilität beitragen. Schließlich weist der Freistaat Thüringen Erfahrungen beim Einsatz von Wasserstoff im Mobilitätssektor auf. Der weltweit erste Wasserstoff-Brennstoffzellen-Zug absolvierte 2019 im Kreis Saalfeld-Rudolstadt eine Testfahrt und soll ab 2023 auf der Strecke Rottenbach - Katzhütte im Einsatz sein und sieht günstige Voraussetzungen für die Entwicklung stationärer und mobiler Wasserstoffspeicherbehältersysteme in dezentralen Wasserstoffinfrastrukturen.

Neben diesen Stärken gibt es auch eine Reihe von Herausforderungen, die es bei einer bundeslandübergreifenden Weiterentwicklung der emissionsarmen Mobilität zu adressieren gilt. Hierzu zählen die generell kleinbetriebliche Struktur der ostdeutschen Wirtschaft mit zwar hoher Flexibilität, aber begrenzter Kapitaldecke und Investitionsbereitschaft, teilweise auch begrenzter Wertschöpfungstiefe (Mecklenburg-Vorpommern), die generell geringe Nachfrage nach Wasserstoff sowie das ungleiche Vorhandensein erneuerbarer Energien mit teilweise begrenzter Akzeptanz für einen weiteren Ausbau (z.B. Brandenburg, Sachsen). Die verhältnismäßig moderate Produktion erneuerbarer Energien in den südlichen Bundesländern führt zu einer Importabhängigkeit; hinzu kommen Herausforderungen im Kontext des demographischen Wandels und der Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitskräfte (z.B. Sachsen-Anhalt).

Aus diesen Faktoren ergeben sich potenzielle Anwendungsgebiete in Verkehr und Logistik in unterschiedlichen Ausprägungen: im Bereich der maritimen Technik einschließlich Häfen in Mecklenburg-Vorpommern, im Transport- und Logistiksektor über die Umstellung von Fuhrparks sowie Logistikkonzepten im Schwerlastverkehr, daneben im öffentlichen Personennah- und im kommunalen (Bus-)Verkehr. Hinzu kommen schienengebundene Fahrzeuge (z.B. Thüringen, begrenzter Elektrifizierungsanteil) sowie Logistikkfahrzeuge für den innerstädtischen Lieferverkehr. Weitere Potenziale werden im Flugverkehr (Flughäfen

BER, Halle-Leipzig) gesehen. Dies schließt die Raffinerien (z.B. Leuna) in den Mobilitätsbereich ein.

4.1.2 Einsatz von Grünem Wasserstoff in Raffinerieprozessen

Im Bereich der Mobilität liegt eine erste Anwendungsmöglichkeit von grünem Wasserstoff in den Raffinerieprozessen – kurzfristig in bestehenden Anlagen und längerfristig durch den Aufbau und Betrieb von Fischer-Tropsch-Raffinerien. Wie oben schon eingeführt, gehört der Raffineriesektor zu einer der ersten potenziellen Einsatzgebiete von klimaneutralem Wasserstoff.

Da im Verkehrssektor in den Bereichen des Schwerlastverkehrs und des Flugverkehrs auch im nächsten Jahrzehnt ein hoher Bedarf an flüssigen Kraftstoffen bestehen wird und ca. 22 % des Wasserstoffbedarfs über die Erdgasreformierung hergestellt werden, ist der Einsatz von Wasserstoff in den Raffinerien ein wichtiger Ansatzpunkt für die Reduzierung der Emissionen im Verkehr. Wird der für die Aufbereitung der Produktströme erforderliche Wasserstoff CO₂-frei über die Elektrolyse erzeugt, können die Emissionen der Raffinerie gesenkt werden. Da im Bereich der Flugkraftstoffe für die Zukunft eine Quotenregelung für die Beimischung von CO₂-freiem Kerosin in der Diskussion ist, gibt es einen zunehmenden Druck auf die Luftfahrtbranche, aktiv zu werden. Dementsprechend wird eine wachsende Nachfrage nach solchen Kraftstoffen prognostiziert, so dass sich entsprechende Investitionen in den Raffinerien lohnen. Durch die damit entstehende Nachfrage nach Elektrolyseuren können im Zuge steigender Produktionszahlen die Produktionskosten in dem Bereich gesenkt werden, was wiederum für andere Bereiche wie z.B. den direkten Einsatz von H₂ im Verkehr ebenfalls zu einer Kostenreduzierung führt.

Da es recht großer Investitionsmaßnahmen bei der Installation von Produktionsanlagen für e-Fuels bedarf und die so erzeugten synthetischen Brennstoffe derzeit noch nicht wettbewerbsfähig sind, werden hier substanzielle staatliche Förderprogramme erwogen. So werden von der Bundesregierung im Rahmen des Konjunkturpakets voraussichtlich Mittel in dreistelliger Millionenhöhe für dieses Thema bereitgestellt. Hier besteht auf Grund der vorhandenen Kompetenzen beim Bau von Elektrolyseuren und Chemieanlagen in Ostdeutschland die Chance, eine Vorreiterrolle einzunehmen, wenn es gelingt passende Standorte für den Bau der benötigten Anlagen bereit zu stellen.

4.1.3 Die Deckung der potenziellen Wasserstoffnachfrage bei schweren LKW könnte mengenmäßig zeitnah interessant werden

Wie oben bereits dargestellt, kann der schwere LKW-Verkehr ein recht früher und mengenmäßig der interessanteste Nachfragesektor in der Mobilität werden mit entsprechend resultierenden Bedarfen in Raffinerien und für klimaneutralem Wasserstoff. Für eine detaillierte Analyse muss das Verkehrsaufkommen herangezogen werden. In der folgenden Abbildung 11 ist die tägliche Verkehrsbelastung mit schweren Lkw auf deutschen Autobahnen dargestellt. Im Hinblick auf Ostdeutschland ist ein sehr starker Ost-Westverkehr über Berlin erkennbar und eine starke Auslastung der Verbindung Berlin bzw. Magdeburg Richtung Süden.

Gesamter Schwerlastverkehr 2017

Schwere Lkw pro Tag

- 0 - 1500
- 1500 - 3000
- 3000 - 5000
- 5000 - 10000
- >10000

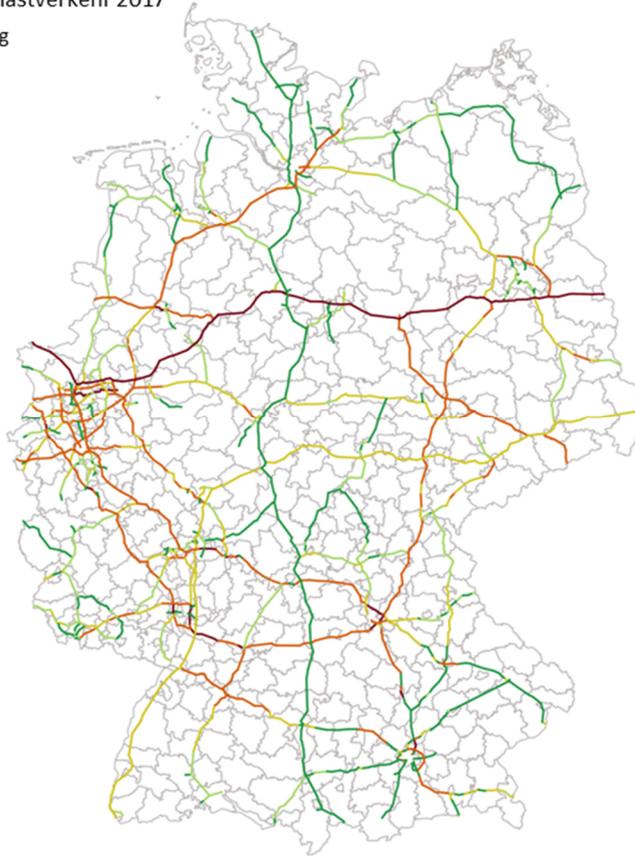


Abbildung 11: Gesamtbelastung (deutsche und ausländische) der BAB mit schweren Lkw (eigene Berechnungen)³⁴ (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten von BASt 2017)

Aus der Verkehrsbelastung sowie technischen und wirtschaftlichen Annahmen zu BZ-LKW und Wasserstoff-Tankstellen (HRS, Hydrogen refueling stations) lassen sich die potenzielle Anzahl und geographische Lage der Wasserstofftankstellen, ihre Größe und die Wasserstoffnachfrage quantifizieren.³⁵ Die Abbildung 12 zeigt die geographische Verteilung der HRS sowie deren Größe.

Schon bei einer relativ geringen Anzahl an BZ-Lkw im Jahr 2030 muss ein recht breites Netz an Tankstellen aufgebaut werden. Dabei werden am Anfang auch teilweise kleiner ausgelegte Tankstellen aufgebaut. Weiterhin werden die Stationen relativ gleichmäßig über das Autobahnnetz verteilt. Zudem ist eine Konzentration entlang der Transitrouten sowie in Industrieregionen erkennbar. Potenziell nötige HRS-Standorte werden in Brandenburg, einschließlich Berlin, sowie Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen ausgewiesen.

³⁴ Siehe auch Rose, P. (2020): Modeling a potential hydrogen refueling station network for fuel cell heavy-duty vehicles in Germany in 2050. Dissertation am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Mai 2020 sowie Wietschel, M.; Rose, P.; Gnann, T. (2020). Wie könnte ein Tankstellenaufbau für Brennstoffzellen-Lkw in Deutschland aussehen? ISI-Working Paper Sustainability and Innovation No. S 09/2020

³⁵ Zu den Details des methodischen Vorgehens und der Datengrundlage wird verwiesen auf Rose, P. (2020): Modeling a potential hydrogen refueling station network for fuel cell heavy-duty vehicles in Germany in 2050. Dissertation am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Potenzielle Standorte für
Wasserstofftankstellen 2030

Wasserstofftankstellen [kg]

- ▲ 0 - 938
- ▲ 938 - 1875
- ▲ 1875 - 3750
- ▲ 3750 - 7500
- ▲ 7500 - 15000
- ▲ 15000 - 30000
- Bundesautobahnen

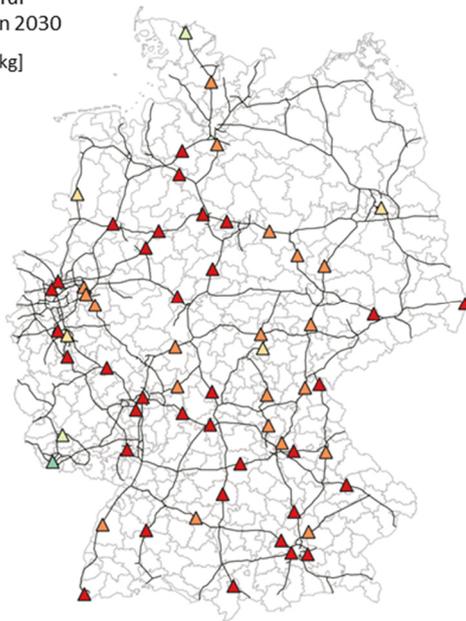


Abbildung 12: Szenario 2030 zum potenziellen Wasserstofftankstellenaufbau mit Wasserstoffnachfrage pro Tag in Deutschland

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Analyse bezüglich der Wasserstoffnachfrage.

Mecklenburg- Vorpommern	Thüringen	Sachsen-Anhalt	Sachsen	Brandenburg
0	303,6	310,2	561	374,2

Tabelle 9: Potenzielle Wasserstoffnachfrage durch schwere LKW in den neuen Bundesländern in GWh für das Jahr 2030 (eigene Berechnung)

Bei einer wirtschaftlichen Gesamtbetrachtung des Anwendungsfalls ist festzuhalten, dass die Wertschöpfung primär in der Wasserstofferzeugung liegt. Bei einer Total Cost of Ownership-Analyse machen diese an den gesamten km-Kosten eines schweren LKW rund 60 % aus (ohne Fahrerkosten). Dies ist gerade in der Verbindung mit den hohen Potenzialen erneuerbarer Energien in den neuen Bundesländern interessant.

4.1.4 Der Wasserstoffeinsatz in Bussen und Zügen bietet einen interessanten Einstiegsmarkt in den neuen Bundesländern

Wie im vorherigen Kapitel thematisiert, ist durch den potenziellen Einfluss der Politik der Bus- und der Regionalzugverkehr ein interessanter Erstmarkt in den neuen Bundesländern.

Im Jahr 2017 wurden in den neuen Bundesländern 62 Mio. Zug-km mit Dieselloks erbracht³⁶. Besonders große Potenziale für den Ersatz dieser Dieselloks durch Brennstoffzellenzüge haben Sachsen und Thüringen. In Ostdeutschland sind mit Stand 2019 zwei Planungen hinsichtlich Brennstoffzellenzügen bekannt: die Schwarzalpbahn (Thüringen) und die Heidekrautbahn (Berlin-Brandenburg). Weiterhin ist es bei zwei weiteren Strecken offen, ob

³⁶ DLR (2020): Marktanalyse alternativer Antriebe im deutschen Schienenpersonennahverkehr. Studie im Auftrag der NOW

dort als Ersatz von dieselbetriebenen Triebzüge auch BZ-Zügen oder Batterie-Züge eingesetzt werden (Warnov II (Mecklenburg-Vorpommern) und MDSB 2025 + (ZVNL (Sachsen))).

2018 wurden in den neuen Bundesländern 262,16 Millionen Nutzwagen-km mit Bussen zurückgelegt. Sachsen mit rund 92.000 km und Brandenburg mit 61.000 km sind hier die Spitzenreiter.

Folgende Tabelle stellt das optimistische Potenzial in den neuen Bundesländern durch den Einsatz von Wasserstoff bei Bussen und Zügen dar.

	Fernreisebusse und Langstreckenbusse im urbanen Umfeld	Regionalzüge
Mecklenburg-Vorpommern	9,9	19,14
Thüringen	19,8	14,19
Sachsen-Anhalt	19,8	6,93
Sachsen	39,6	25,08
Brandenburg	26,4	13,53

Tabelle 10: Potenzielle Wasserstoffnachfrage durch Busse und Züge in den neuen Bundesländern in GWh für das Jahr 2030 (eigene Berechnung)

4.1.5 Synthetisches Kerosin im Flugverkehr sowie synthetisches Methan im Schiffsverkehr bilden weitere relevante Einsatzgebiete im Verkehr für Wasserstoff

Weitere interessante Einsatzgebiete für Wasserstoff ergeben sich aus der Synthese von Wasserstoff zu flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen im Flug- und im Schiffsverkehr. In den neuen Bundesländern könnten diesbezüglich die Flughäfen in Berlin/Brandenburg sowie Leipzig/Halle, Dresden und Rostock als neue Nachfrager in Betracht kommen. Dies gilt auch für die Häfen in Berlin/Brandenburg und Rostock. Hier sind weitere Detailuntersuchungen notwendig, um das Potenzial zu erheben und die optimale Einbettung in die Infrastrukturen auszuarbeiten.

Insbesondere im Flugverkehr werden die Wasserstoff-Bedarfe sehr eng durch die noch zu definierenden Beimischungsquoten definiert sein. Aktuell sind in Deutschland Beimischungsquoten von 0,5 % im Jahr 2026 und 2 % im Jahr 2030 im Gespräch. Dies entspricht für Deutschland im Jahr 2030 einer Menge von etwa 2,5 TWh strombasierter Kraftstoffe im Flugverkehr, wovon ca. 0,5 TWh pro Jahr auf Ostdeutschland entfallen dürften. Die Raffinerien in den neuen Bundesländern sind potenziell interessante Herstellungsorte für synthetische Brennstoffen.

4.1.6 Gesamtbild

Folgende Abbildung 13 zeigt die Fallstudie im Verkehr für die neuen Bundesländer. Mit deren Umsetzung können die neuen Bundesländer wesentliche Beiträge zur Realisierung eines emissionsarmen Verkehrssektors leisten und eine Vorreiterrolle einnehmen. In vielen Fällen kann die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien vor Ort für die Wasserstoffbereitstellung im Verkehr genutzt werden. Dies gilt insbesondere für die Wasserstoff-Nachfrage in den Segmenten Lkw, Pkw, ÖPNV, Binnenschifffahrt und Bahnverkehr. Hierbei sollte auf die Synergien des Aufbaus der Infrastrukturen zwischen diesen Verkehrsträgern, z.B. zwischen der Logistik der Binnenschifffahrt und dem

Schwerlastverkehr geachtet werden. Um die Wertschöpfungskette im Bereich des Verkehrssektors in Ostdeutschland ganzheitlich abzubilden, fehlen insbesondere noch Ansiedlungen von Unternehmen im Bereich der Fahrzeugintegration bei Lkw und der Tankstelleninfrastruktur.

Eine besondere Bedeutung für die wettbewerbsfähige Umsetzung der Fallstudie hat die Hebung der Synergien zwischen der Wasserstoffbereitstellung und der Umwandlung in den Raffinerien und der chemischen Industrie. Außerdem ist es wichtig, die Synergien zwischen den potenziellen Nebenprodukten aus der Herstellung synthetischer Brennstoffe (z.B. Wachse) und deren Nutzung in der chemischen Industrie zu heben. Durch die gezielte Erschließung dieser Synergien können für Ostdeutschland Alleinstellungsmerkmale genutzt werden.

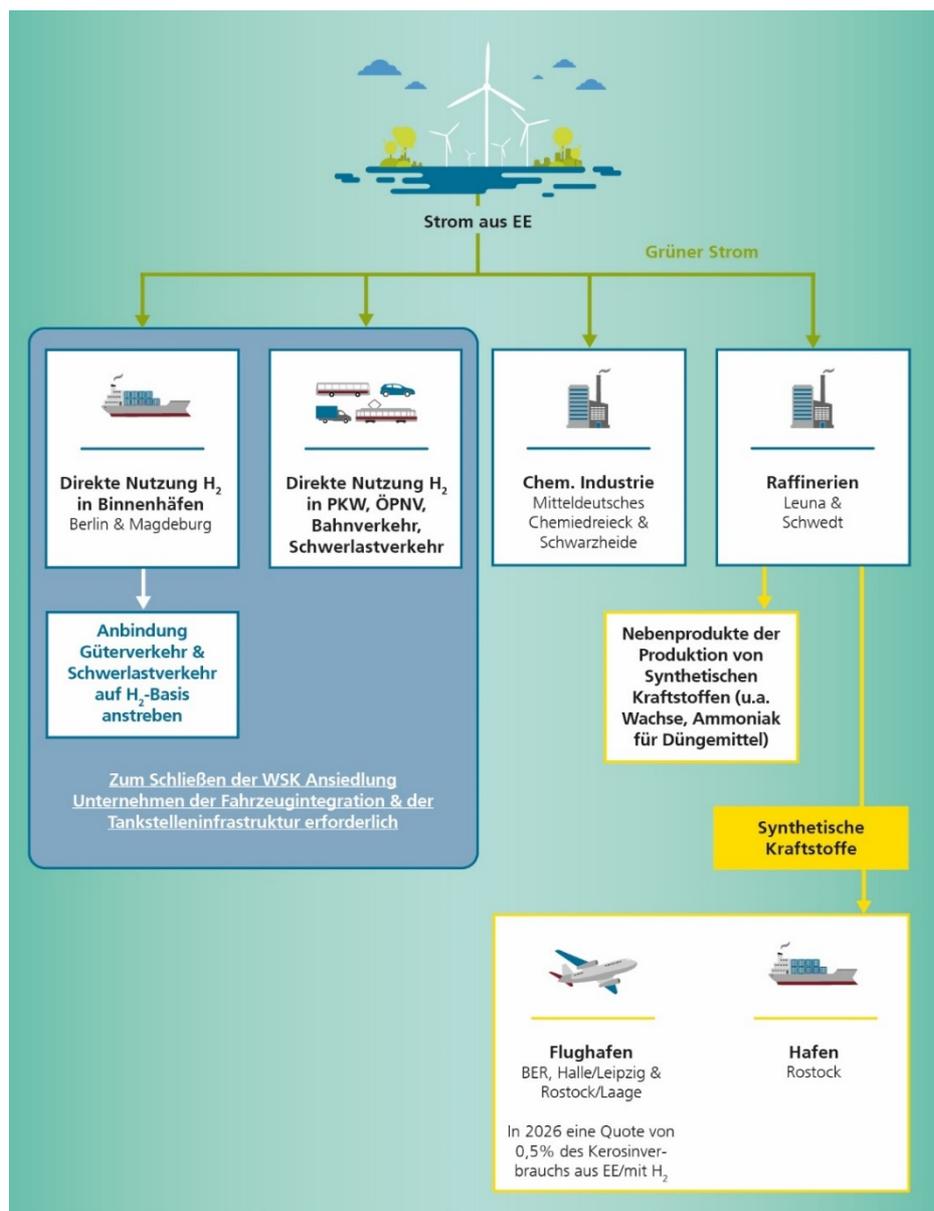


Abbildung 13: Fallstudie Mobilität (eigene Abbildung)

4.2 Einsatz von Wasserstoff in Industrie und Gewerbe– Potenziale in Ostdeutschland zur nachhaltigen Produktion

4.2.1 Grundmotivation und spezifische Voraussetzungen der ostdeutschen Bundesländer

Eine betriebliche Motivation für den Einsatz von grünem Wasserstoff ergibt sich zum einen in den Produktionsprozessen der Grundstoffindustrie durch die steigenden CO₂-Abgaben (s. Abbildung 14), zum anderen im Gewerbesektor und bei den Produktionsprozessen wie z.B. in der Automobilindustrie und der Batteriefertigung durch den steigenden Druck auf die Produzenten und Zulieferer, die Emissionen bei der Produktion zu senken³⁷. Damit wird die Möglichkeit zur CO₂-armen Produktion zum wichtigen Standortfaktor beim Erhalt der bestehenden Industrieinfrastrukturen und der Neuansiedlung von Betrieben. Gerade für kleine und mittelständische Unternehmen stellt dies eine Herausforderung dar.

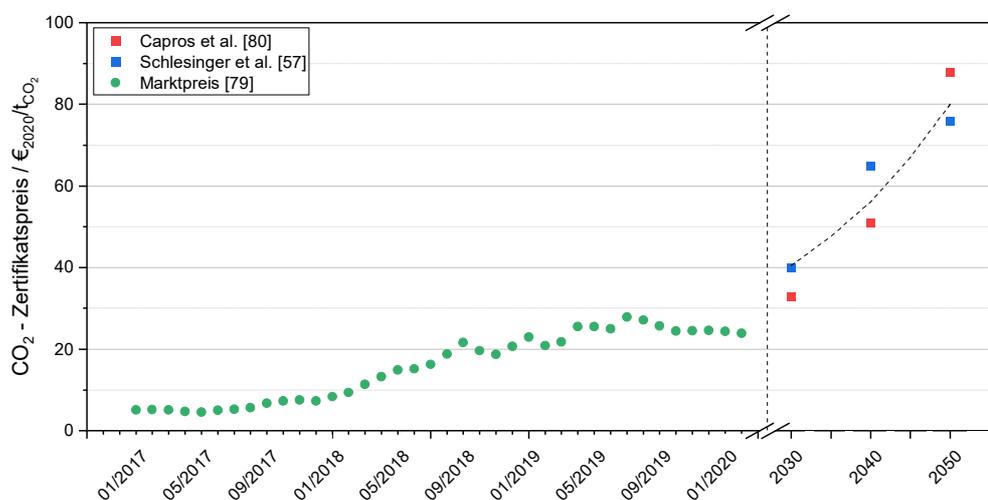


Abbildung 14: Entwicklung der CO₂-Zertifikatskosten

Weiterhin weisen die ostdeutschen Bundesländer diverse Stärken und Potenziale auf, die einen Einsatz von Wasserstoff in Industrie und Gewerbe als erfolgsversprechend erscheinen lassen. Hierzu zählen das in Kapitel 3 aufgezeigte Angebot an erneuerbaren Energien in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg, die günstige geographische Lage (Meeresanbindung, Häfen, Anrainerstaaten, transeuropäische Transportnetze) sowie die Exportmöglichkeiten in andere (Bundes-)Länder. Des Weiteren sind die vorhandenen Forschungs- und Entwicklungskapazitäten sowie das hohe Interesse an Sektorenkopplung (z.B. für Offshore-Testfelder) zu nennen. Diese umfassen u.a. die Wasserstoffforschung an der Hochschule Stralsund, den Lehrstuhl Kraftwerkstechnik der BTU Cottbus-Senftenberg, eine starke und industrienahere Forschung in Sachsen, anwendungsorientierte Forschungsk Kooperationen in Sachsen-Anhalt sowie eine breit aufgestellte Forschung mit thematischen (industriellen) Schwerpunkten in Thüringen.

Ergänzt wird dies durch etablierte Netzwerke und bestehende Kompetenzen (z.B. Linde / Chemiepark Bitterfeld-Wolfen) sowie vorhandene Infrastruktur (Wasserstoffpipeline, Kavernenspeicher, Elektrolyse-Plattform Leuna, Wasserstoffverflüssigungsanlage Leuna, Hybridkraftwerk Prenzlau). Ebenfalls bestehen Knowhow in der industriellen Nutzung von Wasserstoff sowie starke Technologie- und Komponentenanbieter und

³⁷ <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/automobilbranche-co2-plaene-der-autobauer-gefaehrden-zulieferer/25303842.html>

Brennstoffzellenproduzenten. Die kleinen und mittleren Unternehmen des produzierenden Gewerbes, aber auch aus dem Bereich der Nischenproduktion und Entwicklungsdienstleistungen (z.B. in Thüringen) agieren in flexibler Weise auf ihren Märkten.

Hieraus können sich Chancen durch neue Wertschöpfungsketten in der Bewältigung des Strukturwandels ergeben, u.a. in der kreislaufwirtschaftlichen Transformation der chemischen Industrie oder der Umstellung der Petrochemie (u.a. in Sachsen-Anhalt). Die kontinuierliche Weiterentwicklung von Forschungs- und Produktionskapazitäten sowie konkrete Umsetzungen der erzielten Forschungsergebnisse können dies maßgeblich unterstützen. Bestehende Ansiedlungspotenziale für industrielle Produktionen (z.B. in Regionen mit niedriger Bevölkerungsdichte) sowie die emissionsarme Ausstattung von Gewerbegebieten können hier weitere Pluspunkte darstellen. Hinzu kommen die Strukturwandelregionen als Testfelder oder Modellregionen für die Erzeugung und (industrielle) Nutzung von Wasserstoff, bereits bestehende Projekte und Reallabore.

Jedoch gibt es auch eine Reihe von Herausforderungen. Durch die kleinbetriebliche Struktur und deren begrenzte Kapitaldecke sind Realisierungs- und Abnahmepotenziale limitiert. Außerdem stellen teilweise die fehlende Akzeptanz für den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien sowie eine geringe Industriedichte in einigen Landesteilen weitere Hemmnisse dar. Zudem verstärkt sich voraussichtlich die zum Teil bereits bestehende Fachkräfteproblematik. Auch ist die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien nicht gleichverteilt, so dass die Frage des Wasserstofftransports bedeutsam ist.

Potenzielle Anwendungsgebiete in Industrie und Gewerbe ergeben sich aus den bestehenden Stärken und Potenzialen, so in der chemischen Industrie (z.B. Bitterfeld, mitteldeutsches Chemiedreieck), in Raffinerien (Leuna, Schwedt), der Stahlerzeugung (Eisenhüttenstadt) oder auch längerfristig im Einsatz von Wasserstoff in Hochtemperaturprozessen. Potenzielle Industriebereiche sind die Herstellung von Zement, Papier, Glas, Keramik und die Metallerzeugung.

4.2.2 Entwicklung der Wasserstoffnachfrage in der ostdeutschen Industrie

4.2.2.1 Maximale Potenziale der energieintensiven Industrien je Bundesland

Bei Betrachtung der Wasserstoffpotenziale je Bundesländer in Tabelle 11 wird deutlich, dass im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern keine energieintensive Industrie mit potenzieller Wasserstoffnachfrage ansässig ist und auch das Potenzial der Industrie im Stadtgebiet Berlin keine große Bedeutung hat.

Im Bundesland Brandenburg können 9,9 TWh verortet werden, wobei hiervon das bereits angesprochene stoffliche Potenzial von 4 TWh dem Stahlstandort von ArcelorMittal in Eisenhüttenstadt zugeordnet wird. Weitere 2,6 TWh stoffliche Nachfrage fallen in der Raffinerie in Schwedt an. Die restlichen 3,3 TWh entfallen mit langfristiger Perspektive somit auf die Nutzung zur Erzeugung von Prozesswärme. Sachsen weist ein Potenzial von 11,4 TWh auf, wovon 9,2 TWh auf die stoffliche Nutzung bei einer Umstellung der Olefinproduktion auf die Methanol-to-Olefins Technologie entfallen und nur 2,2 TWh für Prozesswärmeerzeugung verbleiben. Die Herstellung der Olefine findet aktuell in einem Naphtacracker von DOW in Böhlen statt, wobei das Naphta über eine Pipeline aus Leuna stammt und die Weiterverarbeitung der Olefine in Schkopau erfolgt. Damit findet die wesentliche Wertschöpfung in Sachsen-Anhalt statt. Dort werden darüber hinaus 8,3 TWh für stoffliche Weiterverwendung für Ammoniak und Raffinerieprozesse benötigt und 5,2 TWh könnten in der Prozesswärme Verwendung finden. Daraus ergibt sich ein Gesamtbedarf von 13,5 TWh in Sachsen-Anhalt. In Thüringen sind keine Unternehmen mit Rohstoffbedarf an Wasserstoff vorhanden, somit ist hier lediglich ein Potenzial von 2,2 TWh für Prozesswärme erkennbar.

Für eine zeitliche Einordnung der Erschließbarkeit der Potenziale müssen verschiedene äußere Einflüsse berücksichtigt werden. Die wichtigsten Punkte hierbei sind Marktreife und Wirtschaftlichkeit der Technologien sowie die Notwendigkeit einer entsprechenden Infrastruktur. Voraussetzung für eine erfolgreiche Marktdiffusion ist daher das Schaffen geeigneter Rahmenbedingungen - sowohl auf politischer Ebene (Regulatorien und Förderungen) als auch auf Unternehmens- und Forschungsebene durch die (Weiter-) Entwicklung der Technologien.

Als kurzfristig unter Schaffung der entsprechenden Rahmenbedingungen für grünen Wasserstoff zugänglich zählen aus heutiger Sichtweise die Nachfragepotenziale, welche bereits konventionell erzeugten Wasserstoff nutzen. Diese sind die als stofflich bezeichneten Mengen in Raffinerien sowie der Ammoniakproduktion. Außerdem könnte aus Sicht der Technologiereife die Wasserstoff-Direktreduktion zur Stahlherstellung in einem kurzen zeitlichen Horizont erschlossen werden. Die Umstellung auf Olefinproduktion via Methanol (Methanol-to-Olefins) stellt insbesondere aus wirtschaftlicher Sicht aufgrund der Energieträgerkosten derzeit noch eine größere Herausforderung dar.

Weitere, aber eher langfristig zu erschließende Möglichkeiten von Technologien zur Wasserstoffnutzung sind energetischer Art in der Prozesswärme. Besonders bei Hochtemperaturanwendungen scheint der Einsatz von Wasserstoff-Brennern vielversprechend. Aufgrund der weiteren Entwicklungsbedarfe und der im Vergleich hohen Mehrkosten von Wasserstoff als Energieträger ist die Marktdurchdringung dieser Technologien stark von den Rahmenbedingungen abhängig und kann nach heutigen Randbedingungen erst gegen Ende des zu betrachtenden Zeitraumes 2050 in Richtung Klimaneutralität erreicht werden.

Berlin	Brandenburg	Mecklenburg- Vorpommern	Sachsen	Sachsen- Anhalt	Thüringen	Ostdeutschland gesamt
0	9,9	0	11,4	13,5	2,2	37,0

Tabelle 11: Wasserstoffpotenziale der energieintensiven Industrien in Ostdeutschland je Bundesland in TWh

4.2.2.2 Maximale Potenziale der energieintensiven Industrien auf Landkreisebene

Die folgenden Abbildungen 15 und 16 visualisieren die finalen Ergebnisse der Berechnungen der maximalen Wasserstoffpotenziale der energieintensiven Industrien in Ostdeutschland auf Landkreisebene (NUTS3) in Terawattstunden.

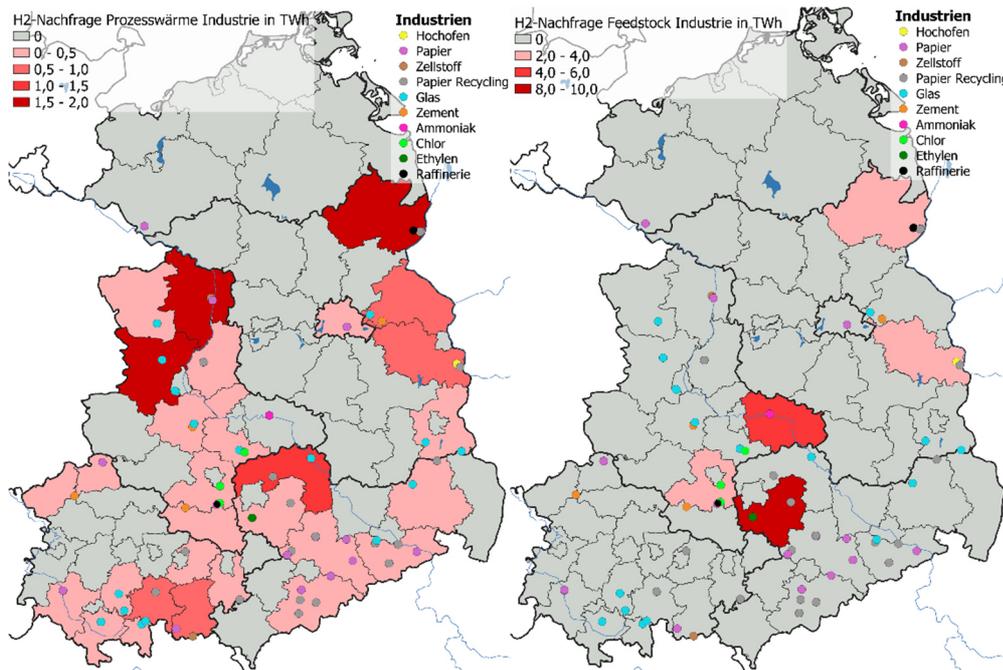


Abbildung 15: Maximales energetisches (links) und stoffliches (rechts) Wasserstoffpotenzial der energieintensiven Industrien auf Landkreisebene (NUTS3) der jeweiligen Bundesländer inklusive Darstellung der ansässigen Industrien

Aus der Darstellung (rechts) wird ersichtlich, dass nur 5 der 77 ostdeutschen Landkreise Potenzial für die stoffliche Nutzung von Wasserstoff in der energieintensiven Industrie aufweisen. In diesen Gebieten und den zugehörigen Standorten ist jedoch die potenzielle Nachfragemenge mit Werten zwischen 2,6 bis 9,2 TWh im Vergleich zu den energetischen Potenzialen zur Erzeugung von Prozesswärme (links) entsprechend hoch. Die Möglichkeiten für eine energetische Nutzung verteilen sich mit 29 von 77 Landkreisen auf eine deutlich größere Anzahl an Standorten. Die in diesen Prozessen und je Standort geringeren Nachfragepotenziale führen auch zu dementsprechend niedrigeren Werten je Landkreis gegenüber der Nutzung als Feedstock. Die Mengen bewegen sich hier zwischen 0,02 - 1,8 TWh je NUTS3-Region und summieren sich auf insgesamt 12,9 TWh im ostdeutschen Raum. Die genauen Potenzialmengen der einzelnen Landkreise sind in Tabelle 17 im Anhang ersichtlich.

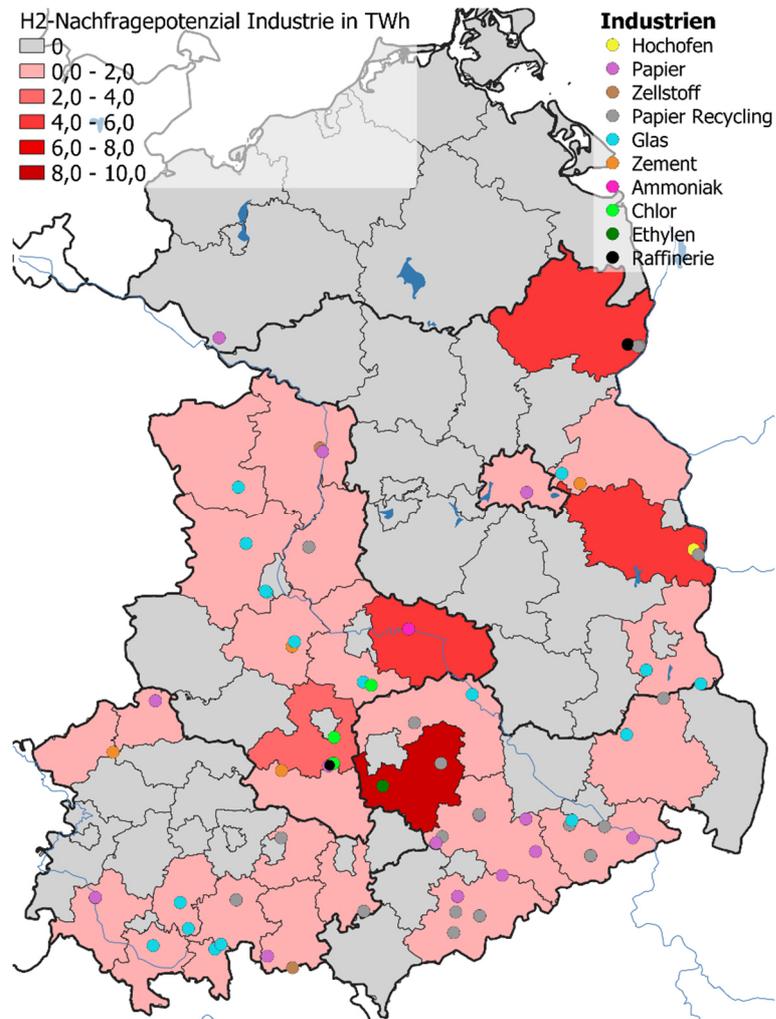


Abbildung 16: Maximales Wasserstoffpotenzial der energieintensiven Industrien auf Landkreisebene (NUTS3)

4.2.2.3 Maximale Potenziale der energieintensiven Industrien nach Branchen

Sektoral entfallen für einen maximalen Fall 3,9 TWh auf die Schmelze in der Glasindustrie, 7,7 TWh auf die Papierindustrie, 1,3 TWh Potenzial auf die Zementindustrie (wobei diese aus wirtschaftlichen Gründen am schwersten erschließbar scheinen) und 14,8 TWh auf die Chemieindustrie (hier wird von einem Prozesswechsel der Olefinproduktion auf die Methanol-to-Olefins-Route und einem entsprechendem Wasserstoffbedarf zur Erzeugung der notwendigen Mengen an Methanol der Chemieindustrie ausgegangen). Gegebenenfalls sind diese Potenziale auch zukünftige Geschäftsmodelle der Raffinerien und müssten dann diesen zugeordnet werden. Weiterhin fallen 5,3 TWh in Raffinerien für die Produktion von Methanol für bisherige Verwendungen und die Veredelungen (z.B. Entschwefelung) von Rohöl an. Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 19 noch einmal zusammenfassend dargestellt.

Die Potenziale der Papierindustrie befinden sich nicht im Hochtemperaturbereich. Aus diesem Grund könnten diese Potenziale auch verstärkt durch direktelektrifizierte Konkurrenztechnologien erschlossen werden.

In der Stahlindustrie besteht das größte Potenzial zur Reduzierung der CO₂-Emissionen bei der Rohstahlproduktion, da hier der Einsatz von Kohle bei der Eisenreduktion vermieden

werden kann, wenn Erdgas oder Wasserstoff als Reduktionsmittel verwendet wird. Im Rahmen der vom BMBF geförderten Machbarkeitsstudie MACOR wurden die spezifischen, auf die Masse an Rohstahl bezogenen CO₂-Emissionen sowohl für den Hochofenprozess als auch für die Rohstahlproduktion mittels der Direktreduktion in Kombination mit einem Elektrolichtbogen berechnet. Während nach dem Stand der Technik unter dem Einsatz von Kohle im Hochofenprozess produzierter Rohstahl spezifische CO₂ Emissionen von ca. 1,7 t CO₂ pro t Rohstahl aufweist, können diese Emissionen beim Einsatz von Erdgas um ca. 65 % und beim Einsatz von Wasserstoff um 95 % reduziert werden (Abbildung 17).

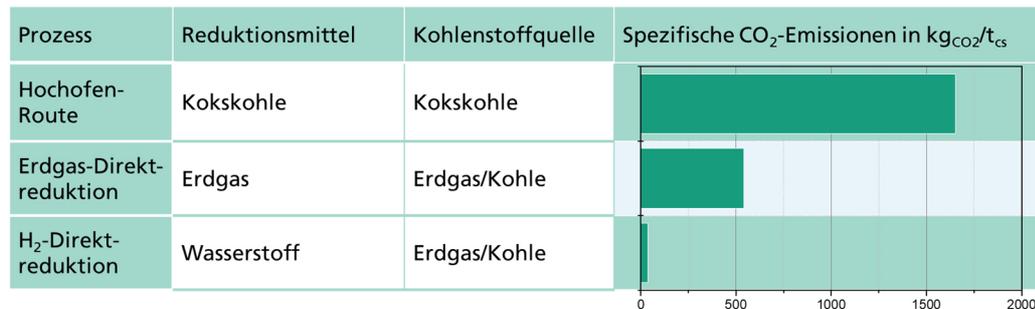


Abbildung 17: Spezifische CO₂-Emissionen bei der Rohstahlproduktion³⁸ t

Beim Einsatz von Wasserstoff ergibt sich ein spezifischer Bedarf von 57 kg/ t Rohstahl.

In Ostdeutschland ist das Stahlwerk von ArcelorMittal in Eisenhüttenstadt das einzige integrierte Hüttenwerk, in dem Rohstahl erzeugt wird. Bei einer in den vorhandenen zwei Hochöfen derzeit produzierten Stahlmenge von 2 Mio. t ergibt sich ein Wasserstoffbedarf von 114.000 t/a, wobei dieser Wert noch vom Anteil des eingesetzten Stahlschrottes abhängig ist. Zunächst plant der Anlagenbetreiber ArcelorMittal durch den Einsatz eines Elektrolichtbogenofens in Verbindung mit dem Einsatz von Stahlschrott die CO₂-Emissionen zu verringern. Weiterhin wird derzeit eine Studie von der Universität Hamburg bearbeitet, in welcher eine Direktreduktion von Eisenerz an der Küste von Mecklenburg-Vorpommern untersucht wird. Dies stellt eine interessante und länderübergreifende Option für die Produktion von grünem Stahl dar, denn in Lubmin und Rostock besteht mit dem Strom aus den Offshore-Windparks eine Möglichkeit zur kontinuierlichen DRI-Produktion. Nachteilig gegenüber der DRI-Produktion am Standort der Stahlverarbeitung ist jedoch der geringere Wirkungsgrad. So kann das reduzierte Eisen nicht direkt im heißen Zustand dem Lichtbogenofen zugeführt werden und die Abwärme des Lichtbogenofens kann nicht für die Dampfelektrolyse, die sich bei der Stahlproduktion aus Effizienzgründen anbietet, eingesetzt werden.

Der Energiebedarf pro t Rohstahl unterscheidet sich bei der Produktion über das Verfahren der Direktreduktion nur gering gegenüber dem Hochofenprozess. Jedoch muss die gesamte elektrische Energie dann vom Stahlwerk importiert werden, da das Hüttengase nutzende Kraftwerk nicht mehr betrieben werden kann und der Bedarf an elektrischer Energie deutlich höher ist (Abbildung 18). Dies resultiert aus den Bedarfen für die Elektrolyse und den Elektrolichtbogenofen.

³⁸ Jahn, M. (Gesamtleitung): Abschlussbericht des BMBF-Verbundvorhabens „MACOR: Machbarkeitsstudie zur Reduzierung der CO₂-Emissionen im Hüttenwerk unter Nutzung Regenerativer Energien“ FKZ 03EK3044A, 03EK3044B, 03EK3044C

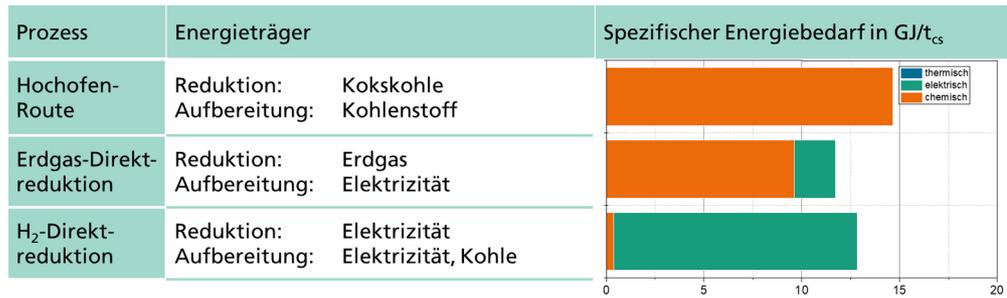


Abbildung 18: Spezifischer Energiebedarf pro t Rohstahl³⁹

Derzeit ist die wasserstoffbasierte Rohstahlproduktion auf Grund des hohen Strompreises noch nicht wirtschaftlich. Bis zum Jahr 2050 werden jedoch zum einen die CO₂-Abgaben deutlich weiter ansteigen und die Nachfrage nach grünem Stahl ebenfalls. Wenn die Stahlproduktion in Deutschland langfristig wettbewerbsfähig bleiben soll und Arbeitsplätze erhalten werden sollen, ist es erforderlich, bereits heute eine Weichenstellung für die Zukunft vorzunehmen.

4.2.3 Gesamtbild

In der Stahlindustrie besteht perspektivisch ein sehr hoher stofflicher H₂-Bedarf sowie ein hohes Potenzial zur Vermeidung von CO₂. 10 bis 95 % der CO₂-Emissionen können je nach Anteil des grünen Wasserstoffs in der Direktreduktionsanlage eingespart werden. Nicht zu unterschätzen ist, dass die Direktreduktion und die vollständige Substitution des Kohle- und Koksbedarfs in der Stahlindustrie den Bedarf an Wasserstoff signifikant erhöhen. Allerdings ist jetzt schon absehbar, dass der Einsatz von Wasserstoff in der Stahlindustrie erst im Jahr 2050 wirtschaftlich sein wird.

Die Möglichkeit einer zu 100 % erneuerbaren Stromerzeugung etwa ab dem Jahr 2032 in Ostdeutschland erlaubt es, die Grundstoffindustrie in Ostdeutschland nach 2030 zunehmend CO₂-neutral zu gestalten. Klimaneutraler Wasserstoff wird in der chemischen Industrie perspektivisch vor allem stofflich genutzt, um kohlenstoffbasierte Produkte zu erzeugen. Auch in der Ammoniakherstellung könnte klimaneutraler Wasserstoff einen sehr wichtigen Beitrag zum kosteneffizienten Ersatz von Erdgas und somit zur Dekarbonisierung leisten. Hieraus resultieren allerdings höhere Produktpreise im Vergleich zur konventionellen Herstellung. Im Zusammenhang der Grundstoffindustrie und der Raffinerien ist auch die Idee eines länderübergreifenden CO₂-Verwertungsnetzwerks zu verfolgen, um die CO₂-Emissionen zu senken. Das während des Herstellungsprozesses in der Zementindustrie entstehende CO₂ könnte über eine entsprechende CO₂-Infrastruktur an die Verbrauchsstellen in Raffinerien und der chemischen Industrie geleitet oder transportiert werden. Der Aufbau einer CO₂-Infrastruktur sollte daher untersucht und bewertet werden. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit sind die Herstellung von Rohprodukten am Ort der CO₂-Entstehung und der anschließende Transport zu einer Raffinerie oder einem Chemiepark ebenfalls zu betrachten.

³⁹ Jahn, M. (Gesamtprojektleitung): Abschlussbericht des BMBF-Verbundvorhabens „MACOR: Machbarkeitsstudie zur Reduzierung der CO₂-Emissionen im Hüttenwerk unter Nutzung Regenerativer Energien“ FKZ 03EK3044A, 03EK3044B, 03EK3044C

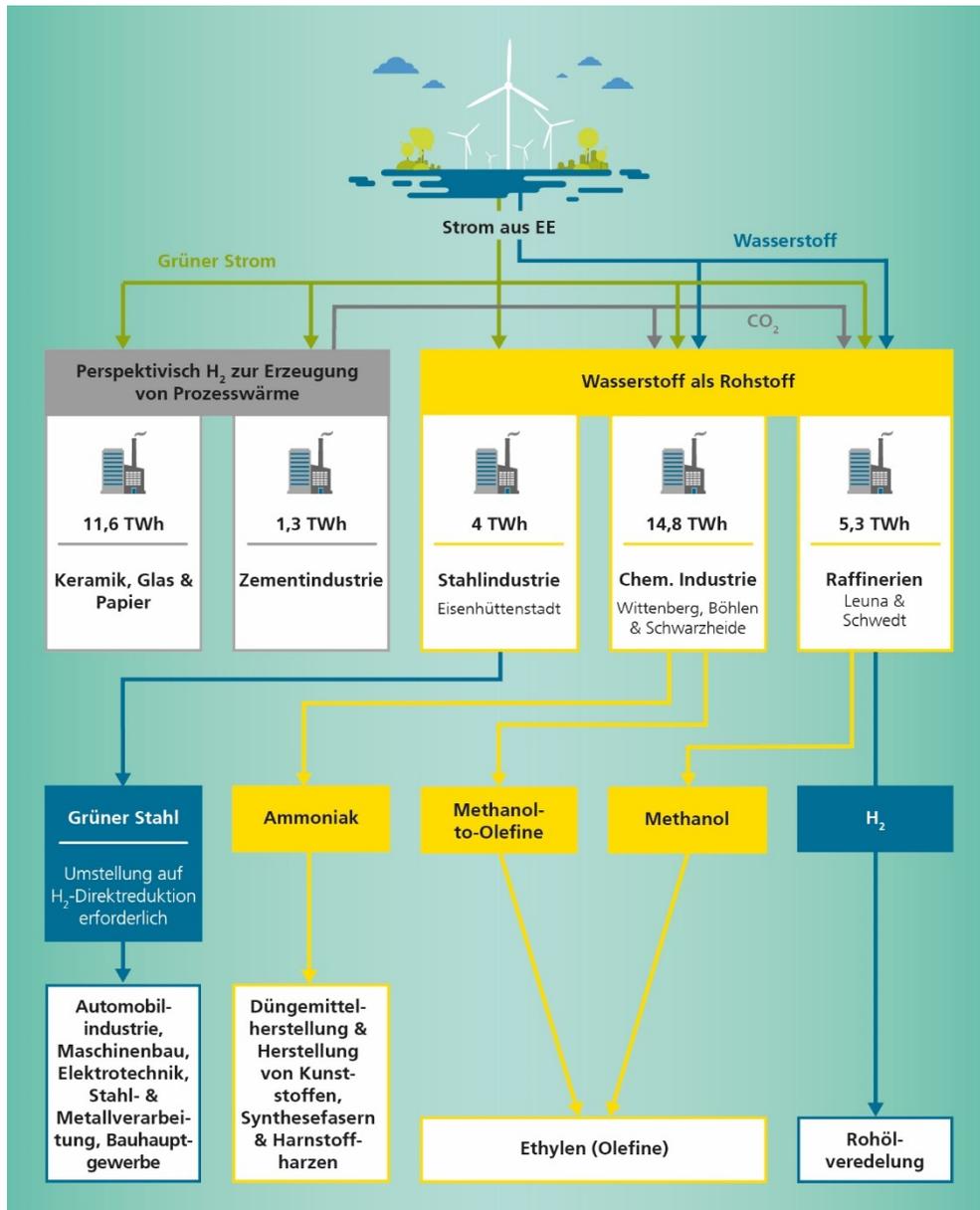


Abbildung 19: Darstellung der maximalen Wasserstoffpotenziale der energieintensiven Industrien auf sektoraler Ebene für den gesamten ostdeutschen Raum

Langfristig wird Wasserstoff auch in der Erzeugung von Prozesswärme bei hohen Temperaturen eine größere Rolle spielen. Um diese Entwicklung zu fördern, ist es sinnvoll, die CO₂-Bepreisung zu überarbeiten. Die Förderung der Weiterentwicklung von Brenntechnologien würde diesen Prozess noch unterstützen. Die Nutzung von synthetischen Brennstoffen als Ergänzung zur elektrischen Wärmebereitstellung würde einen weiteren Beitrag zur Dekarbonisierung der Prozesswärmebereitstellung leisten. Das aktuelle EU-Emissionshandelssystem bietet allerdings kaum Anreize für den Einsatz sogenannter Power Fuels in der Prozesswärme.

Um zukünftig den hohen Bedarf an Wasserstoff zu decken, sind einerseits auch für diese Fallstudie die entsprechenden Infrastrukturen auszubauen und somit eine Infrastrukturförderung voranzutreiben. Andererseits muss, um dem steigenden H₂-Bedarf gerecht zu werden, der Ausbau von erneuerbaren Energien, aber auch der Ausbau der H₂-

Produktionsinfrastrukturen am Ort der Erzeugung des grünen Stroms durch Investitionsanreize gefördert werden.

Ostdeutschland kann auch im Bereich der industriellen Nutzung von Wasserstoff eine Vorreiterrolle einnehmen. Hierfür sind eine länderübergreifende Zusammenarbeit sowie die Unterstützung der Industrie durch Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen durch die Länder erforderlich. Die Senkung der Stromnebenkosten bei der Nutzung von „grünem“ Strom für stromintensive Industrien wäre ein möglicher Stellhebel. Nicht zu unterschätzen sind die notwendigen hohen Investitionen in die jeweiligen Standorte, um dort die entsprechenden Prozesse und Verfahren umzustellen. Hier sollten entsprechende finanziellen Anreize geschaffen werden.

4.3 Einsatz von Wasserstoff für Systemdienstleistungen

4.3.1 Motivation

Zur Bereitstellung von gesicherter Leistung in Stunden geringer Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und von Systemdienstleistungen für den Netzbetrieb werden wasserstoffbasierte Erzeugungsanlagen in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Hierfür gehen Studien von einer benötigten Kapazität solcher Anlagen von etwa 50-80 GW bis zum Jahr 2050 in Deutschland aus.

Der wirtschaftliche Betrieb solcher Anlagen erfordert allerdings hohe CO₂-Preise von deutlich über 100 €/t und die Nutzung von Synergien mit der Wasserstoffnutzung in anderen Sektoren, um die Infrastruktur der Wasserstoffherzeugung und -speicherung nicht allein und primär im Energiesystem bzw. dem Umwandlungssektor refinanzieren zu müssen. Außerdem wird eine effiziente Nutzung der Abwärme der Elektrolyseure und der Anlagen zur Rückverstromung wichtig sein, um den ökonomischen Betrieb der Anlagen zu gewährleisten.

Mit dem Ausstieg aus der Kohleverstromung werden allein in Ostdeutschland (Jänschwalde und Boxberg) bis 2030 Braunkohlekraftwerke mit einer Leistung von über 3000 MW endgültig stillgelegt. An diesen Kraftwerksstandorten existiert eine leistungsfähige Stromnetzinfrastuktur, die für wasserstoffbasierte Ausgleichskraftwerke zur Verfügung steht. Gastransportnetze in der unmittelbaren Umgebung der Kraftwerke könnten transformiert werden, um eine Anbindung an industrielle Verbrauchszentren zu realisieren. Gleichzeitig ist der Ausbaugrad der erneuerbaren Energien in Ostdeutschland überdurchschnittlich hoch, bereits bis 2032 soll die 50Hertz-Regelzone bilanziell zu 100 % erneuerbar versorgt werden⁴⁰. Somit lassen sich geeignete Portfolios für die Wasserstoffherzeugung aus Anlagen erneuerbarer Energien, insbesondere Wind und PV, zusammenstellen.

Außerdem verfügen die ostdeutschen Bundesländer mit den Kavernenspeichern an verschiedenen Standorten wie in Bad Lauchstädt, Rüdersdorf, Bernburg oder Staßfurt über sehr gute Potenziale zur Wasserstoffspeicherung im Energiesystem.

⁴⁰ <https://www.50hertz.com/de/News/Details/id/6889/100-prozent-erneuerbare-bis-2032-50hertz-setzt-klares-klima-und-industriepolitiches-signal>

4.3.2 Gesamtbild

Aktuell existieren verschiedene Planungen oder bereits Realisierungen für Wasserstoffbetrieene Heizkraftwerke: Die Stadtwerke Leipzig⁴¹ erhalten zwei neue Gasturbinen mit je 62 MW für ihr neues Heizkraftwerk (HKW), mit denen in Zukunft sukzessive auf Wasserstoffbetrieb umgestellt werden kann. Das Kraftwerk soll die Stadt Leipzig dann mit Strom und Wärme versorgen. Im Heizkraftwerk Berlin-Marzahn⁴² wurde eine ähnliche Anlage mit 268 MW elektrischer Leistung installiert. In Rostock-Lage⁴³ entsteht ein Blockheizkraftwerk mit 2 MW elektrischer Leistung auf Basis von Elektrolyse und Brennstoffzellen.

Wichtig sind die bei diesen Projekten mittelfristig angedachten Synergien. In Leipzig planen die Stadtwerke perspektivisch ein Wasserstoffnetz, das die Wasserstoffherzeugung und -nutzung in der Raffinerie mit der Verwendung in der angrenzenden Chemieindustrie und der verarbeitenden Industrie im Norden der Stadt verbindet sowie den Bedarf der lokalen Verkehrsbetriebe miteinbezieht. Das BHKW in Rostock könnte mittelfristig in die Ammoniakherstellung im Rahmen des Projekts „Campfire“⁴⁴ eingebunden werden.

Die Nutzung der Abwärme der Wasserstoffherzeugung und der Rückverstromung in Kombination mit dem Einsatz von Wärmepumpen kann einen wesentlichen Beitrag für die wirtschaftliche Realisierung dieser Anwendungen leisten. Die integrierte Planung von Strom-, Wärme- und Gasnetzen ist somit elementarer Bestandteil erfolgreicher Projekte im Bereich der Wasserstoffnutzung im Umwandlungssektor. Andererseits hat eine isolierte Nutzung von Wasserstoff zur Wärmeerzeugung aufgrund der geringen Gesamteffizienz im Vergleich zur Nutzung von direktelektrischen Wärmepumpen und der damit verbundenen geringen Wirtschaftlichkeit kaum Perspektiven für eine erfolgreiche Realisierung in der Breite. Nur wenn die stoffliche Verwendung von Wasserstoff, die Bereitstellung von Systemdienstleistungen im Stromsektor und die Abwärmenutzung in integrierten Systemen betrachtet werden, ergeben sich rentable Geschäftsmodelle.

Während die Betreibermodelle in der kommenden Dekade aufgrund der noch begrenzten Wasserstoffmengen - von weniger als 10 TWh pro Jahr in Ostdeutschland - eher eine dezentrale Erzeugung des Wasserstoffs erwarten lassen, wird diese Modellen mit zentralen Elektrolyse-Einheiten und überregionalen Transport- und Speicherinfrastrukturen nach 2030 weichen. Eine Herausforderung besteht in diesen Fällen in der Identifikation geeigneter Potenziale für die Nutzung der bei der Elektrolyse anfallenden Abwärme. In jedem Fall wird der Bedarf an Kooperationen zwischen Standorten und Bundesländern zur Realisierung von Synergiepotenzialen zwischen kostengünstiger Wasserstoffherzeugung, -speicherung und industrieller Verwendung kontinuierlich ansteigen.

⁴¹ Quelle: <https://www.iwr.de/news/stadtwerke-leipzig-neue-gasturbinen-fuer-heizkraftwerk-mit-option-wasserstoffbetrieb-news37087>

⁴² Quelle: <https://group-prod.vattenfall.de/siteassets/1.-bildablage/2.-blogs/2020/ibn-marzahn/Faktenblatt-Heizkraftwerk-Berlin-Marzahn--Die-Zukunft-hat-begonnen.pdf>

⁴³ Quelle: <https://www.solarserver.de/2020/04/02/apex-energy-startet-wasserstoff-kraftwerk/>

⁴⁴ <https://wir-campfire.de/>

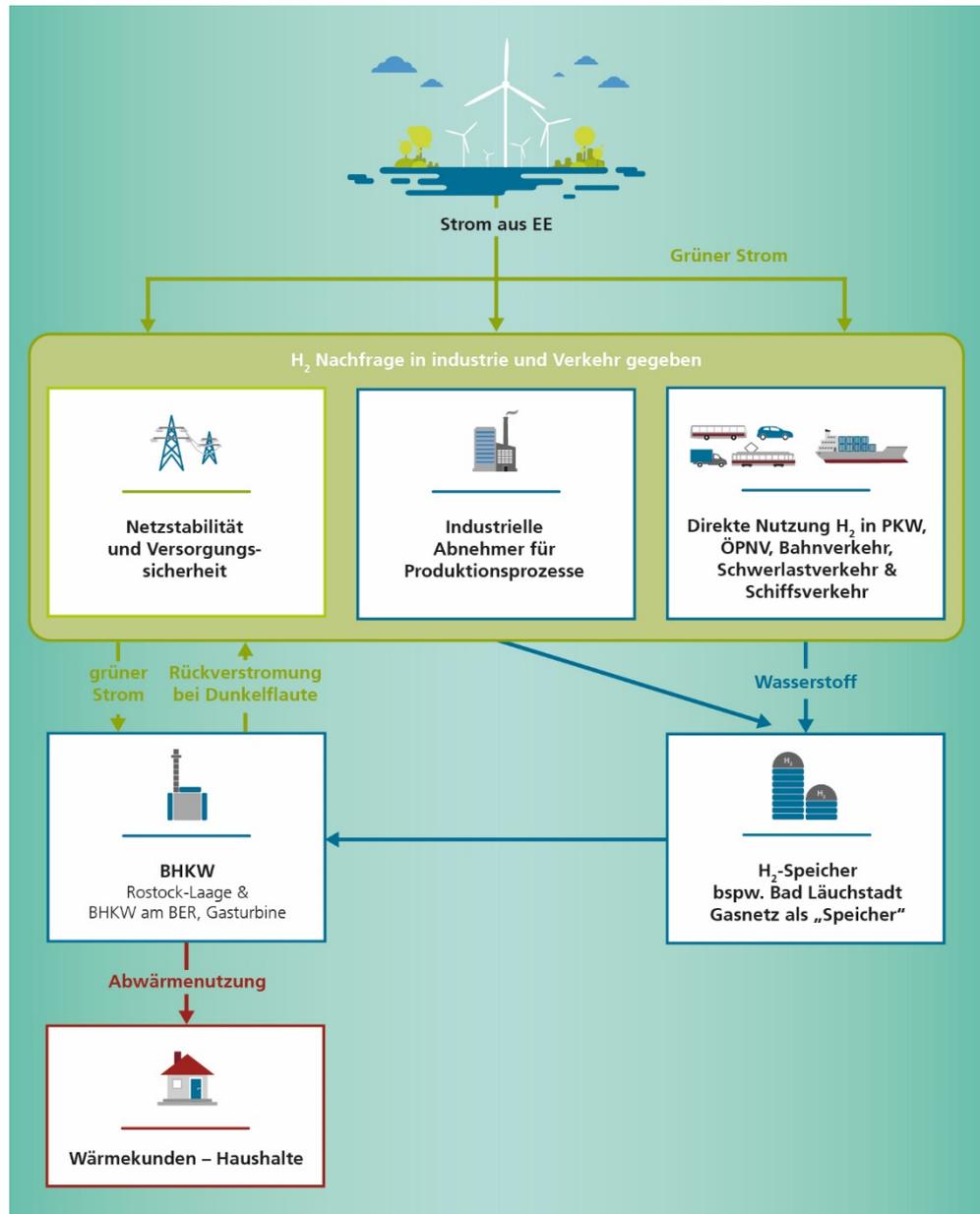


Abbildung 20: Nutzung von Wasserstoff für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen und die Strom- und Wärmeerzeugung (Kurzfristszenario, eigene Darstellung)

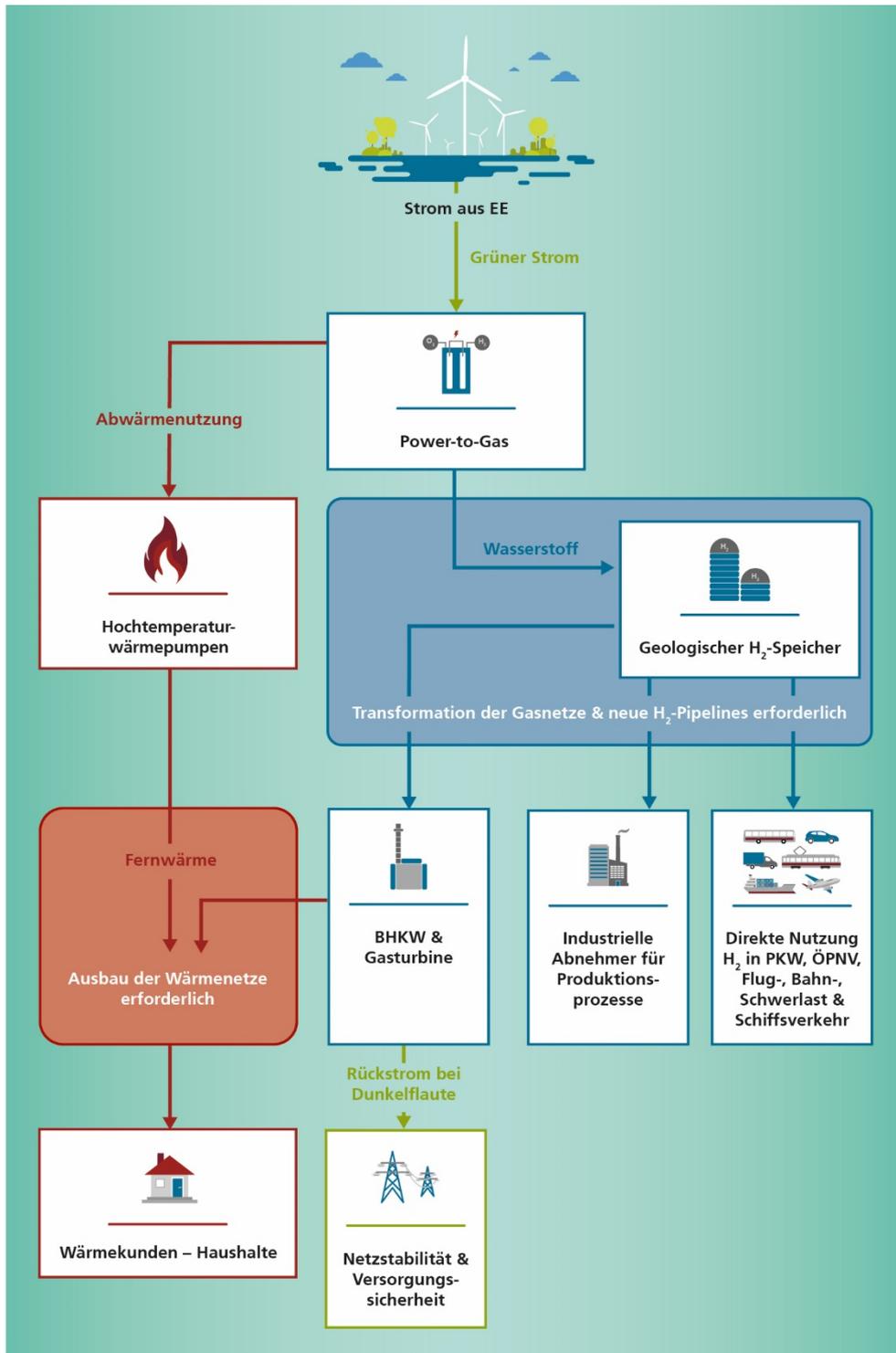


Abbildung 21: Nutzung von Wasserstoff für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen und die Strom- und Wärmeerzeugung (Langfristszenario, eigene Darstellung)

5 Analyse der aktuellen Wasserstoff-Förderpolitik

5.1 Status Quo der Förderpolitik

Öffentliche Förderungen für die weitere Entwicklung der Wasserstofftechnologien sind auf unterschiedlichen Ebenen möglich:

- Auf der *europäischen Ebene* sind im Wesentlichen folgende Förderungen relevant
 - die Forschungsrahmenprogramme Horizon2020 und seit 2021 Horizon Europe,
 - Ausschreibungen der Generaldirektionen (insbesondere Generaldirektion Energie)
 - öffentlich-private Partnerschaften wie das Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking
- Auf der *Bundesebene* bestehen Fördermöglichkeiten in den jeweiligen Förderprogrammen der unterschiedlichen Ministerien, insbesondere der Bundesministerien für Bildung und Forschung, für Wirtschaft und Energie, für Verkehr und digitale Infrastruktur, für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.
- Auf *Länderebene* bestehen weitere Fördermöglichkeiten in unterschiedlichen Richtlinien, teilweise kofinanziert durch die Europäischen Strukturfonds, ferner durch die institutionelle Forschungsförderung, die Unterstützung von Netzwerkaktivitäten oder auch Infrastruktur- und Ansiedlungsförderung.

Generell wird die weitere Entwicklung der Wasserstofftechnologien auf unterschiedlichen Ebenen und mit unterschiedlichen Schwerpunkten öffentlich gefördert.⁴⁵ Vorhaben können dabei im Rahmen der europäischen sowie der bundesweiten (Forschungs-)Förderung als auch im Rahmen der Landesförderung unterstützt werden. Aufgrund der Vielfältigkeit der Einsatzmöglichkeiten von grünem Wasserstoff sowie der Wertschöpfungsketten bestehen diverse Fördermöglichkeiten für Vorhaben im Bereich von Forschung, Entwicklung, Markterschließung usw. Die bestehenden Förderprogramme adressieren vornehmlich die anfallenden Investitionskosten (CAPEX). Auf *europäischer Ebene* sind folgende Fördermöglichkeiten zu nennen:

- das Forschungsrahmenprogramm Horizon Europe
- die Ausschreibungen der Generaldirektionen (u.a. Generaldirektion Energie)
- das public-private-partnership Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)

⁴⁵ Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf der Analyse online verfügbarer Dokumente, Recherchen in Förderdatenbanken und -informationen des Bundes und der Länder sowie der jeweiligen Ministerien und Förderinstitutionen, auf der Analyse der veröffentlichten Projekte der EU-Strukturfondsförderung in den Ländern, Experteninterviews mit Ländervertreterinnen und -vertretern, intermediären und weiteren Kernakteuren.

- Ostdeutsche Akteure waren in einer Reihe von Projekten beteiligt, so beispielsweise im PACE (Pathway to a Competitive European FC mCHP market)-Projekt.⁴⁶

Auf *Bundesebene* bestehen eine Reihe von Förderprogrammen verschiedener Ministerien mit jeweils unterschiedlichen Schwerpunkten. Exemplarisch sind hier zu nennen die Fördermaßnahmen

- des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wie beispielsweise die Grundlagenforschung Energie oder der kürzlich lancierte Ideenwettbewerb "Wasserstoff-Republik Deutschland". Projekte mit Wasserstoffbezug können außerdem u.a. als Zukunftscluster, im Rahmen der Forschung für Nachhaltigkeit FONA (FONA3 - Vermeidung von klimarelevanten Prozessemissionen in der Industrie (KlimPro-Industrie)), im Kontext von KMU-innovativ oder Maßnahmen der Programmfamilie Innovation & Strukturwandel (z.B. WIR! oder RUBIN)⁴⁷ gefördert werden. Auch "Zwanzig20 - Partnerschaft für Innovation" der BMBF-Innovationsinitiative Unternehmen Region unterstützte Vorhaben mit Wasserstofffokus, so beispielsweise das Netzwerk HYPOS,⁴⁸ das die Fördermittel seinerseits an konkrete Projekte weitergibt,
- des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi – unter anderem über die Reallabore der Energiewende, das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand, das angewandte Energieforschungsprogramm oder das Luftfahrtforschungsprogramm (Programmlinie "Wasserstofftechnologien und (hybrid-)elektrisches Fliegen (Zero Emission Aircraft)"),
- des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI - beispielsweise über das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) und das hierzu gehörende HyLand-Programm, die BordstromTech-Richtlinie (Marktaktivierung alternativer Technologien für die umweltfreundliche Bordstrom- und mobile Landstromversorgung von See- und Binnenschiffen) oder die Nachhaltige Modernisierung von Binnenschiffen sowie
- des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit BMU, beispielsweise über das Umweltinnovationsprogramm⁴⁹.

Diese Kurzübersicht verdeutlicht, dass die Förderung relevanter Projekte weniger im Rahmen spezifischer "Wasserstoff-Programme", sondern vielmehr im Kontext konkreter (Forschungs-) Ziele, Anwendungen, Themen- oder Akteursschwerpunkte erfolgt. Wasserstoff ist damit eine der Technologien oder Themenkomplexe, die in diesen Schwerpunkten durch Projektvorhaben von Einzelakteuren oder durch Verbünde unterstützt werden.

Diese grundlegende Förderphilosophie findet sich auch auf Ebene der *Bundesländer* wieder. Neben der institutionellen Förderung der Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen engagieren sich die Länder u.a. in der Ansiedlungsförderung und

⁴⁶ <http://www.pace-energy.eu/>.

⁴⁷ vgl. die Vorhaben WIR! und RUBIN der beiden Förderrunden: <https://www.innovation-strukturwandel.de/de/die-initiativen-2166.php>.

⁴⁸ <https://www.hypos-eastgermany.de/>.

⁴⁹ siehe u.a. die Förderrichtlinie "Dekarbonisierung in der Industrie", die zu Beginn des Jahres 2021 in Kraft getreten ist.

Standortentwicklung sowie der regionalen Strukturpolitik (insbesondere über die Bund-Länder-Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur" (GRW)).⁵⁰ Neben Investitionszuschüssen für die gewerbliche Wirtschaft (im Kontext der Wasserstoffwirtschaft insbesondere für Erweiterungsinvestitionen relevant) und der Förderung der wirtschaftsnahen Infrastruktur ermöglicht die GRW die Förderung von Kooperationsnetzwerken und Innovationsclustern, was auch in den Bereichen Energie und Wasserstoff zum Tragen kommt. Die Forschungs- und Technologieförderung der Länder ist technologie- und branchenoffen gestaltet, d.h. hier sind auch Forschungsaktivitäten im Bereich der Wasserstofftechnologien förderfähig. Spezifische Adressaten sind schwerpunktmäßig kleine und mittlere Unternehmen sowie deren Kooperationen mit Forschungseinrichtungen. Neben der einzelbetrieblichen Förderung kommt der Verbundprojektförderung eine hohe Bedeutung für gemeinschaftliche Entwicklung, Wissens- und Technologietransfer zu, während Geräte und Ausstattungen von Forschungseinrichtungen ebenfalls über spezifische Richtlinien gefördert werden können.

Insgesamt ist die Struktur der Förderprogramme horizontal über unterschiedliche Forschungs- und Technologiefelder ausgestaltet und fokussiert auf einzelne Phasen im Technologieentwicklungs- und Innovationsprozess (z.B. Forschung, Markteinführung, Verwertung usw.), spezifische Akteure (z.B. mittelständische Unternehmen) oder auch spezifische Anwendungsbereiche (z.B. Verkehr, Energie - hier allerdings zumeist Fokus auf Energieeffizienz).

Daneben unterstützen die Länder Innovations- und Entwicklungsprozesse im Bereich der Erneuerbaren Energien über förderliche Strukturen wie Cluster und Netzwerke, aber auch Energieagenturen. Beispiele hierfür sind die Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur (ThEGA), das Kompetenznetzwerk ThEEN, Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk e.V. oder der Sächsische Innovationscluster für Brennstoffzellen und Wasserstoff HZwo. Neben den von ihnen angebotenen Leistungen für ihre Mitglieder fungieren sie als Schnittstelle und Bindeglied zwischen Politik und Wirtschaft.⁵¹

Zusätzlich haben die europäischen Strukturfondsmittel insbesondere aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), eine hohe Bedeutung in der (Ko-) Finanzierung von Landesförderungen. Relevante Interventionskategorien sind beispielsweise:

- Forschungs- und Innovationsinfrastruktur, Prozesse, Technologietransfer und Zusammenarbeit in Unternehmen mit Schwerpunkt auf der CO₂-armen Wirtschaft und der Verstärkung der Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel,
- Energieeffizienz- und Demonstrationsprojekte in KMU und Begleitmaßnahmen,
- Technologietransfer und Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und Unternehmen, vor allem zugunsten von KMU,
- Forschungs- und Innovationsinfrastruktur (öffentlich),
- Forschungs- und Innovationstätigkeiten in öffentlichen Forschungseinrichtungen und Kompetenzzentren einschließlich Vernetzung,
- Forschungs- und Innovationsprozesse in KMU (einschließlich Gutscheinprogrammen, Innovationen in den Bereichen Verfahren, Design und Dienstleistung sowie sozialer Innovationen),

⁵⁰ vgl. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/regionalpolitik.html> sowie Koordinierungsrahmen der Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur" ab 1. Januar 2020, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/J-L/koordinierungsrahmen-gemeinschaftsaufgabe-verbesserung-regionale-wirtschaftsstruktur.pdf?__blob=publicationFile&v=15.

⁵¹ vgl. <https://www.thega.de/>, <https://www.theen-ev.de/de/>, <http://hzwo.eu/>.

- Unmittelbar mit Forschungs- und Innovationsaktivitäten verbundene Investitionen in Infrastruktur, Kapazitäten und Ausrüstung von KMU
- Sonstige erneuerbare Energien (einschließlich Wasserkraft, Erdwärme und Meeresenergie) und Integration erneuerbarer Energien (einschließlich Infrastrukturen zur Speicherung, für „Power to Gas“ und zur Wasserstoffherzeugung mittels erneuerbarer Energien)⁵²

Auch die Mittel des Europäischen Sozialfonds (ESF) können im Hinblick auf Wasserstoffthemen genutzt werden. Der ESF legt seinen Schwerpunkt auf die Beschäftigungsförderung und kann beispielsweise für Weiterbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen genutzt werden.

Neben den horizontalen Maßnahmen zur Forschungs-, Innovations- und Kooperationsförderung haben einige Bundesländer fachspezifische Förderprogramme aufgelegt, in deren Rahmen auch Wasserstofftechnologien förderfähig sind. Insbesondere gilt dies für den Mobilitätsbereich; hier sind beispielsweise die Beschaffung von Fahrzeugen des Öffentlichen Personennahverkehrs mit alternativen Antriebstechnologien sowie die entsprechenden Infrastrukturinvestitionen förderfähig (Bsp.: Richtlinie zur Förderung von betrieblichen Investitionen im öffentlichen Personennahverkehr in Thüringen, RL - ÖPNV-Unternehmensförderung) oder auch Antriebssysteme bei Schiffen (Bsp.: Richtlinie zur Förderung der Fischerei, Aquakultur und Fischwirtschaft in Mecklenburg-Vorpommern, FischFöRL M-V). Ebenso gehören Wasserstoff-Infrastrukturen zu den Fördergegenständen im Kontext von Klimaschutzrichtlinien (Bsp.: Richtlinie für die Gewährung von Zuwendungen des Landes Mecklenburg-Vorpommern zur Umsetzung von Klimaschutz-Projekten in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen, Klimaschutzförderrichtlinie Kommunen - KliFöKommRL M-V).

Schließlich tragen die Länder über die Unterstützung von Gutachten, Potenzial- und Machbarkeitsstudien zur Wissensgenerierung und -diffusion im Kontext der Wasserstofftechnologie bei.

Im Folgenden werden wesentliche Förderprogramme des Bundes und der Europäischen Union nochmals tabellarisch aufgelistet. Dabei erfolgt zugleich eine Kurzbeschreibung der Förderschwerpunkte sowie eine Einordnung der Relevanz für die Wasserstoffwirtschaft.

⁵² vgl. Durchführungsverordnung (EU) Nr. 215/2014 der Kommission vom 7. März 2014 zur Festlegung von Vorschriften für die Durchführung der Verordnung (EU) Nr. 1303/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates mit gemeinsamen Bestimmungen über den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, den Europäischen Sozialfonds, den Kohäsionsfonds, den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums und den Europäischen Meeres- und Fischereifonds sowie mit allgemeinen Bestimmungen über den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, den Europäischen Sozialfonds, den Kohäsionsfonds und den Europäischen Meeres- und Fischereifonds im Hinblick auf eine Methodik für die Anpassung an den Klimawandel, die Festlegung von Etappenzielen und Vorgaben im Leistungsrahmen und die Nomenklatur der Interventionskategorien für die Europäischen Struktur- und Investitionsfonds, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0215&from=DE>.

Förder- geber	Name Förderprogramm	Förderschwerpunkt	Relevanz Wasserstoff-wirtschaft
EU	Horizon2020 und seit 2021 Horizon Europe	Europäischer Forschungsraum Gesamte Innovationskette Förderbereiche: Wissenschaftsexzellenz/Globale Herausforderungen und industrielle Wettbewerbsfähigkeit/ Innovatives Europa	Insb. globale Herausforderung Klima, Energie und Mobilität
	Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking	Marktzugang von Brennstoffzellentechnologie und Wasserstoff	Forschungs- und Innovationsprogramm
	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung	Themenschwerpunkte: Forschung und Innovation/Digitale Agenda/ KIMU/CO2-arme Wirtschaft	CO2-arme Wirtschaft
	Europäischer Sozialfond	Themenschwerpunkte: Beschäftigung und Mobilität der Arbeitskräfte/Armut/Bildung, Qualifikation und lebenslanges Lernen/öffentliche Verwaltung	Weiterbildung und Qualifikation hin zu Wasserstoff-technologien
BMBF	Wasserstoff-Republik Deutschland	Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie Leitprojekte und Grundlagenforschung zu Grünem Wasserstoff	Elektrolyse im Industriemaßstab Transportlösungen Systemintegration
	FONA3 – Vermeidung von klimarelevanten Prozessemissionen in der Industrie (KlimPro-Industrie)	Förderung der Grundstoffindustrie treibhausgasvermeidende Prozesse zu entwickeln	Carbon Capturing Wasserstoff zur Substitution fossiler Energien
	Innovation & Strukturförderung (WIR ! u.a.)	Entwicklung und Förderung von Innovationsbündnissen	Themen- und technologieoffene Entwicklung von Innovationsclustern
BMW	Reallabore der Energiewende	Ideenwettbewerb Erste Ausschreibungsrunde: Sektorenkopplung und Wasserstoff/Energiespeicher/ Quartiere	Reallabore für Wasserstofftechnologien
	Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand	FuE Einzelprojekte FuE Kooperationsprojekte Innovationsnetzwerke	Themen- und technologieoffene Innovationsförderung
	Energieforschungs- programm	Innovation für die Energiewende	U.a. Sektorenkopplung, Energiewende im Verkehr, Brennstoff- zellen, Technologie- offensive Wasserstoff
	Luftfahrtforschungs- programm	Förderung der zivilen Luftfahrt Themenschwerpunkte: u.a. Hybridelektrische Antriebssysteme	Brennstoffzellenflugzeuge und hybride Antriebssysteme unter Einsatz von Wasserstoff
BMVi	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und	Forschung, Entwicklung und Innovation (Schwerpunkt nachhaltige Mobilität) Marktaktivierung	Insb. Hyland: Hystarter, Hyexperts, Hyperformer als Sensibilisierung, Forschung und

	Brennstoffzellen-technologie (NIP)		Entwicklung von Wasserstoff- und Brennstoffzellen-technologie
	BordstromTech-Richtlinie	Marktaktivierung alternativer Technologien für Bordstrom- und Landstromversorgung von See- und Binnenschiffen	Alternative Kraftstoffe und Brennstoffzellen
	Nachhaltige Modernisierung von Binnenschiffen	Themenschwerpunkte: Emissionsärmere Motoren/Energieeffizienz/Schadstoffminderung	Emissionsfreie Antriebssysteme durch Wasserstoff
BMU	Umweltinnovationsprogramm	Umwelt entlastende technische Verfahren in der Anwendung	Großtechnische Anlagen mit Demonstrationscharakter

Analyse der aktuellen Wasserstoff-Förderpolitik

Tabelle 12: Förderprogramme der Europäischen Union und des Bundes mit Relevanz für die Wasserstoffwirtschaft in den Bundesländern.

5.2 Maßnahmen/Vorschläge zur Weiterentwicklung der Förderpolitik, mögliche andere Maßnahmen/Handhabungen

- In den kommenden Jahren werden Fördermittel der europäischen sowie der Bundesebene weiterhin eine bedeutende Rolle spielen
- Auf Bundeslandebene werden diese Optionen durch weitere Förderungen ergänzt, um einerseits spezifische Stärken und Potenziale zu adressieren und andererseits Gestaltungshebel zur Förderung der Wasserstofftechnologie und -wirtschaft zu nutzen. Hierbei kommen auch Instrumente wie die öffentliche Beschaffung, die Standortentwicklung oder die Qualifizierungsförderung infrage.
- Die Länder können im Rahmen ihrer originären Kompetenzen und Haushaltsmittel ergänzende Förderprogramme erlassen und hierdurch bestehende Förderlücken schließen.
- Kernaufgabe der Länder ist neben der Kofinanzierung aus landeseigenen Mitteln die Sensibilisierung der Marktakteure für Wasserstoff und bestehende Förderprogramme
- Bundesländer können diese Aufgabe zentralisieren und damit einen gemeinsamen Ansprechpartner schaffen
 - Schaffung einer zentralen ostdeutschen Fördermittelagentur
 - Überblickartige Darstellung der europäischen und bundesweiten Förderprogramme
 - Antragshilfe, bspw. Antragsschreibwerkstatt

Mit dem Beginn der Förderperiode von Horizon Europe 2021-2027, dem Green Deal der Europäischen Kommission, der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung, den derzeit laufenden (Innovations- und Wasserstoff-) Strategieprozessen der Länder, dem Kohleausstieg, aber auch der Corona-Pandemie ergibt sich momentan die Notwendigkeit

einer multidimensionalen Betrachtung der künftigen förderpolitischen Entwicklung. Eine Reihe von Kernpunkten sind momentan noch nicht abschließend geklärt, jedoch können unter Berücksichtigung dieser Unsicherheiten zum jetzigen Zeitpunkt folgende Aspekte abgeleitet werden:

Die Fördervolumina im Kontext der europäischen Strukturfonds und auch die Landeshaushalte stehen derzeit noch nicht fest, jedoch erfolgt in der Förderperiode 2021-2027 eine Schwerpunktsetzung auf folgende Ziele:

1. "Smarter Europe" - Innovation, Digitalisierung, wirtschaftliche Transformation, Unterstützung für KMU und
2. "a Greener, carbon free Europe" - Umsetzung des Pariser Abkommens, Energiewandel, erneuerbare Energien, Kampf gegen den Klimawandel.⁵³

Hieraus dürften sich signifikante Optionen für die Umsetzung in Länderrichtlinien ergeben, da vorgesehen ist, einen hohen Anteil der Ressourcen (EU-weit zwischen 65% und 85% in Abhängigkeit von der Wirtschaftsleistung) für diese beiden Ziele einzusetzen.

Weitere Ansatzpunkte zur Wasserstoffförderung ab 2021 werden im Rahmen der Bundesförderung eröffnet, so beispielsweise im Ideenwettbewerb "Wasserstoffrepublik Deutschland" des BMBF, aber auch im Rahmen der Unterstützung des Strukturwandels (z.B. im Rahmen von "Innovation & Strukturwandel").⁵⁴ Daneben bieten die Reallabore der Energiewende weitere Möglichkeiten zur Weiterentwicklung und Umsetzung der Wasserstofftechnologien. Gemäß Strukturstärkungsgesetz sind weitere finanzielle Investitionsförderungen der (Reallabore in) Strukturwandelregionen zu erwarten. Ausdrücklich sieht das Strukturstärkungsgesetz auch die Förderung von Power-to-X und Wasserstoff vor. Mit den Mitteln des Strukturstärkungsgesetzes sind jedoch ausschließlich Sachinvestitionen abgedeckt. Die Förderung von Betriebskosten scheidet damit aus. Weitere Bundesförderungen werden ab 2021 Maßnahmen und Mittel für die Weiterentwicklung des "Wasserstoffstandorts Deutschland" zur Verfügung stellen.

Insgesamt gilt es, die EU- und Bundesmittel durch landeseigene Kofinanzierungen im Hinblick auf die gesetzten Prioritäten zu implementieren. Generell werden Landesmittel verstärkt zur Weiterentwicklung bestehender Stärken (im Sinne von FuE-Schwerpunkten, industriellen Entwicklungen u.ä.) einzusetzen sein, um die regionalen Akteure anschließend in ihrem Mitwirken an Bundes- und europaweiten Aktivitäten zu unterstützen. Die Landesmittel werden somit als "Hebel" für die weitere Akquise von Bundes- und EU-Mitteln eingesetzt. Neben den finanziellen Förderungen kommt gleichfalls den Unterstützungen der intermediären Akteure (Netzwerke, Cluster) eine hohe Bedeutung zu, da sie die Förderlandschaft beobachten, relevante Informationen in ihren Verbänden weitergeben und relevante Partner zusammenbringen. Diese Akteure dürften somit auch in Zukunft eine signifikante Rolle spielen. Auch dürften weitere Finanzierungsinstrumente (Kredite, Bürgschaften) neben der Zuschussfinanzierung bedeutsam sein.

Eine vollständige Förderung von Projekten aus dem Landeshaushalt scheidet regelmäßig aus. Die Haushaltsplanung lässt wohl nur eine ergänzende Förderung zu. Kernaufgabe der Länder wird damit auch weiterhin nicht die landeseigene Förderung sein, sondern vielmehr die

⁵³ vgl. https://ec.europa.eu/regional_policy/en/2021_2027/ sowie Europäische Kommission (2018): Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und den Kohäsionsfonds, COM(2018) 372 final, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8d2f7140-6375-11e8-ab9c-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF

⁵⁴ vgl. <https://www.bmbf.de/files/F%C3%B6rderung%20Ideenwettbewerb%20Wasserstoffrepublik%20Deutschland.pdf>, <https://www.bmbf.de/de/innovation-strukturwandel-5516.html>.

aktive **Sensibilisierung der Marktakteure für Wasserstoff und für bestehende Förderprogramme des Bundes**. Die Länder sollten in enger Zusammenarbeit mit einschlägigen Verbänden die Förderlandschaft überblicksartig und zentral verfügbar machen. Die Länder könnten darüber hinaus eine **zentrale Antragshilfe** einrichten und die Marktakteure damit aktiv bei der Erstellung der Förderanträge unterstützen.

Daneben hat die öffentliche Hand über ihre Beschaffung einen weiteren Hebel zur Verfügung, denn hierüber können innovative und politisch erwünschte Lösungen im Kontext öffentlicher Investitionen umgesetzt werden und Anreize für weitere Investitionen setzen. Hierunter fällt beispielsweise die Beschaffung emissionsarmer bzw. freier Busse oder (kommunaler) Nutzfahrzeuge (Clean Vehicles Directive). Entsprechende Ansätze sind auch für länderübergreifende Aktivitäten denkbar.

Ein wichtiger Meilenstein zur Umsetzung der Wasserstofftechnologie ist die konkrete Umsetzung am Markt, d.h. Pilotanlagen und Demonstrationsanlagen, Schaffung von Leuchttürmen und die Marktentwicklung unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten. Dieser Hebel hat das Potenzial, die ökologische Transformation mit der Generierung von Wertschöpfung zu verbinden. Um dies zu fördern, müssten neben den oben genannten Punkten die derzeitigen Preis- und Anreizmechanismen entsprechend gestaltet werden, um den Einsatz von Wasserstoff im Vergleich zu fossilen Energieträgern wettbewerbsfähig und damit nachfragerrelevant werden zu lassen. Konkrete Ansatzpunkte für die förderliche Gestaltung der Rahmenbedingungen zugunsten erneuerbarer Energien und der Wasserstofftechnologie sind folgende:

- EEG-Umlage und Netzentgelte,
- eine (ehrgeizige) CO₂-Besteuerung, insgesamt eine harmonisierte Bepreisung der Energieträger
- sowie der Ausbau der erneuerbaren Energien, so dass Marktentwicklungen unter den gesetzten Rahmenbedingungen des Klimaschutzes stattfinden können.
- Quotenregelungen für Kraftstoffe sind förderlich (s. beispielsweise Gesetzesentwurf des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit für feste Power-to-Liquid-Quoten in Flugzeug-Kerosin)

Da diese Kontextbedingungen nicht nur einzelne Bundesländer oder Ostdeutschland, sondern das Bundesgebiet insgesamt betreffen, sind die Handlungsoptionen auf Ebene einzelner Bundesländer eingeschränkt. Über ein gemeinsames Agieren auf politischer Ebene kann jedoch der Position der ostdeutschen Länder Gehör verschafft werden. Ähnliche Sachverhalte sind im Bereich rechtlicher Voraussetzungen (beispielsweise zur Ausgestaltung der Netzstruktur), Standards oder Zertifizierungen zu sehen; auch hier könnten die Länder über konsensuale Positionen auf Bundesebene einwirken.

Weitere Ansatzpunkte der Landespolitik ergeben sich durch die Betrachtung der Wasserstofftechnologien im gesamt- und regionalwirtschaftlichen Kontext. So kann die Regional- und Standortpolitik über attraktive Rahmenbedingungen ihre Gestaltungsmöglichkeiten im Hinblick auf Attrahieren und Halten leistungsfähiger Akteure nutzen. Auch sollte neben der Betrachtung der eigenen Potenziale und Stärken die Beobachtung der globalen Entwicklung nicht außer Acht gelassen werden, um die Auswirkungen des internationalen Wettbewerbs in die eigenen Strategien integrieren zu können. Entsprechend kann die Standort- und Internationalisierungspolitik einen Beitrag zur Stärkung der regionalen Wirtschaftsakteure leisten und sie damit in ihren Internationalisierungsaktivitäten unterstützen. Angesichts sich dynamisch entwickelnder Markt- und Wertschöpfungsstrukturen werden auch etablierte Akteure sich mit der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle auseinandersetzen müssen - wiederum ein Ansatzpunkt für Fördermaßnahmen auf Landesebene.

Zur Gestaltung förderlicher Rahmenbedingungen gehört auch die Ausbildungs- und Qualifizierungsfunktion. Hier können die Länder unterstützend einwirken, indem Forschung und Lehre, interdisziplinäre und kooperative Ansätze gezielt unterstützt werden wie beispielsweise das ESF-kofinanzierte Verbundforschungsprojekt Netz-Stabil zur Unterstützung des akademischen Nachwuchses in Mecklenburg-Vorpommern.⁵⁵ Neben der akademischen Ausbildung ist auch das technische Fachpersonal von hoher Bedeutung, um Fachkräfte für den Aufbau industrieller Anwendungen zu qualifizieren, ebenso wie der schulische Bereich (vgl. hierzu beispielsweise das Projekt H2AC4schools oder die Weltmeisterschaft Wasserstoff-Modellautoren an der TU Chemnitz).⁵⁶ Insgesamt kann eine attraktive Aus- und Weiterbildung neben dem (technologischen) Kompetenzaufbau auch als Medium betrachtet werden, um die Region als attraktiven Lebensmittelpunkt für die Bewohner zu gestalten.

Somit kann ein Bündel abgestimmter Maßnahmen Anreize für die Bewältigung des Übergangs von fossilen zu erneuerbaren Energien bieten.

⁵⁵ vgl. <https://www.netz-stabil.uni-rostock.de/>.

⁵⁶ vgl. https://www.sn-cz2020.eu/de/projekte/gefoerderte_projekte/h2ca4schools.jsp, <https://www.tu-chemnitz.de/tu/pressestelle/aktuell/8726>.

6.1 Übergeordnete Handlungsempfehlungen

In der gesamthaften Betrachtung der Wasserstoffthematik für Ostdeutschland lassen sich aus den durchgeführten Analyseschritten folgende übergeordnete Handlungsempfehlungen ableiten:

- Bundeslandübergreifendes Stakeholder-Gremium "Wasserstoffagentur Ostdeutschland" einrichten
- Den weiteren Prozess durch ein unabhängiges Experten-Gremium begleiten
- bundeslandübergreifende Strategie festlegen
- Mit gemeinsamer Stimme auf die Gestaltung der bundesweiten Rahmenbedingungen einwirken
- Substitution von grauem durch CO₂-neutralen Wasserstoff in den Länderstrategien
- bundeslandübergreifende Standortentwicklung der Wasserstoffwirtschaft fördern
- KMU zur Teilnahme an Bundesförderung befähigen
- Bildung und Qualifizierung auf neue Anforderungen der Wasserstoffwirtschaft anpassen
- Weiterentwicklung der Förderprogramme hinsichtlich Wasserstoffrelevanz
- Grünen Wasserstoff in öffentliche Beschaffung integrieren
- Genehmigungs- und Zulassungsverfahren für H₂-Anlagen vereinfachen
- Zubau von EE-Erzeugungskapazitäten gewährleisten

Der gesamte Themenkomplex ist sehr vielschichtig, dynamisch und facettenreich und umfasst zudem diverse, miteinander verflochtene Steuerungsebenen (Europäische Union, Bundes- und Länderebene). Das hier vorliegende Dokument ist daher als Momentaufnahme und als strategische Basis für die weitere Umsetzung zu sehen. Hierzu lassen sich aus den durchgeführten Analysen eine Reihe von Maßnahmen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad ableiten. Den Startpunkt sollte die Einrichtung zweier Gremien bilden, die dann in entscheidender Weise an den nachfolgend aufgeführten Umsetzungsmaßnahmen mitwirken. Dies betrifft zum einen ein politisches Stakeholder-Gremium mit Entscheidungsmandat, zum anderen ein wissenschaftliches Expertengremium, das den weiteren Prozess durch unabhängige Expertise begleitet. Diese beiden Gremien werden nachfolgend näher beleuchtet, bevor das Augenmerk auf weitere zentrale Handlungsempfehlungen gerichtet wird.

Bundeslandübergreifendes Stakeholder-Gremium "Wasserstoffagentur Ostdeutschland" einrichten

Basierend auf den erzielten Erkenntnissen scheint die Etablierung eines Stakeholder-Gremiums "Wasserstoffagentur Ostdeutschland" (im Sinne einer "Task Force") von zentraler Bedeutung zu sein. Dieses Gremium sollte sich aus politischen Entscheidungsträgern aus den teilnehmenden Bundesländern zusammensetzen und die weitere Umsetzung des Masterplans leiten. Die genaue Besetzung des Gremiums ist durch die Bundesländer zu bestimmen. Angesichts der Vielschichtigkeit des Themas empfiehlt sich jedoch die Entsendung mindestens eines Vertreters aus den relevanten ministeriellen Abteilungen, namentlich Wirtschaft, Umwelt/Energie und Verkehr, aus jedem Bundesland. Die Mitglieder des Gremiums sind in ihren jeweiligen Landesregierungen gut vernetzt - beispielsweise durch ihr Mitwirken in den interministeriellen Arbeitsgruppen oder ähnlichen Austauschgremien - und können die jeweilige Landesposition im Stakeholder-Gremium

"Wasserstoffagentur Ostdeutschland" abstimmen. Ebenso sollte das Gremium mit dem Nationalen Wasserstoffrat vernetzt sein, um die Interaktion über Ostdeutschland hinaus koordinieren zu können. Vor diesem Hintergrund sollte das Gremium befähigt werden, die bundeslandübergreifenden Interessen im Hinblick auf die Wasserstoffwirtschaft nach außen hin vertreten zu dürfen.

Das Gremium kann grundsätzlich als lose Vereinbarung der betroffenen Bundesländer verstanden werden. Zur vollen Wirksamkeit und insbesondere zur geschlossenen Vertretung der Länderinteressen nach außen und möglicher verbindlicher Beschlüsse sollte das Gremium durch einen sog. Staatsvertrag geschaffen werden. In dieser intraföderalen Vereinbarung können die Länder im Rahmen ihrer eigenen, verfassungsrechtlichen Kompetenzen Kooperationen regeln und letztlich eigene Befugnisse auf Dritte übertragen. So könnten die Bundesländer das Stakeholder-Gremium mit den entsprechenden Befugnissen ausstatten. Alternativ könnte privatrechtliche Strukturen, etwa in Form einer GmbH, geschaffen werden, an denen die Bundesländer die Mehrheitsanteile halten.

Zusätzlich sind Mitgliedschaften oder zumindest enge Verbindungen zu intermediären Akteuren wie Industrie- und Handelskammern, Verbänden, Vereinen, Netzwerken, Cluster, relevanter (universitärer und außeruniversitären) Forschungseinrichtungen bedeutsam. Dies umfasst auch die Zivilgesellschaft. Schließlich sollte neben Politik, Forschung und Gesellschaft auch die Wirtschaft vertreten sein, d.h. neben den intermediären Wirtschaftsvertretern auch Vertretungen bedeutender Unternehmen aufweisen.

Insgesamt sollte angesichts der Dynamik des Themas eine Steuerungsstruktur eingerichtet werden, die sowohl in die ostdeutschen Länder als auch über Ostdeutschland hinaus gut vernetzt ist und flexibel im Hinblick auf anstehende Entscheidungen agieren kann. Hinsichtlich des Sitzes des Gremiums wird eine gemischte Struktur aus physischem Sitz und Netzwerk vorgeschlagen. Ein physischer Sitz ermöglicht regelmäßige Treffen, während die virtuell-vernetzte Struktur zusätzliche Austauschformate ermöglicht, die auch über die derzeitige Pandemiesituation hinaus ein wertvolles Medium für kurzfristige Abstimmungen und Entscheidungen bietet. Um die Nähe zur Bundespolitik zu gewährleisten, könnte der physische Sitz in Berlin - mit starken Verbindungen in die Bundesländer - angedacht werden. Hier kann gleichfalls eine Geschäftsstelle mit entsprechenden Organisations-, Kommunikations- und Managementfunktionen integriert werden. Diese sollte auch ein Medium zum Austausch und zur Informationsdiffusion etablieren und betreiben. Dies könnte über IT-Tools bzw. eine internetbasierte Plattform mit einem internen und einem externen Bereich angedacht werden. Gezielte und aktuelle Öffentlichkeitsarbeit unter Nutzung unterschiedlicher Medien spielt eine wichtige Rolle für eine zielgruppenspezifische Ansprache.

Zusätzlich zu technischen und politischen Fragestellungen könnte die Medienarbeit beispielsweise auch Qualifizierungsaspekte, Standort- und Genehmigungsfragen sowie Akzeptanz und die Betrachtung des Themas im Kontext des Strukturwandels (Kohle, Automobilindustrie usw.) umfassen (s. nachfolgende Punkte). Ähnlich wie in der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) könnten beispielsweise (Kurz-) Gutachten zu den unterschiedlichen Themenfacetten im Wasserstoffkontext beauftragt werden, die dann in zielgruppenspezifischer Weise aufbereitet und der Öffentlichkeit zur Verfügung sowie zur Diskussion gestellt werden. Eine Ergänzung durch partizipative Formate wie die Integration von Interaktionsmöglichkeiten in das zu etablierende Austauschmedium und/ oder physische Veranstaltungen in den ostdeutschen Bundesländern, beispielsweise unter Einbindung von Qualifizierungs- und Wirtschaftsakteuren, mit Fokus auf industriellen Strukturwandel in den betroffenen Landesteilen, mit Forschungsakteuren und Netzwerken usw. können zur thematischen Diffusion und breiten Verankerung des Themas beitragen.

Des Weiteren scheint die Initiierung eines spezifischen Formats, beispielsweise in Form von "Jour fixes" oder auch im Workshop-/ Konferenzformat mit Dritten zielführend. Auch über

dieses Medium können weitere Positionen "aus der Praxis" eingeholt, Umsetzungsprozesse beschleunigt und zusätzlich die Akzeptanz für das Thema gesteigert werden.

Zunächst ist die Governance des Stakeholder Gremiums zu erarbeiten und zu implementieren. Das heißt, es ist insbesondere zu klären, wie die Gremien in den jeweiligen Landesregierungen verankert sind. Danach können zur Vorbereitung der Einrichtung des Gremiums Vorschläge für mögliche Mitglieder zusammengestellt und bezüglich einer Mitwirkung angefragt werden. Interessierte Stakeholder können sich u.a. aus den Mitwirkenden an der vorliegenden Studie - d.h. Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Workshops im September 2020, an den geführten Expertengesprächen sowie zentrale Akteure aus den entwickelten Fallstudien - ergeben. Bei der Besetzung sollten die bestehenden Konsortien und Vereine wie Hypos, energy saxony, etc. einbezogen werden. Parallel kann die Planung für die Geschäftsstelle eingeleitet werden, u.a. Fragen des (physischen) Sitzes, Festlegung der vorgesehenen Aktivitäten und der Finanzierung (beispielsweise in Form einer Umlage oder durch wechselnde Abordnungen aus den Bundesländern).

Auch die konkreten Aufgaben des Stakeholder-Gremiums sind vertieft zu erarbeiten. Es kann eine geteilte Struktur, bestehend aus einem inneren und äußeren Kreis, angedacht werden. So würden im inneren Kreis die (politischen) Entscheidungsträger agieren, während im äußeren Kreis Vertretungen der Gesellschaft einbezogen würden. Zur Abstimmung der Strategien und Roadmaps sollen die relevanten Akteure themenbezogen in einem „runden Tisch“ zusammengebracht werden.

Am runden Tisch kommen Vertretungen aus den beiden Gremien sowie aus in den jeweiligen Gremien sonst nicht vertretenden Verbänden, Vereinen und Industrien zusammen. Der runde Tisch hat damit vornehmlich die Funktion Transparenz zu schaffen und Perspektiven der sonstigen Akteure und Vertretungen einzuholen. Dem runden Tisch könnten zudem die Aufgabe und Befugnis zugeteilt werden, das Stakeholder- und Expertengremien zu weiteren Analysen und Beschlüssen zu beauftragen. Entscheidungsträger blieben somit die Gremien. Der runde Tisch und folglich die in den Gremien sonst nicht vertretenden Akteure könnten über diesen Weg die Agenda der Gremien mitbestimmen.

Den weiteren Prozess durch unabhängige Experten begleiten

Zusätzlich zum vorgeschlagenen Stakeholder-Gremium "Wasserstoffagentur Ostdeutschland" wird ein unabhängiges Expertengremium vorgeschlagen, das das Stakeholder-Gremium in seiner Arbeit unterstützt und begleitet. Zentral dabei scheint die Unabhängigkeit des Expertengremiums, das nicht nur wissenschaftliche Expertise liefert und den weiteren Prozess fachlich begleitet, sondern auch Impulse von Kernakteuren zur Entscheidungsfindung zusammenbringen kann. Angedacht ist die Tätigkeit dieses unabhängigen Expertengremiums im Sinne einer wissenschaftlichen Begleitforschung als "vermittelnde Ebene" zwischen Entscheidungsträgern des Stakeholder-Gremiums "Wasserstoffagentur Ostdeutschland" und den mit der Wasserstoffthematik befassten Akteuren in den Bundesländern. Diese "Mittlerfunktion" erlaubt es, unterschiedliche Haltungen der betroffenen Akteure sowohl aus der Wirtschaft, der Forschung als auch der Zivilgesellschaft anzusprechen, ihre Positionen einzuholen, mit wissenschaftlicher Fachexpertise abzugleichen und als Entscheidungsgrundlage für das Stakeholder-Gremium "Wasserstoffagentur Ostdeutschland" aufzubereiten. Durch diese Schritte können die bestehenden Erkenntnisse und Positionen erfasst, Herausforderungen zusammengestellt und damit eine breite Verankerung des Themas anvisiert werden.

Ferner kann das Expertengremium eine Monitoringfunktion des weiteren Umsetzungsprozesses erfüllen. Dies kann beispielsweise in der kontinuierlichen Analyse des gesamten Fördersystems (EU, Bund, Land) einschließlich unterschiedlicher Optionen der öffentlichen Finanzierung (Zuschuss/ Darlehen/ Bürgschaften) sowie weiterer (künftiger)

Instrumente (z.B. Important Project of Common European Interest IPCEI, Just Transition Fund JTF) und der entsprechenden (Antrags-)Modalitäten bestehen. Zudem könnten erfolgreiche Beispiele im Wasserstoffkontext, beispielsweise aus Forschungs- und Entwicklungskooperationen, neuen Qualifizierungsmaßnahmen oder auch Neuerung in rechtlichen Aspekten, Standards und Genehmigungsfragen aufbereitet werden. Entsprechende Formate, die sich in anderen Kontexten bzw. anderen Regionen als erfolgreich erwiesen haben, könnten zusammengesellt und für die Nutzung im Wasserstoffkontext diskutiert werden.⁵⁷ Denkbar ist weiterhin die Erstellung von ad-hoc-(Kurz-)Expertisen zu wasserstoffspezifischen Fragestellungen. Weitere mögliche Aufgaben sind die Erarbeitung von Meilensteinen in der Weiterentwicklung der Wasserstoffthematik in Ostdeutschland sowie deren Begutachtung und Reflektion. Hierdurch kann die operative Umsetzung des Masterplans befördert und - sofern nötig - zeitnah Anpassungen vorgenommen werden, beispielsweise bei geänderten Rahmenbedingungen, regulativen Neuerungen o.ä. Dies ermöglicht die Betrachtung des vorliegenden Masterplans als "lebendes Dokument", dessen Bedeutung durch regelmäßige Aktualisierung gesteigert werden kann.

Angesichts der hohen Breite des gesamten Themas scheint eine interdisziplinäre Zusammensetzung des Expertengremiums angebracht. Es sollte Erfahrungen in der wissenschaftlichen Begleitung und thematischen Expertise aufweisen sowie sich durch eine gute Vernetzung in der "Community" auszeichnen. Von hoher Bedeutung sind Unabhängigkeit und wissenschaftliche Verankerung als Voraussetzung für eine neutrale Unterstützung der Arbeit des Stakeholder-Gremiums "Wasserstoffagentur Ostdeutschland". Auf diese Weise können unterschiedliche Impulse als Entscheidungsgrundlage in die Arbeit des Gremiums "Wasserstoffagentur Ostdeutschland" einfließen und die Ankopplung an die mit Wasserstoffthemen befassten Akteure in der Breite gewährleistet werden (Abbildung 22).

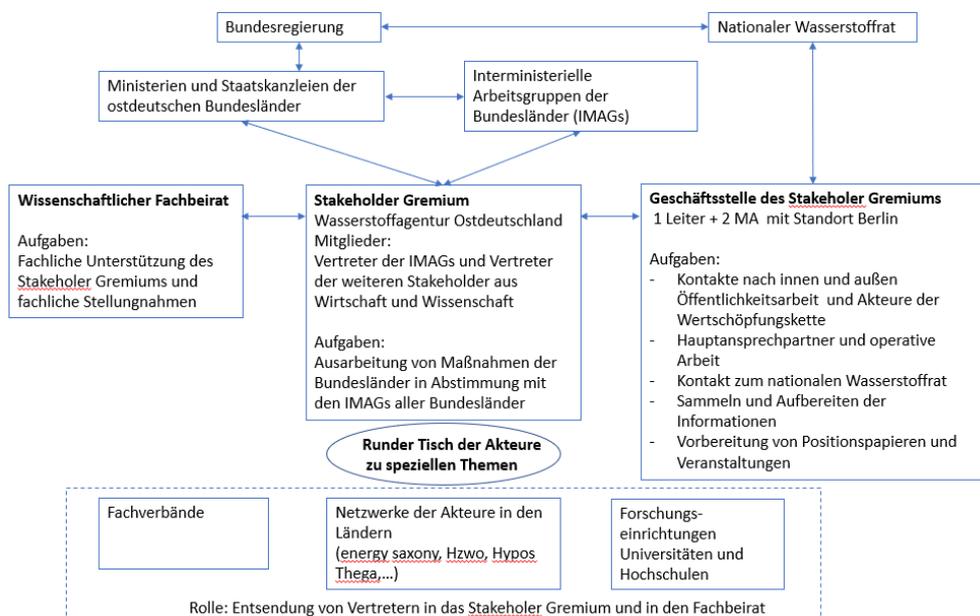


Abbildung 22: Konzept zur Positionierung des Stakeholder-Gremiums "Wasserstoffagentur Ostdeutschland" und des unabhängigen Expertengremiums

⁵⁷ Als Beispiel aus einem anderen Kontext sei an dieser Stelle der Wettbewerb "100 Orte für Industrie 4.0" in Baden-Württemberg erwähnt. Die Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg zeichnet hier seit rund 5 Jahren Ideen zu Industrie 4.0 in Industrie und Wissenschaft aus und macht diese auch für andere Akteure sichtbar und "erlebbar". Vgl. <https://www.i40-bw.de/de/100-orte/>.

Prioritäre Aufgaben zur Einrichtung der beiden genannten Gremien wären somit:

- Ausarbeitung und Festlegung der Governance der Gremien, d.h. wie genau sind die Gremien in den jeweiligen Landesregierungen verankert, was sind genaue Zuständigkeiten und Kompetenzen.
- die Zusammenstellung von Vorschlägen für die Besetzung des Stakeholder-Gremiums "Wasserstoffagentur Ostdeutschland", z.B. 2-3 Vertreter/innen aus der Landespolitik in den ostdeutschen Bundesländern, in beratender Funktion ergänzt durch Repräsentanten aus Wirtschaft, Wissenschaft, intermediären Akteuren, Gesellschaft
- die Adressierung dieser Personen und Anfrage zur Mitarbeit
- die Einrichtung einer Geschäftsstelle: Definition von Aufgaben, personellen und finanziellen Ressourcen, Sitz, Netzstruktur und Austauschplattform
- die Konzipierung weitere Austauschformate wie beispielsweise "Cluster-jour fixe"
- im Anschluss wäre die Begleitforschung durch das Stakeholder-Gremium "Wasserstoffagentur Ostdeutschland" zu initiieren, d.h. Finanzierung, Aufgaben und gewünschte Kompetenzen festzulegen und die Ausschreibung zu lancieren
- Auswahl einer geeigneten Bewerbung, Festlegen des Abstimmungs- und Austauschprozesses zwischen den beiden Gremien und Auftakt der Arbeiten.

Zusätzlich lassen sich aus den erarbeiteten Ergebnissen weitere Maßnahmen zur Förderung der Wasserstoffwirtschaft und Umsetzung des Masterplans ableiten. Diese übergreifenden Handlungsempfehlungen lassen sich folgendermaßen gliedern:

Handlungsempfehlungen	Zentrale Akteure	Frist
<p>bundeslandübergreifende Strategie festlegen und geschlossen verfolgen, z.B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Aufnahme eines konkreten Wasserstofftankstellennetzes (priorisierte Infrastruktur) in den Bundesverkehrswegeplan ➤ Ausweisung von Flächen für PtX-Anlagen in der Bauleitplanung, gemeinsame Beschlüsse zur Flächennutzung ➤ Harmonisierung der Genehmigungsverfahren für PtX-Anlagen und insb. Elektrolyseure durch Beschluss gemeinsamer Verwaltungsvorschriften und ggf. Veröffentlichung eines gemeinsamen Verständnisses der einschlägigen Genehmigungsverfahren zur Schaffung einer harmonisierten Verwaltungspraxis und Unterstützung der Antragsstellenden ➤ Schaffung und Ertüchtigung der förderlichen Infrastruktur (Wasser, Abwasser, Strom) ➤ Bereitstellung von Flächen für erneuerbare Energien durch entsprechende Ausweisung in der Bauleitplanung ➤ Entwicklung einer gemeinsamen Kommunikationsstrategie zur Akzeptanzsteigerung für notwendigen Zubau erneuerbarer Energien und die entstehenden PtX-Anlagen; Unterstützung bestehender bzw. Aufbau von Landesenergieagenturen und vergleichbaren Strukturen 	<p>zust. Ressorts (Wirtschaft, Verkehr, Energie, Infrastruktur) Wirtschaftsförderung Regionalplanung der Gemeinden und Landesplanungsbehörden Landesenergieagenturen</p>	<p>2.HJ 2021 Q3 2021 Q4 2021 Q3 2021 Q4 2021</p>
<p>Mit gemeinsamer Stimme auf die Gestaltung der bundesweiten Rahmenbedingungen einwirken</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Gemeinsame Länderpositionen über Bundesrat einbringen, darüber Mitgestaltung der (regulatorischen) Rahmenbedingungen z.B. Ausbau der Erneuerbaren Energien, Preisgestaltung durch Umlagen, Steuern und CO₂-Bepreisung, Standardisierung und Zertifizierung, gezielte Fördermaßnahmen ➤ Regelmäßiger Austausch mit anderen Bundesländerinitiativen und Kooperation zur Identifizierung gemeinsamer Standpunkte und Vorbereitung sowie Durchführung gemeinsamer Bundesratsinitiativen ➤ Gemeinsame Länderposition über den Austausch mit bestehenden Beratungsgremien wie dem Nationalen Wasserstoffrat einbringen 	<p>Landesregierungen, Ressorts (Wirtschaft/Energie/Infrastruktur bzw. Mobilität) Verbindung mit Verfassern der Norddeutschen Wasserstoffstrategie Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen / Baden-Württemberg / Bayern u.a. Nationaler Wasserstoffrat</p>	<p>2. HJ 2021</p>
<p>Substitution von grauem durch CO₂-neutralen Wasserstoff</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ CO₂-neutralen Wasserstoff definieren und damit einheitliches, bundesländerübergreifendes Begriffsverständnis schaffen und in (Wasserstoff-) Strategien der Länder übernehmen ➤ CO₂-Neutralität im gesamten Strategieprozess der Länder festlegen und damit die CO₂-Neutralität insgesamt auf Länderebene verankern ➤ Aufnahme der Definition in die Förderrichtlinien der Länder / Ausrichtung der Förderrichtlinien der Länder auf CO₂-neutralen Wasserstoff 	<p>Ressorts (Wirtschaft, Energie, Umwelt, Regionale Forschungs- Innovationsstrategie „RIS3), Staatskanzleien, IMAGs</p>	

<p>Die bundeslandübergreifende Standortentwicklung der Wasserstoffwirtschaft fördern</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ gemeinsame (Außen-)Darstellung und Vermarktung der Standortvorteile und dadurch Synergieeffekte hervorheben / Zentralisierung der Außendarstellung oder Vereinheitlichung der Darstellung durch die Wirtschaftsförderungsagenturen und Landesenergieagenturen ➤ Vernetzung der Akteure stärken durch Einbeziehung von zentralen Mittlern wie Landesenergieagenturen und einschlägige Verbände / Aufbau regelmäßiger physischer bzw. virtueller Treffen mit einschlägigen Schwerpunktthemen, um geeignete Akteure zusammenzubringen / Organisation und Durchführung einer Veranstaltung zum Masterplan, um in einem ersten Schritt alle Akteure zu sensibilisieren, zu vernetzen und auf Folgetermine vorzubereiten ➤ Akteure der Wasserstoffwirtschaft durch Standortgestaltung in Ostdeutschland anziehen und am Standort halten (z.B. über emissionsarme / -freie Gewerbegebiete) / Ausschreibung von Machbarkeits- und Umsetzungsstudien für einschlägige Standortgestaltungen, bspw. nachhaltiges Industriegebiet, nachhaltiger Flughafen, u.a. ➤ Vermarktung der Möglichkeit zur emissionsfreien Produktion durch Sensibilisierung für und Veröffentlichung geeigneter Standorte 	<p>Wirtschaftsförderungsagenturen Landesenergieagenturen Investitionsbanken</p>	<p>Q3 2021</p>
<p>KMU zur Teilnahme an Bundesförderung befähigen</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Geeignete Landesforschungsförderung etablieren / weiterführen, um KMU für eine Beteiligung an Bundesprogrammen vorzubereiten ➤ Internationalisierungsförderung integrieren, um Wettbewerbsfähigkeit über den Markt Ostdeutschland hinaus zu sichern (z.B. Unterstützung der Präsenz auf Auslandsmessen für KMU der Wasserstoffwirtschaft) ➤ Länderübergreifende Kooperationen zwischen KMU und Forschungseinrichtungen unterstützen / Zusammenführen geeigneter Kooperationspartner durch länderübergreifende (themenbezogene) Veranstaltungen ➤ Weitere Fördermittel für KMU bereitstellen, einschl. (niedrigschwelliger) Angebote wie Innovations- oder Beratungsgutscheine ➤ Begleitende Services und Fördermittelhilfe einrichten, um KMU die Antragsstellung zu erleichtern 	<p>Landesförderinstitute/ Förderbanken Cluster/ Netzwerke</p>	<p>Q4 2021</p>

<p>Weiterentwicklung der Förderprogramme hinsichtlich Wasserstoffrelevanz</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Übersicht aller Förderprogramme für Wasserstoffprojekte erstellen, verfügbar machen und jährlich aktualisieren, Synergien der einzelnen Programme aufzeigen ➤ Lessons learned zur Anwendbarkeit der Förderprogramme organisieren ➤ Überarbeitung / Optimierung der Förderprogramme aktiv gestalten 	<p>Landesenergieagenturen Stakeholder-Gremium "Wasserstoffagentur Ostdeutschland"</p>	<p>Q4 2021</p>
<p>Bildung und Qualifizierung an neue Anforderungen der Wasserstoffwirtschaft anpassen</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Qualifizierungsprogramme für KMU frühzeitig entwickeln ➤ Enge Verknüpfung von angewandter Forschung und Ausbildungseinrichtungen schaffen und Kompetenzprofile aufzeigen ➤ Länderübergreifende Professuren schaffen ➤ Wasserstoffthematik in bestehende Studiengänge integrieren ➤ Synergien der einzelnen (Aus-)Bildungsprogramme aufzeigen (einschl. Schwerpunkte der einzelnen Länder) ➤ Bedarfe der Wasserstoffwirtschaft bei Fachkräfteaus-/ Fortbildung berücksichtigen ➤ Bestandsaufnahme der Bildungsprogramme erstellen und für breites Publikum zur Verfügung stellen ➤ Weiterbildung für Genehmigungsbehörden konzipieren, länderübergreifend vereinheitlichen und einführen ➤ Umschulungsangebote für Fachkräfte aus technischen, ingenieursrelevanten Bereichen, Handwerk usw. konzipieren und umsetzen (auch im Hinblick auf hochqualifizierte Fachkräfte und die strukturwandelbedingte Notwendigkeit zur Umorientierung) 	<p>Kulturministerien, Hochschulen, Verbände, Kammern, Ausbildungseinrichtungen Cluster Bildungsträger</p>	
<p>Genehmigungs- und Zulassungsverfahren für H₂-Anlagen vereinfachen und kommunizieren</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Erfahrungsaustausch über Genehmigungsverfahren für H₂-Anlagen organisieren / Gemeinsame Veranstaltung der Genehmigungsbehörden, Verbände und Marktakteure ➤ Klarheit zu den durchzuführenden Verfahren, Verfahrensdauer und Öffentlichkeitsbeteiligung schaffen ➤ Optimierungspunkte identifizieren und Änderungsvorschläge erarbeiten ➤ Genehmigungsvoraussetzungen transparent machen, etwa durch veröffentlichtes Standardprüfungsverfahren und Antragshandbuch 	<p>Kommunen/ Landkreise Genehmigungsbehörden Landesenergieagenturen</p>	<p>Q4 2021</p>

<p>Grünen Wasserstoff in öffentliche Beschaffung integrieren</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Anpassung der Beschaffungsrichtlinien bzw. der technischen Kriterien bei Ausschreibungen für die öffentliche Beschaffung (und Kooperationen in der öffentlichen Beschaffung), beispielsweise für Busse, Kommunalfahrzeuge sowie den CO2-freien Betrieb (kommunaler) Fuhrparks (Umsetzung der Clean Vehicles Directive) ➤ Gemeinsame Beschaffung vorantreiben / Organisation einer gemeinsamen Veranstaltung zur Absprache und ggf. verbindlichen Beschlussfassung der gemeinsamen Beschaffung ➤ Aufnahme von Mindestquoten sauberer Fahrzeuge, inklusive Wasserstoff-Fahrzeuge, in Ausschreibungen und Vergaberichtlinien in Umsetzung der Clean Vehicles Directive ➤ Fördermöglichkeit für die Mehrkosten bei der Beschaffung von Wasserstoff-Fahrzeugen im Vergleich zu Elektro-Fahrzeugen prüfen und ggf. umsetzen ➤ Leuchtturmprojekte über Transport- und Verteilnetz entwickeln (z.B. Logistik in der Ernährungswirtschaft) ➤ Energieerzeugung und -nutzung auf kommunaler Ebene entwickeln (z.B. Berlin Marzahn, SW Leipzig) 	<p>Ressorts (Wirtschaft, Innen, Infrastruktur, Mobilität) Kommunen Energiedienstleister, Stadtwerke</p>	<p>Q3 2021</p>
<p>Zubau von EE-Erzeugungskapazitäten gewährleisten</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Zeitlich gestaffeltes H2-Bedarfsmengengerüst erstellen ➤ Erneuerbare Stromerzeugungskapazitäten ableiten und Ausbaupfade erhöhen durch geschlossene Einflussnahme auf Bund und Festlegung von Vorrang- und Eignungsflächen in der Bauleitplanung ➤ Repowering und Weiterbetrieb von EE-Anlagen nach Ablauf der EEG-Förderung ermöglichen, etwa durch gesonderte Berücksichtigung in der Landesplanung von Vorrang- und Eignungsgebieten ➤ Gap-Analyse Bedarf H2 und EE-Kapazitäten (inkl. Zubau), Ableitung der notwendigen Importmengen ➤ Meldung der ermittelten Wasserstoff-Importmengen an Bund ➤ Dimensionierung und Verlauf der Importstrukturen bestimmen 	<p>Ressorts (Energie, Infrastruktur) Regionalplanung der Gemeinden und Landesplanungsbehörden</p>	<p>Q4 2021</p>

Tabelle 13: Übergreifende Handlungsempfehlungen

6.2 Fallstudienspezifische Handlungsempfehlungen

6.2.1 Fallstudie Verkehr

In der folgenden Tabelle wurden Handlungsempfehlungen für den Einsatz von Wasserstoff im Verkehr formuliert.

Handlungsempfehlungen	Verantwortlich	Wann
Beauftragung einer Detailstudie zu Wasserstoff-Nachfragemengen im Verkehrssektor unter regionaler Aufschlüsselung. Zudem Ermittlung des regionalen Bedarfs an zu beschaffenden Bussen, Zügen, LKW etc. sowie daraus ableitbarer Dimensionierung und Verteilung der Tankstelleninfrastruktur	Auftrag durch "Wasserstoffagentur Ostdeutschland"	Q4 2021
Pilotvorhaben zu BZ-LKW, inklusive wissenschaftlicher Begleitforschung, initiieren und Fördermöglichkeit prüfen. Demoflotte mit 2-3 Logistikunternehmen, 20 bis 50 BZ-Lkw sowie 2-3 Wasserstoff-Tankstellen.	Treiber z.B. Fraunhofer, VDA, Unternehmen, „Wasserstoffagentur Ostdeutschland“	Initiieren Q3 2021, Start Pilotvorhaben Q1 2022
Ausdehnung des Pilotvorhabens über BZ-LKW auf andere Mobilitätsbereiche (Bahn, Bus, Schiffe, Flugzeuge) anstoßen sowie potentielle Akteure ansprechen und Fördermöglichkeit prüfen.	Treiber z.B. Fraunhofer, VDA, Unternehmen, „Wasserstoffagentur Ostdeutschland“	Q4 2021
Weitere Flottenversuche aufbauen und koordiniertes Bewerben über die NBL hinweg um Bundesfördermittel.	Initiierung "Wasserstoffagentur Ostdeutschland", Landesenergieagenturen	Q1 2022
Beschaffungsrichtlinien für Fahrzeuge in landeseigenen Flotten überarbeiten. (Umsetzung der Clean Vehicle Directive und damit Aufnahme von Mindestquoten für saubere Fahrzeuge, inklusive Wasserstoff-Fahrzeuge.	Landesregierungen Ressorts (Verkehr/Infrastruktur)	Q4 2021
Gemeinsame, länderübergreifende Anschaffung von Wasserstoff-Fahrzeugen (z.B. für Wasserstoff-Busse) prüfen und umsetzen Entweder gemeinsame Beschaffung durch zentrale Beschaffungsstellen oder gelegentliche gemeinsame Auftragsvergabe	Landesregierungen Ressorts (Verkehr/Infrastruktur)	Q3 2021
Einrichtung eines gemeinsamen Förderprogramms für Anschaffung kommunaler Wasserstoff-Fahrzeuge prüfen.	Landesregierungen Ressorts (Wirtschaft, Verkehr, Innen, Infrastruktur)	
Ansiedlung von Unternehmen der Fahrzeugintegration und der Tankstelleninfrastruktur (Fokus LKW-Tankstellen) durch einschlägige Förderprogramme und transparente Infrastrukturplanung	Regionalplaner "Wasserstoffagentur Ostdeutschland"	
Anreize für innereuropäischen Flugverkehr schaffen, auf den ostdeutschen Flughäfen grüne Kraftstoffe zu tanken. Machbarkeitsstudien und vergleichbare Forschungsvorhaben zum nachhaltigen Fliegen, Produktion von PtF bzw. PtL / Flughafen der Zukunft ausschreiben und fördern	Einfluss Länder auf Bund, EU Ressorts (Wirtschaft) "Wasserstoffagentur Ostdeutschland"	
Gemeinsame Einflussnahme der Länder auf Bundespolitik: Geringere Maut/Mautbefreiung als Anreiz für Speditionen zum Einsatz von Wasserstoff-Fahrzeugen	Ressort Verkehr	

Tabelle 14: Spezifische Handlungsempfehlungen Mobilität

6.2.2 Fallstudie Industrie

Folgende Handlungsempfehlungen lassen sich für den Einsatz von Wasserstoff in der Industrie formulieren:

Handlungsempfehlungen	Verantwortlich	Wann
Zur Deckung der zukünftig hohen Wasserstoffbedarfe in der Industrie sollte eine Studie beauftragt werden, welche das Verfahren der Pyrolyse im Vergleich zu den weiteren Herstellungsverfahren mit den Methoden des Life cycle assessments sowie mittels einer Wirtschaftlichkeitsbewertung bewertet. Auf dieser Basis kann eine technologische Roadmap für die Wasserstofferzeugung erstellt werden.	"Wasserstoffagentur Ostdeutschland"	Bis Ende 2021
Etablierung eines runden Tisches zur Abstimmung von gemeinsamen strategischen Initiativen auf Basis der Roadmaps der einzelnen Sektoren (Chemie, Energie, Mobilität, etc.) In diesem Kreis werden u.a. die zukünftigen Bedarfe z.B. für die chemische Industrie abgestimmt.	"Wasserstoffagentur Ostdeutschland"	Ab Q3 2021
Länderübergreifende Nutzung der Forschungskompetenzen in den ostdeutschen Ländern durch eine abgestimmte Einrichtung von Forschungs- und Entwicklungszentren unterstützen. Organisation einer Veranstaltung, um die Forschungs- und Entwicklungszentren zusammenzuführen.	Landesregierungen zusammen mit den Branchenverbänden	Bis Ende 2021
Finanzielle Unterstützung zum Aufbau von Produktionskapazitäten und Personal, Pilotfertigung, vor allem in Strukturschwachen Gebieten (insbesondere im Bereich der Elektrolyse) anbieten	Treiber: Industrieunternehmen, Verbände und Ressorts (Wirtschaft, Energie)	sofort
Umschulungs- und Weiterbildungsprogramme für Mitarbeiter aus Branchen, in denen in Ost-D ein Stellenabbau erfolgen wird (z.B. werden die Techniker und Facharbeiter sowie Ingenieure (u.a. Qualitäts-Ing.) beim Auf- und Ausbau der Produktionskapazitäten für Elektrolyseure dringend benötigt) organisieren und fördern. Schaffung einer gemeinsamen Plattform für Weiterbildungsprogramme bzw. Vermittlung dieser.	Treiber: Industrieunternehmen, Verbände und Ressorts (Wirtschaft, Energie)	sofort
Aufbau von Demonstrationsanlagen zur Herstellung von e-Kerosin unter Nutzung von CO ₂ aus der Luft und H ₂ O unter Beteiligung der ostdeutschen Industrieunternehmen (Anlagenbau, Elektrolyse, etc.). Einsatz des e-Kerosins an den Flughäfen Berlin, Leipzig, Rostock und Dresden. Ausschreibung zur Umsetzung entsprechender Demonstrationsvorhaben. Organisation einer Veranstaltung um Forschung, Industrie und Luftfahrunternehmen zusammenzubringen, mit dem Ziel einer gemeinsamen Strategie und ggf. Vereinbarung über Abnahme und Einsatz von e-Kerosin. Weitere große Demonstrationsvorhaben mit Leuchtturmcharakter sind zu definieren.	Treiber: Industrieunternehmen, Flughafenbetreiber, Luftfahrtunternehmen (DHL, Lufthansa), Verbände und Ressorts (Wirtschaft, Energie, Infrastruktur)	sofort

Tabelle 15: Spezifische Handlungsempfehlungen Industrie

6.2.3 Fallstudie Energieversorgung

Die Handlungsempfehlungen im Bereich der Nutzung von Wasserstoff für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen und die Strom- und Wärmeerzeugung können folgendermaßen zusammengefasst werden:

Handlungsempfehlungen	Verantwortlich	Wann
Verzahnung bestehender Infrastrukturen und des energie- und rohstofftechnischen Know-Hows sowie den Wasserstoffnutzungspotentialen. Organisation einer Veranstaltung, um Akteure und Verbände zusammenzuführen. Entwicklung einer gemeinsamen Strategie und eines gemeinsamen Verständnisses über die Verzahnung der Infrastrukturen im Rahmen der Veranstaltung.	Energiewirtschaft und jeweilige Ressorts der Länder (Wirtschaft, Energie, Infrastruktur) Unter Beteiligung der Verbände (BDEW, VKU, u.a.)	Ab 2021
Nicht direkt genutzter Wasserstoff wird in bestehenden Unterspeichern gelagert. Hierfür sollten Studien zur Eignung von ostdeutschen Kavernenstandorten zur Wasserstoffspeicherung beauftragt werden. Gleichzeitig sollten Studien zur Speicherung von Wasserstoff in Form von Wasserstoffträgern beauftragt werden (LOHC, Ammoniak, etc.)	Ressorts (Energie, Wirtschaft, Infrastruktur) "Wasserstoffagentur Ostdeutschland"	Ab 2021
Die Nutzung der Abwärme aus der Elektrolyse als Fernwärme ist elementarer Bestandteil erfolgreicher Umsetzungsprojekte. Es wäre zu prüfen, ob dies als Bedingung zur Erlangung der Baugenehmigung (Schwellwert am Wärmeertrag) definiert werden kann oder sollte. Organisation einer Veranstaltung durch Landesenergieagenturen und Ressorts (Wirtschaft, Energie), um (mit Marktakteuren und Verbänden) gemeinsame Strategie zur Nutzung der Abwärme zu entwickeln.	Energiewirtschaft insb. Stadtwerke Ressorts (Wirtschaft, Energie) Landesenergieagenturen	Ab 2021
Neues Rollenverständnis des Gasversorgers hin zum integrierten „Netzmanager“ von sektorgekoppelten Infrastrukturen und möglicherweise auch zum Wärmeversorger auf Basis der anfallenden Abwärme. Für kleinere Versorger sollte eine Finanzierungsunterstützung von Transformationsberatungen angeboten werden. Organisation einer Veranstaltung durch Landesenergieagenturen und Ressorts (Wirtschaft, Energie, Infrastruktur), um mit Gasversorgern und Verbänden gemeinsames Rollenverständnis der Gasversorger zu diskutieren und Umsetzungsstrategie zu entwickeln. Beratung insb. für kleine Versorger einrichten.	Gasversorger Ressorts (Wirtschaft, Energie, Infrastruktur) Landesenergieagenturen	Ab 2021

<p>Die Transformation der Gastransportnetze zu Wasserstoffnetzen kann sich in vielen Fällen kostengünstiger erweisen als der Neubau/Ausbau der Stromnetze. Es sollten Pilotprojekte für die Transformation der Gastransport- und verteilnetze hin zu Wasserstoffnetzen bspw. im Rahmen von IPCEI-Vorhaben angestoßen werden. Eine Co-Finanzierung der Länder sollte durch entsprechende Haushaltsplanungen ermöglicht werden.</p> <p>Organisation einer Veranstaltung durch Landesenergieagenturen und Ressorts (Wirtschaft, Energie, Infrastruktur), um mit Gasversorgern und Verbänden Strategie zum Aufbau eines Wasserstoffnetzes zu entwickeln. Ausschreibung einschlägiger Machbarkeits- und Umsetzungsstudien für lokale, regionale und überregionale Wasserstoffnetze.</p>	<p>Bund und Ressorts der Länder (Wirtschaft, Energie, Infrastruktur)</p>	<p>Ab 2021</p>	<p>„Aktionsplan Wasserstoff“ – Vorschläge zur Umsetzung des Masterplans Ostdeutschland</p>
<p>Die Weiterentwicklung von Materialien und Sicherheitstechnik für Wasserstoff-Großtankanlagen wird sehr zentral für eine erfolgreiche Systemintegration von Wasserstoff sein. Hier sollte auf den vorhandenen Kompetenzen der ostdeutschen Bundesländer aufgebaut werden. Standards sollten konsolidiert und transparent zugänglich gemacht werden. Forschungsvorhaben und Demonstrationsvorhaben zur Prüfung und Umsetzung der Standards könnten ausgeschrieben werden.</p>	<p>Forschungsressorts der Länder</p>	<p>Ab 2021</p>	
<p>Es sollten die Vorschriften bzw. die Anreize für H₂-Readiness bei Neuinvestitionen in KWK-Anlagen geprüft und Ergebnisse von relevanten Studien des BMWi zur Transformation der Energieversorgung bzgl. der spezifischen Implikationen für die ostdeutschen Länder aufbereitet werden. Finanzielle Anreize für die konkrete H₂-Readiness bei KWK (auch BHKW) sollten geprüft werden (bspw. Fuel Switch Stadt Leipzig).</p>	<p>Ressorts (Wirtschaft, Energie)</p>	<p>Ab 2021</p>	

Tabelle 16: Spezifische Handlungsempfehlungen Energie

Anhang

Wasserstoffmarkt – Status quo

Derzeit wird ein Großteil des Wasserstoffs in Raffinerien sowie in der Ammoniaksynthese für die Massenproduktion von Kraftstoffen und chemischen Grundstoffen benötigt. Des Weiteren werden große Mengen an grauem Wasserstoff für die Methanolsynthese oder die Fischer-Tropsch-Synthese eingesetzt. Die Herstellung findet über Dampfreformierung in sehr großen Anlagen statt. Dabei wird nahezu die Gesamtmenge des erzeugten Wasserstoffs direkt vor Ort genutzt und nicht auf dem Markt gehandelt. Ein bereits etablierter Pfad zur Herstellung von Wasserstoff unter Einsatz elektrischer Energie ist die Chlor-Alkali-Elektrolyse, bei der Wasserstoff als Nebenprodukt anfällt und zum Teil auf den Markt gebracht wird. Deren Anteil an der gesamten Wasserstoffproduktion liegt allerdings lediglich bei unter zwei Prozent (Vgl. Abb. 23).

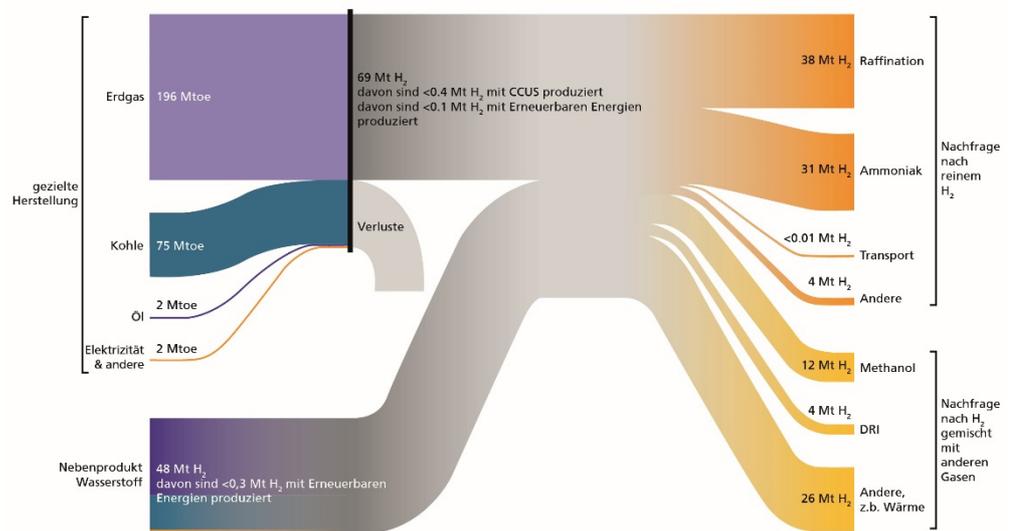


Abbildung 23: Wasserstoffherzeugung und -anwendungen weltweit (eigene Darstellung basierend auf IEA)⁵⁸

Auf Grund der steigenden Bedeutung von Wasserstoff bei der Sektorenkopplung wird von einem stark wachsenden Markt für grünen Wasserstoff ausgegangen. Um einen nachhaltigen Aufbau eines Markts für grünen Wasserstoff zu gewährleisten, müssen die Herstellungskosten sinken. Dies kann gelingen, wenn die Effizienz und Langzeitstabilität der angewendeten Elektrolyseprozesse weiter gesteigert wird und geeignete Rahmenbedingungen gesetzt werden. Darüber hinaus ist es erforderlich, eine bedarfsgerechte Wasserstoffinfrastruktur aufzubauen.

⁵⁸ IEA (2019): The Future of Hydrogen, Seizing today's opportunities. Final Report. International Energy Agency, Juni 2019. Web-Link: <https://webstore.iea.org/the-future-of-hydrogen>

Entwicklung der Wasserstoffnachfrage bis 2030

Bei ambitionierten Klimazielen können grüner Wasserstoff und dessen Syntheseprodukte bei der Realisierung der Treibhausgasneutralität besonders im Verkehr und der Industrie, aber auch in anderen Anwendungsfeldern eine wichtige Rolle einnehmen. Für Deutschland wird in ambitionierten Klimaschutzszenarien je nach Studie und Szenario ein Bedarf nur an synthetischen Brenn- und Kraftstoffen im Jahre 2050 von 530 TWh bis 910 TWh erwartet⁵⁹ (Zum Vergleich: Im Jahr 2018 betrug die gesamte Stromnachfrage in Deutschland 560 TWh und der gesamte Endenergieverbrauch 2.500 TWh.)

Für das Jahr 2030 erwartet die Bundesregierung auf Basis der nationalen Wasserstoffstrategie⁶⁰ einen Wasserstoffbedarf von ca. 90 bis 110 TWh. Um einen Teil dieses Bedarfs zu decken, sollen bis zum Jahr 2030 in Deutschland Erzeugungsanlagen von bis zu 5 GW Gesamtleistung einschließlich der dafür erforderlichen Offshore- und Onshore-Energiegewinnung entstehen. Das entspricht einer grünen Wasserstoffproduktion von bis zu 14 TWh und einer benötigten erneuerbaren Strommenge von bis zu 20 TWh. Dies zeigt, welche Anstrengungen in diesem Bereich künftig notwendig werden, aber auch welche Potenziale für Investitionen und wirtschaftliche Impulse im Rahmen des Strukturwandels sich hier bieten.

Die Entwicklung der Wasserstoffnachfrage unterliegt einigen Unsicherheiten wie der anstehenden Förderung, die in den ersten Jahren notwendig sein wird, und technologischen Weiterentwicklungen bei Wasserstofftechnologien sowie Konkurrenztechnologien, insbesondere der Nutzung der direkten Elektrifizierung. Im Folgenden werden eher optimistische Annahmen zur potenziellen Marktentwicklung von Wasserstoff getroffen.

Methodik zur Ermittlung der Wasserstoffnachfrage

Industrienachfrage

Bei der Identifizierung der Wasserstoffpotenziale der Industrie liegt der Fokus auf den Prozessen der **energieintensiven** Industriebranchen. Wie in Abbildung 24 dargestellt, muss die Verwendung von Wasserstoff in der Industrie grundsätzlich differenziert betrachtet werden. Zum einen spielt die stoffliche Nutzung von Wasserstoff als Rohstoff (Feedstock) bereits heute in Raffinerien (Rohölveredelung, Methanolproduktion) und in der Chemieindustrie (Ammoniak, Methanol) eine bedeutende Rolle. Eine weitere großtechnische Möglichkeit bietet sich in der Zukunft in der Stahlproduktion über die Direktreduktion mit Wasserstoff. Zum anderen ist der energetische Einsatz zur Erzeugung von Prozesswärme in verschiedenen Industriebranchen für eine Umstellung auf eine CO₂-neutrale Produktion eine Zukunftsoption. Bei den energieintensiven Industrien in Ostdeutschland liegt der Fokus klar auf den Industriezweigen Papier (Dampferzeugung), Glas (Schmelze) und Zement (Klinker).

⁵⁹ Siehe BDI (2018): Klimapfade für Deutschland. Studie im Auftrag des BDI, durchgeführt von BCG und Prognos. Berlin: BCG; Dena (2018): dena-Leitstudie – Integrierte Energiewende. Deutsche Energie-Agentur: Berlin; Hebling et al. 2019: Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland, Fraunhofer, Karlsruhe und Freiburg, Okt. 2019

⁶⁰ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Nationale Wasserstoffstrategie, S. 5

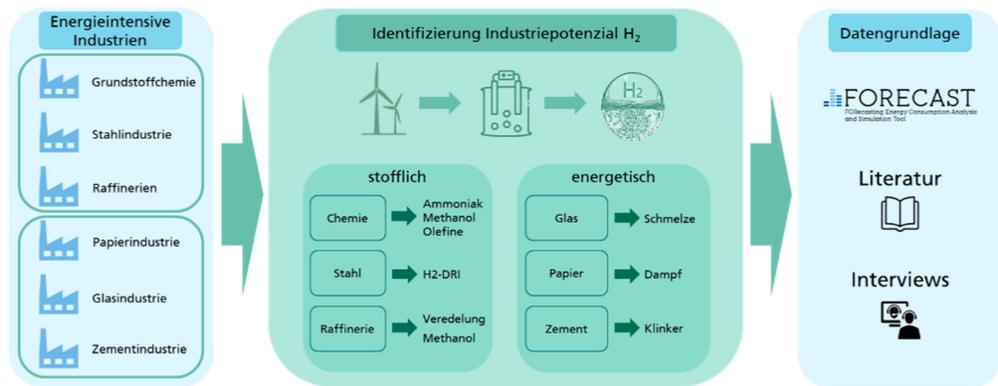


Abbildung 24: Identifizierung der Wasserstoffpotenziale in den energieintensiven Industriebranchen der ostdeutschen Bundesländer

Als Grundlage der hier erzeugten Werte zur Wasserstoffnachfrage wurden umfassende Daten und Kenntnisse aus dem Simulationsmodell für Energienachfrageanalysen und -projektionen **FORECAST** (www.forecast-model.eu) des Fraunhofer ISI sowie aus weitreichenden Literaturrecherchen und Experteninterviews herangezogen.

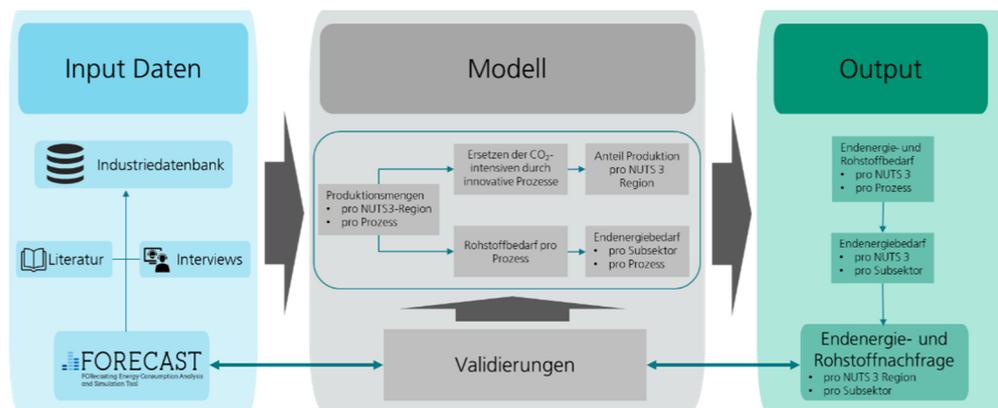


Abbildung 25: Schematische Darstellung der Modellrechnungen und Informationsflüsse für die Entstehung der detaillierten Ergebnisse der Wasserstoffnachfrage der Industrie in Ostdeutschland

Abbildung 25 zeigt die schematische Darstellung der Methodik und des Vorgehens der Berechnungen zur Entstehung der detaillierten Ergebnisse für die Industrie. Die systematischen Berechnungen auf Basis der Datengrundlage und die entsprechenden Validierungen führen zu stofflicher und energetischer Wasserstoffnachfrage auf NUTS3-Ebene und pro Subsektor. Dabei erfolgt die genaue Berücksichtigung der in den Bundesländern und Regionen ansässigen Industrien die Ergebnisdarstellung wie in Abbildung 26 dargestellt.

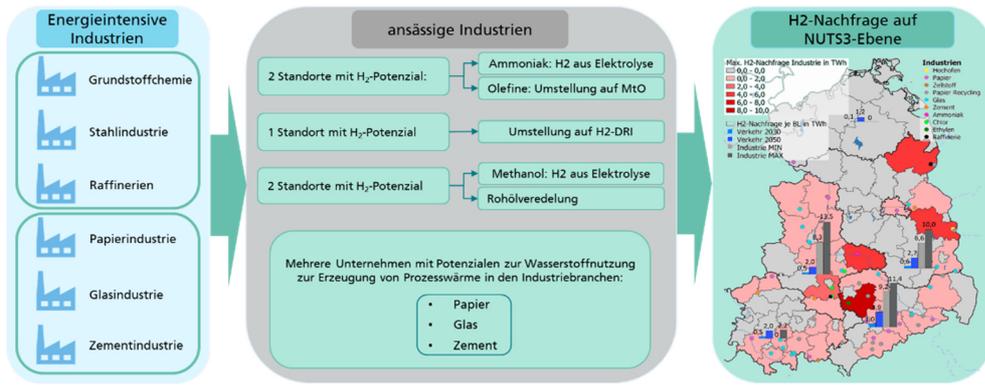


Abbildung 26: Methodische Berücksichtigung standortspezifischer Daten und Darstellung der Ergebnisse auf hohem Detailgrad (NUTS3) inklusive Abschätzungen zu minimalen und maximalen Nachfragepotenzialen

Tabelle 17 zeigt die Ergebnisse der Ermittlung der Wasserstoffpotenziale auf Bundesland- und Landkreisebene in Terawattstunden unterschieden nach energetischem und stofflichem Potenzial.

Landkreis	NUTS3_ID	H ₂ -Potential in TWh
Energetisches Potenzial		
Berlin	DE300	0,02
Brandenburg	DE4	3,40
Märkisch-Oderland	DE409	0,66
Oder-Spree	DE40C	0,65
Spree-Neiße	DE40G	0,50
Uckermark	DE40I	1,59
Sachsen	DED	2,12
Bautzen	DED2C	0,09
Sächsische Schweiz-Osterzgebirge	DED2F	0,18
Erzgebirgskreis	DED42	0,10
Mittelsachsen	DED43	0,47
Leipzig	DED52	0,17
Nordsachsen	DED53	1,10
Sachsen-Anhalt	DEE	5,28
Altmarkkreis Salzwedel	DEE04	0,13
Anhalt-Bitterfeld	DEE05	0,44
Jerichower Land	DEE06	0,32

Börde	DEE07	1,77
Burgenlandkreis	DEE08	0,38
Saalekreis	DEE0B	0,18
Salzlandkreis	DEEOC	0,32
Stendal	DEEOD	1,75
Thüringen	DEG	2,22
Eichsfeld	DEG06	0,26
Nordhausen	DEG07	0,01
Schmalkalden-Meiningen	DEG0B	0,18
Hildburghausen	DEG0E	0,07
Ilm-Kreis	DEG0F	0,13
Sonneberg	DEG0H	0,12
Saalfeld-Rudolstadt	DEG0I	0,51
Saale-Holzland-Kreis	DEG0J	0,02
Saale-Orla-Kreis	DEG0K	0,87
Greiz	DEG0L	0,05
Stoffliches Potenzial		
Brandenburg	DE4	6,50
Oder-Spree	DE40C	3,95
Uckermark	DE40I	2,54
Sachsen	DED	9,24
Leipzig	DED52	9,24
Sachsen-Anhalt	DEE	8,25
Saalekreis	DEEOB	2,67
Wittenberg	DEEOE	5,57

Tabelle 17: Wasserstoffpotenzial der energieintensiven Industrien nach Landkreisebene (NUTS3) in TWh

Verkehrsnachfrage

Bei der Berechnung der Wasserstoffpotenziale im Verkehr wurde ein großer Wert auf die Modellierung der Wasserstoffnachfrage im schweren Güterverkehr gelegt, weil dieser Anwendungsbereich erst in der letzten Zeit stark in den Fokus gerückt ist und hier Szenarien, speziell räumlich aufgelöst nach Bundesländern, weitgehend fehlen.

Für die Modellierung eines Tankstellennetzwerks für BZ-Lkw eignet sich ein kapazitätsbeschränktes Fluss-Tankstellen-Verortungsmodell (engl. Node-Capacity Flow

Refueling Location Model, NC-FRLM)⁶¹. Hierbei werden Tankstellen für bestehende Verkehrsflüsse ermittelt, die in das Modell eingespeist werden. Die Besonderheit ist die Kapazitätsbeschränkung der Tankstellen, da für Wasserstoff entsprechende Vorschriften gelten. Da Nutzfahrzeuge naturgemäß eine größere Energienachfrage pro Tankvorgang haben, wirkt sich die Größenbeschränkung auf die benötigte Anzahl an Tankstellen aus. Mithilfe von Quelle-Ziel-Matrizen aus der Mobilitätsstudie „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010“ und Annahmen zu BZ-Lkw-Tankstellen kann damit ein optimales Tankstellennetzwerk ermittelt werden.

Wichtige Annahmen stellen dabei die Reichweitenanforderungen von Lkw-Nutzern dar, insbesondere im Fernverkehr für schwere Lkw. Hier zeigte sich in einer Interviewstudie mit 63 Nutzern⁶², dass die notwendige Reichweitenanforderung für Lkw bei rund 800 km liegt. Außerdem wurde die Infrastruktur als sehr wichtig empfunden und es konnten mittlere akzeptierte Tankdauern von 15 Minuten und eine Tank-Umwegebereitschaft von 20 km ermittelt werden. Diese Anforderungen sind für das Modell relevante Eingangsdaten.

Des Weiteren sind die Eigenschaften unterschiedlich großer Tankstellen zu definieren, die in die Modellierung eingehen (vgl. Tabelle 18). So können sechs Tankstellengrößen (von sehr klein – XS – bis sehr groß – XXL) definiert werden.

Während die XS-Tankstellen nur etwa 19 Lkw/Tag befüllen können, sind es bei sehr großen XXL-Tankstellen bis zu 600 Lkw/Tag. Hier sind auch bis zu 16 Zapfsäulen vorgesehen und entsprechende Verdichter und Tankanlagen. Die Investitionen reichen von rund 2 Mio. Euro für die XS-Tankstelle bis zu 55 Mio. Euro für die XXL-Variante.⁶³ Zum Vergleich mit HRS für Pkw: Diese haben als kleine Tankstellen eine mittlere Kapazität von 168 kg H₂/Tag und sind als große Tankstellen auf 800 bis 2.200 kg H₂/Tag ausgelegt (siehe e-mobil BW 2013).

In der folgenden Tabelle 18 sind die technischen und ökonomischen Daten zu den Wasserstofftankstellen angegeben. Es ist zu sehen, dass die Wasserstoffnachfrage in den einzelnen Tankorten sowie die Investitionen hoch sind. Hieraus lässt sich ein interessanter Anwendungsfall ableiten.

⁶¹ Siehe auch Rose, P. (2020): Modeling a potential hydrogen refueling station network for fuel cell heavy-duty vehicles in Germany in 2050. Dissertation am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Mai 2020 sowie Wietschel, M.; Rose, P.; Gnann, T. (2020). Wie könnte ein Tankstellenaufbau für Brennstoffzellen-Lkw in Deutschland aussehen? ISI-Working Paper Sustainability and Innovation No. S 09/2020

⁶² Siehe Rose, P. (2020): Modeling a potential hydrogen refueling station network for fuel cell heavy-duty vehicles in Germany in 2050. Dissertation am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Parameter	Einheit	XS	S	M	L	XL	XXL
Fahrzeuge	Lkw/Tag	19	31	75	150	300	600
H ₂ -Nachfrage	kg H ₂ /Tag	938	1.875	3.750	7.500	15.000	30.000
Anzahl Auslässe	#	1	2	2	4	8	16
Kapazität Niedrigdrucktank	kg H ₂	938	1.875	3.750	7.500	15.000	30.000
Kapazität Hochdrucktank	kg H ₂	114	228	455	900	1.821	3.642
Verdichter	kg H ₂ /h	114	228	455	900	1.821	3.642
Fläche	m ²	290	565	1.190	2.725	6.330	13.470
Investitionen	T€	2.133	3.742	7.154	14.303	27.885	55.265

Tabelle 18: Techno-ökonomische Eckdaten für Wasserstofftankstellen im Jahr 2050⁶⁴

Für die Berechnung der Wasserstoffnachfrage durch PKW mit der Aufteilung auf die einzelnen Bundesländer wurde auf Modellierungsaktivitäten und Ergebnisse mit dem Modell ALADIN zurückgegriffen. Es handelt sich dabei um ein agentenbasiertes Simulationsmodell, das die Kaufentscheidung einzelner Individuen unter gegebenen Rahmenbedingungen abbildet. Die Kaufentscheidung wird, basierend auf realen Fahrprofilen und daraus resultierenden Anforderungen, simuliert. Für jedes Fahrprofil wird die nutzenmaximierende Antriebstechnologie ausgewählt. Anschließend werden die individuellen Kaufentscheidungen in einem Bestandsmodell zusammengeführt. Weiterführende Informationen zur Modellierung, Referenzprojekten und Publikationen finden sich unter www.aladin-model.eu.

Die Wasserstoffnachfrage in den anderen Mobilitätsanwendungen wurde auf der Basis der Auswertung von Studien sowie eigener Annahmen durchgeführt.

⁶⁴ Quelle: eigene Annahmen basierend auf (Elgowainy, A.; Reddi, K. (2017): Heavy-Duty Refueling Station Analysis Model (HRSAM). <https://hdsam.es.anl.gov/index.php?content=hdsam>, accessed 16 September 2019.)