



LAND
BRANDENBURG

Ministerium für Wirtschaft,
Arbeit und Energie

Maßnahmenkonkrete Strategie für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft im Land Brandenburg

Stand: November 2021



Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	6
2.	Motivation und Potenziale	9
2.1	Warum Wasserstoff	9
2.2	Akteurinnen und Akteure in Brandenburg und der Hauptstadtregion	10
2.3	Allgemeine Maßnahmen	12
3.	Handlungsfeld Herstellung von Wasserstoff	13
3.1	Stand und aktuelle Aktivitäten	13
3.2	Potenziale und Herausforderungen	15
3.3	Maßnahmen	16
4.	Handlungsfeld Industrielle Nutzung von Wasserstoff	19
4.1	Stand und aktuelle Aktivitäten	19
4.2	Potenziale und Herausforderungen	21
4.3	Maßnahmen	22
5.	Handlungsfeld Mobilitätsanwendungen	24
5.1	Stand und aktuelle Aktivitäten	24
5.2	Potenziale und Herausforderungen	27
5.3	Maßnahmen	28
6.	Handlungsfeld Nutzung von Wasserstoff in der Wärmeproduktion für den Gebäudesektor	32
6.1	Stand und aktuelle Aktivitäten	32
6.2	Potenziale und Herausforderungen	34
6.3	Maßnahmen	35
7.	Handlungsfeld Stromerzeugung	37
7.1	Stand und aktuelle Aktivitäten	37
7.2	Potenziale und Herausforderungen	38
7.3	Maßnahmen	39
8.	Handlungsfeld Transport, Infrastruktur und Speicherung von Wasserstoff	40
8.1	Stand und aktuelle Aktivitäten	40
8.2	Potenziale und Herausforderungen	41
8.3	Maßnahmen	43
9.	Handlungsfeld Förderung und weitere Rahmenbedingungen	46
9.1	Stand und aktuelle Aktivitäten	46
9.2	Potenziale und Herausforderungen	47
9.3	Maßnahmen	48
10.	Weitere Handlungsfelder	51
10.1	Klimaschutz	51
10.2	Akzeptanz	53
10.3	Bildung und Forschung	55
10.4	Synergien, Zusammenarbeit und H ₂ -Marktplatz	58
11.	Ausblick – nächste Schritte	61
12.	Maßnahmenüberblick für eine Wasserstoffwirtschaft in Brandenburg und Berlin	63
13.	Quellenverzeichnis	67
14.	Anhang: Forschungseinrichtungen in Brandenburg und Berlin	I

Abkürzungsverzeichnis

AFID	Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe
B	Bund
BB	Brandenburg
BE	Berlin
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz, Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen
BEK 2030	Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030
BENE	Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung
BER	Flughafen Berlin Brandenburg „Willy Brandt“
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BZ	Brennstoffzelle
CCU	Carbon Capture und Utilization, CO ₂ -Abscheidung und Verwendung
CCS	Carbon Capture and Storage, CO ₂ -Abscheidung und Speicherung
CDA	Carbon Direct Avoidance, direkte Vermeidung von CO ₂ -Emissionen
CfD	Contracts for Difference, Differenzkontrakte
CO ₂	Kohlendioxid
COP 21	21st Conference of the Parties, UN-Klimakonferenz in Paris 2015
CVD	Clean Vehicles Directive
DARP	Deutscher Aufbau- und Resilienzplan
DRI	Direct Reduced Iron, Direktreduktion von Eisenerz
EAF	Electric Arc Furnace, Elektrolichtbogenofen
EBS	Ersatzbrennstoffanlage
EE	erneuerbare Energie(n)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz, Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien
EKS	Energie- und Klimaschutzatlas Brandenburg
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
EU ETS	European Union Emissions Trading System, EU-Emissionshandel
FENES	Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher, Regensburg
FuE	Forschung und Entwicklung
GuD-Kraftwerk	Gas-und-Dampf-Kombikraftwerk oder Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk
GVZ	Güterverteilzentrum
H ₂	Wasserstoff
IHK	Industrie- und Handelskammer
IPCEI	Important Projects of Common European Interest
K	Kommunen

KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
L	Land
Lkw	Lastkraftwagen
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik
MTBE	2-Methoxy-2-methylpropan, auch: Methyl-tert-butylether
Nfz	Nutzfahrzeuge
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PEM-Elektrolyseur	Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseur
Pkw	Personenkraftwagen
PtG	Power-to-Gas
PtL	Power-to-Liquid
PtX	Power-to-X
PV	Photovoltaik
RDE	Real Driving Emissions (Emissionen im praktischen Fahrbetrieb)
RLI	Reiner Lemoine Institut
THG	Treibhausgas
UM-AS	Mikrobiologische Untergrund-Methanisierung
W	Wirtschaft
WEA	Windenergieanlage(n)
WFBB	Wirtschaftsförderung Brandenburg
zGM	zulässige Gesamtmasse
ZIM	Förderprogramm für mittelständische Unternehmen und kooperierende wirtschaftsnahe Forschungseinrichtungen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stakeholderbeteiligung: Online-Umfrage	7
Abbildung 2: Wege der Wasserstoffherstellung aktuell und zukünftig.....	13
Abbildung 3: Herstellung von Wasserstoff.....	14
Abbildung 4: Wasserstoffnutzung, n=163, aktuelle und zukünftige Nutzung	19
Abbildung 5: Industrielle Nutzung: Gründe für den Einsatz von grünem Wasserstoff.....	20
Abbildung 6: Mobilität: Befragte, bei denen die Umstellung bestimmter Fahrzeugklassen auf alternative Antriebe in Planung ist, n=47.....	24
Abbildung 7: Optimistisches Szenario der H ₂ -Nachfragepotenziale im Verkehr 2030 (links) und 2050 (rechts) aus dem „H ₂ -Masterplan Ostdeutschland“ (9)	26
Abbildung 8: Mobilität: Anwendungspotenziale für Wasserstoff, n=55.....	27
Abbildung 9: Clean Vehicles Directive (23).....	29
Abbildung 10: Wärmesektor: Aktuelle und zukünftige Nutzung von Wasserstoff.....	32
Abbildung 11: Wärmesektor: Gründe für Einsatz von Wasserstoff.....	33
Abbildung 12: Stromerzeugung: Hemmnisse der Wasserstoffnutzung, n=33	38
Abbildung 13: Potenzial zur Umstellung von bestehenden Erdgasspeichern auf Wasserstoff	42
Abbildung 14: Förderinstrumente	48
Abbildung 15: Klimaraumtypen in Deutschland (46)	53
Abbildung 16: Wasserstoff-Forschungseinrichtungen in Brandenburg und Berlin	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: CO ₂ -Fußabdrücke unterschiedlicher „Wasserstofffarben“ (45)	52
Tabelle 2: Abschätzungen der H ₂ -Bedarfe Brandenburg 2040 [TWh]	60

1. Einleitung

Im Dezember 2020 haben sich die EU-Staats- und Regierungschefs darauf verständigt, das EU-Klimaziel anzupassen, um das Übereinkommen der UN-Klimakonferenz in Paris 2015 (COP 21) zu erreichen: Die EU-Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) sollen bis 2030 um mindestens 55 Prozent gegenüber 1990 sinken. Das Europäische Klimagesetz, das als Vorschlag vorliegt, schreibt das übergeordnete Ziel einer EU-weiten THG-Neutralität bis zum Jahr 2050 verbindlich fest. (1)

Mit dem 2019 beschlossenen Klimaschutzgesetz und dem im Juni 2021 beschlossenen Sofortprogramm für mehr Klimaschutz sowie mit dem ebenfalls im Juni 2021 beschlossenen Klimaschutzgesetz 2021 hat Deutschland seine nationalen Minderungsziele angepasst und damit zugleich das Bundesverfassungsgerichtsurteil zum Klimaschutzgesetz umgesetzt. Neue Klimaschutzziele für Deutschland sind die Klimaneutralität bis 2045, die THGE-Minderung um mindestens 65 Prozent bis 2030 und um 85 Prozent bis 2040 gegenüber 1990. Für 2031 bis 2040 werden im Klimaschutzgesetz 2021 jährliche Minderungsziele für die Sektoren festgeschrieben. Den Löwenanteil der zusätzlichen Minderung bis 2030 sollen die Energiewirtschaft und die Industrie erbringen. (2)

Bereits im Juli 2020 haben Bundestag und Bundesrat den Kohleausstieg verabschiedet. Gleichzeitig wurde beschlossen, die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (EE-Stromerzeugung) auszubauen und den Strukturwandel in den vom Kohleausstieg betroffenen Regionen zu unterstützen.

Das Energieland Brandenburg ist geprägt durch die historisch gewachsene Braunkohleindustrie – seit Jahren aber auch Vorreiter beim Ausbau der erneuerbaren Energien und aktiver Akteur der Energiewende. Schon früh war und ist das Land Brandenburg mit verschiedenen energiesystem-relevanten Herausforderungen konfrontiert und sieht in dem Element Wasserstoff großes Potenzial zur Unterstützung bei der Transformation des Energiesystems und der Reduzierung von CO₂-Emissionen. Die 2019 beauftragte „H₂-Industrie Potenzialstudie Brandenburg“ (6) zeigt zudem, dass Sektorenkopplung (Power-to-X-Technologien) und der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft auch enorme Chancen für Energieregionen in Form von zusätzlicher regionaler Wertschöpfung und Beschäftigung bieten kann – also genau das, was für eine erfolgreiche Strukturentwicklung nicht zuletzt in den Braunkohlerevieren dringend benötigt wird und wovon das ganze Land Brandenburg profitieren kann.

Daher hat sich Brandenburg bereits im Juni 2020 zusammen mit Sachsen und Sachsen-Anhalt mit dem **„Eckpunktepapier der ostdeutschen Kohleländer zur Entwicklung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft“** (4) bekannt. Das einheitliche Auftreten der Länder ist ein politisches Statement, wie sich eine grüne Wasserstoffwirtschaft positiv auf die Energiewende und auf die Strukturentwicklung in Energieregionen auswirken kann.

Zeitgleich zum „Eckpunktepapier“ wurde mit der Nationalen Wasserstoffstrategie (3) im Juni 2020 die Bedeutung von Wasserstoff als einen tragenden Baustein der Energiewende bestätigt und einen Rahmen für die künftige Erzeugung, Transport, Nutzung und Weiterverwendung von Wasserstoff gesetzt. Die Nationale Wasserstoffstrategie definiert H₂-Technologien als Kernelemente der Energiewende und Dekarbonisierung, sieht aber auch ein wachsendes industrie-politisches Potenzial.

Um dieses zukünftige Wertschöpfungspotenzial der Wasserstoffwirtschaft zu nutzen, im internationalen Wettbewerb konkurrenzfähig zu bleiben und Arbeitsplätze in der gesamten Region zu sichern sowie neue zu schaffen, wurden **im Eckpunktepapier die wesentlichen Bereiche/Handlungsfelder und ihre Entwicklungspotentiale identifiziert.**

Die konkrete Ausgestaltung dieser Entwicklungspotenziale haben sich die Bundesländer Brandenburg und Sachsen-Anhalt sowie der Freistaat Sachsen im Eckpunktepapier in Form einer jeweiligen Strategie auf Landesebene zur Aufgabe gemacht mit dem Ziel, die regionalen Bedingungen in den Blick zu nehmen und passgenaue Ansätze zu entwickeln. Zudem wurden in allen drei Bundesländern Stakeholder-Beteiligungsprozesse vorgesehen.

Ein öffentlicher Beteiligungsprozess im Rahmen der Erarbeitung einer Wasserstoffstrategie (H₂-Strategie) für das Land Brandenburg erscheint ohne die Betrachtung des Landes Berlin jedoch nur eingeschränkt zielführend. Berlin ist für Brandenburg bereits heute ein wichtiger Energiepartner – ein Sachverhalt, der im Zuge der Energiewende weiter an Bedeutung zunehmen wird.

Die Landesregierung Brandenburg und der Senat von Berlin haben deswegen am 20. April 2021 beschlossen, gemeinsam Potenziale der Wasserstoffnutzung für die Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg zu entwickeln. Dazu wurde ein gemeinsames Vorhaben im Rahmen des „Strategischen Gesamtrahmens Hauptstadtregion“ unter Federführung von MWAE und SenWiEnBe verabschiedet. Ziel war es, einen länderübergreifenden Stakeholderdialog zur Erstellung einer Wasserstoff-Roadmap für Brandenburg und die Hauptstadtregion zu initiieren und erste Potenziale auch für regionale Synergien zu identifizieren.

Aus diesem Grund hat das Reiner Lemoine Institut (RLI) im Auftrag von Brandenburg in enger Abstimmung mit Berlin im März 2021 eine umfassende öffentliche Online-Umfrage zum Thema Wasserstoff für Brandenburg und die Hauptstadtregion durchgeführt. Zahlreiche H₂-Akteurinnen und Akteure aus Berlin und der Hauptstadtregion waren eingeladen, sich zu beteiligen. Das große Interesse an dem Thema spiegelt sich in den mehr als 340 Teilnehmenden wider, die mehr als 41.000 Antworten in der Umfrage gaben.

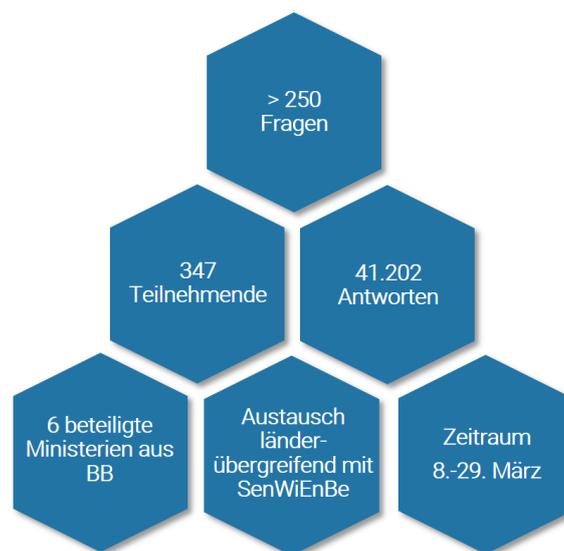


Abbildung 1: Stakeholderbeteiligung: Online-Umfrage

In den nachfolgenden Kapiteln finden sich in den Abschnitten „Stand und aktuelle Aktivitäten“ sowie „Potenziale und Herausforderungen“ jeweils die Ergebnisse aus der Online-Umfrage mit Bezug zum jeweiligen Handlungsfeld. Aus datenschutzrechtlichen Gründen werden in der H₂-Strategie keine Einzelprojekte und Akteurinnen und Akteure genannt. Aus der Analyse der Antworten, die die Befragten in der Umfrage gaben, sowie durch den Einbezug relevanter Studien wurden durch das RLI Handlungsempfehlungen zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Brandenburg und der Hauptstadtregion erarbeitet.

Die vorliegende brandenburgische H₂-Strategie berücksichtigt neben

- dem Eckpunktepapier der ostdeutschen Kohleländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg für eine regionale H₂-Wirtschaft (4),
- den Energie- und Klimaschutzatlas Brandenburg (EKS) (5)
- die „H₂-Industrie Potenzialstudie Brandenburg“ (6)
- die Studie „Berlin Paris-konform machen“ (im Erscheinen) (7)
- das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK 2030) (8)
- den „H₂-Masterplan Ostdeutschland“ (9)
- die „Metastudie Wasserstoff“ (10)
- weitere relevante Studien und Dokumente

Aufbauend auf dem strategischen Eckpunktepapier der ostdeutschen Kohleländer fließen diese Ergebnisse und Empfehlungen nun in eine maßnahmenkonkrete brandenburgische H₂-Strategie ein.

Die H₂-Strategie des Landes Brandenburg soll einen positiven Beitrag sowohl für die Energiewende als auch für die Strukturentwicklung in der Region leisten. Sie **sieht sich als einen Baustein im Rahmen der Energiestrategie und des Klimaplanes des Landes Brandenburg**. Mit der H₂-Strategie bekennt sich das Land Brandenburg zu den globalen und nationalen Klimazielen.

2. Motivation und Potenziale

2.1 Warum Wasserstoff

In der klimaneutralen Energieversorgung der Zukunft wird grüner¹ Wasserstoff eine Schlüsselrolle einnehmen: Er kann zur Lösung verschiedener energiesystem-relevanter Herausforderungen beitragen. Auf der **Erzeugungsseite** bietet er die Möglichkeit, das zeitliche Auseinanderfallen von Angebot und Nachfrage nach erneuerbaren Energien auszugleichen. Als **Energieträger** eröffnet er zusätzliche Möglichkeiten des Transports sowie der Speicherung von Energie und kann damit zur Versorgungssicherheit beitragen. Auf der **Nutzungsseite** wird grüner Wasserstoff eine wesentliche Rolle bei der Dekarbonisierung industrieller Prozesse, Mobilitätsanwendungen sowie im Wärmebereich spielen und ein notwendiger Baustein für die Sektorenkopplung sein. Auch in Bereichen, wo eine Vollelektrifizierung unwirtschaftlich oder aus anderen Gründen mittelfristig nicht umsetzbar wäre, finden sich Anwendungsmöglichkeiten für grünen Wasserstoff.

Die „Metastudie Wasserstoff“ mehrerer Fraunhofer Institute benennt auf Basis vorliegender Energiesystemstudien eine „Bandbreite des Bedarfs für Wasserstoff- und Syntheseprodukte [in Höhe von] 400 bis knapp 800 TWh“ über alle Sektoren in Deutschland für das Jahr 2050 (10). „In der Hochlaufphase wird i.d.R. recht früh eine Nachfrage in der Industrie in den Studien ausgewiesen. Danach folgen eine Nachfrage im Verkehrssektor und eher längerfristig in den meisten Szenarien für den Gebäudesektor.“ (10)

Das „Energiewald Brandenburg“ hat ideale Voraussetzungen, um Klimaschutz und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung gleichermaßen zu beschleunigen. Dazu gilt es die Erzeugungspotenziale der erneuerbaren Energien vollständig auszuschöpfen.

Der Aufbau einer H₂-Wirtschaft kann wachstums- und strukturpolitische Anreize setzen (hohe Arbeitsplatzquantität und -qualität) und spielt eine Rolle im Prozess des Strukturwandels. Wasserstoff kann hier Wertschöpfungsketten generieren und die Länder Brandenburg und Berlin haben die Chance, einen Technologievorsprung auch für Exportgüter aufzubauen.

Es ist davon auszugehen, dass zukünftig der H₂-Bedarf stark ansteigen wird; Brandenburg hat die Möglichkeit, einen Marktvorsprung aufzubauen. Die lokale Produktion von Wasserstoff ist hier ein wichtiger Faktor, um die lokale Wertschöpfung zu entwickeln und zu stärken. Ziel ist die Erzeugung und Nutzung von grünem Wasserstoff. Entscheidend ist hier, zu welchem Zeitpunkt ausreichend grüner Wasserstoff hergestellt werden kann und zu welchen Konditionen, sodass dieser wirtschaftlich die Bedarfe decken kann. Sofern im Aufbau der H₂-Wirtschaft besonders am Anfang noch nicht die nötigen Mengen zur Verfügung stehen werden, wird vorübergehend auch „blauer“² oder „türkiser“³ Wasserstoff notwendig sein. Die Bundesregierung weist in ihrer Nationalen H₂-Strategie auf die wachsende Bedeutung von CO₂-

¹ Im Eckpunktepapier der ostdeutschen Kohleländer heißt es: „Unter „grünem“ Wasserstoff verstehen wir Wasserstoff, der „durch Elektrolyse von Wasser hergestellt [wird], wobei für die Elektrolyse ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommt. Unabhängig von der gewählten Elektrolysetechnologie erfolgt die Produktion von Wasserstoff CO₂-frei, da der eingesetzte Strom zu 100 % aus erneuerbaren Quellen stammt und damit CO₂-frei ist.“ (4)

Die Definition für „grünen“ Wasserstoff wird derzeit auf EU-Ebene diskutiert.

² Unter „blauem“ Wasserstoff verstehen wir [ostdeutsche Kohleländer]: Erdgasdampfpreformierung in Verbindung mit Abspaltung von CO₂. (4)

³ „Türkiser“ Wasserstoff: Aufspaltung von Erdgas mithilfe von Methanpyrolyse in Wasserstoff und festen Kohlenstoff. (4)

neutralem (z. B. „blauer“ oder „türkiser“) Wasserstoff auf dem globalen und europäischen Wasserstoffmarkt hin. Durch die enge Einbindung von Deutschland in die europäische Energieversorgungsinfrastruktur wird daher auch in Deutschland CO₂-neutraler Wasserstoff eine Rolle spielen und, wenn verfügbar, auch übergangsweise genutzt werden (3). Um das Ziel der CO₂-Vermeidung und der Klimaneutralität von Prozessen, Produkten und Antrieben zu erreichen, ist grüner Wasserstoff jedoch unabdinglich. Das klare bereits im Eckpunktepapier formulierte Ziel den Markthochlauf von grünem Wasserstoff sowie die damit zusammenhängenden Wertschöpfungsketten und Infrastrukturen zu unterstützen, soll somit auch noch einmal in dieser H₂-Strategie gefestigt werden.

2.2 Akteurinnen und Akteure in Brandenburg und der Hauptstadtregion

Aus datenschutzrechtlichen Gründen werden in der H₂-Strategie keine Einzelprojekte und Akteurinnen und Akteure genannt. Jedoch wird im zweiten Halbjahr 2021 ein digitaler H₂-Marktplatz erstellt und zum Jahresende in Betrieb genommen. In diesem können Akteurinnen und Akteure eigenständig ihre H₂-Aktivitäten darstellen, Aktivitäten anderer Akteurinnen und Akteure überblicken und sich miteinander vernetzen. Außerdem lässt sich dieser Marktplatz als Grundlage zur Infrastrukturplanung nutzen (siehe Kapitel 10.4).

Die Online-Umfrage ergab, dass viele **Akteurinnen und Akteure aus der Wirtschaft** in Brandenburg und der Hauptstadtregion das Thema Wasserstoff bereits strategisch verfolgen. Sie gaben an, in einem oder mehreren Feldern entlang der gesamten H₂-Wertschöpfungskette tätig zu sein (Herstellung, Speicherung, Verteilung, Nutzung oder Weiteres). Die Unternehmen stammen aus allen Bereichen der Wirtschaft: Herstellung und Fertigung von Produkten, Anlagen- und Maschinenbau, Automobil- und Luftfahrtindustrie, Energietechnik, -erzeugung, -speicherung und -transport, Transport von Waren und Personen sowohl straßen- als auch schienengebunden, Chemieindustrie und Raffinerien, Flugplätze und Flughäfen, Infrastrukturbetreibende sowie Dienstleistungsunternehmen und weitere. Sowohl KMU, als auch Großunternehmen sind hier involviert. Die Akteurinnen und Akteure verfolgen schwerpunktmäßig u. a. folgende strategische Ziele in Bezug auf Wasserstoff:

- Eigene oder lokale (grüne) H₂-Erzeugung zum Eigen- und Fremdverbrauch. Bei Nutzung grünen Wasserstoffes nennen die Befragten als Ziel oft die Dekarbonisierung der Herstellung von Produkten sowie Prozessen.
- Umstellung der Erzeugung von grauem auf grünen Wasserstoff gekoppelt mit EE-Stromerzeugung.
- Steigerung der EE-Stromerzeugung.
- Vorhandene Infrastruktur (Gasnetze, Speicher) nutzen und/oder die eigene Anlagentechnik auf steigende H₂-Anteile im Erdgas anpassen.
- Planung, Errichtung und Wartung sowie Instandhaltung von H₂-Tankstellen.
- Umstellung von Firmenfahrzeugen auf H₂-Antrieb.
- Betrieb von BZ-Zügen.

Auch die **Akteurinnen und Akteure aus dem kommunalen Bereich** (Gemeinden, Städte, kommunale Verkehrsunternehmen, Flughafen, Feuerwehr, Wasserbetriebe) nennen die Produktion von EE-Strom

und die dezentrale und eigenständige H₂-Erzeugung als einen strategischen Schwerpunkt. Als Einsatzmöglichkeiten stehen Mobilitätsanwendungen (Fuhrpark, straßen- und schienengebundener ÖPNV) und die Nutzung von Wasserstoff in der Erzeugung von Strom und Wärme im Vordergrund. Darüber hinaus wird die Abwasserbehandlung als potenzieller Anwendungsbereich für die Sektorenkopplung der Wasserwirtschaft mit den Sektoren Energie und Verkehr genannt.

Im **Bereich Forschung und Entwicklung** (FuE) sind sowohl privatwirtschaftliche Akteurinnen und Akteure mit Forschungsprojekten sowie staatliche Forschungseinrichtungen tätig: Von Grundlagenforschung über anwendungsorientierte Grundlagenforschung bis hin zur stark anwendungsorientierten Forschung (Hochschulen, Universitäten, Max-Planck-Institute, Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, Institute der Leibniz-Gemeinschaft, Fraunhofer Institute) sind Brandenburg und die Hauptstadtregion beim Thema Wasserstoff breit aufgestellt. An der Umfrage beteiligte Institutionen gaben an, u. a. derzeit an folgenden Themen zu forschen:

- Entwicklung und Demonstration von H₂-Technologien.
- Entwicklung und Serienfertigung von BZ-Lösungen u. a. für Marine, H₂-Motoren, E-Fuel-Motoren und dezentralen PtX-Anlagen.
- Entwicklung und Erprobung von Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseuren (PEM-Elektrolyseuren) sowie der zugehörigen Entwicklung im Anlagenbau.
- Dezentrale Rückverstromung von grünem Wasserstoff.
- Unterirdische Speicherung von großen H₂-Mengen.
- Nutzung der Synergieeffekte von EE-Energieträgern zur Erhöhung der Grundlastfähigkeit für einen ganzjährigen Betrieb von Elektrolyseuren.

Die **Vereine, Verbände und Netzwerke**, die in Brandenburg und Berlin den Aufbau einer H₂-Wirtschaft unterstützen und begleiten, setzen sich für folgende Maßnahmen ein:

- Den zügigen Aufbau einer H₂-Wirtschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette: Produktion, Aufbereitung, Speicherung, Transport, Retail/Tankstellen, Anwendungen in der Wärme, im Verkehr und in der Industrie.
- Die Transformation der Region Berlin/Brandenburg zum „Hydrogen Valley“.
- Die Gründung eines ganzheitlichen H₂-Netzwerks, um systematisch Synergien zu schaffen.
- Die Dekarbonisierung von Industrie- und Herstellungsprozessen, der Gasversorgung, der Luftfahrt und weiteren Bereichen mithilfe von grünem Wasserstoff.
- Reallabore für die industrielle Umsetzung von Großelektrolyse und Großkavernen.

Weitere Schwerpunkte sind die sicherheitstechnische Prüfung von H₂-Anlagen, Entwicklung von Risikoanalysen mit Stufenmodellen zur Beimischung von Wasserstoff in Erdgassystemen (H₂-ready-Analysen), Zertifizierung von grünem Wasserstoff in Bezug auf Erzeugung, Transport und Verbrauch mit Schwerpunkten auf Energieeffizienz und Umweltauswirkung.

2.3 Allgemeine Maßnahmen

Vor dem Hintergrund sich verschärfender Klimaziele auf Bundes- und EU-Ebene und der Transformation des Energiesystems weg von fossilen hin zu erneuerbaren Erzeugungsarten und dem dadurch anstehenden Strukturwandel setzt Brandenburg frühzeitig den Fokus auf grünen Wasserstoff und wird dies strategisch kommunizieren. Andere „H₂-Farben“ bzw. H₂-Qualitäten dienen als „Brückentechnologien“.

Maßnahme 1: Brandenburgs Potenziale zur Erzeugung erneuerbarer Energie (EE) nutzen und auch auf heimische Produktion von Wasserstoff setzen.

In den nächsten Jahren und Jahrzehnten wird Wasserstoff voraussichtlich knapp sein. Die Dekarbonisierung mit kohlenstoffarmen Wasserstofftechnologien und synthetischen Gasen wird mit hohen Kosten verbunden sein. Auch wenn mit einer Kostenreduktion durch „Scale-Up“-Effekte zu rechnen ist, kann direkte Elektrifizierung in bestimmten Bereichen effizienter und kostengünstiger sein (15). Es empfiehlt sich deshalb eine Priorisierung vorzunehmen, in welchen Bereichen Wasserstoff verstärkt zum Einsatz kommen soll. Anhand der folgenden Kategorien kann eine Abschätzung der Priorisierung durchgeführt werden:

1. „No-Regret“-Optionen: Welche Bereiche sind ohne Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe schwer zu dekarbonisieren?
2. „Easy Win“ und „Moon Shot“-Optionen: In welchen Bereichen haben Brandenburg und die Hauptstadtregion bereits schnell umsetzbare Konzepte, die zu einem schnellen Markthochlauf führen? („Easy Win“-Optionen)
In welchen Bereichen werden langfristige Schwerpunkte (z. B. durch vertiefte Forschung und Entwicklung) gesetzt und langfristige H₂-Visionen verfolgt. („Moon Shot“-Optionen)

Die Abwägung priorisierter Handlungsfelder wird als nächster Schritt in einem ressort-übergreifenden Prozess stattfinden und zwischen Brandenburg und Berlin abgestimmt sein.

Maßnahme 2: Priorisierte Handlungsfelder festlegen, um mit H₂-Knappheit zu wirtschaften. Zukunftssichere Optionen zuerst durchführen und Abwägungen zwischen direkter Elektrifikation und der Nutzung von wasserstoffbasierten Anwendungen treffen.

Das Land Brandenburg ist seit jeher Energieland und produziert als solches mehr als ein Zehntel des in Deutschland verbrauchten Stroms (14). Auch in Zukunft wird das Land Brandenburg seine Standortvorteile im Energiebereich nutzen und durch positive Kommunikation eine nachhaltige Industrieansiedlung mit einer Wertschöpfung vor Ort sowie eine positive Entwicklung des regionalen Arbeitsmarktes ermöglichen.

Maßnahme 3: Positive Kommunikation des „Energielandes Brandenburg“ auch im Rahmen der Ansiedlungs- und Vermarktungsstrategie.

3. Handlungsfeld Herstellung von Wasserstoff

3.1 Stand und aktuelle Aktivitäten

In Brandenburg und der Hauptstadtregion stellen Energieversorgungsunternehmen, energieintensive Industrien, kommunale Akteurinnen und Akteure und weitere Unternehmen der H₂-Wirtschaft Wasserstoff her oder planen dies zukünftig zu tun. In der Umfrage haben 11 Prozent der Befragten angegeben, dass sie in der H₂-Herstellung aktiv⁴ sind, zukünftig werden es 31 Prozent sein. Derzeit stellt die Elektrolyse aus Wasser für die meisten Befragten die wichtigste Art der H₂-Herstellung dar. Dieser Trend wird sich zukünftig verstärken. Auch bei der Plasmalyse ist ein deutlicher Zuwachs zu erwarten. Blauer und türkiser Wasserstoff spielen bei den Befragten derzeit eine untergeordnete Rolle.

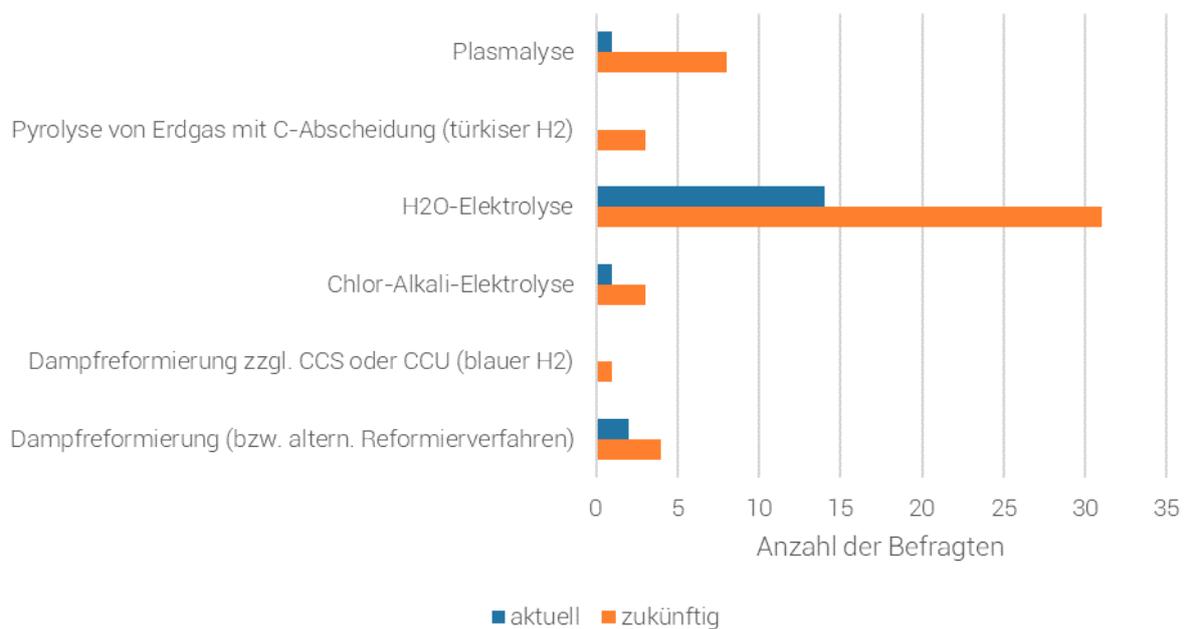


Abbildung 2: Wege der Wasserstoffherstellung aktuell und zukünftig

In einem nächsten Schritt wurden die Maximalleistungen der bisherigen und der zukünftigen Produktionskapazitäten abgefragt. 8 Prozent der Befragten machten zu ihren aktuellen Kapazitäten Angaben und 11 Prozent taten dies für die in Zukunft geplanten Anlagen; die akkumulierten Maximalleistungen sind in Abbildung 3 dargestellt.

⁴ Zahlreiche Akteurinnen und Akteure haben sich in der Online-Umfrage mehrerer Stufen der H₂-Wertschöpfungskette zugeordnet.

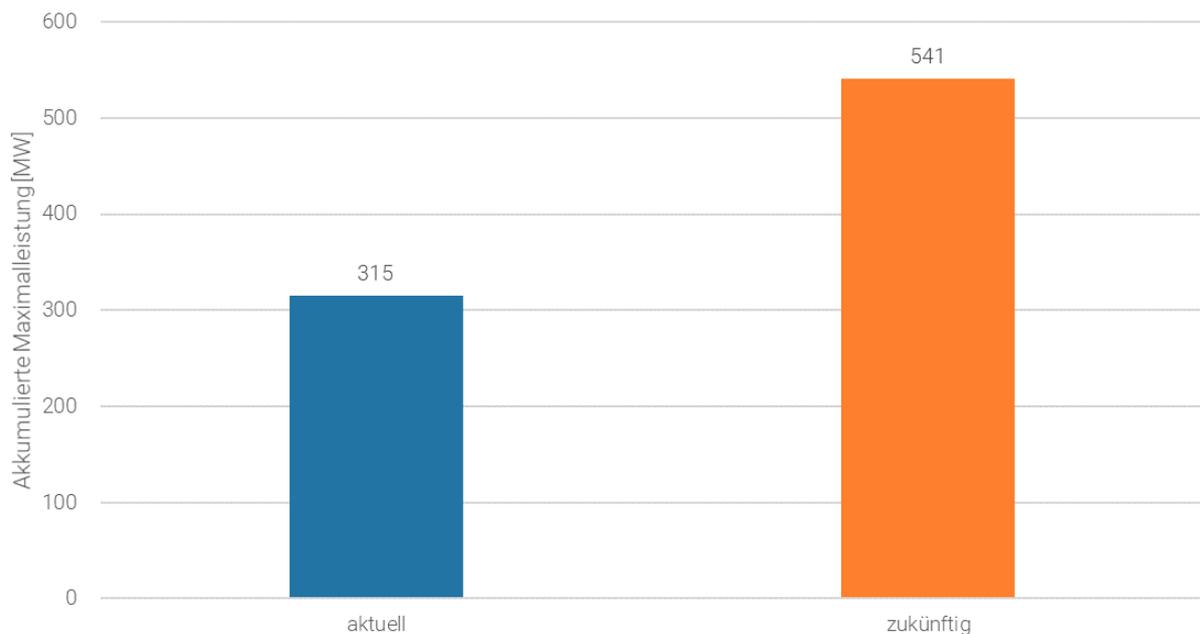


Abbildung 3: Herstellung von Wasserstoff

Die Akteurinnen und Akteure planen und errichten oder betreiben, wie bereits gezeigt, hauptsächlich Elektrolyse-Anlagen zur Produktion von (grünem) Wasserstoff oder planen die Produktion von grauem auf grünen Wasserstoff umzustellen. Die Herstellung von grünem Wasserstoff sehen die Unternehmen als einen großen Hebel, um beispielsweise Prozesse oder Versorgungsnetze zu dekarbonisieren.

In der Umfrage wurden zudem konkrete Projekte genannt, in denen Wasserstoff aus Abwasser mittels Schmutzwasser-Plasmalyse, mit einem Grünstromanteil aus der thermischen Abfallverwertung oder anderen Reststoffen hergestellt wird.

Die H₂-Herstellung umfasst teilweise die Errichtung und den Betrieb von Speicher- und Verteilungsinfrastruktur oder integriert u. a. die (regionale) Erzeugung von EE-Strom in die H₂-Herstellung und die H₂-Einspeisung in das Gasnetz. Der hergestellte Wasserstoff dient der Eigen- und Fremdnutzung in vielfältigen stofflichen und thermischen Anwendungen sowie zur Herstellung von Kraftstoffen, Mineralölprodukten und chemischen Grundstoffen.⁵

Des Weiteren werden in Reallaboren und zahlreichen H₂-FuE-Projekten in Brandenburg und der Hauptstadtregion Methoden der H₂-Herstellung erprobt. Dabei kooperieren Unternehmen mit Brandenburger und Berliner Forschungseinrichtungen (siehe Kapitel 10.3).

Eine weitere wichtige Rolle in der H₂-Wertschöpfungskette spielen Akteurinnen und Akteure, die im Anlagenbau, in der Elektrolysetechnik, also in der Herstellung und Entwicklung von Elektrolyseuren und dem Aufbau von PtX-Plattformen tätig sind. Diese Kompetenzen und Aktivitäten sind in Brandenburg und der Hauptstadtregion vielfältig vorhanden und werden perspektivisch ausgebaut. Daneben sind zahlreiche Unternehmen und Forschungseinrichtungen in der Region aktiv im Bereich der Material- und Komponentenentwicklung, sowie in Sensorik, Elektrotechnik, Verfahrens-, Leit- und Rohrleitungstechnik, aber auch in Mess- und Analysetechnik sowie in der Entwicklung von Prüfsystemen.

⁵ Die industrielle Nutzung von Wasserstoff wird in Kapitel 4 dargestellt.

Die „H₂-Industrie Potenzialstudie“ gibt an, dass aktuell „die Elektrolyseanlagen meistens unter Manufakturbedingungen im kleinen Maßstab hergestellt [werden]. Zukünftig ergibt sich somit [für Brandenburg] ein großes Potenzial zur Ansiedlung industrieller Fertigungsbetriebe für Elektrolyseure und dazugehörige Komponentenbauteile.“ (6) Unabhängig davon bedarf es im Land Brandenburg für den Hochlauf einer H₂-Wirtschaft sowohl kleinerer Elektrolyseanlagen für regionale Bedarfe als auch großskalige Erzeugungskapazitäten, um die benötigten Quantitäten für die Industrie bereitzustellen.

3.2 Potenziale und Herausforderungen

Für mehr als 50 Prozent der Befragten stellen die **Kosten der H₂-Herstellung** eine Hürde dar. Insbesondere hohe Investitions- und Betriebskosten, aber auch die hohen Bezugspreise von EE-Strom werden als Hemmnisse benannt. Außerdem gebe es hohe Förderhürden, so die Befragten. In diesem Bereich sehen die Befragten durch die Abgabenbefreiung des genutzten Stroms, beispielsweise von der EEG-Umlage, Potenzial zur Verbesserung.

30 Prozent sehen **technische Verbesserungspotenziale**, insbesondere bei der Industrialisierung und der Standardisierung von Prozessen. Technisches Potenzial liegt aus Sicht der Befragten in der Nutzung von Plasmalyse sowie der Effizienzsteigerung von Elektrolyseuren. Herausforderungen werden in diesem Bereich vorrangig bei der H₂-Speicherung sowie der Sicherstellung ausreichender H₂-Qualitäten gesehen.

Für knapp ein Fünftel der Befragten bieten **Gesetzgebung und Rahmenbedingungen** Potenziale: Die Umsetzung der RED II in deutsches Recht, die Vereinfachung von Genehmigungsverfahren und das bundesdeutsche Bekenntnis der Politik zu Wasserstoff werden als hilfreiche Rahmenbedingungen empfunden. Weiterhin bestehe ein Bedarf an Regularien, insbesondere für die Einspeisung von (grünem) Wasserstoff in das Gasnetz. Als Hemmnisse wurden zudem die fehlende Definition von Energiespeichern und ihre gesetzliche Rolle im Energiesystem sowie aufwändige und langwierige Genehmigungsverfahren benannt.

Verbesserungspotenzial besteht für die Befragten auch beim Thema **erneuerbare Energien**. Thematisiert wurden die Flächenbereitstellung sowie die Sicherstellung eines jährlichen Ausbaupfades. Einige Befragte äußerten Bedenken in Bezug auf die Volatilität der EE-Stromproduktion und nannten den hohen Energiebedarf bei der Herstellung von grünem Wasserstoff – anders als zum Beispiel bei der Pyrolyse - als Hürde.

3.3 Maßnahmen

Zum „Flaschenhals“ der zukünftigen H₂-Versorgung in der Region kann die Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie werden. Da in Brandenburg aktuell nur noch etwa 2 Prozent der zur Verfügung stehenden Strommengen aufgrund von Netzengpässen bzw. zur Netzstabilisierung abgeregelt werden müssen und daher sog. „Überschussstrom“ nicht in ausreichendem Maße für einen (wirtschaftlichen) Betrieb der Elektrolyseure verfügbar ist, sind für einen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft und zur Bereitstellung der benötigten Energiemenge neben einem zusätzlichen Ausbau an zu installierender EE-Kapazität auch Energieimporte erforderlich.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist für die Herstellung von Wasserstoff insbesondere mit Blick auf zwei Themen relevant:

- Die noch ausstehenden Anforderungen an „flüssige oder gasförmige erneuerbare Kraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs“ nach RED II (16)
Eine der Anforderungen ist die „Zusätzlichkeit“. Das Kriterium legt fest, dass für die Produktion erneuerbarer Kraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs (z. B. grüner Wasserstoff) zusätzliche EE-Anlagen geschaffen werden müssen. Ziel ist, dass die Erzeugung grünen Wasserstoffs nicht zu Lasten des Einsatzes von erneuerbarem Strom an anderen Stellen geht.
- Die Verschärfung des Klimaschutzgesetzes mit der Zielsetzung von THG-Neutralität bis 2045⁶ (17)
Bisherige Zielsetzungen für erneuerbare Energien wurden unter der Annahme getroffen, dass Brandenburg bis zum Jahr 2050 THG-neutral ist. Durch die Verschärfung der EU- und bundesweiten Klimaziele müssen auch die Bundesländer schneller agieren. Wie in Kapitel 2.1 ausgeführt, ist grüner Wasserstoff entscheidend für die Dekarbonisierung vieler Bereiche sowie für die Sektorkopplung und Energiespeicherung.

Damit Brandenburg auch weiterhin Energieland sein und im notwendigen Maße Wasserstoff erzeugen kann, müssen die gesteckten Ausbauziele ehrgeizig verfolgt und erhöht werden. Dazu wird auch auf Bundesebene für höhere Ausschreibungsmengen geworben sowie auf Landesebene an der Erhöhung der Flächenverfügbarkeit gearbeitet. Es wird angestrebt, dass die H₂-Erzeugung möglichst nah an den EE-Anlagen stattfindet. In Berlin wird gemäß des Solargesetzes Berlin der Ausbau der erneuerbaren Energien im Bereich PV-Dachanlagen beschleunigt, um das Ziel von 25 Prozent Solarstrom an der Bruttostromerzeugung im Jahr 2050 zu erreichen⁷ (18).

Maßnahme 4: Den Zubau von erneuerbarer Energie beschleunigen.⁸

Für den Aufbau von Elektrolyseuren ist Modularität von entscheidender Bedeutung. Kleine Elektrolyseeinheiten von ca. 100 kW können einen Beitrag leisten, um Kapazitäten schrittweise an einen steigen-

⁶ THG-Neutralität umfasst alle THG-Emissionen und beschreibt das Gleichgewicht zwischen schwer vermeidbaren THG-Emissionen und der Aufnahme von Kohlenstoff durch technische und natürliche Kohlenstoffsinken.

⁷ Der Berliner Senat hat im Juni 2021 das „Solargesetz Berlin“ beschlossen, dass eine PV-Pflicht für neue Wohn- und Nicht-Wohngebäude ab 2023 vorsieht. (11), (18), (12)

⁸ Vor dem Hintergrund der sich in Erarbeitung befindlichen Energiestrategie 2040 wird auf die Bezifferung von Zubau-Quantitäten erneuerbarer Energien in der H₂-Strategie verzichtet.

den H₂-Bedarf anzupassen und dezentrale Verbrauchende und Erzeugende leichter zusammenzubringen. Über einen Planungszeitraum von 20 Jahren sind diese modularen Elektrolysesysteme günstiger als große Systeme, und Fehler in der Bedarfsentwicklung können leichter ausgeglichen werden (19).

Maßnahme 5: Kleine Elektrolyse-Einheiten für den Start des Hochlaufs mit steigendem Bedarf modular erweitern.

Auch andere Herstellungsarten kommen für die H₂-Herstellung in Betracht. Diese sollten jedoch anhand ihrer Klimawirksamkeit (siehe auch Tabelle 1: CO₂-Fußabdrücke unterschiedlicher „Wasserstofffarben“) entlang der gesamten Wertschöpfungskette bewertet und emissionsarme Herstellungsverfahren priorisiert werden.

Brandenburg ist bei der Nutzung der Pyrolyse bereits gut aufgestellt und kann diesen Marktvorsprung ausnutzen. Des Weiteren ist die Gewinnung von Wasserstoff aus Abfällen und Abwässern eine Möglichkeit zur kohlenstoffarmen Erzeugung.

Maßnahme 6: Neben Elektrolyse aus erneuerbarer Energie auch Erzeugungsarten für kohlenstoffarmen Wasserstoff, z. B. Pyrolyse, pilotieren.

Nicht für jede Akteurin und jeden Akteur lohnt sich die Investition in eine eigene H₂-Erzeugungsanlage oder H₂-Tankstelle. Für die dezentrale Energieversorgung ist es jedoch wichtig, dass Wasserstoff an vielen Orten und auch bei kleineren Akteurinnen und Akteuren erzeugt bzw. abgenommen werden kann.

Maßnahme 7: Zusammenschluss von Akteurinnen und Akteuren zur Gründung von Vertriebsgesellschaften zur gemeinsamen Erzeugung und Distribution von Wasserstoff fördern (Aufbau Tankstellen, Elektrolyseure, ...).

Mit zunehmenden H₂-Kapazitäten sowie –Akteurinnen und Akteuren, sowohl im Bereich der (dezentralen) Erzeugung als auch in anderen Wertschöpfungsstufen und deren Integration in das Energiesystem wächst auch die Komplexität dieses Wirtschaftszweiges. Um diesen Komplexitätszuwachs langfristig erfolgreich zu steuern und Prognosen für zukünftige Entwicklungen treffen zu können, kann der bereits begonnene Strategie-Prozess in ein kontinuierliches Monitoring der H₂-Aktivitäten überführt werden. Ein mögliches Tool für das Monitoring ist der Aufbau eines H₂-Marktplatzes (Maßnahme 1) für Brandenburg und Berlin, der H₂-Akteurinnen und Akteure, Erzeugung, Verbrauch und Bedarf von Wasserstoff zusammenführt und visualisiert.

Maßnahme 8: Kontinuierliches Monitoring der Erzeugungskapazitäten sowie der H₂-Wertschöpfung über den H₂-Marktplatz sicherstellen.

Der H₂-Import und der Import seiner Folgeprodukte werden perspektivisch für ganz Deutschland und somit auch für Berlin und Brandenburg eine Rolle spielen. Brandenburg als Flächenland hat jedoch die Möglichkeit, auf die erzeugte H₂-Menge vor Ort Einfluss zu nehmen und mit einer ambitionierten Politik zu steuern. Für die H₂-Mengen und deren Folgeprodukte, die importiert werden müssen, empfiehlt es sich, Partnerschaften aufzubauen und sich aktiv in Bundesinitiativen einzubringen, z. B. bei H₂Global.

Maßnahme 9: Für zukünftigen H₂-Import eine nachhaltige Importstrategie des Bundes unterstützen und Unternehmen animieren, sich bei Bundesinitiativen im Ausland zu beteiligen.

Nicht alle Hemmnisse, die die H₂-Erzeugung behindern, können auf Landesebene gelöst werden. Für das „Energieland Brandenburg“ empfiehlt sich deshalb der länderübergreifende, strategische Einsatz in Richtung Bund und EU, z. B. in Form von Bundesratsinitiativen oder Stellungnahmen. Unter anderem sollte im Vordergrund stehen:

- Die Beseitigung wirtschaftlicher Hemmnisse für Elektrolysestrom.
- Der Einsatz für einen angemessenen, planbaren Transformationspfad, der zu einer verbesserten Wettbewerbsfähigkeit von grünem Wasserstoff führt.
- Den Prozess der Vermarktung der THG-Quoten anwenderinnen- und anwenderfreundlich und transparent gestalten.

Der letzte Punkt könnte verbesserte Geschäftsmodelle für grünen Wasserstoff bieten, denn die THG-Quote „bezeichnet die gesetzlich festgelegte Minderung der Treibhausgasemissionen in Kilogramm Kohlenstoffdioxid-Äquivalent, bezogen auf den Referenzwert“, die Inverkehrbringende von Kraftstoffen erfüllen müssen. Die Erfüllung dieser Quote kann auch durch Quotenhandel erreicht werden. Hieraus entstehen Geschäftsmodelle für H₂-Herstellende, da diese bei der Inverkehrbringung ihrer Kraftstoffe die Quote „übererfüllen“ und dadurch ihre überschüssigen Quoten verkaufen können (20).

Maßnahme 10: Landesinteressen Brandenburgs und Berlins bei Gesetzgebungsverfahren auf Bundes- und EU-Ebene durch Bundesratsinitiativen und Stellungnahmen einbringen.

4. Handlungsfeld Industrielle Nutzung von Wasserstoff

4.1 Stand und aktuelle Aktivitäten

Die Nutzung von Wasserstoff lässt sich differenzieren in die stoffliche Nutzung als Rohstoff, die thermische oder energetische Nutzung sowie als Kraftstoff und weitere Nutzungsarten. Abbildung 4 zeigt die Anzahl der Befragten differenziert nach Nutzungsart und mit Blick auf die aktuelle und die zukünftige Nutzung: In allen Nutzungsarten gehen die Akteurinnen und Akteure von einem steigenden H₂-Bedarf aus.

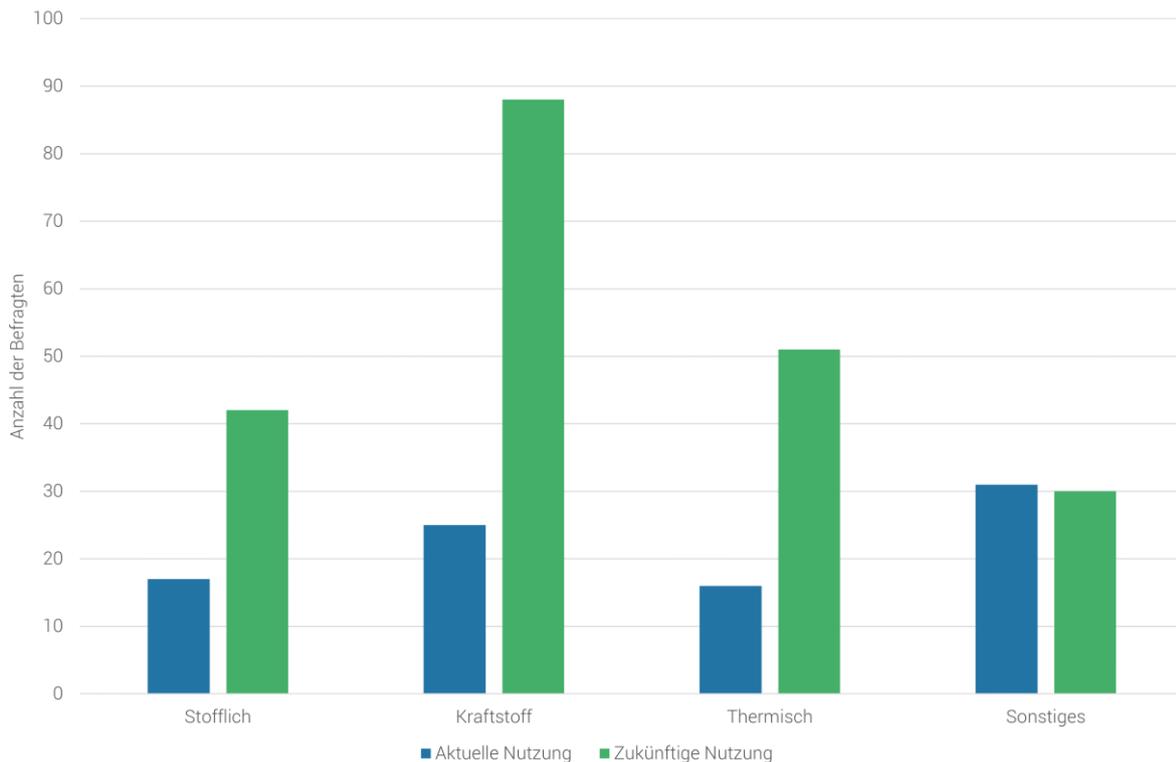


Abbildung 4: Wasserstoffnutzung, n=163, aktuelle und zukünftige Nutzung

Die Nutzung von grünem Wasserstoff spielt dabei eine immer größere Rolle, da hierdurch industrielle Prozesse, Produkte und Antriebe klimaneutral(er) werden können. Abbildung 5 zeigt Nutzungsgründe für den Einsatz von grünem Wasserstoff: Vor allem nannten die Befragten gesetzliche Vorgaben zur Emissionsminderung von CO₂ und anderen Schadstoffen, gefolgt von der Nachfrage aus dem Markt und von den Kundinnen und Kunden, das Erschließen neuer Geschäftsfelder und die Nutzung vorhandener Assets.

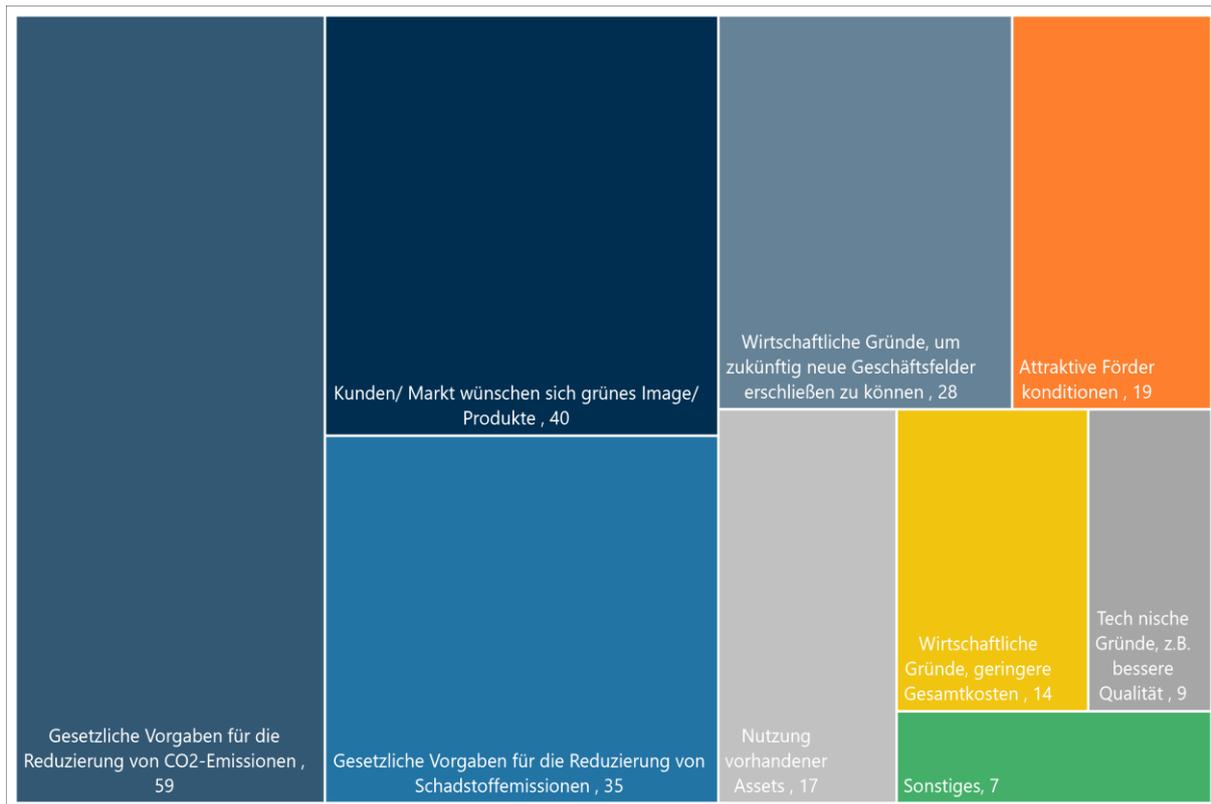


Abbildung 5: Industrielle Nutzung: Gründe für den Einsatz von grünem Wasserstoff⁹

Aktuell wird ein Großteil des Wasserstoffs **stofflich** genutzt in Raffinerien, der Chemie- sowie der Eisen- und Stahlindustrie. Des Weiteren wird grauer Wasserstoff für die Methanolsynthese oder die Fischer-Tropsch-Synthese eingesetzt.

Die Umstellung der stofflichen H₂-Nutzung auf grünen Wasserstoff ist ein wichtiger Ansatzpunkt, um CO₂-Emissionen im industriellen Sektor zu reduzieren oder ganz zu vermeiden: In Brandenburg und der Hauptstadtregion ist u. a. geplant, in Raffinerieprozessen grünen H₂ zur Herstellung von Kraftstoffen, Mineralölprodukten und chemischen Grundstoffen zu nutzen. Perspektivisch ist die Produktion von grünem Kerosin und E-Fuels unter Nutzung von grünem Wasserstoff denkbar. Für die Herstellung von grünem Stahl an einem brandenburgischen Standort ist geplant, in den Technologiewechsel zu investieren: H₂-Direktreduktion (DRI) statt konventionellem Hochofen und Elektrolichtbogenofen (EAF) bzw. in den H₂-Einsatz in Veredlungsprozessen.

In Bezug auf den Einsatz von Wasserstoff in Raffinerien und der Stahlindustrie ist die Umstellung kurzfristig technisch möglich, „da keine Änderung in der Prozesskette vorgenommen werden muss, sondern lediglich der heutzutage aus fossilen Energieträgern erzeugte Wasserstoff durch erneuerbar Gewonnenen ersetzt werden kann.“ (9) CO₂-Emissionen in diesem Bereich können direkt vermieden werden, die sogenannte Carbon Direct Avoidance (CDA).

Die **thermische oder energetische Nutzung**¹⁰ von grünem Wasserstoff zur Erzeugung von CO₂-neutraler Prozesswärme in verschiedenen Industriezweigen ist ebenfalls ein Hebel für die Umstellung auf

⁹ Mehrfachnennungen waren möglich.

¹⁰ Die energetische Nutzung von Wasserstoff in der Wärmeversorgung im Gebäudesektor wird in Kapitel 6 betrachtet.

eine klimaneutrale Produktion. Bei den energieintensiven Industrien in Brandenburg und der Hauptstadtregion liegt dieser Fokus auf den Industriezweigen Papier (Dampferzeugung), Glas (Schmelze) und Zement (Klinker). Das oben beschriebene Verfahren der CDA ist in der Kalk- und Zementindustrie nicht möglich. In diesem Segment plant ein Unternehmen den Standort in der Region zum ersten dekarbonisierten Standort innerhalb der Firmengruppe umzubauen. Aktuell werden Machbarkeitsstudien zu Verfahren der CO₂-Abtrennung und -Verwendung unter Nutzung von industrieller Abwärme und grünem Wasserstoff durchgeführt: Carbon Capture und Utilization (CCU) für die Herstellung grüner Kohlenwasserstoffe (z. B. E-Crude, Naphtha, Kerosin) sowie Herstellung nachhaltiger Baustoffe unter Einbindung des CO₂ in das finale Produkt. Perspektivisch sollen diese Prozesse am Standort in Zukunft zur Anwendung kommen.

Die Umstellung auf eine CO₂-neutrale Produktion wird bei energetischem Einsatz von Wasserstoff „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.“ (9)

In diesem Zusammenhang plant ein Unternehmen aus der Papierindustrie die Erzeugung grünen Wasserstoffs mittels Elektrolyse mit einer Methanolanlage mit Wasserstoff und CO₂ aus einer Biogasanlage und einer Ersatzbrennstoffanlage (EBS) zu kombinieren. Als Vorteil werden die Nutzung der vorhandenen Infrastruktur und die Integration von bereits vorhandenen Gebäuden und technischen Anlagen genannt. Weiterhin ist an dem Standort geplant: der Aufbau und Betrieb einer E-Fuels-Anlage und der Betrieb eines GuD-Kraftwerks als KWK-Anlage auf Basis von Bio-, Klärgas und Wasserstoff sowie der Betrieb eines Tanklagers für Methanol und E-Fuels.

Ein weiteres Unternehmen plant die Errichtung einer Elektrolyse-Anlage mit EE-Strom aus einer thermischen Abfallverwertungsanlage und weiterführend eine CO₂-Abscheidung mittels Aminwaschverfahren zur anschließenden Synthese des Wasserstoffs mit CO₂ zu grünem Methanol als nachhaltigem Ausgangsstoff für die Mineralölwirtschaft zur Herstellung von grünem Diesel, Benzin, Kerosin und MTBE-Ersatz bzw. zur direkten Verwendung als Treibstoff in der maritimen Wirtschaft.

Der großvolumige H₂-Bedarf energieintensiver Industrien wird hohe Förderintensitäten benötigen. Der „H₂-Masterplan Ostdeutschland“ prognostiziert das maximale Nachfragepotenzial energieintensiver Industrien in Brandenburg mit 9,9 TWh. Davon werden 2,6 TWh dem Raffinerie- und 4 TWh dem Stahlstandort zugeordnet. Die restlichen 3,3 TWh entfallen mit langfristiger Perspektive auf die Nutzung zur Erzeugung von Prozesswärme (9).

Die „Metastudie Wasserstoff“ sieht deutschlandweit den größten Bedarf an Wasserstoff und wasserstoffbasierten Syntheseprodukten in der industriellen Nutzung. Im Jahr 2050 werden hier bis zu 500 TWh benötigt. Die größten Abnehmenden sind die Eisen- und Stahlindustrie sowie die chemische Industrie (10).

4.2 Potenziale und Herausforderungen

Mit Blick auf die industrielle Nutzung von Wasserstoff in der Region Brandenburg/Berlin sahen 62 Prozent der Befragten Standortvorteile und 6 Prozent Nachteile. Ein Großteil der sich positiv äussernden Befragten sehen als Standortvorteile die bereits vorhandene **EE-Erzeugung in der Region** und das große Ausbaupotenzial. Vereint mit progressiver Politik, der Technologieoffenheit der gesamten Region

und dem bereits existierenden Wissen sahen die Befragten große Vorteile in der Metropolregion Berlin/Brandenburg. Zusätzlich wurde auf die Nutzung der bereits bestehenden Infrastruktur hingewiesen: Da bereits Speicherkapazitäten durch großvolumige Speicher bestehen und das Erdgasnetz der Region noch nicht vollständig ausgelastet sei, habe die Region viel Potenzial für die Nutzung von Wasserstoff. Einzelne Stimmen äußerten sich zu spezifischen Nachteilen: Lange Transportwege und der Widerstand von Bürgerinnen und Bürgern gegen den Ausbau von WEA in Region wurden genannt.

Die Befragten wurden nach ihrer Einschätzung zu Verbesserungspotenzialen und Herausforderungen im Bereich der Nutzung von Wasserstoff gefragt. 20 Prozent der Befragten sahen überwiegend Verbesserungspotenzial, 24 Prozent eher Hürden. Als Verbesserungspotenzial nennen 5 Prozent der Befragten **Förderbedarf**, um Wasserstoff wirtschaftlich sinnvoll einsetzen zu können. Genannt wurden insbesondere Möglichkeiten der Opex-Förderung für die Herstellung von Wasserstoff für industrielle Zwecke und mehr Förderung von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen. Das Fehlen einer geeigneten Infrastruktur wurde von den Befragten mehrfach bemängelt. Genau in diesem Punkt sahen viele Befragte ein großes Verbesserungspotenzial: der Aufbau eines H₂-Pipelinetzes bzw. die Formulierung einer klaren Strategie für den Aufbau einer Versorgungsinfrastruktur und die Notwendigkeit, H₂-Speichertechnologien weiter zu entwickeln. **Technisches Verbesserungspotenzial** liegt aus Sicht der Befragten insbesondere in einer größeren Fahrzeugvielfalt, höherer Effizienz bei der Elektrolyse und der Entwicklung von Logistik-Infrastruktur. Die technische Weiterentwicklung empfanden die Befragten als eine große Herausforderung, da geeignete Technologien und die entsprechenden Prozess- und Transportketten noch nicht verfügbar seien. Die Befragten sahen Optimierungsmöglichkeiten in der **Gesetzgebung und den Rahmenbedingungen** für die industrielle Nutzung, um Hemmnisse abzubauen. Genannt wurde die Regulierung (u. a. Klärung der Gasnetznutzung für Wasserstoff, verbindliche Definition der H₂-Qualitäten) und das Einführen von Rahmenbedingungen für den Stromverbrauch bei Elektrolyse (u. a. Befreiung von PtG-Anlagen von der EEG-Umlage). Weitere Herausforderungen für die industrielle Nutzung von Wasserstoff seien die damit verbundenen **hohen Betriebs- und Herstellungskosten** von Wasserstoff und die daraus resultierende momentane **mangelnde Wirtschaftlichkeit**.

4.3 Maßnahmen

In Brandenburg und der Hauptstadtregion gibt es bereits viel technisches Know-how rund um das Thema Energie und Wasserstoff. Dieses gilt es zu nutzen und entlang der gesamten H₂-Wertschöpfungskette verschiedene Industriezweige in Brandenburg und der Hauptstadtregion anzusiedeln. Bei Ansiedlungsgesuchen von Unternehmen der H₂-Wertschöpfungskette werden Brandenburg und Berlin und die Wirtschaftsfördergesellschaften effiziente Prozesse abstimmen, um strategisch die frühe Ansiedlung innovativer Unternehmen in Brandenburg und der Hauptstadtregion zu unterstützen.

Maßnahme 11: Brandenburger und Berliner Willkommenskultur nutzen und durch Kooperation der Landesregierungen und Wirtschaftsfördergesellschaften Industrieansiedlung für H₂- und BZ-Technologie vorantreiben.

Durch die Energiewende hin zu erneuerbaren Energien ergeben sich neue geeignete Standorte für Industrien, nämlich da, wo die Erzeugungspotenziale für lokale Energieproduktion hoch sind. Entsprechend wird angestrebt, bei Planung von Gewerbeflächen die lokale Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien sowie die Möglichkeiten zur lokalen Energiespeicherung als zentrale Elemente darzustellen.

Wasserstoff stellt hierbei eine wichtige Speichermöglichkeit für fluktuierende erneuerbare Energien dar und Unternehmen sollen einen Anreiz für die Nutzung eigener Speichertechnologien vor Ort bekommen.

Maßnahme 12: Industrieansiedlung primär da vorantreiben, wo erneuerbare Energien(-potenziale) sind.

Um langfristig Unternehmen für Brandenburg sowie die Hauptstadtregion zu gewinnen und diese dort auch halten zu können, braucht es zukunftsfähige Konzepte. Neben ökonomischen Gesichtspunkten spielen zunehmend ökologische und soziale Aspekte für Unternehmen eine Rolle, um sowohl Fachkräfte zu gewinnen als auch ihre Produkte vermarkten zu können. Entsprechend empfiehlt sich für Brandenburg und die Hauptstadtregion auch, den Aufbau einer H₂-Wirtschaft dazu zu nutzen, Anreize zu setzen für zukunftsfähige, nachhaltige Industriestandorte. Dies kann durch die Neu- und Bestandsentwicklung von klimaneutralen Industriearealen geschehen. Wie in **Maßnahme 12** beschrieben, sollten erneuerbare Energien in möglichst großem Maße zur Verfügung stehen. In diesen Arealen wird geprüft wie für den Aufbau von Elektrolysekapazitäten geeignete Anreize gesetzt werden können, sodass ansiedelnde Unternehmen, aber auch kommunale Akteurinnen und Akteure, die Möglichkeit haben, lokal produzierten grünen Wasserstoff stofflich, thermisch oder auch als Kraftstoff für ihre Fahrzeugflotten zu nutzen und dadurch ihren CO₂-Fußabdruck zu verringern.

Für die Umsetzung müssen zunächst Kriterien und/oder Kennwerte für solche klimaneutralen Industrieareale festgelegt werden. Dies kann in Zusammenarbeit mit den bereits bestehenden H₂-Regionen Brandenburgs sowie Netzwerken in Berlin stattfinden. Zum Beispiel kann auch in Recherchertools der Wirtschaftsförderungen ein weiteres Suchkriterium „Klimaneutralität“ eingeführt werden, so dass Unternehmen sich hier schnell einen Überblick über mögliche Standorte mit klimaneutraler Energieversorgung verschaffen können (21).

Maßnahme 13: Klimaneutrale Industrieareale durch das Angebot CO₂-neutraler Gewerbeflächen und unterstützende Maßnahmen bei der grünen H₂-Erzeugung anreizen.

Um die kontinuierliche Weiterentwicklung der H₂-Wirtschaft zu fördern, empfiehlt sich, lokale „Keimzellen“ für Wasserstoff zu entwickeln. Zweck solcher Keimzellen ist die Entwicklung, Erprobung und Skalierung neuer H₂-Technologien, mit dem Ziel einer Impuls- und Ausstrahlungswirkung für die Gesamtregion.

Maßnahme 14: H₂-Keimzellen ausbauen

5. Handlungsfeld Mobilitätsanwendungen

5.1 Stand und aktuelle Aktivitäten

Im Mobilitätssektor ist der Einsatz von grünem Wasserstoff vor allem denkbar in der Dekarbonisierung des Schwerlastverkehrs (Lkw), im öffentlichen Straßenverkehr sowie im Schienenverkehr bei derzeit nicht-elektrifizierten Strecken und in der Anwendung von synthetischen Kraftstoffen für den Flug- und Schiffsverkehr.

Von den Befragten planen 29 Prozent, ihren Fuhrpark auf alternative Antriebe umzustellen. Unter ihnen setzen 79 Prozent ganz oder teilweise auf wasserstoffbetriebene Fahrzeuge. Lediglich ein Prozent schließen alternative Antriebe für sich aus.

Abbildung 6 zeigt, wie viele Befragte welche Fahrzeugklassen umstellen wollen. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Verteilung nicht proportional zur benötigten Wasserstoffmenge sein wird. Während es viele Befragte mit eher kleinen Wasserstoffmengen, z. B. für Pkw, gibt, gibt es nur wenige Befragte, die große Abnehmende für Wasserstoff sein können. Dazu zählen sowohl Befragte aus den Bereichen Luftfahrt als auch Schiffsverkehr.



Abbildung 6: Mobilität: Befragte, bei denen die Umstellung bestimmter Fahrzeugklassen auf alternative Antriebe in Planung ist, n=47

Insbesondere kommunale Akteurinnen und Akteure setzen in Brandenburg mit dem Ziel der Klimaneutralität auf **wasserstoffbasierte Mobilitätsanwendungen** oder planen dies zukünftig zu tun. Genannt wurden in der Umfrage vor allem die Umstellung des kommunalen Fuhrparks auf alternative Antriebe, z. B. Abfallsammelfahrzeuge, Straßenmeisterei, (schwere) Nutzfahrzeuge und Dienst-Pkw, aber auch Löschzüge und Einsatzfahrzeuge von Feuerwehren und der Fahrzeuge im ÖPNV, vorrangig Busse. Bei Letzteren sind die Anforderungen an Reichweitenverfügbarkeit und Systemzuverlässigkeit wichtig. Deshalb sehen einige Akteurinnen und Akteure bei langlaufenden Regionalbuslinien einen Vorteil in

der BZ-Technologie gegenüber Batterie-Mobilität. Einzelne kommunale Akteurinnen und Akteure der Region planen ein H₂-Netzwerk aus grüner H₂-Erzeugung, Tankinfrastruktur und Nutzung aufzubauen.

Für den Hochlauf der Nutzung wasserstoffbetriebener Fahrzeuge ist neben den Fahrzeugen die **Tank-Infrastruktur** ein entscheidender Faktor. Von den 23 Prozent der Befragten, die sich hier äußerten, gaben 17 Prozent an, dass für ihr Tätigkeitsfeld in Brandenburg und Berlin nicht ausreichend H₂-Tankstellen zur Verfügung stünden. Weniger als 5 Prozent der Befragten sind mit dem derzeitigen Ausbau zufrieden. Dementsprechend bedarf es eines Zubaus an H₂-Tankstellen. Für die Region Berlin und Brandenburg haben die Befragten dabei mehrheitlich einen besonders hohen Bedarf für H₂-Tankstellen im Straßenverkehr angegeben. Bei Pkw-Tankstellen sehen 84 Prozent, bei Bus-Tankstellen 79 Prozent und bei Lkw-Tankstellen sogar 89 Prozent Bedarf für Wasserstoff in den nächsten Jahrzehnten. Im Gegensatz dazu sehen nur 26 Prozent den Bedarf für H₂-Tankstellen im Zugverkehr, und lediglich 18 Prozent halten dies im Schiffsverkehr für notwendig.

Diverse Akteurinnen und Akteure aus Brandenburg und der Hauptstadtregion sowohl aus dem kommunalen Bereich, aber auch aus der H₂-Wirtschaft planen Tank-Infrastruktur zu errichten und/oder zu betreiben.

Im **Schienenverkehr** planen in Brandenburg und der Hauptstadtregion mehrere Betreibende auf nicht-elektrifizierten Bahnstrecken den Einsatz von H₂-Zügen oder befinden sich bereits im Vergabeprozess. Nach Angaben der „H₂-Industrie Potenzialstudie“ sind in Brandenburg 61 Prozent der Strecken elektrifiziert bzw. 39 Prozent nicht-elektrifiziert (6). Auch wenn von einer fortschreitenden Elektrifizierung ausgegangen wird, wird in der Substitution von Dieselmotoren durch H₂-Züge im schienengebundenen Personen- und Güterverkehr ein Potenzial gesehen.

Aufgrund der erforderlichen hohen Energiedichte im **Flugverkehr** kommt Wasserstoff nicht direkt, sondern als Syntheseprodukt zum Einsatz. Die H₂-Nutzung für eine emissionsärmere Luftfahrt und die Entwicklung der spezifischen, dafür notwendigen Infrastruktur werden in Brandenburg und der Hauptstadtregion an mehreren Standorten von Akteurinnen und Akteuren erforscht und erprobt. Tätigkeiten sind aktuell die Grundlagenermittlung bzw. Genehmigungsverfahren für die Errichtung von PV-Anlagen an Flugplätzen und Flughäfen zur Erzeugung von EE-Strom zur Herstellung von grünem Wasserstoff und perspektivisch die dezentrale Herstellung von Power-to-Liquid (PtL) mittels grünem Wasserstoff als Synthesegas.

Der Logistikverkehr auf dem **Wasser** erprobt in Berlin in einem Pilotprojekt die Kombination aus Batterien und Brennstoffzellen in einem Schubschiff; der Antrieb soll perspektivisch auf Frachtschiffe übertragbar sein (13). Die Projektentwicklung für emissionsfreie Schifffahrt auf H₂-Basis in Berlin ist in Planung. Darüber hinaus planen einige Kommunen im Rahmen der nachhaltigen Schifffahrt, synthetischen Kraftstoff auf H₂-Basis in Booten und Schiffen einzusetzen.

Weiterhin nennen Akteurinnen und Akteure im Bereich **mobiler H₂-Anwendungen** die Umstellung von Netzersatzanlagen (Notstromaggregate) von Dieselmotoren auf wasserstoffelektrische Systeme und den Ersatz von Dieselstromgeneratoren durch H₂-Brennstoffzellen auf allen Baustellen, Weihnachtsmärkten, Open Air Events etc. der Hauptstadt.

Eine weitere wichtige Rolle spielen Akteurinnen und Akteure und Forschungseinrichtungen, die in der Region im **Fahrzeugbau und -technik** sowie in deren Entwicklung tätig sind. Die Tätigkeitsschwerpunkte reichen von der Erforschung und Entwicklung von wasserstoffbasierten Antriebstechnologien für mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge, Entwicklung und Herstellung von wasserstoffbetriebenen Wankelmotoren, der Entwicklung dezentraler Energielösungen mit Brennstoffzellen bis zur Modifikation von Gasturbinen für die Verbrennung von Wasserstoff für die Luftfahrt, BZ-Antriebe für Schiffe und Züge, Entwicklung von H₂-Motoren zur Stromerzeugung und industrielle Anwendungen (z. B. non road mobile machinery) und E-Fuel-Motoren (z. B. E-Methanol).

Die „H₂-Industrie Potenzialstudie“ sieht für Brandenburg „eine große wirtschaftliche Chance in der Ansiedlung von Unternehmen, die sich auf den Umbau von konventionell angetriebenen Schwerlast- und Sonderfahrzeugen auf Brennstoffzellenantriebe spezialisieren“ (6).

Die „Metastudie Wasserstoff“ sieht deutschlandweit im Verkehrssektor im Jahr 2050 einen H₂-Bedarf zwischen 150 und 300 TWh. Im Fokus steht dabei insbesondere der internationale Flug- und Schiffsverkehr mit einem Bedarf von 140 bis 200 TWh. Im straßengebundenen Verkehr sehen neuere Studien das größte Potenzial im Schwerlastverkehr (10). Diese Studie sieht im Verkehrssektor – nach dem Industriesektor – einen recht frühen Hochlauf des H₂-Bedarfs. Eine Abschätzung des Nachfragepotenzials für unterschiedliche mobile Anwendungen für Brandenburg lässt sich aus Abbildung 7 ablesen.

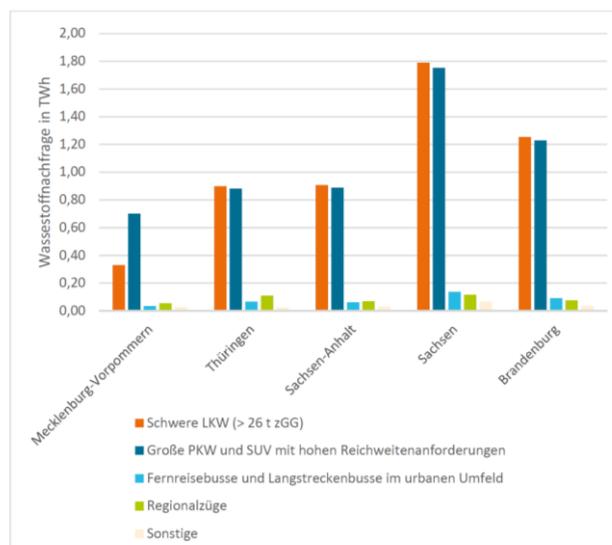
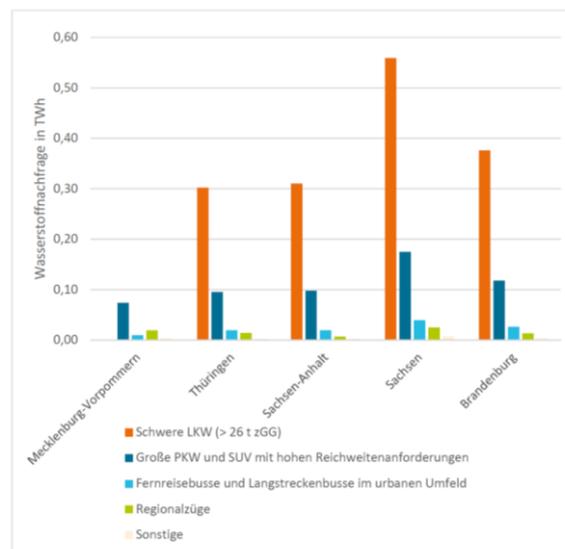


Abbildung 7: Optimistisches Szenario der H₂-Nachfragepotenziale im Verkehr 2030 (oben) und 2050 (unten) aus dem „H₂-Masterplan Ostdeutschland“ (9)

Für die Region Brandenburg/Berlin ist das Potenzial groß, sich in diesem Sektor zu positionieren, um zum einen die lokale Wertschöpfung aufzubauen und zu stärken und zum anderen sich darauf vorzubereiten, Prozesse, Anwendungen und Antriebe auf grünen Wasserstoff umzustellen und so zur Vermeidung und Reduzierung von THG-Emissionen beizutragen.

5.2 Potenziale und Herausforderungen

Die größten Potenziale für die mobile Anwendung von Wasserstoff sehen die Befragten im Bereich des straßengebundenen ÖPNV, siehe Abbildung 8. Auch die Logistik auf der Straße und der Schienenverkehr (falls keine Oberleitung vorhanden ist) werden unstrittig als Potenziale gesehen. Weniger eindeutig ist die Situation bei Pkw und in der Luftfahrt. Während einige das Potenzial in diesen Bereichen als hoch und sehr hoch einstufen, finden sich hier auch Stimmen, die das Potenzial als weniger hoch und gering einstufen. Diese Bereiche können als umstritten angesehen werden.

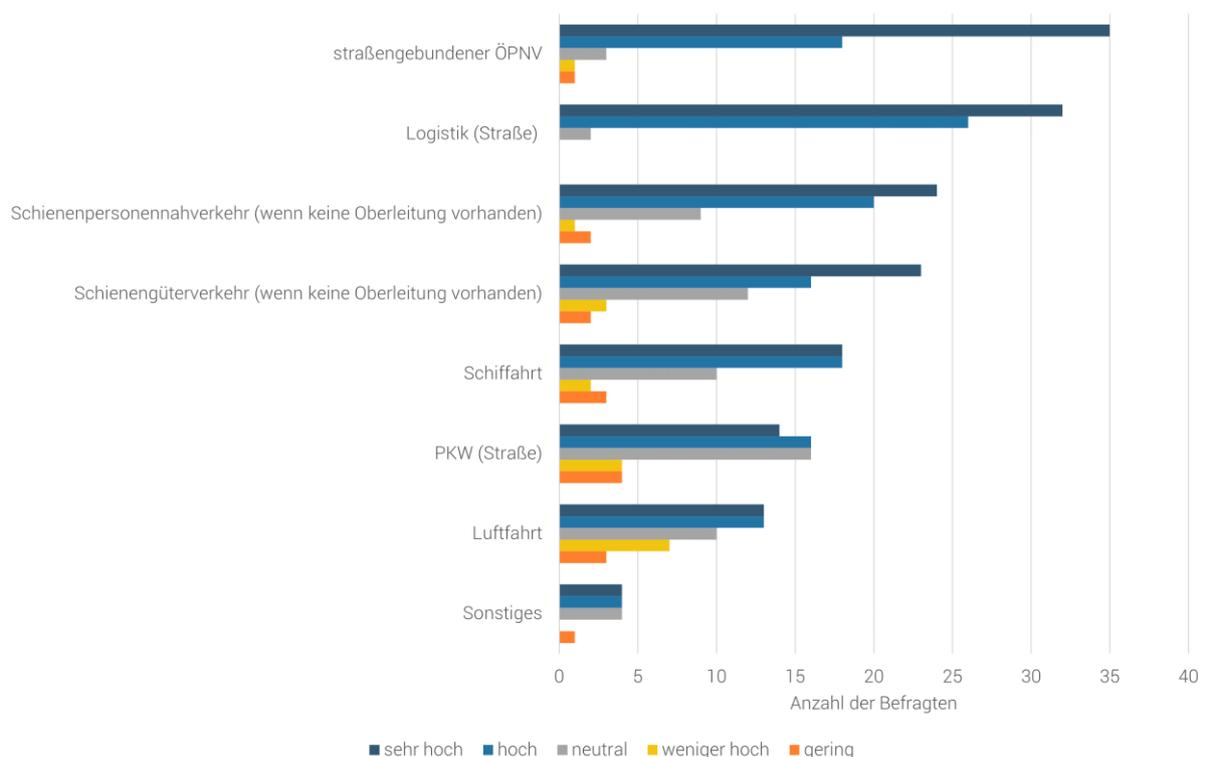


Abbildung 8: Mobilität: Anwendungspotenziale für Wasserstoff, n=55

Großes Verbesserungspotenzial im Mobilitätsbereich liegt aus Sicht von 10 Prozent der Befragten im Ausbau und in der Entwicklung der notwendigen **Infrastruktur**, d.h. im Ausbau des Tankstellennetzes. **Fördermaßnahmen** werden von 9 Prozent der Befragten als Verbesserungspotenzial genannt; konkret genannt werden u. a. Förderung von H₂-Tankstellen, Transport von Lasten (Lkw), Einführung von Quoten und stärkere Anreize für H₂-Mobilität sowie leichtere Finanzierung der Start-up-Szene auch mit wenig Eigenkapital. Eine Förderung sei notwendig, um die Investitionsbereitschaft zu erhöhen und um wirtschaftliche Geschäftsmodelle entwickeln zu können, so die Befragten.

Das **Angebot und die Verfügbarkeit von H₂-Fahrzeugen** müsse sich verbessern, so 8 Prozent der Befragten. Dies wird von 17 Prozent gleichzeitig als größte Herausforderung benannt: das Fehlen brauchbarer Modelle und die hohen Anschaffungskosten. Wünschenswert wäre aus Sicht der Befragten ein Bekenntnis der (deutschen) Herstellenden, entsprechende Fahrzeuge serienreif zu entwickeln und zu produzieren.

Ein weiterer Aspekt, der im Mobilitätsbereich als Verbesserungspotenzial genannt wurde, ist die Erhöhung der H₂-Produktion, insbesondere mit einem höheren Anteil an grünem Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen. Hier wird ebenfalls auf die im Kapitel zuvor bereits genannte Anpassung der **gesetzlichen Rahmenbedingungen** verwiesen: ambitionierte und zügige Umsetzung von RED II, Vergünstigung/Reduzierung von Steuern und Umlagen für EE-Strom, der für die Herstellung von grünem Wasserstoff genutzt wird, sowie Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen für Plangenehmigungsverfahren.

Als Herausforderung nennen 9 Prozent der Befragten die **Kosten**. Davon nennen mehr als die Hälfte den H₂-Preis als Hemmnis. Weiterhin wurden genannt Betreiberkosten und hohe Kosten der Errichtung von Infrastruktur, die zu mangelnder Wirtschaftlichkeit führen. **Mangelnde Infrastruktur** nennen 8 Prozent der Befragten als Hemmnis: Ausbau bzw. Verdichtung des Versorgungs- und Tankstellennetzes sowie der Ausbau der Produktions- und Speicherkapazitäten seien notwendig.

Eine weitere Hürde sahen die Befragten in der geringen Akzeptanz von Wasserstoff in der Bevölkerung: Sicherheitsbedenken in Parkhäusern und auf Schiffen oder Fähren, das Mitführen von Wasserstoff als Gas sowie Reichweiten-Angst (Pkw). Mehrfach wurden deshalb **Akzeptanz- und Kommunikationsmaßnahmen** gefordert; z. B., dass die Öffentlichkeit zum sicheren Umgang mit Wasserstoff informiert wird. Weiterhin schlugen die Befragten vor, dass Kommunen, die ihre Flotten umrüsten, hier mit gutem Beispiel vorangehen könnten.

5.3 Maßnahmen

Ab dem 2. August 2021 definiert die sogenannte Clean Vehicles Directive (CVD) für öffentliche Auftragsvergaben verbindliche Mindestziele für die Beschaffung emissionsarmer und -freier Pkw sowie leichter und schwerer Nutzfahrzeuge, insbesondere für Busse im ÖPNV (22). Diese Vorgaben verpflichten die öffentliche Hand aber auch bestimmte privatrechtlich organisierte Akteurinnen und Akteure (z. B. Post- und Paketdienste und die Müllabfuhr), einen Teil der beschafften Fahrzeuge emissionsarm oder emissionsfrei zu betreiben. Bei hohen Anforderungen an die Fahrzeuge (hohe Masse, lange Umläufe, kurze Standzeiten etc.) ist der Einsatz von Fahrzeugen mit Brennstoffzelle sehr wahrscheinlich. Gleichzeitig ist die Verfügbarkeit von BZ-Fahrzeugen bei kleinen Bestellmengen, z. B. für Lkw oder Busse, derzeit noch eingeschränkt.

Maßnahme 15: Bedarfe von BZ-Fahrzeugen bündeln und somit Sammelbestellungen für Pkw, Nutzfahrzeuge und Busse ermöglichen (u. a. als ein Beitrag zur Erfüllung der Clean Vehicles Directive, CVD). Länderübergreifende Einkaufsgemeinschaft mit Berlin prüfen.

Fahrzeug Klasse	Definition „sauberes Fahrzeug“		Beschaffungsquoten 1.Referenzzeitraum, 02.08.2021 bis 31.12.2025	Beschaffungsquoten 2.Referenzzeitraum, 01.01.2026 bis 31.12.2030
PKW	50 g CO ₂ / Km 80% Luftschadstoffe (Prozentsatz der Emissionsgrenzwerte nach RDE)	Ab 2026: 0 g CO ₂ / Km, k.A zu Luftschadstoff- emissionen	38.5%	
Leichte Nfz (< 3,5t zGM)	50 g CO ₂ / Km 80% Luftschadstoffe (Prozentsatz der Emissionsgrenzwerte nach RDE)		38.5%	
Lkw (>3,5t zGM)	Nutzung alternativer Kraftstoffe (lt.Art.2 AFID bspw. Strom, Wasserstoff, Erdgas, synthetische Kraftstoffe**, Biokraftstoffe**)		10%	15%
Busse (>5t zGM)			45%*	65%*

* Die Hälfte der beschafften Busse muss emissionsfrei sein, d.h. weniger als 1 g CO₂/km ausstoßen, z.B. Elektro- bzw. Brennstoffzellenfahrzeuge.

** Alternative Kraftstoffe dürfen nicht mit konventionellen, fossilen Kraftstoffen gemischt werden.

Abbildung 9: Clean Vehicles Directive (23)

Erstmals wurden CO₂-Grenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge eingeführt. Diese Fahrzeuge müssen in Europa 15 Prozent bis zum Jahr 2025 und 30 Prozent bis zum Jahr 2030 an CO₂-Reduktion bezogen auf das Jahr 2019 erreichen (24). Bei der Citylogistik kommen weitere begünstigende Faktoren für den Einsatz alternativer Antriebe hinzu. So könnten Betreibende von Lkw sich zukünftig veranlasst sehen, sehr leise Fahrzeuge einzusetzen, um Städte auch nachts (ohne Staus) um ein Vielfaches schneller beliefern zu können. Daher ist die Hauptstadtregion bestens für den kurzfristigen Einsatz von H₂-Lkw und den Aufbau von H₂-Infrastruktur geeignet.

Dabei sind sowohl die Güterbelieferung der GVZ über Langstrecken-Lkw sowie die Verteilung der Güter (Citylogistik) relevante Anwendungsfelder. Synergien zu anderen H₂-Nutzungspfaden (**Maßnahme 39**) können bei der Standortwahl berücksichtigt werden. Der H₂-Marktplatz unterstützt dabei die Standortsuche und Abstimmung der nötigen Akteurinnen und Akteure. Die Erzeugung bzw. Anlieferung von grünem Wasserstoff soll möglichst „onsite“ bzw. regional ermöglicht werden. Die Betankung ist eichrechtskonform anzustreben. Die entsprechenden Messeinrichtungen sind vorzusehen und notfalls mit den nötigen Unternehmen zu entwickeln (siehe auch **Maßnahme 62**). Letztlich ist die Berechnung und Zertifizierung der spezifischen CO₂-Mengen zu untersuchen und der wirtschaftliche Anreiz zum Einsatz von BZ-Lkw mit den Betreibenden zu prüfen.

Maßnahme 16: Pilotprojekte für BZ-Lkw an Güterverteilzentren (GVZ) im Bereich der Straßengüterlogistik durchführen.

Die Einhaltung der CO₂-Grenzwerte wird auch den europäischen Transitverkehr betreffen. Die teilweise in Brandenburg liegenden Autobahnen sind u. a. Haupttrouten für den europäischen Straßengüterverkehr. Hierbei sind die Leitlinien zu transeuropäischen Netzen TEN-E (Energie) und TEN-T (Transport, Nordsee-Ostsee-Korridor, Skandinavien-Mittelmeer-Korridor und Korridor Orient-östliches Mittel-

meer) zu berücksichtigen. Beispielsweise sind geplante Tankstellenstandorte (für große Mengen Wasserstoff) auf einen möglichen Anschluss an geplante H₂-Pipelines zu prüfen. Außerdem wird im Deutschen Aufbau- und Resilienzplan (DARP), in Umsetzung der „Next Generation EU“, ein besonderer Schwerpunkt auf erneuerbaren Wasserstoff gelegt, und Zuschüsse für die Errichtung von Tank- und Ladeinfrastrukturen sind geplant (25). Weiterhin ist der aktuelle Status der für eine Förderung im Rahmen der „Important Projects of Common European Interest“ (IPCEI) ausgewählten Projekte in der Region zu beachten und auf Synergien zu prüfen.

Maßnahme 17: Beantragung von EU-geförderten Projekten zur grenzübergreifenden Planung und zum Aufbau von H₂-Betankungsinfrastruktur für den europäischen Transitverkehr.

Es ist volkswirtschaftlich nicht empfehlenswert, alle Schienenwege via Oberleitung zu elektrifizieren (19). Für eine ausgewählte Strecke in Brandenburg und der Hauptstadtregion sind bereits Brennstoffzellenzüge bestellt. Bisher sind keine flächendeckenden Analysen der nicht-elektrifizierten Strecken in der Region bekannt. Für die Dekarbonisierung dieser Strecken ist der Einsatz alternativer Antriebsarten notwendig. Die folgende Maßnahme bildet die Grundlage für einen vermehrten Einsatz von BZ-Zügen

Maßnahme 18: Technoökonomische Auswertung zum potenziellen Einsatz von BZ-Zügen auf nicht-elektrifizierten Schienenwegen.

Diese Auswertung liefert die nötigen Kriterien für die daran anschließende Maßnahme:

Maßnahme 19: Prüfung, ob bei der Ausschreibung von Schienenverkehrsleistungen Vergabeverfahren so gestaltet werden können, dass ein Beitrag zum Klimaschutz signifikant in der Gewichtung berücksichtigt wird. Dazu werden Emissions- und Innovationskriterien angelegt.

Sowohl der Schiffs- als auch der Flugverkehr werden ihren Beitrag zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors leisten müssen. Für den Schiffsverkehr gilt es in enger Kooperation mit dem Land Berlin sowie den Nachbarländern, die vorhandenen Chancen bei der Elektrifizierung des Schiffsverkehrs mit der folgenden Option zu heben:

Maßnahme 20: Technoökonomische Auswertung zum potenziellen Einsatz von BZ-Schiffen.

Auf dieser Basis und dem Wissen der bereits laufenden Pilotvorhaben kann der benötigte H₂-Bedarf ermittelt und regional im Sinne einer Infrastrukturplanung zugeordnet werden.

Maßnahme 21: Aufbau von H₂-Pilottankstellen für den länderübergreifenden Schiffsbetrieb mit Brennstoffzellen (BZ).

Die Elektrifizierung des Luftverkehrs wird bei kleinen Flugzeugen beginnen. Brandenburg und die Hauptstadtregion verfügen über die entsprechenden Flugplätze und Flughäfen sowie Unternehmen, die eine nötige Entwicklung, Tests sowie Vermarktung dieser Technologien realisieren können.

Maßnahme 22: Unterstützung von Vorhaben für die Elektrifizierung des Flugverkehrs mit Brennstoffzellen.

Große Passagier- und Frachtmaschinen werden auch auf lange Sicht nur über strombasierte Kraftstoffe dekarbonisiert werden können. Brandenburg bietet neben dem Potenzial für erneuerbare Energien vor allem auch den entsprechenden Raffineriestandort sowie den neuen Großflughafen BER.

Maßnahme 23: Beantragung und Durchführung eines Bundes- und EU-geförderten Pilotprojektes für die Produktion und den Einsatz strombasierter Kraftstoffe im Flugverkehr.

Die Region um den Flughafen BER bietet außerdem die Chance, zu einem globalen Schaufenster für Energiewende und H₂-Wirtschaft entwickelt und vermarktet zu werden (siehe Maßnahme 3).

6. Handlungsfeld Nutzung von Wasserstoff in der Wärmeproduktion für den Gebäudesektor

6.1 Stand und aktuelle Aktivitäten

Wasserstoff zur Wärmeproduktion nutzen 12 Prozent der Befragten oder gaben an, dies zukünftig zu tun. Dabei verwendet der Großteil der Befragten derzeit Wasserstoff in KWK-Anlagen (Abbildung 10). Auch die Nahwärme in Quartieren und die bilanzielle Nutzung von Wasserstoff in Erdgasnetzen spielen bereits heute eine Rolle. Zukünftig wollen in allen Nutzungsbereiche mehr Befragte aktiv werden.¹¹

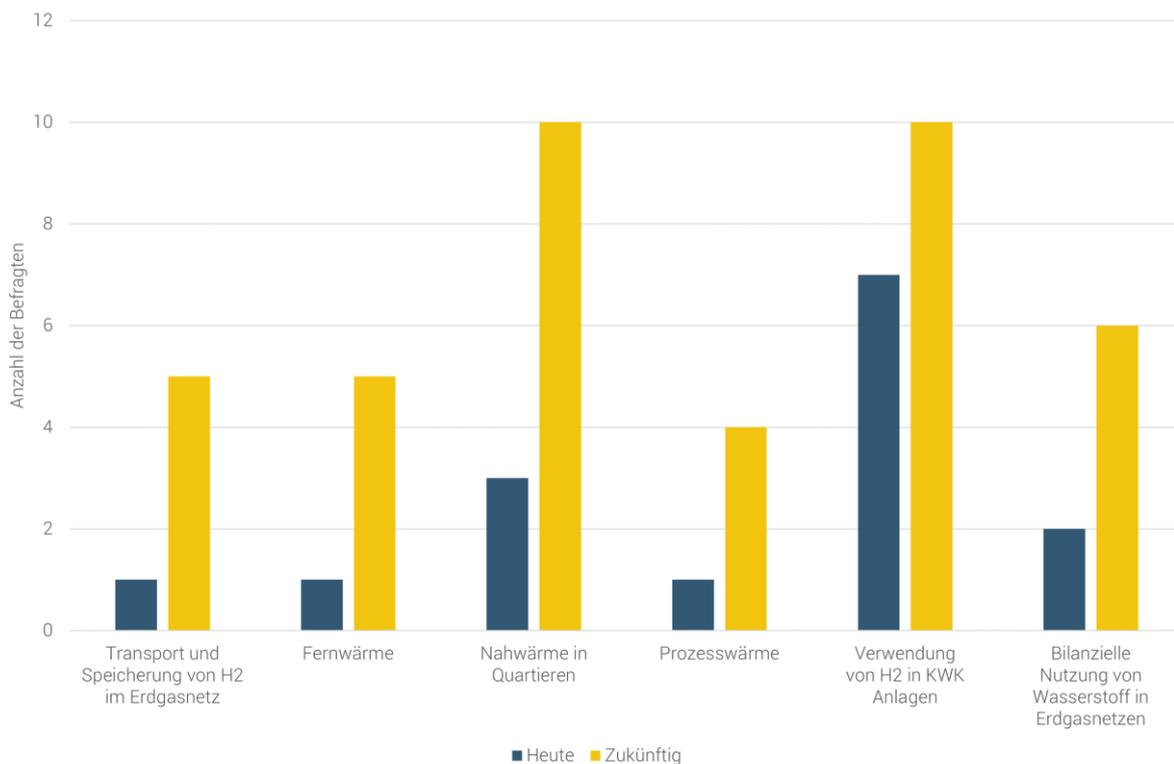


Abbildung 10: Wärmesektor: Aktuelle und zukünftige Nutzung von Wasserstoff

Für die Befragten gibt es vielfältige Gründe, Wasserstoff im Wärmebereich zu nutzen (Abbildung 11). Gesetzliche Vorgaben sind der Hauptnutzungsgrund. Aber auch der Kundinnen- und Kundenwunsch, attraktive Förderkonditionen und die Nutzung vorhandener Assets spielen eine wichtige Rolle für die Befragten.

¹¹ Die Abbildung zeigt die Anzahl der Befragten. Es können keine direkten Rückschlüsse zu den benötigten Wasserstoffmengen gezogen werden.

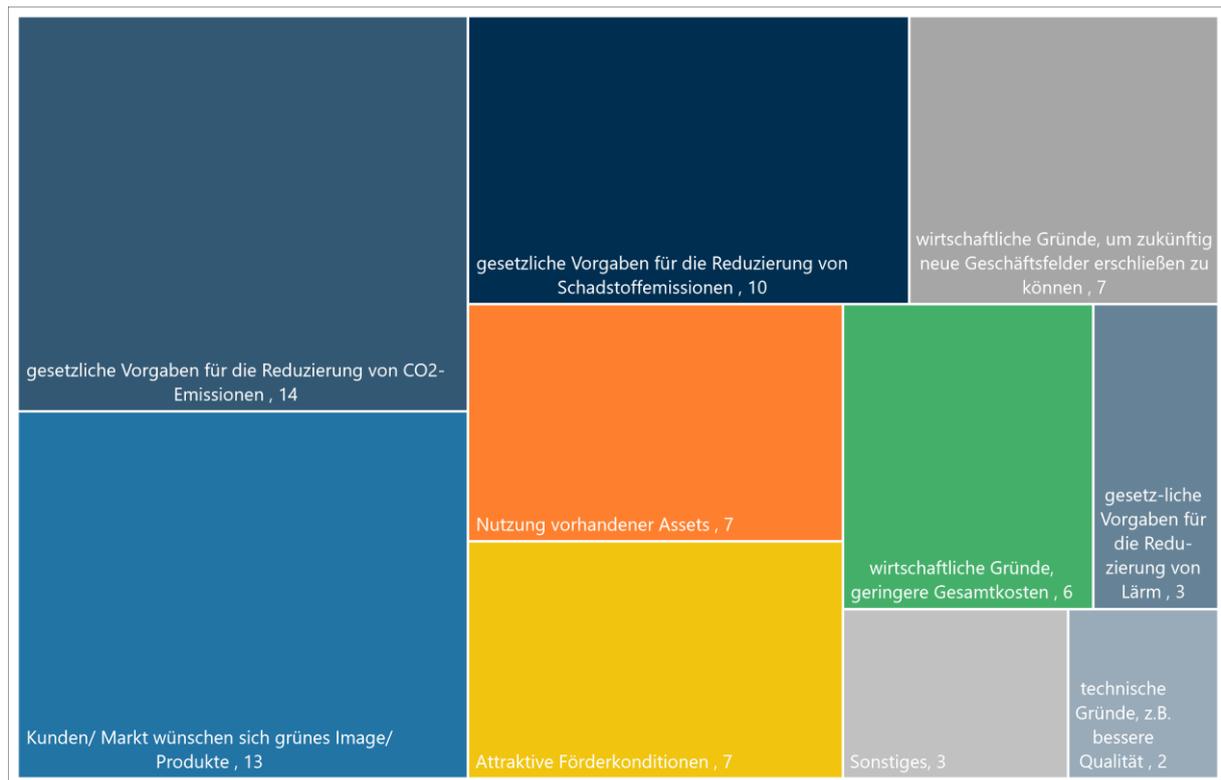


Abbildung 11: Wärmesektor: Gründe für Einsatz von Wasserstoff

Derzeit wird Wasserstoff kaum zur Versorgung von Gebäuden mit Wärme eingesetzt. Grundsätzlich sieht die „H₂-Industrie Potenzialstudie“ für Brandenburg jedoch ein erhebliches Potenzial zur Einspeisung von grünem Wasserstoff ins Erdgasnetz und dessen Nutzung im Wärmesektor sowie zum Ersatz der alten Heizungssysteme in den Gebäuden durch BZ-Mikro-KWK-Anlagen (6). Anwendungsmöglichkeiten werden aktuell insbesondere von Energieversorgenden, deren Tochterunternehmen und Projektentwicklungsgesellschaften erforscht und erprobt. Im Bereich der Wärme- bzw. kombinierten Strom- und Wärmeversorgung sind in der Region Brandenburg/Berlin beispielsweise folgende Vorhaben in Planung:

Planung von Pilotprojekten zur Einbindung von grünem oder türkischem Wasserstoff in der Quartiersversorgung (Mischquartiere, Wohnen, Industrie) mittels H₂-BHKW und H₂-Pyrolyse. Perspektivisch geplant, ist die Umsetzung und der Betrieb von autarken Quartiersprojekten, die 100 Prozent CO₂-neutral sind oder als CO₂-Senke grünen oder türkisen Wasserstoff unter Einbeziehung von lokalem PV-Strom sowie Wärmepumpen für Niedertemperatur-Bedarfe und Kühlung nutzen. Speichertechnik für Wasserstoff, Wärme, Kälte und Strom kann ergänzt werden.

An anderer Stelle ist durch Kombination von Bestands-WEA, ÖPNV und Abfallsammelfahrzeugen die Dekarbonisierung eines bestehenden Fernwärmeversorgungsnetzes (aktuell: erdgasbetriebene BHKW) geplant. Ein weiteres Projekt sieht den Betrieb von KWK-Anlagen mit Wasserstoff im Erdgasnetz (bis zu 20 Volumenprozent H₂-Anteil) vor.

Auf der Ebene von Privat- bzw. Haushaltskundinnen und -kunden nannten Energieversorgende der Region – oft gemeinsam mit Partnerunternehmen – beispielhaft folgende Vorhaben: Angebot eines Gasprodukts mit H₂-Beimischung von bis zu 1 Prozent grünem Wasserstoff. In einem Feldtest für Ein- und Mehr-Familien-Häuser wird die saisonale Speicherung von PV-Strom über eine Elektrolyse-Einheit in

H₂-Flaschen und die Rückverstromung über eine Brennstoffzelle erprobt. Ein weiterer Energieversorger plant perspektivisch, bis 2040 überwiegend und bis 2050 zu 100 Prozent klimaneutrale Gase, inklusive Wasserstoff, anzubieten¹².

Diese Entwicklung sieht auch der „H₂-Masterplan Ostdeutschland“. Dort wird argumentiert, dass die „Nutzung der Abwärme der H₂-Erzeugung und der Rückverstromung in Kombination mit dem Einsatz von Wärmepumpen [...] einen wesentlichen Beitrag für die wirtschaftliche Realisierung“ leisten kann (9). Der „Masterplan“ geht detailliert auf den Einsatz grünen Wasserstoffs in der Niedertemperaturwärme ein (9). Die „Metastudie Wasserstoff“ sieht deutschlandweit im Gebäudesektor einen H₂-Bedarf von bis zu 200 TWh bis zum Jahr 2050 (10).

6.2 Potenziale und Herausforderungen

Den Standort Brandenburg und Berlin im Bereich der Nutzung von Wasserstoff in der Wärmeproduktion sahen 7 Prozent der Befragten überwiegend positiv, ein Prozent der Befragten sah einen Standortnachteil. Als Standortvorteile wurden genannt u. a. die vorhandene EE-Kapazität verbunden mit der Flächenverfügbarkeit in Brandenburg und die bereits vorhandene Infrastruktur, die im Wärmebereich genutzt werden kann. Hervorgehoben wurden Nutzungsoptionen für dezentrale Produktionsmöglichkeiten bei Verbrauchenden für die Versorgung von Quartieren mit allen Energiebedarfsformen (Strom, Wärme und Mobilität) und für die Erprobung in Wärmeprojekten in verdichtender Bebauung. Als weiterer Vorteil wurde die Emissionsreduzierung bzw. die Möglichkeit der negativen CO₂-Bilanz am Standort durch H₂-Nutzung im Wärmebereich genannt. Als Standortnachteil in Berlin wurde – im Gegensatz zu Brandenburg – der Mangel an EE-Aufkommen genannt.

Verbesserungspotenziale nannten 5 Prozent der Befragten, 7 Prozent machten Angaben zu Hemmnissen im Bereich der Wasserstoffnutzung zur Wärmeversorgung. Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln wurden die **Kosten** bzw. die **Wirtschaftlichkeit** als verbesserungswürdig bzw. als Hemmnis gesehen: Höhe des Strompreises, zu geringer CO₂-Preis, keine Möglichkeit der Anrechnung von negativen CO₂-Emissionen. Die H₂-Projektanwendungen stehen wirtschaftlich in Konkurrenz mit konventioneller Wärmeversorgung, wie Fernwärme, Erdgas und/oder Wärmepumpen. In der **Möglichkeit durch H₂-Beimischung** Versorgungsnetze zu (teil-)dekarbonisieren, sahen die Befragten ein Potenzial. Die Befragten verwiesen darauf, dass bei einer potenziellen Umstellung auf 100 Volumenprozent H₂-Netze entsprechende Endgeräte in Marktreife verfügbar sein müssen. In diesem Zusammenhang wurde die Schaffung verlässlicher Roadmaps für Herstellende von Endgeräten vorgeschlagen sowie weitere **Maßnahmen zur Marktvorbereitung**.

Gesetzgebung und Rahmenbedingungen wurden mehrfach als Verbesserungspotenzial genannt. Dies sind vor allem die fehlenden Vorgaben bzw. der fehlende Rahmen zur Erhöhung des H₂-Anteils in Erdgasnetzen, die Anerkennung von Wasserstoff als Wärmemittel in der Regulatorik und im Gasnetzbetrieb sowie die Anerkennung der Minderung des CO₂-Preises (BEHG) bei Abtrennung von Kohlenstoff aus Methan (im Plasmapolyse- und Pyrolyse Verfahren).

¹² Weitere Ausführungen zur Beimischung von Wasserstoff in Erdgasnetzen bzw. zur Umstellung von Netzen finden sich in Kapitel 8.1.

6.3 Maßnahmen

Szenarien zur Klimaneutralität gehen im Bereich der Wärmeversorgung davon aus, dass Wasserstoff im Jahr 2050 ca. 37 Prozent am Erzeugungsmix der Fernwärmeerzeugung in Deutschland sicherstellen könnte¹³. Damit wäre der Energieträger Wasserstoff nach dem Einsatz von Wärmepumpen (44 Prozent) die zweitbedeutendste Möglichkeit zur Dekarbonisierung in diesem Bereich (26). Der Energieeintrag in die Wärmenetze kann über die Abwärme der Elektrolyseure oder durch KWK- oder BHKW-Anlagen erfolgen. Daraus ergeben sich die folgenden Maßnahmen.

Das Erreichen der Dekarbonisierungsziele hängt von sehr vielen Faktoren ab. Das Wissen zum aktuellen Stand dieser Faktoren (bspw. Fachkräftebedarf in der Region Brandenburg und Hauptstadtregion, Sanierungsquoten in Berlin) sowie die Verantwortlichkeiten sind auf verschiedene politische Ressorts und über die Landesgrenzen hinweg verteilt.

Maßnahme 24: Enger Austausch und Monitoring zu Dekarbonisierungszielen im Gebäudesektor.

Der Einsatz von Wasserstoff im Wärmesektor wird nicht von allen Akteurinnen und Akteuren im Transformationsprozess gleichermaßen geteilt. Der konkrete Einsatz und Bedarf von Wasserstoff im Wärmesektor hängt jedoch vor allem auch vom Erfolg der anderen Dekarbonisierungsoptionen ab. Können beispielsweise Sanierungsarbeiten und die Installation von Wärmepumpen sehr schnell erfolgen, sinkt der Bedarf nach grünem Wasserstoff in den Gas- und Wärmenetzen. Verzögern sich hingegen diese Maßnahmen (z. B. durch Fachkräftemangel bei der Sanierung von Gebäuden und damit nicht ausreichenden Sanierungsquoten) und gefährden die Erreichung der Klimaziele, muss der Einsatz von grünem Wasserstoff gesteigert werden. Daher gilt es im ersten Schritt, die Effizienzvorteile von Wärmepumpen auszuschöpfen und gemäß Maßnahme 24 den Einsatz von Wasserstoff im Wärmesektor zu monitorieren.

Maßnahme 25: Effizienzvorteile von Wärmepumpen ausschöpfen.

Zur Erreichung der Klimaziele sollte Wasserstoff auch für industrielle Hochwärmebedarfe eingesetzt werden. Bisher ungeklärt sind hingegen die genauen Mengen, Zeitpunkte und Einsatzorte zur großskaligen Einführung von Wasserstoff im übrigen Wärmesektor. Deshalb erscheint die Umsetzung von Pilotprojekten hier zielführend, um das in Maßnahme 24 genannte Monitoring durch praktische Erkenntnisse zu ergänzen.

Diese Pilotprojekte sollen einerseits die Einbringung von Wärme in die Wärmenetze sowie die Beimischung von Wasserstoff in die Gasnetze untersuchen. Weiterhin sind die Verträglichkeit sowie die eichrechtskonforme Abrechnung der Mischgase sicherzustellen.

Maßnahme 26: Wärme aus Wasserstoff - Pilotprojekte

¹³ Die zitierten Szenarien gehen davon aus, dass Fernwärme ca. 25 Prozent des Endenergieverbrauchs (gesamt 2050: 447 TWh) in Deutschland im Jahr 2050 ausmachen wird (27).

Die Rolle der Abwärmenutzung im Prozess der H₂-Herstellung sollte ebenfalls analysiert werden. Denn Elektrolyseure geben ca. ein Drittel der eingesetzten Energie als Abwärme auf einem Temperaturniveau von ca. 60 bis 80°C ab.

Maßnahme 27: Unterstützung von Pilotprojekten in Brandenburg oder Berlin zur Dekarbonisierung von Wärmenetzen durch Nutzung der Abwärme von Elektrolyseuren.

Die daraus gesammelten Erfahrungen werden wieder in Maßnahme 22 einfließen. Außerdem ist mit diesen Ergebnissen, im Sinne einer Realisierung der Sektorenkopplung, ein Anreizsystem zur gezielten Standortwahl von Elektrolyseuren zu prüfen.

Maßnahme 28: Anreizsystem zur gezielten Standortwahl von Elektrolyseuren anstreben, um Abwärme systematisch nutzen zu können.

Die Beimischung von Wasserstoff ins Gasnetz sowie die Abscheidung von Wasserstoff aus dem Gasnetz (Maßnahme 35) sind relevante Technologien. Dabei sind die technische Funktion sicherzustellen sowie die benötigten Mengen zur Erreichung der Klimaziele im Wärmesektor zu ermitteln.

Maßnahme 29: Beimischung von Wasserstoff ins Gasnetz zur kurzfristigen Emissionsreduktion im Wärmebereich (z. B. für Anlagen, die aus der EEG-Vergütung herausfallen).

7. Handlungsfeld Stromerzeugung

7.1 Stand und aktuelle Aktivitäten

Die **Erzeugung erneuerbarer Energien** ist Grundlage, um grünen Wasserstoff herzustellen und ein Ausgangspunkt der H₂-Wertschöpfungskette. Unternehmen, die im Bereich Planung und Errichtung oder Betrieb von (ausgeförderten) Wind- oder Solarparks tätig sind, spielen für Brandenburg und die Hauptstadtregion eine wichtige Rolle. Einige der Befragten planen den Betrieb von Elektrolyse-Anlagen im Verbund mit EE-Anlagen. Beispielhaft ist hier der perspektivische Aufbau eines eigenen Stromnetzes zu nennen mit PV, WEA und einer Biogasanlage, um den Elektrolyseur mit einer möglichst hohen Auslastung zu versorgen. Die Größe und der Aktionsradius dieser Unternehmen sind divers, so auch der „H₂-Masterplan Ostdeutschland“: Sie treten einerseits als größere Entwicklungs- und Betreibergesellschaften auf, die in Brandenburg und darüber hinaus aktiv sind. Andererseits existiert eine Vielzahl von kleineren Gesellschaften, die sich im Wesentlichen auf den Betrieb einzelner Erzeugerparcs konzentrieren (9).

Einzelne Akteurinnen und Akteure planen die dezentrale **Rückverstromung** grünen Wasserstoffs in ihre H₂-Infrastruktur ein. Wie in Kapitel 6 dargestellt, ist Nutzung der Abwärme der H₂-Erzeugung und die Rückverstromung, z. B. in Kombination von Wärmepumpen oder anderem ein wesentlicher Beitrag für die Wirtschaftlichkeit von H₂-Infrastruktur.

Weiterhin können wasserstoffbasierte Erzeugungsanlagen zur Bereitstellung von gesicherter Leistung und von **Systemdienstleistungen** für den Netzbetrieb genutzt werden. Diese Systemdienstleistungen fallen in den Bereich der Übertragungsnetzbetreiber. Der „H₂-Masterplan Ostdeutschland“ sieht in der Nachnutzung von Kohlekraftwerken nach dem Kohleausstieg das Potenzial, die an den Standorten vorhandene leistungsfähige Strom- und Gasnetzinfrastruktur für wasserstoffbasierte Ausgleichskraftwerke zu transformieren (9). Weiterhin ist denkbar regelbare Erzeugungskapazitäten für die Rückverstromung auf den Betrieb mit grünem Wasserstoff oder synthetischem Methan umzustellen.

Auch erste Planungen für **Heizkraftwerke**, die sukzessive auf H₂-Beimischung umgestellt werden sollen, existieren bereits, bedürften derzeit jedoch ganz erheblicher Förderung, um darstellbar zu sein.

Die „Metastudie Wasserstoff“ sieht deutschlandweit im Umwandlungssektor¹⁴ zur Strom- und Wärmeerzeugung einen H₂-Bedarf in einer Bandbreite zwischen 50 und 150 TWh bis zum Jahr 2050 (10).

¹⁴ Die Studie definiert den Umwandlungssektor als Strom- und Wärmeerzeugung, Raffinerien.

7.2 Potenziale und Herausforderungen

Als Potenzial im Bereich der Stromerzeugung im Zusammenhang mit Wasserstoff sahen die Befragten vor allem die starke Kopplung der Stromerzeugung mit Wasserstoff. Verbesserungspotenziale im Bereich der Stromerzeugung im Zusammenhang mit Wasserstoff gaben 6 Prozent der Befragten an. Dies sind u. a. höhere EE-Stromproduktion, z. B. durch Flächenausweisung für EE-Anlagen, Schaffung von Elektrolyse-Kapazitäten und Verteilnetzen sowie die Förderung der Rückverstromung. Im Bereich der **Gesetzgebung und Rahmenbedingungen** wurden, wie in den Kapiteln zuvor, die Anpassung regulatorische Regelungen und schnellere Genehmigungsverfahren als wünschenswert genannt. Größtes Hemmnis in diesem Bereich ist für die meisten Befragten der H₂-Preis. Das zeigt Abbildung 12.

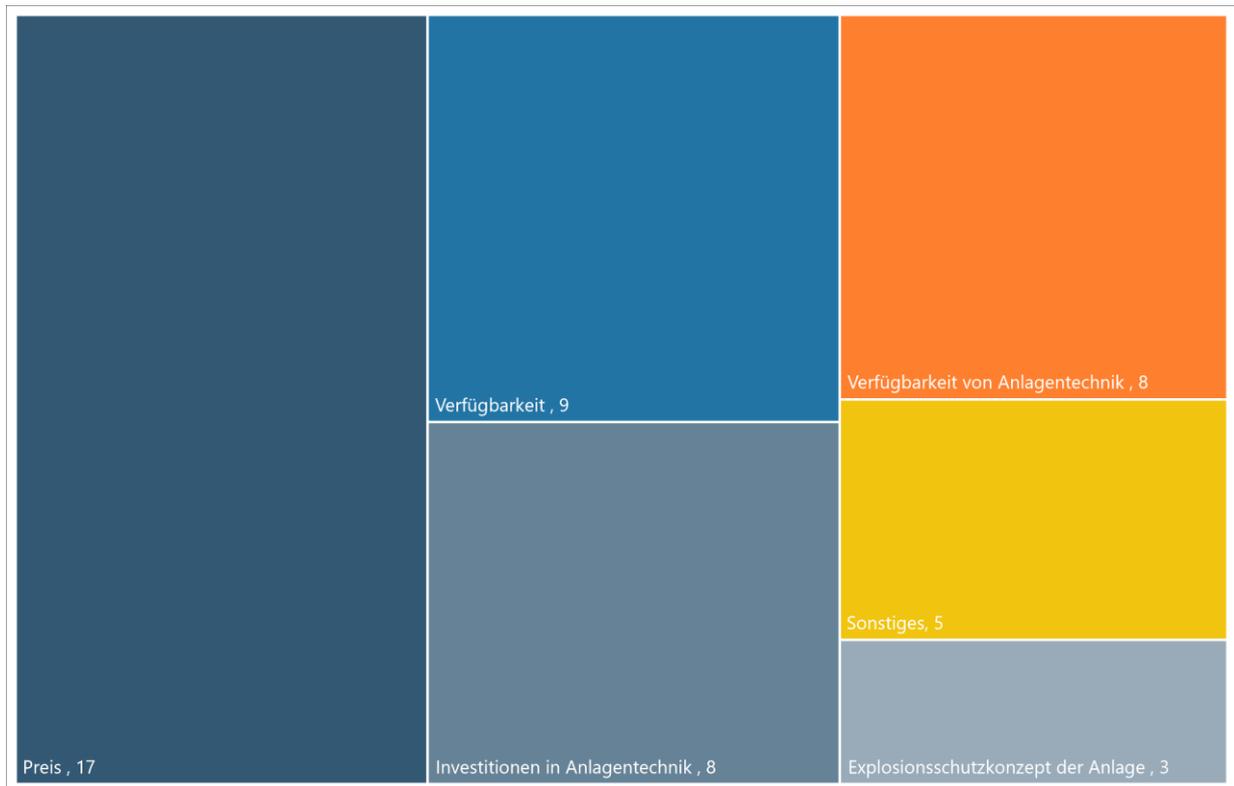


Abbildung 12: Stromerzeugung: Hemmnisse der Wasserstoffnutzung, n=33

7.3 Maßnahmen

Seit mehr als zehn Jahren werden in Brandenburg und Berlin bereits Elektrolyse-Anlagen zur Sektorenkopplung erforscht, entwickelt, betrieben und exportiert. Brandenburg kann daher als eines der ersten Bundesländer auch komplexe Lösungen für die Energiesysteme der Zukunft schon heute entwickeln. Dieses Wissen ist in Brandenburg gut zu nutzen. Jedoch werden viele Systemdienstleistungen (Blindleistung, Schwarzstartfähigkeit) derzeit noch durch konventionelle Kraftwerke erbracht. Mit dem Ende der konventionellen Energieerzeugung müssen diese Aufgaben zukünftig mit Hilfe von erneuerbaren Energien möglich sein.

Maßnahme 30: Langfristige Unterstützung von Vorhaben zur Entwicklung, zum Test und zur Vermarktung von Systemdienstleistungen für 100 Prozent EE-Stromerzeugung mit Hilfe von H₂-Systemen.

Brandenburg verfügt u. a. an den Standorten der Kohle- und Gasverstromung sowie im Bereich der Raffinerie- und Stahlindustrie über exzellente Strom- und Gasinfrastrukturen.

Maßnahme 31: Die bestehende Strom- und Gasinfrastruktur zur Anbindung von konventionellen Kraftwerken für H₂-Erzeugungs- und Speicherprojekte ertüchtigen.

Mit Hilfe dieser technischen Transformation kann der Strukturwandel auch als Strukturentwicklung verstanden und proaktiv gestaltet werden, um hochqualifizierte Arbeitsplätze zusätzlich zu schaffen. Ebenso technisch herausfordernd wie auch zukünftig notwendig ist die direkte Versorgung elektrifizierter Bahnstrecken mit erneuerbaren Energien. Hierbei ist eine bedarfsgerechte Versorgung, auch in Zeiten geringer Produktion von EE-Anlagen, anzustreben. In Brandenburg sind die dafür nötigen Infrastrukturen bereits vorhanden. Entsprechend können Umspannwerke (50 Hz/16,7 Hz), Netzknoten zu Verteil- und Übertragungsnetzen, Gasspeicher sowie Gasturbinen für die mögliche Rückverstromung für die elektrische Versorgung von Schnellbahnstrecken genutzt werden.

Maßnahme 32: Mindestens ein Projekt zur bedarfsgerechten EE-Einspeisung in das 16,7 Hz Bahnstromnetz mit Hilfe von H₂-Systemen realisieren.

8. Handlungsfeld Transport, Infrastruktur und Speicherung von Wasserstoff

8.1 Stand und aktuelle Aktivitäten

Die befragten Akteurinnen und Akteure haben angegeben, dass sie aktuell u. a. folgende wasserstoffbezogene Infrastruktur nutzen: Gasnetz über die bilanzielle H₂-Beimischung, H₂-Tankstellen, Flaschen, lokale Verteilstation (Gasflaschenbündel), Elektrolyse mit Speicherung, Trailer-Befüllung, Transportleitungen und Untergrundgasspeicher. Perspektivisch planen die Befragten zusätzlich zu den bereits genannten Punkten folgende Infrastruktur zu nutzen oder bereitzustellen: Erhöhung der H₂-Aufnahmefähigkeit auf 20 Volumenprozent H₂-Beimischung und Aufbau von reinen bzw. 100 Volumenprozent H₂- (Insel-) Netzen mit Anschluss an das europäische H₂-Backbone-Gastransportnetz, mobile Systeme für den Katastrophenschutz, Flaschenbündel für mobile Tankstellen zur Befüllung von H₂-Stromgeneratoren (Baustellen, Open Air Events ...). Aktuell sind in Brandenburg und der Hauptstadtregion keine 100 Volumenprozent H₂-Verteilnetze regulär in Betrieb.

Auf **Fernleitungsebene** erfolgt aktuell die Beimischung von Wasserstoff in das Erdgasnetz in zwei Einspeiseanlagen in Brandenburg sowie die Planung für die Errichtung einer Pilotanlage zur Trennung von Erdgas und Wasserstoff aus Gemischen an einem der Standorte. Auf überregionaler Ebene beteiligen sich Fernleitungsnetzbetreibende am Aufbau von 100 Volumenprozent H₂-Netzen wie im European Hydrogen Backbone Report vorgestellt (27). Der Aufbau dieser Infrastruktur soll überwiegend auf Basis der bestehenden Erdgasinfrastruktur erfolgen, die auf den Transport von reinem Wasserstoff umgestellt wird. In einem ersten Schritt sollen Infrastruktur-Cluster entstehen, die von großen Industrieunternehmen, z. B. aus der Chemie- oder Stahlbranche, gebildet werden. In einem zweiten Schritt sollen diese Cluster untereinander in einer gemeinsamen Infrastruktur verbunden werden, die zusätzlich einen Anschluss an internationale Erzeugungskapazitäten bietet.

Bereits heute kann Wasserstoff dem Erdgasnetz beigemischt werden. Der Grenzwert der Beimischung liegt aktuell bei bis zu 10 Volumenprozent gemäß DVGW-Regelwerk. Verschiedene Studien, insbesondere des DVGW, kommen zu dem Schluss, dass mittelfristig eine Beimischung von bis zu 20 Volumenprozent technisch umsetzbar ist und die netzseitigen Kosten für H₂-Readiness überschaubar sind. Außerdem wird das DVGW-Regelwerk aktuell auf 20 bzw. 100 Volumenprozent Wasserstoff angepasst. Somit soll den Netzbetreibenden ein technisches Regelwerk gegeben werden, welches den sicheren Betrieb und Errichtung der Gasinfrastruktur ermöglicht (28).

Die **Verteilnetzbetreibenden** richten ihre Aktivitäten darauf aus, dass die Gasnetze „H₂-Ready“ und auf eine H₂-Beimischung von 20 Volumenprozent vorzubereiten sind. Die Befragten erachten die H₂-Beimischung in die bestehenden Gasnetze für notwendig, um einen schnellen Markthochlauf und eine zügige Wärmewende zu gewährleisten. Ein gutes Netzmanagement ist dabei zu berücksichtigen: unterschiedliche Gasqualitäten, Einhaltung der Vorgaben zur Gasabrechnung, und die Anforderungen aller angeschlossenen Kundinnen- und Kundengruppen und -anlagen. Darüber hinaus planen die Netzbetreibenden auch den Betrieb von 100 Volumenprozent H₂-Netzen – entweder durch die Umstellung von Bestandsinfrastrukturen oder die Neuerrichtung. Im Vergleich zu einer H₂-Beimischung bis 20 Volumenprozent muss hierbei von höheren Aufwänden ausgegangen werden.

Einzelne kommunale Akteurinnen und Akteure planen, sich am Aufbau einer lokalen H₂-Infrastruktur an einem Industriestandort in Brandenburg zu beteiligen.

Die befragten Netzbetreibenden arbeiten zur Grundlagenermittlung, Planung und Projektierung zur Umrüstung von bestehenden Erdgasversorgungsanlagen auf H₂-Tauglichkeit sowie zur perspektivischen Projektierung von H₂-Gasnetzen mit weiteren Akteurinnen und Akteure der H₂-Wirtschaft wie Projektentwicklungs- und Ingenieurgesellschaften zusammen. Eine Vielzahl von Netzbetreibenden haben in Brandenburg und Berlin bereits Projekte zur H₂-Tauglichkeit durchgeführt.

Der „H₂-Masterplan Ostdeutschland“ hält eine substanzielle Umstellung von Verteilnetzen auf Wasserstoff und damit überregionale Transport- und Speicherinfrastruktur erst ab 2030 für wahrscheinlich (9). Die „H₂-Industrie Potenzialstudie Brandenburg“ sieht ein erhebliches Potenzial zur Einspeisung von grünem Wasserstoff ins Gasnetz (6). Für eine vollständige Umstellung des Gasnetzes auf Wasserstoff sind Transformationspfade für das Netz und die Endkundinnen und Endkunden erforderlich, ähnlich wie bei der Umstellung des Stadtgases auf Erdgas im letzten Jahrhundert (9) und (6).

Speichermöglichkeiten sind ein wichtiger Bestandteil der H₂-Wertschöpfungskette. Das Feld der H₂-Speicherung umfasst verschiedene Speicherformen: mobile Anwendungen, Druckgasspeicher, Flüssiggasspeicher, chemische Speicher und geologische Speicher. Beispielfhaft nannten die Befragten Aktivitäten rund um bereits bestehende geologische Speicher in Brandenburg und Berlin, da diese ein sehr gutes Potenzial und eine infrastrukturelle Stärke darstellen.

Die Erschließung und Nutzung von untertägigen Kavernenspeicher als H₂-Testkaverne wird in Brandenburg an einem Standort erprobt und erforscht. Gemeinsam mit einem spezialisierten Ingenieurs- und Dienstleistungsunternehmen wird an der Herstellung des Speicherhohlraumes, der Übertageanlagen zur Solung und Speicherung gearbeitet und forschend begleitet. Perspektivisch plant das Ingenieursunternehmen, Engineering, Service und Betrieb von Untergrundspeichern für Wasserstoff (neue Speicher und Umrüstung von vorhandenen) als Dienstleistung anzubieten. Weitere Unternehmen und Forschungseinrichtungen beschäftigen sich in Brandenburg und der Hauptstadtregion mit der Erforschung, Entwicklung und Planung von H₂-Speichermöglichkeiten sowie der Anbindung an das Netz (z.B. LAU-HY) (29).

Zudem werden die Nachnutzungsmöglichkeiten des Berliner Erdgasspeichers u. a. zur Produktion und Speicherung von Wasserstoff untersucht (Mikrobiologische Untergrund-Methanisierung von Wasserstoff und CO₂).

Unternehmen und Projekte, die sich dem Aufbau komplexer H₂-Infrastruktur über mehrere Wertschöpfungsstufen inklusive der H₂-Speicherung hinweg widmen, wurden in Kapitel 3.1 angerissen.

8.2 Potenziale und Herausforderungen

Verbesserungspotenziale in Bezug auf die Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz gaben 9 Prozent der Befragten an, Hemmnisse nannten 12 Prozent der Befragten.

Den Bereich **Gesetzgebung und Rahmenbedingungen** nannten die Befragten mehrfach als verbesserungswürdig. Vor allem ein langfristiger und sicherer Regulierungsrahmen für die H₂-Beimischung in Erdgasnetzen und potenzielle 100 Volumenprozent H₂-(Insel-)Netze wurden hier genannt. Die fehlende Klarheit zur Obergrenze der Beimischung bietet aus Sicht der Befragten wenig Planungssicherheit und wirkt sich hemmend auf Investitionen aus. Langfristig sind sichere **Investitionsbedingungen** für die Erhöhung einer H₂-Beimischung und der Aufbau von 100 Volumenprozent H₂-(Insel-)Netzen wünschenswert. Einzelne Befragte bemängeln die fehlende Untersuchung von H₂-Einspeisung in geeignete

Erdgasnetze außerhalb von Industriestandorten. **Wasserstoffsensible Endverbraucher** und **Sicherheitsbedenken** werden darüber hinaus als Hemmnis genannt.

Bedarf am **kurzfristigen Aufbau von H₂-Infrastruktur** in Berlin und/oder Brandenburg im Zeitfenster 2021 bis 2025 gaben 12 Prozent der Befragten an. Drei Prozent der Befragten sahen keinen kurzfristigen Bedarf.

Im Bereich der Speicherung von Wasserstoff haben 8 Prozent der Befragten sich zum Verbesserungspotenzial geäußert und 13 Prozent zu Herausforderungen. Mehrfach genannt wurden der Ausbau der Infrastruktur zur H₂-Speicherung, die Erkundung und anschließende Transformation von Erdgas- zu H₂-Speichern sowie die Entwicklung weiterer Speichermedien. Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt, bemängelten die Befragten **Gesetzgebung und fehlende Rahmenbedingungen**: fehlende Definition von Energiespeichern im regulatorischen Rahmen, fehlende Definition der Beimischungsgrenze im Erdgasnetz, lange und aufwändige Genehmigungsverfahren.

Die **Kosten** der H₂-Speicherung wurden von 4 Prozent der Befragten als Hemmnis genannt, dies sind u. a. die Kosten für den hohen Energiebedarf für den Betrieb von Kompressoren und die Kosten für die Verteilung. Weiterhin wurden **technische Hemmnisse** genannt, wie z. B. Untersuchungen zur technischen Transformation von Erdgas auf H₂-Speicher und weitere technische wie geologische Fragen, die geklärt werden müssten.

Lediglich 18 Prozent der Befragten gaben an, sich bereits mit einer potenziellen Umstellung von Speicherkapazitäten beschäftigt zu haben. Wie Abbildung 13 zeigt, könnte das Potenzial zur Umstellung jedoch groß sein.

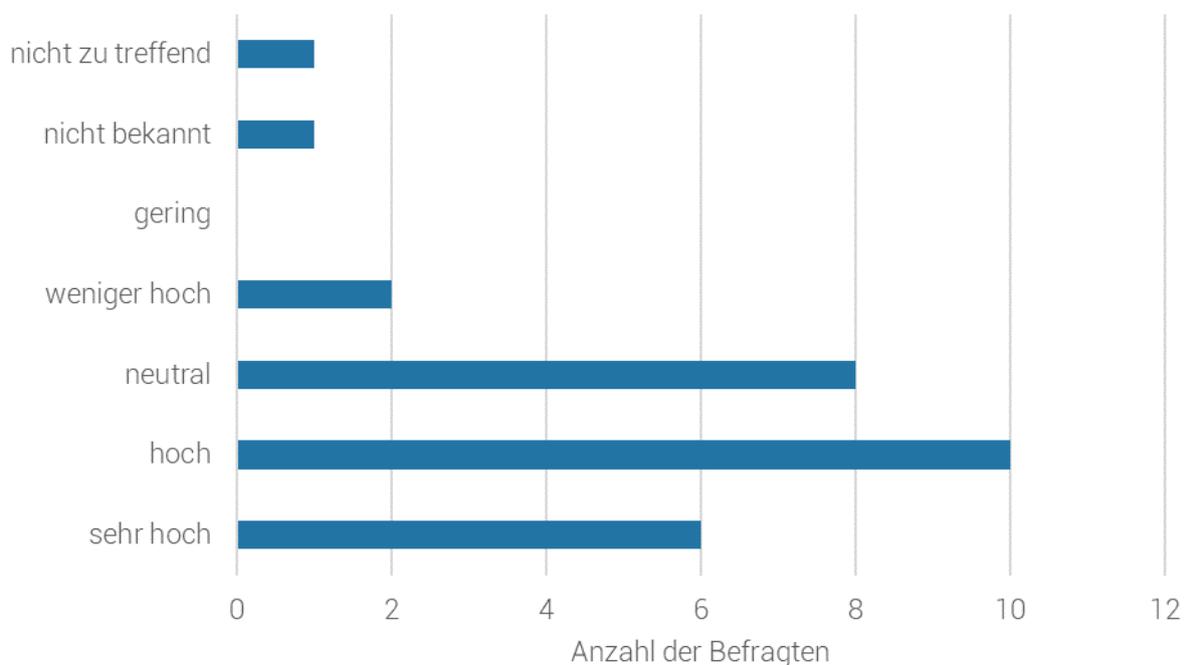


Abbildung 13: Potenzial zur Umstellung von bestehenden Erdgasspeichern auf Wasserstoff

8.3 Maßnahmen

Die Netzbetreiber sollten für einzelne Rohrleitungs-, Netzabschnitte bzw. vollständige Gasnetze im Bestand eine Bewertung zur H₂-Verträglichkeit ihrer Assets (differenziert in Material- und Funktionsbewertungen) durchführen. Zudem sollte eine Transformationspfadbetrachtung unter Berücksichtigung erwartbarer oder angestrebter H₂-Volumina (respektive der H₂-Konzentration) durchgeführt werden. Gemäß der Studie „No-regret hydrogen“ (30) ist anzunehmen, dass die zukünftigen H₂-Netze auch in den optimistischsten Szenarien kleiner sein werden als die derzeitige Gasinfrastruktur. Um die Gefahr von Überdimensionierung zu vermeiden, schlägt die Studie vor, zunächst jene Infrastruktur auszubauen, die eine unverzichtbare Nachfrage für grünen Wasserstoff darstellt. Diese Überlegungen werden in Verbindung mit der Transformationspfadermittlung in **Maßnahme 33** mitgedacht.

Für die Bewertungen sowie Forschungsvorhaben bei der Transformation zur THG-Neutralität der Gasinfrastruktur ist es sinnvoll, auch sämtliche Gasverbrauchende aus allen Sektoren sowie die Bereitstellung der EE-PtG-Gase zu berücksichtigen.

Auf diese Weise kann eine umfangreiche, kostenoptimierte Strategie für den Weg in eine THG-neutrale Gasversorgung bis 2050 oder früher in Form einer Strategie-Roadmap zur THG-Neutralität des Gassystems nach COP 21 abgeleitet werden (31). Dieser übergeordnete Transformationspfad sollte spezifisch für die Länder Brandenburg und Berlin erstellt werden. Er hat einen signifikanten Einfluss auf die regionale strategische Ausrichtung der einzelnen Akteurinnen und Akteure wie Netzbetreiber.

Maßnahme 33: H₂-Ist-Zustandsanalyse und Transformationspfadermittlung für die Gasnetzplanung durchführen. Gasverbrauchende aus allen Sektoren sowie Bereitstellende von erneuerbaren Gasen länderübergreifend in die Zielnetzplanung einbeziehen.

Die Transformation hin zu H₂- bzw. Erdgas-H₂-Netzen muss für Transport- und Verteilnetz parallel erfolgen. Wie auch in dem DVGW-Projekt „H₂vorOrt – Wasserstoff über die Gasverteilnetze für alle nutzbar machen“ (32) werden zeitabhängig die einzelnen Schritte zur klimaneutralen Gasversorgung aufgeführt und die Abhängigkeit beider Netzebenen dargestellt:

Schritt I: Transportleitungsnetze und Verteilnetze im Systemverbund weiterentwickeln

Schritt II: Regionale Potenziale für PtG und Biomethan frühzeitig heben

Schritt III: Gasverteilnetze umstellen. Beginnend mit einer Initialphase bis 2030, fortlaufend mit einer Ausbauphase bis 2040 und einem Zielzustand in 2050, welcher geprägt sein wird durch einen H₂-Backbone auf der Transportnetzebene (27) und von Verteilnetzen mit unterschiedlichen H₂-Konzentrationen

Insbesondere in Abhängigkeit der unterschiedlichen Bedarfe der Endkundinnen und Endkunden werden vor allem auf der Verteilnetzebene unterschiedliche Gase verteilt werden müssen:

- a. Erdgas und Wasserstoff (bis 20 Volumenprozent, während des Transformationsprozesses)
- b. Erneuerbares Methan und Wasserstoff (bis 20 Volumenprozent)
- c. Wasserstoff (100 Volumenprozent)
- d. Erneuerbares Methan (100 Volumenprozent)

Maßnahme 34: Gastransport und Gasverteilung gleichermaßen bei Projekten zur Umstellung und Neubau unterstützen.

Unabhängig von der Gasnetzebene müssen für ausgewählte unterschiedliche Anwenderinnen und Anwender (z. B. Erdgastankstellen, Industrie) bzw. kritische Infrastrukturen (bei einer geminderten H₂-Verträglichkeit der Materialien und/oder Funktionen) Trenntechnologien für Gase eingesetzt werden. Die Trennung mittels Membranen stellt hierbei eine wichtige Technologie dar, welche aktuell Gegenstand der praxisorientierten Forschung ist.

Maßnahme 35: Vielversprechende Trenntechnologien für Gase fördern; z. B. um Wasserstoff aus (Misch-) Gasnetzen abzuscheiden.

Essenziell für die H₂-Wirtschaft wird die H₂-Readiness der Gasnetze sein. Assets wie beispielsweise Rohrleitungen werden für mehrere Jahrzehnte ausgelegt und betrieben. Die betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauern für Gasnetze erfordern mit Blick auf 2045 ein besonders vorausschauendes Handeln bei Investitionsentscheidungen. Netzbetreibende sollten in zukünftigen Ausschreibungen (für Baumaßnahmen am Bestandsnetz bzw. Neubau) auf die H₂-Tauglichkeit der einzelnen Produkte achten bzw. diese einfordern. Dies braucht einen regulatorischen Rahmen, damit Investitionen zielgerichtet und flächendeckend auf die kommende H₂-Wirtschaft ausgerichtet sind.

Es ist davon auszugehen, dass für einzelne Produkte Mehrkosten entstehen. Herstellende müssen zeitnah entsprechende Herstellenden-Erklärungen bzw. Herstellenden-Bewertungen für ihre jeweiligen Produkte abgeben. Zum Teil bestehen hierbei besondere Herausforderungen für die Herstellenden, da einerseits Prüfgrundlagen fehlen bzw. Prüfungen entsprechende Kosten und Zeitaufwände verursachen.

Es müssen essenzielle Prüfgrundlagen für Wasserstoff neu erstellt bzw. bestehende (für Erdgas) angepasst werden. Ebenfalls müssen entsprechende Untersuchungs-/Prüfstände bei Dienstleistungsunternehmen aufgebaut und etabliert werden (z. B. für eichfähige Gaszähler).

Es wird für sinnvoll erachtet, den Einsatz von zukunftsrobusten Ersatzinvestitionen durch einen regulatorischen Rahmen zu unterstützen. In diesem Zusammenhang wird geprüft, ob beispielsweise bei der Bewilligung von Fördergeldern für H₂-Erzeugungs-, Speicherungs- oder Betankungsinfrastruktur die Anschlussfähigkeit abgefragt werden kann. So können H₂-Infrastrukturen akteurinnen-, akteure- und sektorenübergreifend beispielsweise für Postzustellfahrzeuge, Busse, Pkw oder Züge mit Synergievorteilen genutzt werden (33).

Das Forschungsvorhaben „Transformationspfade zur Treibhausgasneutralität der Gasnetze und Gasspeicher nach COP21“ (34) hat für Gesamtdeutschland gezeigt, dass die anfallenden (Mehr-) Kosten zur Anpassung von Assets durch Nutzung von Ersatzinvestitionen im Rahmen des regulären Assetmanagements erheblich begrenzt werden können.

Dennoch lässt sich durch Ersatzinvestitionen nach Abschreibungsende das Ziel der Umstellung nicht erreichen. Daher soll der Wert der THG-Neutralität zukünftig gewürdigt werden, um eine Transformation der Gasinfrastruktur zu ermöglichen.

Maßnahme 36: Für vorausschauendes Handeln bei Investitionsentscheidungen (H₂-Readiness) aufgrund der langen Nutzungsdauer von Gasnetzen schon heute Anreize setzen.

Damit die Gasnetze für die zunehmende Beimischung von Wasserstoff tauglich sind, braucht es die Betrachtung von Materialaspekten(-eigenschaften) sowie von Sicherheitsaspekten. Diese werden sowohl für Brandenburg und Berlin, als auch deutschlandweit relevant werden.

Maßnahme 37: Pilotprojekt mit Forschungseinrichtung zur sukzessiven Umstellung von Erdgasleitungen auf Wasserstoff via Beimischung unter Materialgesichtspunkten durchführen.

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Wasserstoff sind Chance und Herausforderung gleichermaßen. So ist die Prognose der zukünftigen H₂-Bedarfe über alle Einsatzsektoren bisher noch von sehr vielen Faktoren abhängig. Daher ist es in der frühen Aufbauphase der H₂-Infrastruktur bedeutend, über die Ansiedlung und Entwicklung von H₂-Hubs eine schon zu Beginn stets hoch ausgelastete Initialinfrastruktur aufbauen zu können. Hierzu eignen sich am besten Anwendungsfälle, die perspektivisch von mehreren Akteurinnen und Akteuren genutzt und modular erweitert werden können (33). Beispielsweise kann eine bestehende Onsite-Elektrolyse für die Wafer-Produktion in der Mikroelektronik im Rahmen kommender Ersatzbeschaffungen größer ausgelegt und der zusätzliche Wasserstoff auch für Buslinien (ohne die Möglichkeit einer direkten Stromnutzung) genutzt werden. Somit können Planungs-, Genehmigungs- und Betriebskosten reduziert und vorhandenes Wissen im Umgang mit der H₂-Infrastruktur genutzt werden. Diese Entwicklung von H₂-Hubs kann für viele Sektoren angewendet werden:

Maßnahme 38: Gezielt die Initialinfrastruktur für Wasserstoff entwickeln und die Voraussetzungen für die Vernetzung von Akteurinnen und Akteuren und den Ausbau dieser Infrastruktur schaffen. Beispielsweise strategische Ansiedlung und Entwicklung von H₂-Hubs mit stets hoher Auslastung.

Mit Blick auf die Speicherung von Wasserstoff ist es wichtig, bei Anpassungen des Marktdesigns die zukünftige Bedeutung von Untergrundgasspeichern für die Versorgungssicherheit in einer Energieversorgung mit hohen Anteilen volatiler erneuerbarer Energien auch vor dem Hintergrund aktueller betriebswirtschaftlicher Herausforderungen zu berücksichtigen.

Die Untersuchungen zu stillgelegten Erdgaslagerstätten stellen einen neuen Untersuchungsgegenstand dar. Unter Berücksichtigung der klassischen Untergrundspeicherung wird darauf geachtet, dass auch Potenziale darüber hinaus erhoben bzw. untersucht werden.

Wie auch bei den Gasnetzen müssen bestehende Untergrundgasspeicher mittels einer Analyse zum H₂-Ist-Zustand der Unter- und Obertageanlagen hinsichtlich der aktuellen H₂-Toleranz bewertet werden. Im Anschluss erfolgt die Transformationspfadanalyse zur Ermittlung eines technischen und kostenoptimalen Transformationspfads zur Anpassung der H₂-Toleranz, unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus der Analyse des H₂-Ist-Zustands. Für die Planung zur Umstellung eines Erdgasspeichers ist es zwingend erforderlich, den regionalen bzw. überregionalen Speicherbedarf durch abgestimmte Potenzialanalysen zu erheben. Dies erfolgt durch einen Abgleich von Erzeugung und Last. Wichtig ist dabei eine dynamische Betrachtung statt einer statischen.

Maßnahme 39: Dynamische sowie regional und überregional abgestimmte Potenzialanalysen zu Speicherbedarfen und geologischen Möglichkeiten durchführen.

9. Handlungsfeld Förderung und weitere Rahmenbedingungen

9.1 Stand und aktuelle Aktivitäten

Von den Befragten äußerten sich 32 Prozent zu bereits erhaltenen Förderungen. Mehrfach genannt wurden das Förderprogramm RENplus, das Innovationsprogramm NIP 2 der NOW GmbH, der europäische Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), das Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE), das Förderprogramm für mittelständische Unternehmen und kooperierende wirtschaftsnahe Forschungseinrichtungen (ZIM) sowie der Innovationsassistent des Berliner Senats und die Förderung der BZ-Pkw Anschaffung durch die NOW GmbH. Darüber hinaus wurden Investitions-, Technologie- und Forschungsförderung auf EU- und Landesebene genannt. 16 Prozent der Befragten gaben an, noch keine Förderung mit H₂-Bezug erhalten zu haben.

Der „H₂-Masterplan Ostdeutschland“ bietet eine Übersicht und Analyse der aktuellen H₂-Förderpolitik auf europäischer Ebene sowie auf Bundes- und Länderebene: „Auf der europäischen Ebene sind im Wesentlichen die Forschungsrahmenprogramme Horizon2020 und seit 2021 Horizon Europe relevant sowie Ausschreibungen der Generaldirektionen (insbesondere Generaldirektion Energie) und 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.“ (9)

9.2 Potenziale und Herausforderungen

Zur Einschätzung von Vor- und Nachteilen des Standorts Brandenburg/Berlin äußerten sich 42 Prozent der Befragten zu konkreten Vorteilen. Davon nannte mehr als die Hälfte insbesondere die vorhandenen EE-Kapazitäten und das Potenzial zum Umrüsten zu PtG-Anlagen als Vorteil. Da die Region bereits über hohe Produktionen von EE-Strom verfügt und mit einer hohen Industrienachfrage zu rechnen sei, würde die Erzeugung von grünem Wasserstoff als vorteilhaft eingeschätzt. In der vorhandenen Gas- und Strominfrastruktur sahen 17 Prozent der Befragten einen Vorteil für die Metropolregion. Des Weiteren bewerteten 14 Prozent der Befragten die geografischen Gegebenheiten der Region als positiv, da viel Fläche verfügbar und Raum für WEA und PV vorhanden sei. Zusätzlich wurde von vielen Befragten die vorhandene Forschungslandschaft und Start-up-Szene als gewinnbringend bewertet. Der Strukturwandel in der Region durch den Kohleausstieg und die in diesem Zusammenhang erwarteten Fördermaßnahmen wurden ebenfalls als vorteilhaft genannt.

In der Region Brandenburg/Berlin gibt es aus Sicht eines Teils der Befragten ausreichend Nutzende, die Wasserstoff potenziell industriell oder mobil anwenden werden und können. Andere nannten genau das Fehlen von H₂-Nutzenden oder die schwere Erreichbarkeit von Standorten in der Region als Standortnachteil.

In Bezug auf weitere Rahmenbedingungen nannten 38 Prozent der Befragten **Hemmnisse in Genehmigungsverfahren** für H₂-Infrastruktur. Vielfach wurden langwierige und aufwändige Verfahren und die mangelnde Expertise von Behörden als Hürden genannt. Unklarheiten bei Zuständigkeiten erschweren und verlangsamen Genehmigungsverfahren. Die Befragten wünschten sich hier mehr lösungsorientiertes statt problemorientiertes Handeln. Als Optimierungspotenzial wurde genannt: Schaffen ausreichender Kapazitäten und die Förderung der Zusammenarbeit mit den Behörden, Wissensaufbau, Vereinfachung und Abkürzung des Genehmigungsverfahrens, praktikable und verlässliche Vorgaben sowie Bündelung von Zuständigkeiten. Die Schaffung von länderübergreifenden Genehmigungsbehörden nannten die Befragten als wünschenswert.

Die in den vorangegangenen Kapiteln genannten Kritikpunkte im Bereich der **Gesetzgebung und Regulatorik** wurden auch hier genannt.

9.3 Maßnahmen

Das Ziel von Politikinstrumenten liegt generell darin, belastbare und langfristige Signale für Investitionen zu schaffen (Planungssicherheit insbesondere für kapitalintensive Investitionen) sowie Markteffizienz und Wettbewerb zu *fördern/herzustellen*. Politikinstrumente sollten dem Privatsektor nicht alle Risiken abnehmen – insbesondere Technologie- und Projektentwicklungsrisiken sollten beim Privatsektor bleiben.

Für den Hochlauf einer H₂-Wirtschaft eignen sich unterschiedliche Politikinstrumente unterschiedlich gut, je nach Entwicklungsstand von Technologie und Industrie (Abbildung 14).

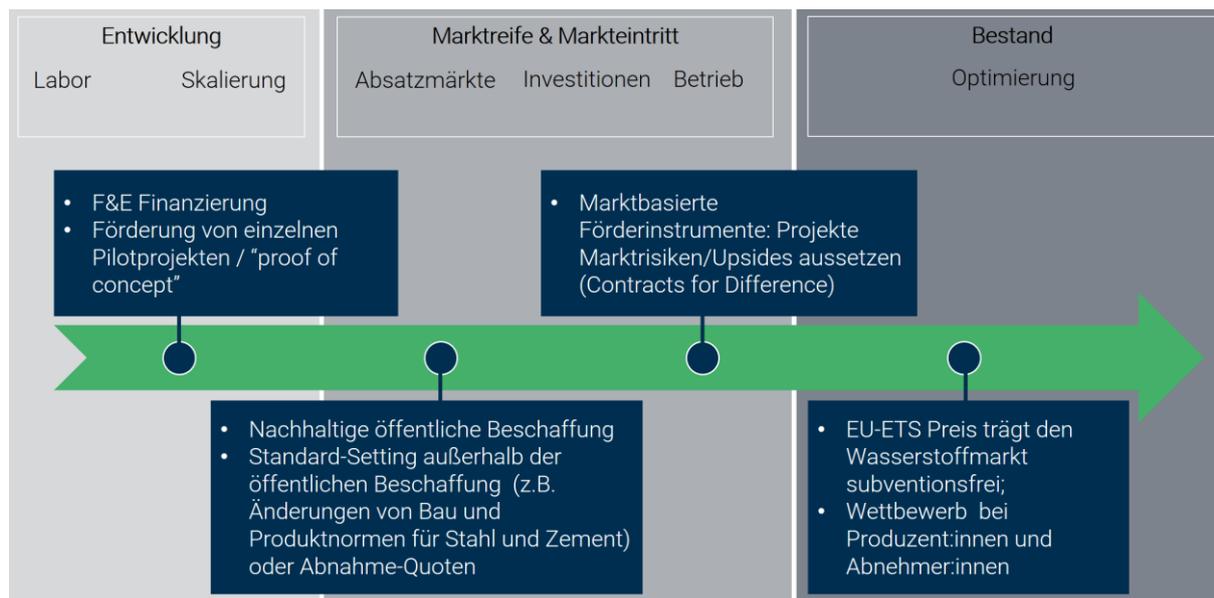


Abbildung 14: Förderinstrumente

Ziel ist, dass sich ein H₂-Markt langfristig über den europäischen CO₂-Preis ohne weitere regulatorische Eingriffe trägt. In der Theorie sollte das European Union Emissions Trading System (EU ETS) ein ausreichendes Preissignal für netto-Null bis 2050 geben und dieses Ziel kosteneffizient erreichen. In der Praxis ist jedoch die Preiswirkung bei den aktuellen Preisen und Marktentwicklungen in der Industrie mit sehr hohen CO₂-Vermeidungskosten verbunden (15). Andere Sektoren sind noch gar nicht vom ETS abgedeckt.

Es ergeben sich deshalb:

- Unzureichend starke Signale für Investitionen.
- Kurzsichtige Erwartungshaltung von Marktspielern zu CO₂-Preisentwicklung.
- Preisvolatilität und Unsicherheit, welche wiederum die Investitionskosten steigern.

Um von der Förderung von Pilotprojekten hin zu einer stärker marktbasierter Förderung zu kommen, können Brandenburg und Berlin eine Vorreiterrolle durch die Einführung eines neuen Fördersystems einnehmen, ähnlich dem des britischen Modells der Differenzkontrakte (Contracts for Difference, CfD)

(35), (36). Auch H₂-Global nutzt dieses Konzept, um die Erzeugung von grünem Wasserstoff in Entwicklungsländern zu fördern (37). Durch dieses Förderinstrument werden zwei zentrale Herausforderungen der lokalen H₂-Erzeugung adressiert:

- Preisunsicherheit
- Investitionsunsicherheit

Der Ansatz beruht darauf, Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff für eine bestimmte Zeit zu trennen und einen liquiden, staatlich geförderten Intermediär zwischenschalten. Als Intermediär könnte beispielsweise eine landeseigene Stiftung agieren. Eine weitere Option können sogenannte Karbon-Differenzverträge (Carbon Contracts for Difference, CCfDs) darstellen. Die Idee, die unter anderem im Handlungskonzept Stahl des BMWi aufgegriffen wird, verfolgt einen ähnlichen Ansatz wie CfDs. Hier würde allerdings der europäische CO₂-Preis (EU ETS Preis) als Referenzpreis für die Subventionszahlungen genommen werden. Einzelne Unternehmen, die in Wasserstofftechnologien zur Emissionsvermeidung investieren wollen, aber deren Investitionen vom ETS Preis noch nicht getragen werden, könnten eine staatliche Garantie für einen höheren CO₂-Preis erhalten.

Maßnahme 40: Marktbasierte Förderinstrumente prüfen und regional weiterentwickeln (z. B. regionale CfD oder CCfD).

Um die Genehmigungsverfahren von Wasserstoff zu beschleunigen, wird geprüft, gemeinsame Handreichungen von Behörden und Anlagenbetreibern zu erstellen. Ein erfolgreiches Beispiel für eine solche Handreichung wurde im Bereich der Windenergie in Schleswig-Holstein erarbeitet (38). Außerdem könnten die Lerneffekte, die sich aus der gemeinsamen Erarbeitung einer solchen Handreichung ergeben, systematisch aufgearbeitet und an weitere Behörden sowie Anlagenbetreiber weitergegeben werden. Innerhalb von Behörden können Schulungen angeboten werden, damit Akzeptanz und Wissen kontinuierlich weiterentwickelt werden können.

Maßnahme 41: Prozess für gemeinsame Erarbeitung von Handreichungen durch Behörden und Anlagenbetreiber durchführen, um Genehmigungsverfahren zu beschleunigen.

Ein weiterer Aspekt, welcher sich nach Wahrnehmung der Befragten zunehmend hindernd auf die zügige Bearbeitung von Genehmigungsverfahren auswirkt, ist das Fehlen von qualifizierten Fachkräften zur Besetzung von offenen Stellen in den Genehmigungsbehörden. Dabei stehen nicht nur die öffentlichen Behörden um Fachkräfte in Konkurrenz zueinander. Dieser Aspekt wird Abschnitt 11.3 Bildung und Forschung aufgegriffen.

Eine weitere Option zur Förderung ist, die Regionen und Kommunen aktiv zu unterstützen, sich an deutschlandweiten Ausschreibungen erfolgreich zu beteiligen.

Maßnahme 42: Regionen bei der überregionalen Zusammenarbeit und Wissen über bundes- und EU-weite Förderprogramme unterstützen und vernetzen (z. B. bei HyLand-Wettbewerben).

Für die Übergangsphase hin zu marktbasierter Instrumenten kann umweltfreundliche öffentliche Beschaffung¹⁵ einen wichtigen Beitrag leisten. Hier sollte Wert auf emissionsarme Produkte gelegt werden, um Herstellenden einen ersten Absatzmarkt zu garantieren. Insbesondere bei der Beschaffung von Zement oder Stahl hätten hier Produkte, bei deren Herstellung grüner Wasserstoff zum Einsatz kommt, einen Vorteil. Zu den strategischen und nachhaltigen Aspekten der Beschaffung im Land Brandenburg können die Berechnung der Lebenszykluskosten hinzugefügt (40) und dabei Grenzwerte sowie Ausschlusskriterien für öffentliche Aufträge anhand von Emissionskriterien vereinbart werden. In Berlin gibt es bereits die zwingende Ermittlung von Lebenszykluskosten in einigen Bereichen (41). Für eine Besserstellung von grünen Produkten aus der H₂-Wirtschaft könnte diese Lebenszyklusbewertung in Zusammenhang mit öffentlichen Vergabeprozessen erweitert werden. Die Vernetzung mit weiteren Bundesländern sowie die Nutzung von bereitgestellten Best Practices ist dabei hilfreich¹⁶.

Maßnahme 43: Bei öffentlichen Bauvorhaben den Einsatz grüner Produkte im Vergabeverfahren berücksichtigen (z. B. Zement oder Stahl).

¹⁵ „Umweltfreundliche öffentliche Beschaffung ist ein Prozess, in dem öffentliche Beschaffungsstellen Bau-, Liefer- und Dienstleistungsaufträge ausschreiben, die eine geringere Umweltbelastung aufweisen als vergleichbare Leistungen mit derselben Funktion.“ (39)

¹⁶ „Die Kompetenzstelle für nachhaltige Beschaffung beim Beschaffungssamt des Bundesministeriums des Innern (KNB) unterstützt öffentliche Auftraggeber bei der Berücksichtigung von Kriterien der Nachhaltigkeit bei Beschaffungsvorhaben.“ (42)

10. Weitere Handlungsfelder

10.1 Klimaschutz

Im Bereich des Klimaschutzes eröffnet die H₂-Wirtschaft aus Sicht der Umfrage-Teilnehmenden ein großes Potenzial: 94 Prozent der Befragten äußerten sich hierzu auf Basis ihres Tätigkeitsfeldes. Den Beitrag von Wasserstoff zum Klimaschutz beurteilten 84 Prozent der Befragten als hoch oder sehr hoch. Ziele, welche durch das Thema Wasserstoff verfolgt werden, sind vor allem die Reduktion von CO₂-Emissionen, Nachhaltigkeitsbestrebungen und Umweltschutz.

Das „Energiewirtschaftsland Brandenburg“ hat enormes Potenzial, im nationalen Kontext eine Vorreiterrolle beim Klimaschutz einzunehmen, indem die Potenziale der erneuerbaren H₂-Erzeugung maximal genutzt werden. Hierzu braucht es auch die Verzahnung der H₂-Strategie in die Klimaschutzbestrebungen des Landes. Der derzeit in der Erstellung befindliche Klimaplan Brandenburg (43) und die daraus resultierende Klimastrategie sind wichtige Meilensteine in dieser Entwicklung.¹⁷

Maßnahme 44: Einbetten der H₂-Maßnahmen in die Klimaschutzbestrebungen Brandenburgs.

Der Fokus wird frühzeitig auf Emissionsminderung gesetzt. Dabei ist grüner Wasserstoff aus erneuerbaren Energien unabdingbar. Deshalb wird der lokalen Produktion von grünem Wasserstoff hier Vorrang vor anderen H₂-Arten gegeben. Für den übergangsweisen Einsatz von blauem oder türkisem Wasserstoff und auch für die Erzeugung von grünem Wasserstoff soll die Klimawirksamkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette (Ökobilanzierung/Life-Cycle-Assessment) dazu genutzt werden, möglichst emissionsarme Transformationspfade umzusetzen. In Tabelle 1 findet sich eine Abschätzung der Klimawirkung je nach H₂-Herstellungsverfahren.

Maßnahme 45: Frühzeitige Positionierung zu grünem Wasserstoff aus erneuerbaren Energien zur Sicherung der Klimaneutralität bis 2045.

¹⁷ Für Berlin gibt es bereits eine „Machbarkeitsstudie Klimaneutrales Berlin 2050“ (44).

Farbe des Wasserstoffs	Kurz: Herstellungsverfahren	CO ₂ -Fußabdruck	In welchen Herstellungsschritten entsteht am meisten CO ₂ ?
Grün	Elektrolyse von Wasser → genaue Definition steht noch aus	Von 0.88 kg_{CO2}/kg_{H2} (bei Strom aus erneuerbaren Energien)	Bau, Betrieb und Rückbau von EE-Anlagen sowie der Bau, Betrieb und Rückbau der Elektrolyseure
Türkis	Aufspaltung von Erdgas mithilfe von Methanpyrolyse in H ₂ und festen Kohlenstoff.	3.3 kg_{CO2}/kg_{H2}	Gewinnung von Erdgas. Wärmeversorgung des Hochtemperaturreaktors Je nach Transport und der dabei genutzten Energie können Emissionen entstehen
Blau	Erdgasdampfpreformierung in Verbindung mit Abspaltung von CO ₂	5.61 kg_{CO2}/kg_{H2}	Gewinnung von Erdgas. Bei Dampfpreformierung werden lediglich 65 bis 90 % des CO ₂ abgespalten Transport
Grau	Gewinnung durch Dampfpreformierung von fossilen Brennstoffen wie Erdgas	13,24 kg_{CO2}/kg_{H2} (einschließlich der Erdgas-Vorketten)	Prozessbedingt Transport
Zum Vergleich: Erzeugung aus deutschem Strommix	Elektrolyse	23 kg_{CO2}/kg_{H2} (bei Strom aus durchschnittlichem deutschen Strommix 2020)	Maßgeblich abhängig vom genutzten Strommix

Tabelle 1: CO₂-Fußabdrücke unterschiedlicher „Wasserstofffarben“ (45)

Vor dem Hintergrund der heimischen H₂-Produktion werden auch Betrachtungen des Brandenburger und des Berliner Wasserhaushalts durchgeführt. Die beiden Bundesländer gehören bereits bis zur Mitte des Jahrhunderts zu den stark vom Klimawandel betroffenen Regionen („Klimatische Hotspots“ (46)). Sie zählen zu den trockensten und wärmsten Regionen Deutschlands (siehe Abbildung 15). Es entstehen deshalb Klimarisiken sowohl durch extreme Hitze, als auch durch „Trockenheit und Niedrigwasser für alle wassernutzenden und wasserabhängigen Systeme“(46).

Maßnahme 46: Wasserverfügbarkeit sowie die regionenspezifischen Klimarisiken mit in die Planung von heimischen Erzeugungskapazitäten einbeziehen.

Für die Produktion grünen Wasserstoffs aus erneuerbarer Energie werden pro Kilogramm Wasserstoff ca. 9 Liter Wasser benötigt (47). Vor diesem Hintergrund soll die zukünftige Wasserverfügbarkeit sowie die regionenspezifischen Klimarisiken mit in die Planung von heimischen Erzeugungskapazitäten einbezogen werden.

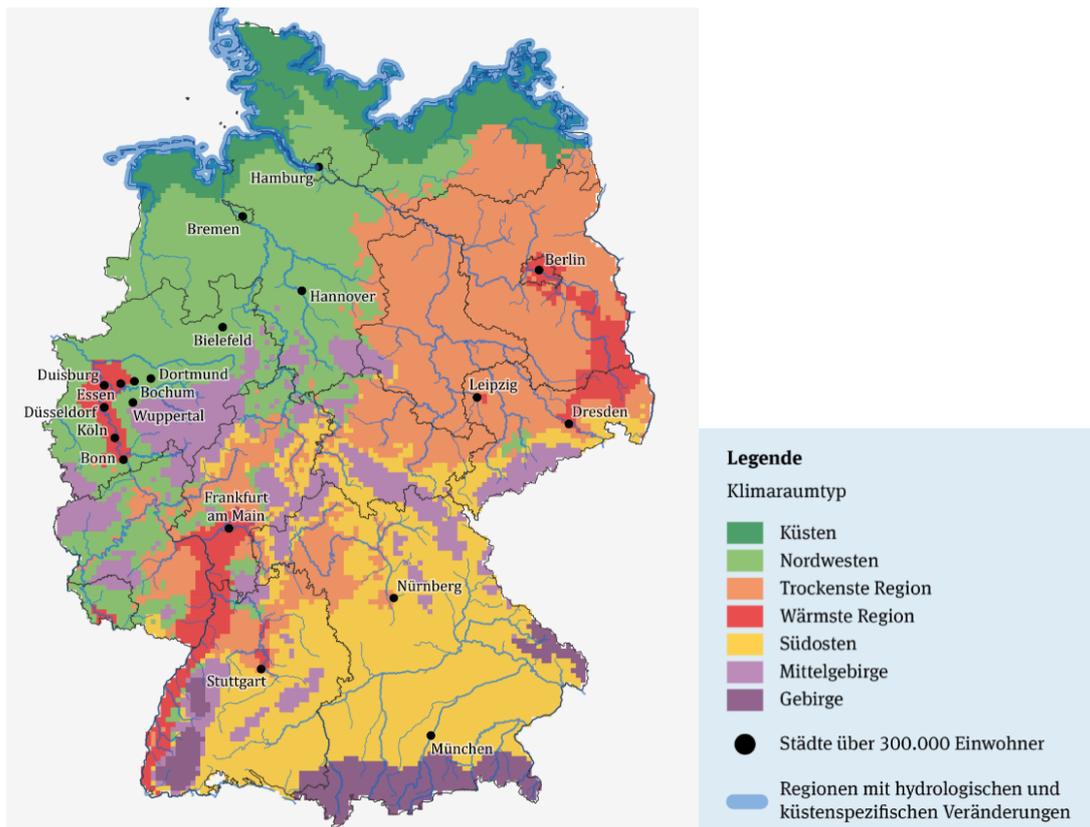


Abbildung 15: Klimaraumtypen in Deutschland (46)

10.2 Akzeptanz

Die aktuelle Akzeptanz von Wasserstoff wurde von 52 Prozent der Befragten als hoch oder sehr hoch eingeschätzt. Dennoch gibt es auch Akzeptanzprobleme. Dabei nannten die Befragten vor allem mangelndes Wissen und Unkenntnis als eine große Hürde bei der Akzeptanzschaffung. 40 Prozent der Befragten sehen es als Aufgabe der Länder an, die Akzeptanz für Wasserstoff zu erhöhen.

Die Transformation von fossilen Energieträgern hin zu erneuerbaren ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Notwendigkeit und Ziel dieser Transformation sind zu verstärken und an unterschiedliche Zielgruppen zu kommunizieren. Dabei geht es zum einen um die Kommunikation an und mit Bürgerinnen und Bürgern von Brandenburg und Berlin. Dazu bieten sich sowohl soziale Medien als auch dialogisch-organisierte Veranstaltungen an, die unterstreichen, wie wichtig das Thema sowohl für Klimaschutz als auch die lokale Wertschöpfung ist und somit gemeinwohlsteigernd wirkt. Auch die Gestaltung des Internetauftritts sowie das Bespielen relevanter „Keywords“ bei online Suchanfragen werden hierbei berücksichtigt und verbessert. Zum anderen wird Brandenburg sein Engagement bei diesem Thema auch im bundesdeutschen und EU-Kontext platzieren, sodass sowohl qualifizierte Arbeitskräfte als auch innovative Unternehmen erstens die Potenziale von Wasserstoff und zweitens in Brandenburg wahrnehmen.

Maßnahme 47: Verstärkte Informations- und Öffentlichkeitsarbeit zu Wasserstoff und „Energiewelt Brandenburg“ umsetzen.

Die H₂-Strategie wird breit kommuniziert. Dabei sollen sowohl bereits beteiligte als auch neue Akteurinnen und Akteure mitgenommen werden. Die Verbreitung der Strategie ist wichtig, um für die Schwerpunktsetzung in Brandenburg und Berlin zu werben und möglichst viele, auch neue, Stakeholderinnen und Stakeholder in den Aufbau einer H₂-Wirtschaft einzubinden.

Maßnahme 48: Kommunikation der H₂-Strategie an Industrie, Bevölkerung und Verbände.

Für eine nachhaltige H₂-Wirtschaft in Brandenburg braucht es die Mitgestaltung von vielen Akteurinnen und Akteuren und die technische Expertise der KMU. Deshalb sollen regelmäßige Treffen für Wissens- und Erfahrungsaustausch, aber auch zur strategischen Vernetzung und Kommunikation genutzt werden. Dies kann zum Teil über den H₂-Marktplatz in **Maßnahme 61** erfolgen, soll aber auch durch KMU-spezifische Maßnahmen begleitet werden.

Maßnahme 49: Gezielt KMU bei der Ausgestaltung von H₂-Maßnahmen über Netzwerke einbeziehen.

Wasserstoff soll in der Bevölkerung „anfassbar“ werden. Dies geschieht zum einen durch Informationsarbeit zur Sicherheit von Wasserstoff (Explosionsrisiko, Reichweitenangst), was aktuell zu einer mangelnden Akzeptanz von Wasserstoff beiträgt. Zum anderen trägt der Einsatz von Wasserstoff im ÖPNV und anderen kommunalen Bereichen zur „Normalität von Wasserstoff im Alltag“ und somit zur Akzeptanzsteigerung bei.

Maßnahme 50: Wasserstoff durch positives Marketing und Information „anfassbar“ machen.

Eine Möglichkeit dazu ist die Auslobung eines Wasserstoffpreises in Brandenburg und Berlin. Dieser kann jährlich, beispielsweise durch das Cluster Energietechnik Berlin-Brandenburg (48), vergeben werden. Ein solcher Wettbewerb bietet die Möglichkeit, unterschiedliche gesellschaftliche Gruppen mit unterschiedlichen Zielstellungen zu begeistern. Für Schülerinnen und Schüler kann z. B. ein Preis für das innovativste H₂-Projekt ausgerufen werden (dies kann auch in Zusammenhang mit **Maßnahme 53** stattfinden). Für KMU besteht die Möglichkeit, einen Innovationspreis zu entwerfen, für Hochschulen und Universitäten bietet sich ein Forschungspreis an.

Maßnahme 51: Auslobung eines Wasserstoffpreises für Projekte, Innovationen oder Forschung in Brandenburg und Berlin.

10.3 Bildung und Forschung

In Brandenburg und Berlin besteht eine umfangreiche **Forschungslandschaft** im Bereich innovativer Energietechnologien sowie Netzwerke im Bereich der BZ-Entwicklung. Ein Drittel der Befragten gaben im Rahmen der Umfrage an, in der H₂-Forschung tätig zu sein. Mehr als ein Viertel aller Befragten ist der Meinung, dass sich die ansässigen Hochschulen und Forschungseinrichtungen nicht ausreichend mit der H₂-Forschung beschäftigen¹⁸. Auf die Frage, ob der Transfer von der Forschung in die Praxis in Brandenburg und/oder Berlin gelinge, gaben 24 Prozent aller Befragten an, dass dies noch nicht der Fall sei¹⁹.

In Brandenburg und in Berlin gibt es zahlreiche Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen, die hierzu einen Beitrag leisten und gemeinsam mit Industrie- und weiteren Forschungspartnern bspw. in Reallaboren entsprechende Lösungen entwickeln können.

Maßnahme 52: Bündelung von zielgerichteten Fördermaßnahmen, um Forschung und Innovation als strategisches Element der Energie- und Wirtschaftspolitik zu verankern.

Akzeptanz entsteht auch durch **Verstehen und Wissensanwendung**. Damit Wasserstoff mehr Assoziationen und Ideen weckt als nur das „Knallgas-Experiment“ wird angestrebt, die gemäß dem Rahmenlehrplan für die Jahrgangsstufen 1 bis 10 Berlin und Brandenburg verbindliche Umsetzung des übergreifenden Themas Nachhaltige Entwicklung (BNE) verstärkt mit der unterrichtlichen Behandlung von Klima/Klimawandel, erneuerbare Energien und Wasserstoff zu verknüpfen. Mit Blick auf die langfristige Akzeptanzsteigerung sowie die Ausbildung qualifizierter Fachkräfte kann die Thematisierung von Wasserstoff in Schulen bzw. Hochschulen einen wichtigen Beitrag leisten. Dies erachten auch 83 Prozent der Befragten als sinnvoll oder sehr sinnvoll.

Im Rahmen des fächerübergreifenden Unterrichts, in Projekten sowie außerschulischen Lernorten bietet sich die Möglichkeit, die Vielschichtigkeit der Themen zu diskutieren und gleichermaßen das Interesse von Lehrenden sowie von Schülerinnen und Schülern zu wecken. Auch (außer)schulische Kooperationen mit den zahlreichen Forschungseinrichtungen, die sich in Brandenburg und Berlin mit dem Thema Wasserstoff beschäftigen, sollten angestrebt werden, um die Erforschung von Teilgebieten der Wasserstofftechnologie / Wasserstoffwirtschaft, des Klimawandels sowie der erneuerbaren Energien in Schülerwettbewerben oder Projekten zu ermöglichen. Nicht zuletzt können solche Projekte auch mit lokalen Unternehmen gemeinsam gestaltet werden. Dadurch haben Unternehmen eine Möglichkeit, jungen Menschen ihr Unternehmen vorzustellen und Schülerinnen und Schüler können praxisnah lernen. Beispielhaft für Brandenburg stehen Kooperationen von Jugend forscht – Schulen mit universitären und anderen wissenschaftlichen Einrichtungen (z.B. der BTU Cottbus-Senftenberg oder dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung) sowie Unternehmen der Region (z.B. BASF), in deren Rahmen gezielt Themen zur Erforschung von Teilgebieten der Wasserstofftechnologie / Wasserstoffwirtschaft, des Klimawandels und der erneuerbaren Energien behandelt werden. Etwas Vergleichbares hat das Land Sachsen mit dem Projekt „Hypos macht Schule“ aufgesetzt (49).

¹⁸ Weitere 21 Prozent gaben an, sie halten es für ausreichend, die Übrigen machten keine Angabe zu dieser Frage.

¹⁹ 13 Prozent gaben an, der Transfer gelinge, die übrigen Befragten gaben hierzu keine Auskunft.

Die Nutzung des Instruments der Planspiele kann hier eine sinnvolle und praxisnahe Ergänzung zu den anderen Methoden der Wissensvermittlung sein. Dabei begeben sich die Teilnehmer/innen in eine fiktive Situation, die ein vereinfachtes Abbild der Realität darstellt. Während mehrerer Spielrunden machen sich die Teilnehmer mit der Situation vertraut, nehmen unterschiedliche Rollen ein, führen Verhandlungen und fällen konkrete Entscheidungen.

Maßnahme 53: Bestehende Schülerwettbewerbe (z. B. Mathematik-Informatik-Technik [MINT] und Schülerlabore als außerschulische Lernorte) um das Instrument der Planspiele und um Praxisprojekte mit Industrie und Forschungseinrichtungen zum Thema „Bedeutung von H₂ für Energiewende und Klimaschutz“ erweitern.

Bereits heute existieren in Brandenburg und Berlin eine Vielzahl an Forschungseinrichtungen und forschende Unternehmen, die sich mit dem Thema Wasserstoff beschäftigen. Zukünftig wird die **Aus- und Weiterbildung** im Bereich H₂- und BZ-Technologie für den Aufbau einer H₂-Wirtschaft entscheidend sein. Auf die Frage, welche Fachrichtungen verstärkt ausgebildet werden sollten, nannten die befragten Brandenburger und Berliner Forschende folgende Vorschläge:

- Elektrische Energie- und Verfahrenstechnik
- Technische Informatik
- Logistik
- Ingenieurwissenschaften
- Materialentwicklung und Werkstoffwissenschaften
- erneuerbare Energietechnologien
- Sicherheitstechnik
- Maschinenbau

Auch die Integration von konkreten Inhalten zur H₂- und BZ-Technologie in vorhandenen Ausbildungsrichtungen und Studiengängen wird als Chance für mehr Nachwuchsförderung gesehen.

Im Ausbildungs-, Studiums- und Forschungsbereich kann das Land Brandenburg sowie die Hauptstadtregion verstärkt auf das Thema Wasserstoff setzen, junge Talente fördern und diesen eine Perspektive bieten. Im Rahmen der Kooperation der Länder Berlin und Brandenburg bei Maßnahmen zur Fachkräftesicherung in der Region können auch die Ausbildungsbedarfe der H₂-Industrie Berücksichtigung finden. Dabei empfiehlt sich eine Zusammenarbeit mit den regionalen Industrie- und Handelskammern (IHK), um Ideen und Maßnahmen für eine Ausbildungsoffensive zu starten.

Maßnahme 54: Ausbildungsoffensive für H₂-Industrie starten sowie Fachleute und Nachwuchsforschende im Bereich Wasserstoff und Brennstoffzellen ausbilden.

Der Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen in die H₂-Wirtschaft spielte eine zentrale Rolle, so dass neueste Erkenntnisse der ausgeprägten Forschungslandschaft Brandenburgs und Berlins zeitnah und lokal in der Wirtschaft aufgegriffen werden können.

Maßnahme 55: Best-Practice-Projekte in Kooperation von Forschung und Wirtschaft sowie den Wissens- und Technologietransfer verstärkt fördern.

Aus der Grundlagenforschung kommen wegweisende Erkenntnisse zur Entwicklung und Weiterentwicklung von Produkten entlang der gesamten H₂-Wertschöpfungskette, die die Basis sind für die Ableitung von technologischen Standards und zukunftsweisenden Ansätzen, wie sie z. B. für die Entwicklung neuartiger Elektrolyse-Verfahren notwendig sind. Diese Potenziale gilt es stärker in die anwendungsorientierte Forschung zu überführen und in Zusammenarbeit mit Industriepartnern zu nutzen.

Maßnahme 56: Entwicklung wegweisender, innovativer Wasserstofflösungen stärker voranbringen; hierbei noch stärker die Potenziale der anwendungsorientierten Grundlagenforschung in enger Zusammenarbeit mit der Wirtschaft nutzen.

Die Stärkung der Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung ist für die Entwicklung von Wasserstofftechnologie notwendig, um in diesem Bereich nationale und internationale Sichtbarkeit zu erlangen. Gegenwärtig befinden sich Brandenburg und Berlin im Wettbewerb mit anderen Ländern und können hier einen deutlichen Erkenntnisfortschritt erreichen. Insofern sollte die Forschung auch den Fokus auf wirtschaftliche Bedarfe und Umsetzung haben und damit in enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern erfolgen.

Maßnahme 57: Förderung von Projekten, in denen Forschungs- und Industriepartner gemeinsam Innovationen aus dem Labor schneller als bisher in die Anwendung bringen und sie nach industriellen Maßstäben umsetzen.

Im digitalen H₂-Marktplatz werden auch Forschungseinrichtungen ihren Platz finden (Abbildung 16), damit schnell ein Überblick über aktuelle Forschungsprojekte sowie Ansprechpersonen gewonnen werden kann²⁰. Zu den derzeitigen Aktivitäten und Forschungsthemen in Brandenburg und Berlin befindet sich eine Übersicht im Anhang (Kapitel 14).

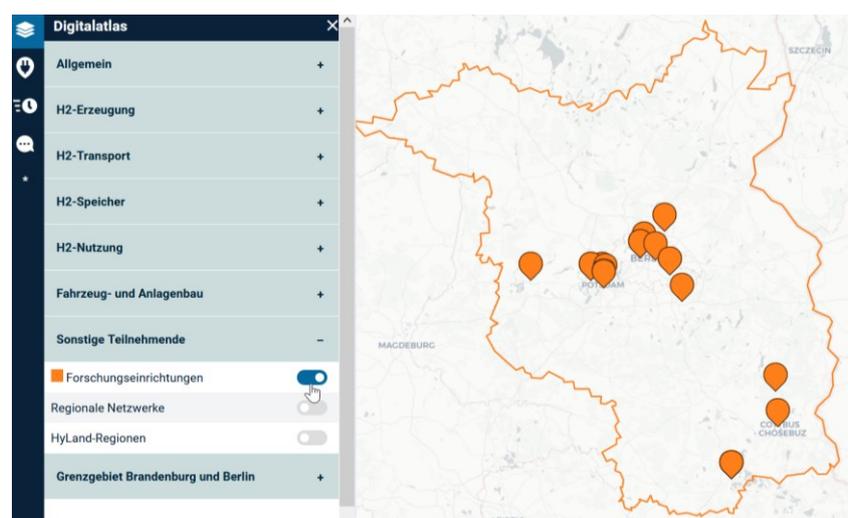


Abbildung 16: Wasserstoff-Forschungseinrichtungen in Brandenburg und Berlin²¹

²⁰ Weitere Ausführungen zum H₂-Marktplatz finden sich im folgenden Kapitel 10.4.

²¹ Abgebildet sind nur Forschungseinrichtungen, die im Prozess der Stakeholderbeteiligung im Rahmen der Roadmap-Entwicklung involviert waren.

10.4 Synergien, Zusammenarbeit und H₂-Marktplatz

Mehr als ein Drittel der Befragten halten es für eine Aufgabe der Länder Brandenburg und Berlin, gemeinsame Initiativen auf den Weg zu bringen und diese zu begleiten.

Das „Eckpunktepapier der ostdeutschen Kohleländer“ zielt ebenfalls auf ein gemeinsam ausgerichtetes Vorgehen. Durch diesen gemeinsamen Auftritt soll Wasserstoff für die Energiewende und den Strukturwandel in den Kohleregionen mehr politisches Gewicht erhalten (4).

Berlin stellt mit seiner Vielzahl von Industrieunternehmen und kommunalen Akteurinnen und Akteure für Brandenburg potenziell einen großen Abnehmer von Wasserstoff dar und schafft somit die nötige Nachfrage für wirtschaftliche Skalenerträge. Mecklenburg-Vorpommern, als Brandenburger Nachbar mit einer ähnlichen Windausbauhistorie, ist zum Erfahrungsaustausch wie auch zur wirtschaftlichen Zusammenarbeit beim Aufbau einer Elektrolyseindustrie für Brandenburg von großem Interesse. Der „H₂-Masterplan Ostdeutschland“ stellt die Potenziale und Synergien Ostdeutschlands in Bezug Wasserstoff ausführlich dar (9).

Eine stärkere Zusammenarbeit ist mindestens in den Bereichen Forschung und Entwicklung, politischer Zusammenarbeit, Wasserstoff- und Energiestrategie sowie Wirtschaft relevant.

Maßnahme 58: Forschungsnetzwerke durch länderübergreifende Kooperationen und weiteren Ausbau im Bereich der Erzeugung, Transport, Nutzung und Speicher von Wasserstoff stärken.

Maßnahme 59: Politische Zusammenarbeit mit den benachbarten Bundesländern verstetigen, um bei nötigen Entscheidungen auf Bundes- und EU-Ebene schnell und abgestimmt reagieren zu können.

Maßnahme 60: Strategische Zusammenarbeit von Brandenburg und Berlin bei Wasserstoff und Energiethemen festigen und ausbauen.

Brandenburg hat aufgrund seiner Tradition bei Energiewende und Sektorenkopplung in vielen Regionen des Landes exzellente lokale Netzwerke aufgebaut. Ziel ist es, regionale Lücken zu füllen und den Austausch der lokalen Netzwerke durch einen Koordinator zu unterstützen. Dazu bietet sich das bestehende Cluster Energietechnik Berlin-Brandenburg²² an.

Ein digitaler Marktplatz für grünen Wasserstoff kann vor diesem Hintergrund Erzeugende und Verbrauchende clever vernetzen. Dieser Marktplatz wird die unterschiedlichen Nachhaltigkeits- und Preismerkmale, die verschiedenen Qualitäts- und Druckniveaus sowie die Erzeugungs- und Nutzungspotenziale von Wasserstoff darstellen. Es soll dabei nicht nur um die Darstellung von Informationen gehen, vielmehr wird die Möglichkeit der Interaktion zwischen den Unternehmen, Wirtschaftsförderung und Politik angestrebt. Letztlich können durch diesen verstärkten, digitalen Austausch die Erzeugungs- und Nutzungskapazitäten schnell qualifiziert und quantifiziert werden. Durch seinen dezentralen Ansatz kann

²² Mehr als 6.400 Unternehmen und knapp 58.000 Beschäftigte sind im Cluster Energietechnik Berlin-Brandenburg tätig. „Seit dem Jahr 2011 leisten beide Bundesländer im Cluster Energietechnik in den Kernthemen erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energienetze und Speicher sowie Turbomaschinen und Kraftwerkstechnik einen wesentlichen Beitrag zur Unterstützung länderübergreifender Innovationspotenziale.“ (49)

der digitale H₂-Marktplatz Klimaschutz nahe am Verbrauchenden ermöglichen und darüber hinaus zu einer Basis für die bessere Planbarkeit von Investitionen in die nötigen Infrastrukturen entwickelt werden.

Maßnahme 61: Aufbau eines digitalen H₂-Marktplatzes, um das Wachstum einer H₂-Wirtschaft zu beschleunigen.

Mit dem Ziel einer regionalen Wertschöpfung und damit verbundener Arbeitsplatzeffekte strebt die Landesregierung an, in den nächsten Dekaden einen signifikanten Anteil des Wasserstoffbedarfs durch heimische Elektrolyse-Produktion unter Nutzung von EE-Strom aus Brandenburg zu befriedigen. Hierfür bedarf es unter Beachtung der zukünftigen Flächenverfügbarkeiten auch eines entsprechenden Zubaus an EE-Anlagen in Brandenburg.

Aufgrund der begrenzten Zubau-Möglichkeiten wird es aber nicht möglich sein, auf diesem Wege der Elektrolyse den (grünen) Wasserstoffbedarf in Brandenburg in zukünftigen Jahrzehnten vollständig zu decken. Um gleichwohl möglichst viel Wertschöpfung und Technologie-Know-How im Land zu halten, sollen gerade zur Deckung des großskaligen Wasserstoffbedarf der Industrie auch andere klimafreundliche Technologien, wie z.B. Pyrolyse und Plasmalyse, zum Einsatz kommen.

Nachfolgend wird auf Basis aktueller Studien sowie der durchgeführten Umfragen der H₂-Bedarf für das Jahr 2040 – in zeitlicher Kongruenz zur (aktuell in der Überarbeitung befindlichen) Energiestrategie 2040 abgeschätzt.

Die zukünftigen Bedarfe bis zum Jahr 2040 können naturgemäß zum jetzigen Zeitpunkt nicht genau vorhergesagt werden. Mit dem H₂-Marktplatz wird aber zukünftig ein Instrument etabliert, welches ein kontinuierliches Monitoring der zukünftigen H₂-Bedarfe unterstützt.

Entsprechend der Umfrage ergibt sich für das Jahr 2040 allein für die Nutzung im Industriesektor ein Bedarf von mindestens 6,8 TWh/a²³. Angaben für die Sektoren Verkehr, Wärme und Energiesystem werden zukünftig über den H₂-Marktplatz abgefragt. Im „H₂-Masterplan für Ostdeutschland“²⁴ werden im Industriesektor 9,9 TWh angegeben, wobei hier 4 TWh dem Stahlstandort von ArcelorMittal in Eisenhüttenstadt, weitere 2,6 TWh der Raffinerie in Schwedt sowie 3,3 TWh der Prozesswärme anderer Bereiche mit „längerfristiger Perspektive“ zugeordnet werden.

Die H₂-Bedarfe der „Nationalen Wasserstoffstrategie“ ergeben, anhand von relevanten Kennziffern anteilig auf Brandenburg bezogen, im Jahr 2040 einen Wasserstoffbedarf von 22,5 TWh über die Sektoren Industrie, Verkehr, Wärme und Energie²⁵.

Ergänzend wurden die Daten der Agora Energiewende, die hinsichtlich der abgeschätzten Bedarfe deutlich unter den aktuelleren Werten des NWR liegen, ebenfalls einbezogen und anhand von Kennziffern Ableitungen für Brandenburg getroffen.

Die zitierten Studien und Ergebnisse verwenden unterschiedliche Annahmen und sind daher nicht vollumfänglich vergleichbar.

²³ Summe ausgewählter Großunternehmen, die einen H₂-Bedarf im Rahmen der Umfrage angegeben haben. Der tatsächliche Bedarf wird daher höher sein

²⁴ Quelle: H₂-Masterplan für Masterplan (9)

²⁵ Quelle: Nationalen Wasserstoffstrategie (3)

	Abschätzungen der H ₂ -Bedarfe Brandenburg 2040 [TWh]				
Quellen	Industrie	Mobilität	Wärme	Energie	gesamt
Nationaler H ₂ -Rat ²⁶	4,7	2,8	0,3	14,6	22,5
H ₂ -Masterplan Ostdeutschland	9,9	2,6	nicht ermittelt		12,5
Umfrage H ₂ -Roadmap "grüner" H ₂	6,8	werden im H ₂ -Markplatz ermittelt			6,8
Agora ²⁷	3,9	0,9	1,8	0,4	6,9
Prognos	17,7	2,2	2,05	2,05	24,0

Tabelle 2: Abschätzungen der H₂-Bedarfe Brandenburg 2040 [TWh]

Den aktuellen Werten des Nationalen Wasserstoffrates, gestützt durch zu diesen Daten passfähigen Werten des Wasserstoff-Masterplans für Ostdeutschland, ausgewählten Angaben aus der Umfrage zu einzelnen Teilmärkten und den Analysen der Prognos GmbH wird eine besonders hohe Plausibilität zugemessen. Somit wird als prognostizierte Bedarfsgröße für 2040 mit 22,5 TWh der Wert des Nationalen Wasserstoffrates zu Grunde gelegt.

Zur Deckung dieses hohen zukünftigen Bedarfes sind nachfolgende Überlegungen handlungsleitend:

Der voraussichtliche Bedarf an (klimaneutralem) Wasserstoff in Brandenburg wird so groß sein, dass seine vollständige Deckung durch die Herstellung von grünem Wasserstoff mittels Elektrolyse schon allein aufgrund der begrenzt verfügbaren Mengen an erneuerbarem Strom nicht möglich sein wird. Daraus folgt zugleich, dass der in BB produzierte grüne Wasserstoff zuvorderst zur Deckung der Bedarfe im Land genutzt werden soll. Für einen Export von grünem Wasserstoff aus Brandenburg heraus wird derzeit kein Potential gesehen.

Die Bereitstellung von erneuerbaren Energien sollte grundsätzlich möglichst technologieübergreifend und technologieflexibel erfolgen. Während die Bereitstellung von Flächen für die Windkraft in der derzeitigen Situation über die Regionalplanung gesteuert wird, wird der Ausbau von PV zunehmend auch außerhalb der EEG, marktorientiert auf kommunaler Ebene entschieden. Hier bleiben die Ergebnisse der derzeit in Erarbeitung befindlichen PV-Potentialanalyse für das Land Brandenburg abzuwarten.

Vor dem Hintergrund der limitierten Möglichkeit zur Erzeugung von grünem Wasserstoff in Brandenburg wird insbesondere unter Effizienz Gesichtspunkten eine Nutzung des grünen Wasserstoffs im Stromsektor (Rückverstromung) und im Wärmemarkt (Gebäude) derzeit nicht angestrebt. Erste konkrete Nutzungen von Wasserstoff werden daher insbesondere im Mobilitätssektor und bei Pilotprojekten zur Dekarbonisierung der Industrie gesehen. Um diese (vor allem regionalen) Bedarfe zu decken, sind dezentrale H₂-Erzeugungsstrukturen unter Nutzung regionaler EE-Strom-Anlagen sinnvoll.

Um den prognostizierten Wasserstoffbedarf von etwa 22,5 TWh/a mittels Elektrolyse zu decken, bedürfte es einer installierten elektrischen Leistung dieser Elektrolyseure von ca. 10 GW, welche wiederum einen Strombedarf von rd. 45 TWh/a (elektrisch) hätten. Die Landesregierung wird sich dafür einsetzen, durch den weiteren Ausbau der EE Kapazitäten im Rahmen der (planungs)rechtlichen Möglichkeiten einen bestmöglichen Beitrag zur Deckung dieses Strombedarfs zu leisten. Aufgrund des Strom-

²⁶ Ergebnisse für Brandenburg wurden anteilig aus den Werten der Bundesebene errechnet. INDUSTRIE wurde anteilig mit dem Primärenergieverbrauch für BB berechnet. MOBILITÄT wurde anteilig mit der Bevölkerung für BB berechnet. WÄRME wurde anteilig mit der Bevölkerung für BB berechnet. ENERGIE wurde anteilig mit dem Primärenergieverbrauch für BB berechnet

bedarfs in der Größenordnung von 45 TWh/a (elektrisch) ist aber damit zu rechnen, dass der Wasserstoff-Gesamtbedarf in 2040 nur anteilig aus regionalem EE-Strom gedeckt werden kann. Die Methan-Pyrolyse kann hier insbesondere zur Deckung der großskaligen Industriebedarfe eine sinnvolle und notwendige, zugleich aber auch klimaneutrale Ergänzung zur Elektrolyse darstellen. Darüber hinaus werden perspektivisch auch Importe in Form von Molekülen und Elektronen notwendig. An der Errichtung der für Wasserstoffimporte erforderlichen Infrastruktur (Wasserstoffnetze, Speicher) arbeiten Landes- und Bundesregierung gemeinsam mit den Akteuren der Wirtschaft.

Eine funktionierende H₂-Wirtschaft wird darauf angewiesen sein, dass entlang der Wertschöpfungsstufen von der H₂-Erzeugung, über H₂-Verbrauch bis hin zu den notwendigen Dienstleistungen entsprechend spezialisierte Unternehmen in Brandenburg und der Hauptstadtregion ansässig sind. Es gilt, dabei auch den bereits regional verwurzelten Unternehmen den Einstieg in die H₂-Wirtschaft zu ermöglichen, um wirtschaftlich nachhaltige Geschäftsmodelle mit der nötigen Planungssicherheit aufbauen können. In Brandenburg und der Hauptstadtregion ist dazu vielfältiges, technologisches Know-how vorhanden. KMU können typischerweise sehr anpassungsfähig agieren, sie verfügen jedoch meistens nicht über entsprechende Forschungsabteilungen, die ihr Wissen in völlig neue Bereiche transferieren. Andererseits werden für den Aufbau einer H₂-Wirtschaft viele neue Produkte und Dienstleistungen benötigt, die noch nicht am Markt verfügbar sind²⁷. Deshalb braucht es eine Vernetzungsmöglichkeit, wo Wissen, Kontakte und/oder Gesuche schnell und unkompliziert geteilt werden können.

Maßnahme 62: „KMU-Chatroom“ schaffen, um vorhandenes technologisches Know-how auf die neuen Anforderungen in der H₂-Wirtschaft teilen und abfragen zu können.

Das Nachbarland Polen plant verstärkte Investitionen in erneuerbare Energien und will bis 2050 beispielsweise 28 GW Offshore-Windanlagen in der Ostsee bauen (50). Außerdem ist bis 2030 eine Produktion von 2 GW Wasserstoff geplant (51). Weiterhin hat im Februar 2021 der polnische Ministerrat das Strategiepapier „PEP2040“ verabschiedet und damit eine drastische Reduzierung der Energiegewinnung aus Kohle sowie einen Ausbau der erneuerbaren Energien beschlossen. Der Finanzbedarf wird bis 2040 auf insgesamt rund 355 Mrd. EUR geschätzt. Vor dem Hintergrund, dass auch in Polen massive Transformationsprozesse weg von der Kohleindustrie hin zu erneuerbarer Energie stattfinden müssen, können hier Synergie- und Lerneffekte genutzt werden. Beispielsweise könnten gemeinsame Energieszenarien entwickelt oder weitere grenzübergreifende H₂-Pprojekte angeschoben werden. Auch im Forschungsbereich zu Energie- und H₂-Themen soll verstärkt der Schulterschluss mit dem Nachbarland gesucht werden.

Maßnahme 63: Zusammenarbeit mit Polen zu Wasserstoff verstärken.

11. Ausblick – nächste Schritte

Im Eckpunktepapier zur Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft haben Sachsen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg zwei wesentliche Handlungsstränge als nächste Umsetzungsschritte vereinbart. Einerseits

²⁷ Beispielsweise eichrechtskonforme Messtechnik zur Massebestimmung von Wasserstoff an Tankstellen.

der gemeinsame Einsatz bei der energiewendetauglichen Anpassung bzw. Weiterentwicklung des deutschen Energierechts, andererseits die Erstellung einer Strategie auf Landesebene mit Stakeholder-Beteiligung.

Mit Vorlage der H₂-Strategie der Landesregierung Brandenburg ist diesen Handlungssträngen neben einer Richtung auch ein Fahrplan zum Aufbau einer H₂-Wirtschaft in Brandenburg und der Hauptstadtregion gegeben. Dabei handelt es sich um ein agiles Instrument, welches auf seinem Weg zeitliche Stationen - die Handlungszeiträume 2030 und 2040 - ansteuern muss.

Als erster Schritt nach Veröffentlichung dieser Strategie wird in einem ressortübergreifenden Prozess eine Priorisierung nach Zeit und Relevanz der Handlungsfelder sowie der Maßnahmen vorgenommen. Dieser wird sowohl in Abstimmung mit den betroffenen Ressorts im Land Brandenburg als auch mit Berlin erfolgen, damit die Umsetzung der Maßnahmen und die Einbindung der beteiligten Akteurinnen und Akteure zeitnah angegangen werden kann.

In der Umsetzung der Maßnahme 61: Aufbau eines digitalen H₂-Marktplatzes wird ein signifikanter Beitrag gesehen, das Wachstum einer H₂-Wirtschaft in der Region zu beschleunigen. Zudem liegen als Ergebnis der Umfrage eine beachtliche Anzahl von sehr interessanten Projekten entlang der H₂-Wertschöpfungskette und Beiträge von Akteurinnen und Akteuren vor, die aus datenschutzrechtlichen Gründen in der H₂-Strategie nicht genannt werden können.

Daher wird bereits jetzt an der Erstellung eines H₂-Marktplatzes und somit der Umsetzung der Maßnahme 61 gearbeitet, um Ende 2021 diese digitale Plattform präsentieren zu können. Hier sind dann die Teilnehmenden aus der Umfrage und weitere Akteurinnen und Akteure eingeladen, ihre Projekte freizugeben, zu ergänzen bzw. eigenständig zu veröffentlichen. Dieser Marktplatz wird die erste digitale Vernetzungs- und Planungsmöglichkeit dieser Art im Bereich Wasserstoff sein.

An dieser Stelle bedanken sich die Länder Brandenburg und Berlin bei allen Akteurinnen und Akteuren, die sich mit wertvollen Beiträgen eingebracht haben und weiterhin einbringen und somit maßgeblich zur Erstellung und Umsetzung dieser H₂-Strategie beitragen.

12. Maßnahmenüberblick für eine Wasserstoffwirtschaft in Brandenburg und Berlin

Handlungsfeld	beteiligte-Akteurinnen und Akteure	BB und/oder BE	Maßnahmen	Handlungszeitraum ab		
				2021	2030	2040
Allgemein	L, K, W	BB	Maßnahme 1: Brandenburgs Potenziale zur Erzeugung erneuerbarer Energie (EE) nutzen und auch auf heimische Produktion von Wasserstoff setzen.	■		
	L	BB+BE	Maßnahme 2: Priorisierte Handlungsfelder festlegen, um mit H ₂ -Knappheit zu wirtschaften. Zukunftssichere Optionen zuerst durchführen und Abwägungen zwischen direkter Elektrifikation und der Nutzung von wasserstoffbasierten Anwendungen treffen.	■		
	L, K	BB	Maßnahme 3: Positive Kommunikation des „Energielandes Brandenburg“ auch im Rahmen der Ansiedlungs- und Vermarktungsstrategie	■		
Herstellung	B, L, K	BB+BE	Maßnahme 4: Den Zubau von erneuerbarer Energie beschleunigen.	■		
	W	BB+BE	Maßnahme 5: Kleine Elektrolyse-Einheiten für den Start des Hochlaufs mit steigendem Bedarf modular erweitern.	■	■	■
	B, L, W	BB+BE	Maßnahme 6: Neben Elektrolyse aus erneuerbarer Energie auch Erzeugungsarten für kohlenstoffarmen Wasserstoff, z. B. Pyrolyse, pilotieren.	■		
	L, K	BB+BE	Maßnahme 7: Zusammenschluss von Akteurinnen und Akteuren zur Gründung von Vertriebsgesellschaften zur gemeinsamen Erzeugung und Distribution von Wasserstoff fördern (Aufbau Tankstellen, Elektrolyseure, ...).	■		
	L, K, W	BB+BE	Maßnahme 8: Kontinuierliches Monitoring der Erzeugungskapazitäten sowie der H ₂ -Wertschöpfung über den H ₂ -Marktplatz sicherstellen.	■	■	■
	L	BB+BE	Maßnahme 9: Für zukünftigen H ₂ -Import eine nachhaltige Importstrategie des Bundes unterstützen und Unternehmen animieren, sich bei Bundesinitiativen im Ausland zu beteiligen.	■		
	L	BB+BE	Maßnahme 10: Landesinteressen Brandenburgs und Berlins bei Gesetzgebungsverfahren auf Bundes- und EU-Ebene durch Bundesratsinitiativen und Stellungnahmen einbringen.	■		
Industrielle Nutzung	L	BB+BE	Maßnahme 11: Brandenburger und Berliner Willkommenskultur nutzen und durch Kooperation der Landesregierungen und Wirtschaftsfördergesellschaften Industrieansiedlung für H ₂ - und BZ-Technologie vorantreiben.	■		
	L, K	BB	Maßnahme 12: Industrieansiedlung primär da vorantreiben, wo erneuerbare Energien(-potenziale) sind.	■		
	L, K	BB+BE	Maßnahme 13: Klimaneutrale Industrieareale durch das Angebot CO ₂ -neutraler Gewerbeflächen und unterstützende Maßnahmen bei der grünen H ₂ -Erzeugung anreizen.	■		
	FuE	BB+BE	Maßnahme 14: H ₂ -Keimzellen ausbauen.	■		
Mobilitätsanwendungen	L, K	BB	Maßnahme 15: Bedarfe von BZ-Fahrzeugen bündeln und somit Sammelbestellungen für Pkw, Nutzfahrzeuge und Busse ermöglichen (u. a. als ein Beitrag zur Erfüllung der Clean Vehicles Directive, CVD). Länderübergreifende Einkaufsgemeinschaft mit Berlin prüfen.	■		
	L, W	BB+BE	Maßnahme 16: Pilotprojekte für BZ-Lkw an Güterverteilzentren (GVZ) im Bereich der Straßengüterlogistik	■		

			durchführen.					
	L, W	BB	Maßnahme 17: Beantragung von EU-geförderten Projekten zur grenzübergreifenden Planung und zum Aufbau von H ₂ -Betankungsinfrastruktur für den europäischen Transitverkehr.					
	L	BB	Maßnahme 18: Techno-ökonomische Auswertung zum potenziellen Einsatz von BZ-Zügen auf nicht-elektrifizierten Schienenwegen.					
	L	BB	Maßnahme 19: Prüfung, ob bei der Ausschreibung von Schienenverkehrsleistungen Vergabeverfahren so gestaltet werden können, dass ein Beitrag zum Klimaschutz signifikant in der Gewichtung berücksichtigt wird. Dazu werden Emissions- und Innovationskriterien angelegt.					
	L, FuE	BB	Maßnahme 20: Techno-ökonomische Auswertung zum potenziellen Einsatz von BZ-Schiffen.					
	L, W	BB+BE	Maßnahme 21: Aufbau von H ₂ -Pilottankstellen für den länderübergreifenden Schiffsbetrieb mit Brennstoffzellen (BZ).					
	L, W	BB	Maßnahme 22: Unterstützung von Vorhaben für die Elektrifizierung des Flugverkehrs mit Brennstoffzellen.					
	B, L, W	BB	Maßnahme 23: Beantragung und Durchführung eines Bundes- und EU-geförderten Pilotprojektes für die Produktion und den Einsatz strombasierter Kraftstoffe im Flugverkehr.					
<i>Wärmeproduktion</i>	B, L, W	BB	Maßnahme 24: Enger Austausch und Monitoring zu Dekarbonisierungszielen im Gebäudesektor.					
	B, L, W	BB+BE	Maßnahme 25: Effizienzvorteile von Wärmepumpen ausschöpfen.					
	L, K	BB+BE	Maßnahme 26: Wärme aus Wasserstoff - Pilotprojekte					
	L, W	BB+BE	Maßnahme 27: Unterstützung von Pilotprojekten in Brandenburg oder Berlin zur Dekarbonisierung von Wärmenetzen durch Nutzung der Abwärme von Elektrolyseuren.					
	L	BB+BE	Maßnahme 28: Anreizsystem zur gezielten Standortwahl von Elektrolyseuren anstreben, um Abwärme systematisch nutzen zu können.					
	W	BB+BE	Maßnahme 29: Beimischung von Wasserstoff ins Gasnetz zur kurzfristigen Emissionsreduktion im Wärmebereich (z. B. für Anlagen, die aus der EEG-Vergütung herausfallen).					
<i>Stromerzeugung</i>	B, L, W	BB	Maßnahme 30: Langfristige Unterstützung von Vorhaben zur Entwicklung, zum Test und zur Vermarktung von Systemdienstleistungen für 100 Prozent EE-Stromerzeugung mit Hilfe von H ₂ -Systemen.					
	W	BB+BE	Maßnahme 31: Die bestehende Strom- und Gasinfrastruktur zur Anbindung von konventionellen Kraftwerken für H ₂ -Erzeugungs- und Speicherprojekte ertüchtigen					
	L, K, W	BB	Maßnahme 32: Mindestens ein Projekt zur bedarfsgerechten EE-Einspeisung in das 16,7 Hz Bahnstromnetz mit Hilfe von H ₂ -Systemen realisieren.					
<i>Infrastruktur, Transport</i>	B, W	BB+BE	Maßnahme 33: H ₂ -Ist-Zustandsanalyse und Transformationspfadermittlung für die Gasnetzplanung durchführen. Gasverbrauchende aus allen Sektoren sowie					

			Bereitstellende von erneuerbaren Gasen länderübergreifend in die Zielnetzplanung einbeziehen.				
	L, W	BB+BE	Maßnahme 34: Gastransport und Gasverteilung gleichermaßen bei Projekten zur Umstellung und Neubau unterstützen.				
	B, L, W	BB+BE	Maßnahme 35: Vielversprechende Trenntechnologien für Gase fördern; z. B. um Wasserstoff aus (Misch-) Gasnetzen abzuscheiden.				
	B, L, K, W	BB+BE	Maßnahme 36: Für vorausschauendes Handeln bei Investitionsentscheidungen (H ₂ -Readiness) aufgrund der langen Nutzungsdauer von Gasnetzen schon heute Anreize setzen.				
	L, FuE	BB	Maßnahme 37 Pilotprojekt mit Forschungseinrichtung zur sukzessiven Umstellung von Erdgasleitungen auf Wasserstoff via Beimischung unter Materialgesichtspunkten durchführen.				
	B, L, W	BB+BE	Maßnahme 38: Gezielt die Initialinfrastruktur für Wasserstoff entwickeln und die Voraussetzungen für die Vernetzung von Akteurinnen und Akteuren und den Ausbau dieser Infrastruktur schaffen. Beispielsweise strategische Ansiedlung und Entwicklung von H ₂ -Hubs mit stets hoher Auslastung.				
<i>Speicherung</i>	B, L, F, W	BB+BE	Maßnahme 39: Dynamische sowie regional und überregional abgestimmte Potenzialanalysen zu Speicherbedarfen und geologischen Möglichkeiten durchführen.				
<i>Förderung und weitere Rahmenbedingungen</i>	B, L	BB	Maßnahme 40: Marktbasierete Förderinstrumente prüfen und regional weiterentwickeln (z. B. regionale CfD oder CCfD).				
	L	BB	Maßnahme 41: Prozess für gemeinsame Erarbeitung von Handreichungen durch Behörden und Anlagenbetreibende durchführen, um Genehmigungsverfahren zu beschleunigen.				
	L, K	BB	Maßnahme 42: Regionen bei der überregionalen Zusammenarbeit und Wissen über bundes- und EU-weite Förderprogramme unterstützen und vernetzen (z. B. bei HyLand-Wettbewerben).				
	B, L	BB+BE	Maßnahme 43: Bei öffentlichen Bauvorhaben den Einsatz grüner Produkte im Vergabeverfahren berücksichtigen (z. B. Zement oder Stahl).				
<i>Klimaschutz</i>	L	BB	Maßnahme 44: Einbetten der H ₂ -Maßnahmen in die Klimaschutzbestrebungen Brandenburgs.				
	L, K	BB+BE	Maßnahme 45: Frühzeitige Positionierung zu grünem Wasserstoff aus erneuerbaren Energien zur Sicherung der Klimaneutralität bis 2045.				
	L, FuE	BB	Maßnahme 46: Wasserverfügbarkeit sowie die regionenspezifischen Klimarisiken mit in die Planung von heimischen Erzeugungskapazitäten einbeziehen.				
<i>Akzeptanz</i>	L, K	BB	Maßnahme 47: Verstärkte Informations- und Öffentlichkeitsarbeit zu Wasserstoff und „Energiewende Brandenburg“ umsetzen.				
	L	BB+BE	Maßnahme 48: Kommunikation der H ₂ -Strategie an Industrie, Bevölkerung und Verbände.				
	L, K	BB	Maßnahme 49: Gezielt KMU bei der Ausgestaltung von H ₂ -Maßnahmen über Netzwerke einbeziehen.				
	L, K, W	BB+BE	Maßnahme 50: Wasserstoff durch positives Marketing und Information „anfassbar“ machen.				

<i>Bildung und Forschung</i>	L	BB+BE	Maßnahme 51: Auslobung eines Wasserstoffpreises für Projekte, Innovationen oder Forschung in Brandenburg und Berlin.	■				
	B, L, FuE	BB+BE	Maßnahme 52: Bündelung von zielgerichteten Fördermaßnahmen, um Forschung und Innovation als strategisches Element der Energie- und Wirtschaftspolitik zu verankern.	■				
	L, W	BB+BE	Maßnahme 53: Bestehende Schülerwettbewerbe (z. B. MINT) um das Instrument der Planspiele und um Praxisprojekte mit Industrie und Forschungseinrichtungen zum Thema „Bedeutung von H ₂ für Energiewende und Klimaschutz“ erweitern.	■	■	■	■	■
	L, FuE, W	BB+BE	Maßnahme 54: Ausbildungsoffensive für H ₂ -Industrie starten sowie Fachleute und Nachwuchsforschende im Bereich Wasserstoff und Brennstoffzellen ausbilden.	■	■	■	■	■
	L, FuE, W	BB+BE	Maßnahme 55: Best-Practice-Projekte in Kooperation von Forschung und Wirtschaft sowie den Wissens- und Technologietransfer verstärkt fördern.	■	■	■	■	■
	L, FuE, W	BB+BE	Maßnahme 56: Entwicklung wegweisender, innovativer Wasserstofflösungen stärker voranbringen; hierbei noch stärker die Potenziale der anwendungsorientierten Grundlagenforschung in enger Zusammenarbeit mit der Wirtschaft nutzen.	■				
	L, FuE, W	BB+BE	Maßnahme 57: Förderung von Projekten, in denen Forschungs- und Industriepartner gemeinsam Innovationen aus dem Labor schneller als bisher in die Anwendung bringen und sie nach industriellen Maßstäben umsetzen.	■				
<i>Synergien und Zusammenarbeit</i>	L, FuE	BB+BE	Maßnahme 58: Forschungsnetzwerke durch länderübergreifende Kooperationen und weiteren Ausbau im Bereich der Erzeugung, Transport, Nutzung und Speicher von Wasserstoff stärken.	■	■	■	■	■
	L	BB+BE	Maßnahme 59: Politische Zusammenarbeit mit den benachbarten Bundesländern verstetigen, um bei nötigen Entscheidungen auf Bundes- und EU-Ebene schnell und abgestimmt reagieren zu können.	■	■	■	■	■
	L	BB+BE	Maßnahme 60: Strategische Zusammenarbeit von Brandenburg und Berlin bei Wasserstoff und Energiethemata festigen und ausbauen.	■	■	■	■	■
	L	BB+BE	Maßnahme 61: Aufbau eines digitalen H ₂ -Marktplatzes, um das Wachstum einer H ₂ -Wirtschaft zu beschleunigen.	■				
	L, K	BB+BE	Maßnahme 62: „KMU-Chatroom“ schaffen, um vorhandenes technologisches Know-how auf die neuen Anforderungen in der H ₂ -Wirtschaft teilen und abfragen zu können.	■				
	L, K, W	BB	Maßnahme 63: Zusammenarbeit mit Polen zu Wasserstoff verstärken.	■	■	■	■	■

B Bund
 L Land
 K Kommunen
 W Wirtschaft
 FuE Forschung und Entwicklung
 BB Brandenburg
 BE Berlin

13. Quellenverzeichnis

1. Europäische Kommission [Internet] 2020 [zitiert 10. August 2021]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/law_de
2. Klimaschutzgesetz 2021 [Internet]. 2021 [zitiert 10. August 2021]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>
3. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Herausgeber. Die Nationale Wasserstoffstrategie [Internet]. 2020 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20
4. Sachsen Sachsen-Anhalt Brandenburg. Eckpunktepapier der ostdeutschen Kohleländer zur Entwicklung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft [Internet]. 2020 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Wasserstoff_Eckpunktepapier_Kohlelaender.pdf
5. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg (MWAE). Energie- und Klimaschutzatlas Brandenburg (EKS) [Internet]. 2021 [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: <https://eks.brandenburg.de/>
6. Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV) e.V., Herausgeber. H₂-Industrie Potenzialstudie Brandenburg. Studie zur Identifizierung und Analyse der Chancen und Potenziale zur Wasserstoffnutzung und Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie im Land Brandenburg, insbesondere unter Beachtung der energie- und industriepolitischen Aspekte [Internet]. 2019 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Wasserstoff_Industrie_Potenzialstudie_Brandenburg.pdf
7. Hirschl B, et al. Berlin Paris-konform machen (im Erscheinen). 2021.
8. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin. Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK 2030). Umsetzungszeitraum 2017 bis 2021; Konsolidierte Fassung [Internet]. [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/das-berliner-energie-und-klimaschutzprogramm-bek/bek-2030-beschlussfassung.pdf
9. Fraunhofer IEG, Fraunhofer ISI, Fraunhofer IKTS, Herausgeber. H₂-Masterplan für Ostdeutschland. Bericht. 2021.
10. Fraunhofer IEG, Fraunhofer ISE, Fraunhofer ISI, Herausgeber. Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats [Internet]. 2021 [zitiert 11. Juni 2021]. Verfügbar unter: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2021/Metastudie_Wasserstoff_Abschlussbericht.pdf
11. Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe. Pressemitteilung: Abgeordnetenhaus beschließt Solargesetz Berlin – Wichtiger Meilenstein für die Solarcity Berlin [Internet]. 2021 [zitiert 18. Juni 2021]. Verfügbar unter: <https://www.berlin.de/sen/web/presse/pressemitteilungen/2021/pressemitteilung.1097187.php>
12. Enkhart S. Berlin beschließt Photovoltaik-Pflicht für neue Wohn- und Nicht-Wohngebäude ab 2023 [Internet]. PV Magazin. 2021 [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: <https://www.pv-magazine.de/2021/06/17/berlin-beschliesst-photovoltaik-pflicht-fuer-neue-wohn-und-nicht-wohngebäude-ab-2023/>
13. H2Berlin, Herausgeber. Studie: Wasserstoffpotenzial in Berlin 2025 [Internet]. 2020 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: https://energietechnik-bb.de/sites/default/files/2020-09/H2Berlin_Wasserstoffpotenzial%20in%20Berlin%202025_final_20200904.pdf
14. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg (MWAE). Energie- und Rohstoffland Brandenburg [Internet]. Verfügbar unter: <https://mwae.brandenburg.de/de/energie-und-rohstoffland-brandenburg/bb1.c.478376.de#:~:text=Energie-%20und%20Rohstoffland%20Brandenburg%20Mehr%20als%20ein%20Zehntel,von%20bezahlbarem%20und%20umweltvertr%C3%A4glichem%20Strom%20aus%20heimischen%20Quellen>

15. Ueckerdt F, Bauer C, Dirnaichner A, Everall J, Sacchi R, Luderer G. Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. Nat Clim Change. Mai 2021;Vol. 11:S. 384-393.
16. Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union. Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung); Artikel 27 Berechnungsregeln in Hinblick auf Mindestanteile von erneuerbarer Energie im Verkehrssektor [Internet]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32018L2001:DE:HTML#d1e3479-82-1>
17. Die Bundesregierung. Klimaschutzgesetz 2021: Generationenvertrag für das Klima [Internet]. 2021 [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>
18. Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe Berlin, Herausgeber. Masterplan Solarcity Monitoringbericht 2020 [Internet]. 2020 [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: <https://www.berlin.de/sen/energie/energie/erneuerbare-energien/masterplan-solarcity/>
19. Reiner Lemoine Institut (RLI), Herausgeber. ecoPtG – Erforschung von Möglichkeiten des Technologietransfers aus der Automobilindustrie zur Realisierung eines modularen Low-Cost-Elektrolysesystems der 100 kW Klasse [Internet]. 2019 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: https://reiner-lemoine-institut.de/wp-content/uploads/2020/10/ecoPtG_RLI_Schlussbericht.pdf
20. Zoll online, Generalzolldirektion. Erfüllung, Nichterfüllung und Übertragung der Quotenverpflichtung [Internet]. 2021 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: https://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Steuern/Verbrauchssteuern/Treibhausgasquote-THG-Quote/Quotenverpflichtung/Erfuellung-Quotenverpflichtung/Erfuellung-Nichterfuellung-Uebertragung-Quotenverpflichtung/erfuellung-nichterfuellung-uebertragung-quotenverpflichtung_node.html
21. Wirtschaftsförderung Land Brandenburg (WFBB). Recherche Tool. Brandenburg - am besten investieren [Internet]. [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: [https://ggdb.wfbb.de/KWISweb-Sites/\(S\(3rq3ejiqsmcxbh0smr3vg1w4\)\)/SitesSearch.aspx](https://ggdb.wfbb.de/KWISweb-Sites/(S(3rq3ejiqsmcxbh0smr3vg1w4))/SitesSearch.aspx)
22. Die Verkehrsunternehmen (VDV), Herausgeber. Emissionsfreie Energie- und Antriebskonzepte für Stadtbusse zur Umsetzung der europäischen Clean Vehicles Directive [Internet]. 2020 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://www.vdv.de/emissionsfreie-energie-und-antriebskonzepte-fuer-stadtbusse.pdf>
23. Gesetzentwurf über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge. (Umsetzung der Clean Vehicles Directive) [Internet]. 2019. Verfügbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/clean-vehicles-directive.html>
24. Verband der Automobilindustrie (VDA), Herausgeber. Pressemitteilung: CO2-Ziele für Lkw sind zu ambitioniert [Internet]. 2019 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/20190219-mattes-co2-ziele-fuer-lkw-sind-zu-ambitioniert.html>
25. Bundesministerium der Finanzen (BMF). Deutscher Aufbau- und Resilienzplan (DARP) [Internet]. 2021 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Europa/DARP/deutscher-aufbau-und-resilienzplan.html>
26. Agora Energiewende, Herausgeber. 10 Eckpunkte für einen klimaneutralen Gebäudekonsens. Vortrag von Dr. Patrick Graichen, Alexandra Langenheld, Georg Thomaßen im Rahmen der Berliner Energietage [Internet]. 2021 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_02_Gebaeudekonsens/2021-04-22_Praesentation_Agora_Energiewende_Eckpunkte_Gebaeudekonsens.pdf
27. Jaro J, Wang A, van der Leun K, Peters D, Busemann M. European Hydrogen Backbone. How a dedicated hydrogen infrastructure can be created [Internet]. 2020 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://gas-forclimate2050.eu/publications/>
28. DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Herausgeber. Presseinformation: Mehr Wasserstoff technisch sicher verankern [Internet]. 2019 [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter:

<https://www.dvgw.de/der-dvgw/aktuelles/presse/presseinformationen/dvgw-presseinformation-vom-09042019-mehr-wasserstoff-technisch-sicher-verankern>

29. gwf-Gas + Energie, Herausgeber. Energiesystem Lausitz: Alternative zur kohlebasierten Energieversorgung in der Konzeptstudie „LAU-HY“ [Internet]. [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: <https://gwf-gas.de/forschung-entwicklung/energiesystem-lausitz-alternative-zur-kohlebasierten-energieversorgung-in-der-konzeptstudie-lau-hy/>
30. Agora Energiewende and AFRY Management Consulting, Herausgeber. No-regret hydrogen: Charting early steps for H₂ infrastructure in Europe [Internet]. 2021 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_02_EU_H2Grid/A-EW_203_No-regret-hydrogen_WEB.pdf
31. DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Herausgeber. Roadmap Gas 2050. Entwicklung einer Roadmap zur Umsetzung des DVGW-Energie-Impulses bis zum Jahr 2050 (G 201824) [Internet]. 2019 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-roadmap-gas-2050>
32. DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Herausgeber. H₂vorOrt – Wasserstoff über die Gasverteilnetze für alle nutzbar machen [Internet]. 2020 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/themen/energiewende/wasserstoff-und-energiewende/h2vorort>
33. Grüger F. Initialinfrastruktur für Wasserstoffmobilität auf Basis von Flotten. Schriften Forschungszentrums Jül [Internet]. 2019 [zitiert 19. Mai 2021];466. Verfügbar unter: https://user.fz-juelich.de/record/864482/files/Energie_Umwelt_466.pdf
34. DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Herausgeber. Transformationspfade zur Treibhausgasneutralität der Gasnetze und Gasspeicher nach COP 21 (G 201624) [Internet]. 2018 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsbericht-g-201624>
35. Department for Business, Energy & Industrial Strategy, UK. Policy paper: Contracts for Difference [Internet]. 2020 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://www.gov.uk/government/publications/contracts-for-difference/contract-for-difference>
36. Clark A, Schiele J, Hepburn C, Llewellyn Smith C. Leveraging Private Capital to Scale up Hydrogen. Smith School of Enterprise and the Environment; 2020.
37. Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV) e.V. H₂ Global [Internet]. [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://h2-global.de/>
38. Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU), Herausgeber. Empfehlungen zur Berücksichtigung tierökologischer Belange bei Windenergieplanungen in Schleswig-Holstein [Internet]. 2008 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/windenergie/windenergie.pdf>
39. Umweltbundesamt, Herausgeber. Rechtsgutachten umweltfreundliche öffentliche Beschaffung. Aktualisierung Februar 2019 [Internet]. 2019 [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/texte_30-2019_rechtsgutachten-umweltfreundliche-beschaffung_bf.pdf
40. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg (MWAE). Vergabeportal Brandenburg: Strategische/ nachhaltige Beschaffung [Internet]. [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: <https://vergabe.brandenburg.de/strategische-nachhaltige-beschaffung>
41. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin. Rechtsvorschriften. Umweltverträgliche Beschaffung: Berechnungshilfen für Lebenszykluskosten [Internet]. [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: <https://www.berlin.de/senuvk/service/gesetzestexte/de/beschaffung/rechentools.shtml>

42. Beschaffungsamt des BMI. Das zentrale Portal für nachhaltige Beschaffung öffentlicher Auftraggeber [Internet]. [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: http://www.nachhaltige-beschaffung.info/DE/Home/home_node.html
43. Klimaschutz und Klimawandelanpassung in Brandenburg [Internet]. [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/klimaschutz/>
44. Reusswig F, Hirschl B, Lass W, et al. Machbarkeitsstudie Klimaneutrales Berlin 2050 [Internet]. 2014 [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: <https://www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/das-berliner-energie-und-klimaschutzprogramm-bek/machbarkeitsstudie-klimaneutrales-berlin-2050/>
45. Bukold S, Huneke F, Claußner M. Studie: Grün oder Blau? Wege in die Wasserstoff-Wirtschaft 2020 bis 2040 [Internet]. 2020 [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/Gruen_oder_blau_Wege_in_die_Wasserstoffwirtschaft_final.pdf
46. Umweltbundesamt. Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 [Internet]. 2021 [zitiert 21. Juni 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/galerie/klimawirkungs-risikoanalyse-2021>
47. International Energy Agency (iea), Herausgeber. The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities. Report prepared by the IEA for the G20, Japan [Internet]. 2019 [zitiert 21. Juni 2021]. Verfügbar unter: https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf
48. Wirtschaftsförderung Land Brandenburg (WFBB). Cluster Energietechnik Berlin-Brandenburg [Internet]. [zitiert 17. Juni 2021]. Verfügbar unter: <https://energietechnik-bb.de/de>
49. Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e.V., Herausgeber. HYPOS macht Schule [Internet]. 2021. Verfügbar unter: https://www.hypos-eastgermany.de/blog/single/news_einmalig-in-deutschland-hypos-macht-schule/
50. Ministry of Climate and Environment, Poland. Draft act supporting offshore wind farms adopted [Internet]. 2020 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://www.gov.pl/web/climate/draft-act-supporting-offshore-wind-farms-adopted>
51. Institute for Energy Economics & Financial Analysis (IEEFA.org), Herausgeber. Poland plans for 2 GW of hydrogen production capacity by 2030 [Internet]. 2021 [zitiert 19. Mai 2021]. Verfügbar unter: <https://ieefa.org/poland-plans-for-2gw-of-hydrogen-production-capacity-by-2030/>

14. Anhang: Forschungseinrichtungen in Brandenburg und Berlin

Die nachfolgende Darstellung ist Teil der Auswertung der Stakeholderbefragung. **Die Eintragungen wurden in dieser Form von den teilnehmenden Organisationen übermittelt.** Es besteht daher kein Anspruch auf Richtigkeit und/oder Vollständigkeit der gemachten Angaben.

Organisation ²⁸	Aktuelle Tätigkeiten im Bereich H ₂	Geplante Tätigkeiten bis 2040
Hochschulen Brandenburg		
BTU Cottbus-Senftenberg	H ₂ -Forschungszentrum an der BTU Cottbus-Senftenberg	Weiterführung / Ausbau H ₂ -Forschungszentrum
	Werkstoffforschung	Werkstoffforschung
	Beständigkeit von Materialien gegen Wasserstoffeinfluss	Beständigkeit von Materialien gegen Wasserstoffeinfluss
	Thermische Energiespeicher	Thermische Speicher für Prozesse bei der Umsetzung von Wasserstoff
TH Wildau	Entwicklung einer Infrastruktur zur Vermittlung der Ideen der Wasserstoffnutzung für Mobilitätsanwendungen. Hierfür sind Bildungsformate und ein Reallabor geplant.	In den nächsten zwei Jahrzehnten wollen wir insbesondere für die Bauindustrie (Zement) und Abfallwirtschaft eine CO ₂ -neutrale Prozesskette entwickeln helfen. Weiterhin sind die Logistikketten in den Korridoren Luft, Land und Wasser im Fokus. Hierzu soll insbesondere das LOHC-Trägermedium in der näheren Betrachtung gesetzt werden.
Fachhochschule Potsdam		Forschung und Lehre zur strategischen Bedeutung und zum Einsatz von grünem Wasserstoff für die Dekarbonisierung städtischer Energieversorgung. Z. B. gerade Einreichung einer Forschungsskizze beim BMBF im Programm „Insight“ mit dem Ziel, die Wahrnehmungen und Einstellungen von relevanten Akteuren im Entscheidungsprozess zum Einsatz von H ₂ -Technologie zu verstehen (Akzeptanz- und Entscheidungsforschung); generell Entwicklung von aktorsbezogenen Partizipations- und Akzeptanzstrategien im Rahmen unseres Studien- und Forschungsschwerpunktes Urbane Zukunft (siehe: urbane-zukunft.de)
TH Brandenburg	Im Fokus unserer Aktivitäten steht die nachhaltige Mobilität. <ul style="list-style-type: none"> • Zusammenarbeiten im Anwendungsgebiet Bahntechnologie • - Speicherung, Antrieb, Brennstoffzelle 	Zusammenarbeit mit der Stadt Brandenburg an der Havel im Anwendungsgebiet nachhaltige Schifffahrt - Zusammenarbeit im Anwendungsgebiet Bahntechnologie (Kirchmöser/Wittenberge/Wustermark)
Hochschulen Berlin		
Technische Universität Berlin	Erforschung und Optimierung von Verfahren zur H ₂ -Herstellung aus biogenen Roh- und Reststoffen sowie Verfahren zur Wandlung von grünem Wasserstoff in andere Energieträger, vor allem durch Methanisierung	Optimierung der Steuerung und Kontrolle von Anlagen vom Labor- bis in den industriellen Maßstab, auch in dezentralen Konzepten, zusammen mit Partnern aus dem industriellen Umfeld; Teilnahme an Demonstrationsvorhaben in urbanen und ländlichen Räumen, ökologische und ökonomische Bewertung in Begleitvorhaben
		Erforschung und Entwicklung von wasserstoffbasierten Antriebstechnologien für mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge
Beuth Hochschule für Technik Berlin	<ul style="list-style-type: none"> • Komponententests, Systemtests an Prüfständen • Simulation von Komponenten und Systemen (Tanks, Leitungen, Verdichter, Reformierung, Brennstoffzellen, Brenner, Wärmetauscher für Wasserstoff) • Energiesystemmodellierung 	<ul style="list-style-type: none"> • PtG, Integration Elektrolyseure in Strom- und Gasnetz • H₂-Speicherung • Szenario-Untersuchung Sektorkopplung • Kommunikation von Energiewendethemen • Deutliche Erweiterung der modularen Simulationsumgebung für Energiesysteme

²⁸ Nachträglich hinzugefügt wurden das Reiner Lemoine Institut (erstellte die H₂-Roadmap) sowie das Fraunhofer IEG (Mitherausgeber der Studie „H₂-Masterplan für Ostdeutschland“).

	<ul style="list-style-type: none"> • Regelungsentwicklung, Optimierung der Betriebsweise, Digital-Twin-Programmierung, Programmierung von Steuergeräten • Integration Wasserstoffinfrastruktur in Energieversorgungssystem • Sektorkopplung • Systemanalytische Fragestellungen 	
Forschungsinstitute		
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)	<p>Die BAM forscht, prüft, berät ganzheitlich und interdisziplinär unter einem Dach im Kompetenzzentrum H2Safety@BAM</p> <ul style="list-style-type: none"> • Charakterisierung/Beurteilung Eignung von Materialien/Werkstoffen für sichere/nachhaltige Nutzung der Komponenten, Anlagen und Systeme, Modellierung wasserstoffabhängiger Material- und Werkstoffeigenschaften über die Nutzungsdauer, Bestimmung Werkstoffveränderungen unter extremen Bedingungen • Bauteilprüfung, Berücksichtigung von Alterungsmechanismen hinsichtlich Bauteilintegrität und Lebensdauer, dynamischen Lastprofile bei Wasserstoffspeichern, Structural Health Monitoring • Gasreinheitsuntersuchungen, Rückführung von Energiegasen durch Referenzgase, Prüfung/Bewertung funktionale Sicherheit von Sensoren • Auswirkungsbetrachtungen bei (unfallbedingtem) Versagen von Anlagen/Systemen, Bewertung von Sicherheitskonzepten • Erarbeitung entsprechender Regularien, Normen und Standards • Netzwerkarbeit, u. a. im Forschungsnetzwerk H2 und HER 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausbau des Kompetenzzentrums H2Safety@BAM • Aufbau eines Testareals Wasserstoffsicherheit für die Erweiterung des Prüf- und Entwicklungsportfolios zur Unterstützung des avisierten Markthochlaufs • Ausbau der Aktivitäten zur Untersuchung von Materialeigenschaften und -kompatibilitäten, zur Bauteilprüfung, -sicherheit und Zulassung, zur Sensorik und Referenzmaterialien sowie zur Prozess- und Anlagensicherheit • Aufbau einer Nachwuchsförderung, z. B. im Rahmen einer Graduiertenschule und einer BAM Academy • Beteiligung an nationalen/europaweiten Förderprogrammen
Deutsches GeoForschungszentrum Potsdam (GFZ)	<p>Seit 2012 wurde am GFZ notwendige Kompetenz im Rahmen der Projekte H2STORE, H2ReacT und ES2050 im Bereich H2-Forschung aufgebaut, basierend auf den Erfahrungen im CO₂-Speicherpilotprojekt Ketzin. Das GFZ besitzt ein zertifiziertes Labor, das für Experimente mit 100 % Wasserstoff unter Reservoir-Bedingungen mit Drücken bis zu 300 bar zugelassen ist. Das GFZ hat sich hier einen Vorsprung gegenüber Mitbewerbern erarbeitet, da deutschlandweit nur wenige solcher Labore vorhanden sind. Forschungsvorhaben zum Thema Wasserstoff konzentrieren sich auf geophysikalisches, geochemisches und mikrobiologisches Prozessverständnis. Im Bereich der Grundlagenforschung beschäftigt sich das GFZ ergänzend auch mit der übertägigen Speicherung von Wasserstoff in Gashydraten.</p>	<p>Mittelfristig wird vom GFZ mit weiteren Partnern aus Wissenschaft und Industrie ein Pilotprojekt für die Speicherung von 100% Wasserstoff in einem Porenspeicher (Aquifer) angestrebt. In einer ersten Phase wird der untertägige Speicher erschlossen, die Speicherung in mehreren Zyklen erprobt und dann in ein sektorengesetztes Energiesystem integriert. Nach einer ersten Machbarkeitsphase (2025-30) schließt sich ab 2030 eine Wirtschaftlichkeitsanalyse an. Danach könnte bis 2040 der Markthochlauf für H₂-Porenspeicher erfolgen.</p>
	FuE energetische Nutzung des unterirdischen Raumes	Machbarkeit der unterirdischen Speicherung von Wasserstoff
Institut für CO₂-arme Industrieprozesse Deutsches Zentrum für Luft-	Produktion von Wasserstoff und seine Speicherung	Nachhaltige Energieversorgung zur Gestaltung der Energiewende und das Erreichen der deutschen und globalen Klimaziele und CO ₂ -Minderung für industrielle Prozesse

und Raumfahrt (DLR)-		
Fraunhofer IAP	Entwicklung von Werkstoffen für H ₂ -(Druck)behälter: Matrixharze für Faserverbundwerkstoffe	Entwicklung von Werkstoffen für H ₂ -(Druck)behälter: Matrixharze für Faserverbundwerkstoffe, insbesondere unter Nutzung von Additive Manufacturing Technologien
	Tanks und Speichertechnologien	Tanks und Speichertechnologien
Fraunhofer IEG	<ul style="list-style-type: none"> • Modellierung und Analyse gekoppelter Infrastrukturen mit Fokus auf die Interaktion von Wasserstoff-, Strom-, und Wärmenetzen • Techno-ökonomische Analyse regionaler und globaler Wasserstoffpotenziale und -wertschöpfungsketten • Detaillierte Bedarfsplanung und Design von Gasinfrastruktur in einem künftigen Energiesystem unter Betrachtung aller relevanten Wechselwirkungen und mit Blick auf den Umbau von Erdgasnetzen zu Wasserstoffnetzen bzw. dem Neubau solcher Netze 	<ul style="list-style-type: none"> • Modellierung und Analyse gekoppelter Infrastrukturen mit Fokus auf die Interaktion von H₂-, Strom-, und Wärmenetzen • Techno-ökonomische Analyse regionaler und globaler Wasserstoffpotenziale und -wertschöpfungsketten • Detaillierte Bedarfsplanung und Design von Gasinfrastruktur in einem künftigen Energiesystem unter Betrachtung aller relevanten Wechselwirkungen und mit Blick auf den Umbau von Erdgasnetzen zu H₂-Netzen bzw. dem Neubau solcher Netze • Entwicklung von Materialien und Komponenten für den sicheren Betrieb von Wasserstoffnetzen • Qualifizierung und Entwicklung von Komponenten und Materialien für die Integration und den sicheren Betrieb von untertägigen Speichern in H₂-Transportnetze, inkl. der Aufreinigung von Wasserstoff • Umbau bestehender Netze für multi-modalen Betrieb von H₂ und CH₄ • Optimierte Integration von Elektrolyseuren in Gas- und Wärmenetze
Institute For Advanced Sustainability Studies (IASS) Potsdam	Governance, Geopolitik der Wasserstoffwirtschaft, Monitoring, Industrie- und Innovationspolitik	Forschung zu Governance und Geopolitik der Wasserstoffwirtschaft sowie Industrie- und Innovationspolitik
Kompetenzzentrums Klimaschutz in energieintensiven Industrien (KEI)	Berät und fördert energieintensive Industrien in Deutschland zum Thema Treibhausgasminderung.	Treibhausgasneutralität bis 2050
Max-Delbrück-Center für molekulare Medizin (MDC) Berlin	Weiterentwicklung unseres Standorts auf dem Campus Buch Planung einer nachhaltigen, CO ₂ -freien Energieversorgung	Es besteht die Idee eine KWKK-Anlage zu errichten, die Wasserstoff als Brennstoff nutzt. Für die Elektrolyse wollen wir weitere PV-Anlagen bauen.
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)	Analyse der CO ₂ -Benefits von Wasserstoff im urbanen Transportsektor	./.
PI Photovoltaik-Institut Berlin AG	Technische Bewertung von Photovoltaik Parks inkl. Labortest und vor Ort Untersuchung in Feld und Produktion. Dazu gehören neben Wechselrichtern und Aufständern auch Speicher, d. h. im Moment ausschließlich stationäre Batterien, perspektivisch Wasserstoffherzeugung.	Technische Bewertung von Solarparks und Speichertechnologien, d. h. Batterien, H ₂ - und Wärmespeicherung
Reiner Lemoine Institut	Unabhängige Forschung und Beratung <ul style="list-style-type: none"> • Studien zur Energie- und Verkehrswende 	Unabhängige Forschung und Beratung <ul style="list-style-type: none"> • Studien zur Energie- und Verkehrswende • Initiierung anwendungsnaher Projekte

	<ul style="list-style-type: none">• Initiierung anwendungsnaher Projekte• wissenschaftliche Begleitung von Kommunen und Regionen zu H₂-Aktivitäten durch „Stakeholder Empowerment Tools (STAMP)“	<ul style="list-style-type: none">• Ausgründungen für die Softwareentwicklung
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------



Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie
des Landes Brandenburg
Heinrich-Mann-Allee 107
14473 Potsdam
Tel.: 0331 8660
Fax: 0331 8661533
E-Mail: oeffentlichkeitsarbeit@mwaeb.brandenburg.de

