

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**

Juli 2019

Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V.

Autoren: Dennitsa Nozharova
 Werner Diwald



Vorbemerkung

Die vorliegende Studie wurde im Auftrag vom Ministerium für Wirtschaft und Energie des Landes Brandenburg durch den Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. erstellt.

Die Mitarbeiter des DWV und dessen Unterauftragnehmer haben diesen Bericht mit der üblichen Sorgfalt erstellt. Die in diesem Dokument geäußerten Ansichten und Schlussfolgerungen sind die der Mitarbeiter des DWV und dessen Unterauftragnehmer. Weder der DWV, die Unterauftragnehmer noch deren Mitarbeiter geben irgendeine ausdrückliche oder stillschweigende Garantie oder übernehmen irgendeine rechtliche oder wirtschaftliche Haftung oder Verantwortung für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Nützlichkeit der beigefügten Informationen, Produkte oder Verfahren, oder versichern, dass deren Nutzung private Rechte nicht verletzen würden. Alle Entscheidungen oder Rückschlüsse, die der Leser oder Verwender aufgrund dieses Berichtes trifft, obliegen seiner eigenen vollumfänglichen Verantwortung.

INHALT

Abbildungen	6
Tabellen.....	7
Abkürzungen	8
1 Zusammenfassung.....	10
1.1 Handlungsfelder	12
1.2 Maßnahmenvorschläge	16
2 Zielsetzung und Vorgehensweise	20
3 Treiber der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien im Kontext der Energiewende.....	23
3.1 EU-Klimapolitik.....	23
3.1.1 Klima- und Energiepaket 2020	23
3.1.2 Klima- und Energiepolitik bis 2030	23
3.1.3 Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II).....	23
3.1.4 Richtlinie über saubere Fahrzeuge	24
3.1.5 CO ₂ -Emissionsnormen für Personenkraftwagen, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge	25
3.1.6 EU-EHS Richtlinie	25
3.1.7 EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie	26
3.1.8 EU-Langfristige Strategie – Zeithorizont 2050	26
3.2 Deutsche Klimapolitik	26
3.2.1 Klimaziele Deutschland.....	26
3.2.2 Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung.....	27
3.2.3 Nationale Plattform Zukunft der Mobilität.....	27
3.2.4 Kohleausstieg 2038.....	28
3.2.5 Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen.....	29
3.2.6 Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg	30
4 Erreichung der klimapolitischen Ziele durch den Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff	32

5	Stand und Potenziale zur Herstellung, Speicherung, Transport und Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff in Brandenburg	35
5.1	Herstellung von erneuerbarem Wasserstoff	35
5.2	Speicherung in Unterspeicher und Transport über das Gasnetz.....	37
5.3	Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff (Anwendungsgebiete und Bedarf)	41
5.3.1	Verkehr	43
5.3.2	Industrie	47
5.3.3	Wärmesektor	52
5.3.4	Stromsektor.....	53
6	Stand und Potenziale zur Ansiedlung von Wasserstoffindustrie und von wasserstoffbezogenen Forschungs-, Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen sowie zur Bildung von Kompetenzzentren und einem Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung.....	55
6.1	Ansiedlung von Wasserstoffindustrie.....	57
6.1.1	Herstellung von Elektrolyseuren	57
6.1.2	Herstellung von Anlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen.....	61
6.1.3	Fahrzeugbau und -umbau.....	62
6.2	Ansiedlung von Forschungseinrichtungen	65
6.3	Ansiedlung von Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen.....	66
6.4	Bildung von Kompetenzzentren und einem Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung.....	66
7	Gegenwärtige Aktivitäten und Projektideen im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in Brandenburg	68
7.1	Herstellung von grünem Wasserstoff (Power-to-Gas).....	68
7.2	Wasserstoffspeicher	68
7.3	Wasserstoffmobilität.....	69
7.3.1	Wasserstoffbusse.....	69
7.3.2	Wasserstofftankstellen	69
7.3.3	Wasserstoffzüge	70
7.4	Reallabore der Energiewende	71
7.5	Wissenschaftlich-technologisches Know-how	71
8	Katalog der strategischen Maßnahmen.....	74

8.1	Einführungsphase	74
8.2	Markthochlaufphase	84
9	Anhang	89
9.1	SWOT-Analyse: Aktivitäten in Bezug auf die künftige Herstellung, Speicherung und Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff	89
9.2	SWOT-Analyse: Ansiedlung von Wasserstoffindustrie und von wasserstoffbezogenen Forschungs-, Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen sowie Bildung von Kompetenzzentren und einem Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung.....	92
9.3	Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft.....	95
	Literaturverzeichnis.....	97

Abbildungen

Abbildung 1:	Handlungsfelder und Maßnahmenbereiche der Energiestrategie 2030.....	31
Abbildung 2:	Wasserstoff als Schlüssel zur Energiewende.....	33
Abbildung 3:	Zeitliche Speichervolumina von Strom- und von Gasspeichern im Vergleich.....	39
Abbildung 4:	Mengenmäßige Speichervolumina von Strom- und von Gasspeichern im Vergleich.....	39
Abbildung 5:	Deutschlandweites Elektrolysepotenzial in Gasverteilnetzen im Vergleich.....	40
Abbildung 6:	Bilanzanalyse 2030 – Sektorale Verteilung der direkten Wasserstoffnachfrage, d. h. ohne Wasserstoffbedarf für Power-to-CH ₄ und Power-to-Liquid.....	42
Abbildung 7:	Schematische Übersicht E-Fuels.....	45
Abbildung 8:	Die größten Stahlerzeuger in Deutschland in 2017 (Anteil an der Gesamterzeugung von 42,1 Mio. t: 99 %)......	50
Abbildung 9:	Installierte Leistung der flexiblen Kraftwerke in Deutschland bis 2050	53
Abbildung 10:	Branchenstruktur der in der MinGen Tec-Initiative erfassten Unternehmen (gesamt 129).....	56
Abbildung 11:	Entwicklung der installierten Elektrolyseleistung nach Szenarien.....	59
Abbildung 12:	Entwicklung der Elektrolyseur Kapazitätserweiterungen für Energiezwecke und deren durchschnittliche Einheitsgröße, 1990-2019.....	59
Abbildung 13:	Energieflüsse, Investitionen und Ausgaben für die Erzeugung von Wasserstoff in EU-Dekarbonisierungsszenarien.....	61
Abbildung 14:	Wasserstoffproduktionskosten in den verschiedenen Teilen der Welt.....	62
Abbildung 15:	Mehrinvestitionen im Sektor Verkehr bis 2050.....	63

Tabellen

Tabelle 1:	H2-Bedarf in deutschen Raffinerien im Jahr 2015.....	49
Tabelle 2:	PtG-Projekte.....	68

Abkürzungen

a	Jahr
AEL	Alkalische Elektrolyse
BEV	Battery Electric Vehicles/batterieelektrische Fahrzeuge
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU	Carbon Capture and Utilisation
CDA	Carbon Direct Avoidance
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
EE	Erneuerbare Energie(n)
E-Fuels	Flüssige oder gasförmige erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs / synthetische Kraftstoffe
EPC	Engineering, Procurement and Construction/Detail-Planung und Kontrolle, Beschaffungswesen, Ausführung der Bau- und Montagearbeiten
EU	Europäische Union
EU-EHS	Emissionshandelssystem der EU
FC	Fuel Cell
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle(s) / Brennstoffzellenfahrzeug(e)
FuE	Forschung und Entwicklung
GW	Gigawatt
H ₂	Hydrogen / Wasserstoff
Km	Kilometer
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Li-Ion	Lithium-Ionen
Lkw	Lastkraftwagen
LNG	Liquid Natural Gas

Mio.	Million
MKS	Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung
Mrd.	Milliarde
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
Nfz	Nutzfahrzeug(e)
NIP	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
Nm ³	Normkubikmeter
NPM	Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
%	Prozent
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
PEM	Proton exchange membrane / Protonen-Austauschmembran
PEMEL	PEM-Elektrolyse, oder Membran-Elektrolyse
Pkw	Personenkraftwagen
PJ	Petajoule
PtCH ₄	Power-to-Methan
PtG	Power-to-Gas
PtH ₂	Power-to-Hydrogen
PtL	Power-to-Liquid
PtX	Power-to-X
PV	Photovoltaik
RED	Erneuerbare-Energien-Richtlinie
T	Tonne
THG	Treibhausgasemissionen
TWh	Terrawattstunden
UGS	Untergrundspeicher
Vol.-%	Volumenprozent

1 Zusammenfassung

Die Energiewende und die vereinbarten Klimaschutzziele stellen Deutschland und ebenso das Land Brandenburg vor große Herausforderungen. Brandenburg beabsichtigt, diese Herausforderungen und den damit verbundenen Umbau der Energiewirtschaft unter anderem mit einer Wasserstoffstrategie sozialverträglich und zukunftsorientiert zu bewältigen. Dies kann durch eine strategische industriepolitische Synchronisierung des Ausbaus der erneuerbaren Energien, der Steigerung der Energieeffizienz und der Ansiedlung innovativer Industrien im Energiebereich gelingen. Dabei kommt der Systemintegration erneuerbarer Energien bei gleichzeitigem Umbau der bestehenden Erzeugungs-, Speicher-, Übertragungs- und Versorgungssysteme ein besonderer Stellenwert zu.

Mit Blick auf das energiepolitische Ziel 2050 zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 % gegenüber 1990 kommt der Frage der Speicherung und des Transports inkl. dem nationalen Import der erneuerbaren Energien im industriellen Maßstab eine große Bedeutung zu. Wasserstoff, der mit erneuerbaren Energien erzeugt wird, wird als sektorübergreifendes Bindeglied eine zentrale Rolle als Energieträger der Energiewende einnehmen.

Die zukünftige Wasserstoffwirtschaft bietet damit eine industrie- und energiepolitische Chance zur nachhaltigen wirtschaftlichen Entwicklung des Landes Brandenburg. Dabei kann eine stabile langfristige Entwicklung nur erfolgen, wenn Brandenburg zeitnah die Verzahnung der Aktivitäten in Bezug auf die künftige Wasserstoffnutzung und der Ansiedlung des dafür erforderlichen Anlagenbaus industriepolitisch gestaltet. Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien können die Wettbewerbsfähigkeit stärken und gleichzeitig Wertschöpfung und qualifizierte Arbeitsplätze in Brandenburg erhalten und neu schaffen. Die im Rahmen dieser Studie untersuchten Szenarien zeigen eine große Bandbreite für die erforderlichen Elektrolysekapazitäten, die benötigten Mengen an synthetischen Kraftstoffen, die Zahl der Brennstoffzellenfahrzeuge und die zu erwarteten Arbeitsplätze für die Zieljahre 2030 und 2050.

Die Hydrogen Europe Roadmap prognostiziert einen Umsatz der EU-Wasserstoffindustrie von 130 Mrd. EUR bis 2030 bzw. 820 Mrd. EUR bis 2050. Dieses europäische Potenzial könnte der EU-Wasserstoffindustrie als Sprungbrett für einen erfolgreichen globalen Export dienen.

Insgesamt könnte die EU-Wasserstoffindustrie bis 2030 rund eine Million hochqualifizierte Arbeitskräfte und bis 2050 sogar 5,4 Millionen beschäftigen. Die zugrunde liegende Beschäftigungsintensität liegt zwischen 6 und 7,5 Stellen pro eine Million EUR Umsatz.

Selbst die unteren Grenzen der ermittelten Zahlen zeigen ein exponentielles Marktwachstum für die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien auf und stellen somit ein großes industriepolitisches Potenzial zur Entwicklung einer brandenburgischen Wasserstoffwirtschaft dar.

Elektrolyseanlagen

Für die prognostizierte europäische Produktion von voraussichtlich rund 2.000 TWh Wasserstoff im Jahr 2050 würden etwa 625 GW Elektrolysekapazitäten benötigt. Alleine für Deutschland würden Elektrolysekapazitäten zwischen 10 und 65 GW bis 2030 bzw. zwischen 137 und 275 GW bis 2050 erforderlich.

Mit der strategischen Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie und insbesondere einer Elektrolyseindustrie besteht eine große Chance, die Wertschöpfung und die Arbeitsplätze im Land Brandenburg zu sichern und zu erhöhen und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten.

Ausgehend von einem Elektrolysebestand von 30 GW im Jahr 2030 müssten in den folgenden 20 Jahre mindestens 5 GW pro Jahr installiert werden, um die ermittelte Mindestinstallation von 137 GW im Jahr 2050 zu erreichen. Die inländische Wertschöpfung, die alleine durch die Herstellung von Elektrolyseuren für den deutschen Bedarf entstehen kann, variiert ab 2030 somit zwischen 5-10 Mrd. EUR/a. Daraus ergibt sich, unter der Annahme einer Beschäftigungsintensität von 7 Arbeitsplätzen pro eine Million EUR Umsatz, ein Arbeitsmarktpotenzial für die Herstellung von Elektrolyseuren von 35.000 bis 70.000 Vollzeitbeschäftigten.

E-Fuels

Wasserstoff und daraus produzierte synthetische Kraftstoffe könnten in 2050 einen Anteil von 10 bis 23 % am gesamten Endenergieverbrauch der EU einnehmen. Der Bedarf an synthetischen Kraftstoffen für den deutschen Markt wird auf 9,7 bis 47 TWh in 2030 geschätzt. In 2050 könnte der Bedarf an E-Fuels in Deutschland, je nach Szenario, sogar auf 155 bis 908 TWh ansteigen.

Durch die Ansiedlung von Unternehmen zur Herstellung von Anlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen in Brandenburg könnten sich zusätzliche Wertschöpfungsmöglichkeiten eröffnen.

Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge

Im Jahr 2030 könnten bereits 3,7 Mio. Personenkraftwagen (Pkw), 500.000 leichte Nutzfahrzeuge (Nfz) und rund 45.000 Lastkraftwagen (Lkw) und Busse mit Brennstoffzellenantrieb im europäischen Markt zur Anwendung kommen. Brennstoffzellen-Züge könnten zudem rund 570 Diesel-Züge ersetzen. Bis 2050 würden in Deutschland zwischen 30.000 bis 60.000 Brennstoffzellen-Lkw, 2 bis 2,3 Mio. elektrische leichte Nfz und 26 bis 33 Mio. elektrische Pkw (Batterie, Plug-in, Brennstoffzelle) benötigt werden.

Durch die Ansiedlung von Unternehmen im Bereich des Fahrzeugbaus könnten sich weitere signifikante Potenziale für die brandenburgische Wirtschaft ergeben. Im Zuge der Dekarbonisierung des Transportsektors könnten selbst in dem etablierten Herstellermarkt der Automobilindustrie neue Chancen für die Ansiedlung innovativer neuer Unternehmen entstehen.

Aufgrund der bereits vorhandenen Kompetenzen könnte die Technologieentwicklung und der Umbau von Bergbaufahrzeugen auf Wasserstoff, wie z.B. Mining Trucks, von besonderer Bedeutung für Brandenburg werden und unter Umständen sogar zu einem regionalen Alleinstellungsmerkmal werden. Das Potenzial ergibt sich aus der Anzahl der Mining Trucks, die derzeit in Bergwerken auf der ganzen Welt im Einsatz sind. Insgesamt werden über 47.900 Lkw mit einer Nutzlast von 90 Tonnen und mehr in den Minen betrieben.

Potenzielle Arbeitsplätze in Brandenburg

In Brandenburg könnten durch die gezielte Ansiedlung einer Elektrolyse-Produktionsindustrie, unter der Annahme eines Marktanteils von 10 % des geschätzten deutschen Potenzials von 5 bis 10 Mrd. EUR, bereits im Jahr 2030 zwischen 3.500 und 7.000 qualifizierte Arbeitsplätze geschaffen werden.¹

Potenzielle Elektrolysekapazitäten in Brandenburg

In Brandenburg könnte kurzfristig durch die PCK Raffinerie in Schwedt, die chemische Industrie am BASF Standort in Schwarzheide sowie durch den Einsatz von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenfahrzeugen im Straßen- und Schienenverkehr eine relativ hohe Nachfrage an erneuerbarem Wasserstoff entstehen. Dieses Nachfragepotenzial könnte in der frühen Markthochlaufphase die Basis für die Ansiedlung entsprechender Hersteller der dafür benötigten Anlagen bilden.

Insgesamt wird bis 2035 der Bedarf an Elektrolyseuren aufgrund der aktuell bekannten Projekte in Brandenburg auf mindestens 400 MW mit einem Umsatzvolumen von 500 Mio. EUR geschätzt.

Dabei beläuft sich das Potenzial zur Installation und zum Betrieb von PtG-H₂-Anlagen in den Gasverteilungsnetzen in Brandenburg auf 104 MW in 2030 beziehungsweise auf 57 MW in 2050. Das Potenzial zur Installation und zum Betrieb von PtG-CH₄-Anlagen wird auf 2,4 GW in 2030 und auf 1,3 GW in 2050 geschätzt.

1.1 Handlungsfelder

Für das Land Brandenburg ergeben sich drei wesentliche Handlungsfelder.

Erstens sollten die Voraussetzungen und die Anreize für eine regionale Herstellung und Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff geschaffen werden, und somit positive Impulse für die Wirtschaft gesetzt werden.

Zweitens sollte die wirtschaftliche Basis für eine regionale Fertigung von Wasserstofftechnologien geschaffen werden, und somit ein positiver Stimulus für die nachhaltige Wirtschaftsansiedlung wertschöpfungsintensiver industrieller Tätigkeiten gesetzt werden.

Drittens sollte Brandenburg seine Position und Forderungen an die Bundesregierung zum künftigen politischen und rechtlichen Rahmen für den Einsatz von Wasserstofftechnologien, einschließlich der nationalen Umsetzung der Europäischen Richtlinien im Bereich Energie und Umwelt, zeitnah formulieren und eindeutig gegenüber der Regierung kommunizieren.

Voraussetzungen und Anreize für die Herstellung und Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff:

- Erstellung einer H₂-Machtbarkeitsstudie für Brandenburg, die die rechtlichen, technischen und betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die energetische Wasserstoffnutzung und für die Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie umfassend

¹ 1.000 Mio. EUR x 7 Arbeitsplätze pro eine Mio. EUR Umsatz.

untersucht und analysiert sowie Aufschluss über die wirtschaftliche und technische Realisierbarkeit in dem jeweiligen Bereich gibt,

- Bildung und Förderung eines Netzwerkes für Wasserstoff und Sektorenkopplung (Cluster Hy-Industrie-Brandenburg) von relevanten regionalen und überregionalen Stakeholdern aus Wissenschaft und Wirtschaft,
- Erarbeitung einer Wasserstoffstrategie, die den Wirtschaftsakteuren einen verlässlichen Planungshorizont für Investitionen im Bereich der Wasserstoffwirtschaft in Brandenburg aufzeigt,
- Förderung von wasserstoffbezogenen Projekten, die in der Maßnahmenliste der Kohlekommission enthalten sind, einschließlich:
 - Integrierte Energiekonzepte und Innovationsprojekte im Bereich der Wasserstofftechnologien,
 - Etablierung von Forschungseinrichtungen für Energieinfrastruktur und für CO₂-arme Industrieprozesse,
- Gewährleistung vergleichbarer wirtschaftlicher Ausschreibungsbedingungen für Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) und batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) im Zuge der Beschaffung von emissionsarmen Fahrzeugen für öffentliche Einrichtungen,
- Unterstützung alternativer Fahrzeug- und Antriebskonzepte sowie Gewährleistung und Wahrung der Technologieoffenheit und Energieträgerneutralität bei der Anschaffung von Fahrzeugen für den öffentlichen Verkehr,
- Politische Unterstützung beim Netzausbau von Wasserstofftankstellen,
- Begünstigung des Verkehrs von emissionsfreien Fahrzeugen in Stadtzentren,
- Durchführung einer breit angelegten Informationskampagne zu Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien, um die gesellschaftliche Akzeptanz von diesen Technologielösungen zu erhöhen.

Voraussetzungen und Anreize für die Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie:

- Förderung der Forschung und Entwicklung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien,
- Förderung von Demonstrationsprojekten im Bereich der Wasserstoffproduktionstechnologien, Brennstoffzellen, Wasserstofftanks, Speicher und Wasserstoffpipelines,
- Förderung des Aufbaus und des Betriebes in den ersten Jahren, in denen sich die Marktnachfrage noch nicht stabil entwickelt hat, sowie von Produktionsstätten und Prüf- und Zertifizierungszentren für:
 - Elektrolyseure und Elektrolysegesamtsysteme,
 - Produktionsanlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen,
 - Wasserstoffbetriebene Straßen- und Schienenfahrzeuge,

- Brennstoffzellensysteme,
- Wasserstofftanksysteme,
- Wasserstoffpipelines,
- Erarbeitung einer Ansiedlungsstrategie, die den Wirtschaftsakteuren einen verlässlichen Planungshorizont für Investitionen im Bereich der Wasserstoffindustrie in Brandenburg aufzeigt.

Forderungen an die Bundesregierung:

- Kurzfristige nationale Umsetzung der neuen Richtlinie für Erneuerbare Energien (RED II), die die wirtschaftliche Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff für die Herstellung von konventionellen Kraftstoffen in Raffinerien ermöglicht,
- Verbesserung der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Herstellung von erneuerbarem Wasserstoff:
 - Reduzierung der Letztverbraucherabgaben für den bezogenen Strom bzw. Befreiung der PtG-Anlagen von jeglichen Steuern, Abgaben und Umlagen,
 - Ermöglichung der wirtschaftlichen Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff als Kraftstoff für den Verkehr mit aus dem Netz bezogenem erneuerbarem Strom,
 - Einführung eines Herkunftsnachweissystems für erneuerbaren Wasserstoff,
- Erhöhung der gesetzlich zulässigen Konzentration von Wasserstoff im Erdgasnetz und Entwicklung von relevanten Gasqualitätsstandards,
- Aufforderung an die Europäische Kommission im anstehenden Überprüfungsprozess der „Light & Heavy-Duty-Vehicles Emission Regulations“ die Emissionsminderungen von synthetischen erneuerbaren Kraftstoffen auf die Flottenemissionsgrenzwerte der Fahrzeughersteller anzurechnen,
- Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen für Unternehmen, die dem Emissionshandelsmechanismus unterliegen, dass sie ihre Emissionsbilanz durch den Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff verbessern können,
- Anerkennung des erneuerbaren Wasserstoffs auf den Primärenergiefaktor für Gebäude, um den wirtschaftlichen Einsatz im Wärmesektor zu ermöglichen,
- Einführung einer gesetzlichen Treibhausgasminderungsquote für Erdgas durch das Beimischen von synthetischen erneuerbaren Gasen,
- Technologieneutrale politische und regulatorische Rahmenbedingungen für die Beschaffung und Verwendung von emissionsfreien und emissionsarmen Fahrzeugen, damit gleiche wirtschaftliche Wettbewerbsbedingungen für Brennstoffzellenfahrzeuge und batterieelektrische Fahrzeuge bestehen,
- Regulatorischer Rahmen, der faire und wettbewerbliche Marktbedingungen für emissionsarme Industrie- und Chemieprodukte schafft, die mit erneuerbarem Wasserstoff produziert werden

Die strategischen Maßnahmenvorschläge für den Aufbau einer Wasserstoffindustrie sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Eine detaillierte Beschreibung der vorgeschlagenen Maßnahmen und Projekte wird in Kapitel 8 vorgenommen.

1.2 Maßnahmenvorschläge

Die vorgeschlagenen Maßnahmen sind in zwei Phasen eingeteilt: Eine Einführungsphase mit einem Zeithorizont bis 2025 und eine Markthochlaufphase mit einem Zeithorizont bis 2035. Die Projekte und Maßnahmen, die in der Einführungsphase umgesetzt werden, sollten in der Markthochlaufphase weiterentwickelt und erweitert werden.

Energetische Wasserstoffnutzung (Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff; wasserstoffbetriebene Fahrzeuge, Wasserstoff-Betankungsinfrastruktur)	Wasserstoffindustrie (Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie und wasserstoffbezogener Forschungseinrichtungen; Bildung von Kompetenzzentren und einem Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung)
Einführungsphase	
H₂-Erzeugung zur Nutzung in der Industrie, im Verkehr und im Wärme- und Stromsektor <ul style="list-style-type: none"> • Wasserstofferzeugung mittels Elektrolyse für die Nutzung in der chemischen Industrie am BASF Standort in Schwarzheide (chEErs), • Wasserstofferzeugung mittels Elektrolyse, Einspeisung in das Gasnetz und Speicherung im Untergrund-Aquifer-Speicher zur Nutzung im Strom- und Wärmesektor und im Verkehr am Standort Ketzin (Wasserstoff-Projekt in Ketzin), • 10 MW Elektrolyseleistung im Industriepark Schwarze Pumpe in Spremberg und Errichtung eines H₂-basierten Speicherkraftwerkes mit generatorloser E-Rückverstromung (Referenzkraftwerk Lausitz), • 15 MW Elektrolyseleistung und H₂-Einspeisung in das Gasnetz zur Nutzung im Wärmesektor und im Verkehr in Bahnsdorf (Wasserstoffregion Lausitz), • 5 MW Elektrolyseleistung, H₂-Einspeisung ins Gasnetz und Speicherung im Gas-Röhrenspeicher zur emissionsarmen Energieversorgung in 	Anlagenbau <ul style="list-style-type: none"> • Herstellung von Elektrolyseuren, • Herstellung von Prototypen und Mustern für: <ul style="list-style-type: none"> - Brennstoffzellenantriebe und -komponenten, - Brennstoffzellenfahrzeuge, - Wasserstofferzeugungsanlagen, - Wasserstoffspeicher, - Wasserstoffbetankungsanlagen. (Deutsches Wasserstoff Technologiezentrum)

<p>Thyrow (EE-Kraftwerk Thyrow),</p> <ul style="list-style-type: none"> • 20 MW Elektrolyseleistung in PCK-Raffinerie in Schwedt zur Nutzung von grünem Wasserstoff zur Herstellung von konventionellen Kraftstoffen, • 2 MW Elektrolyseleistung zur Demonstration emissionsarmer Stahlproduktion im Stahlwerk in Eisenhüttenstadt. 	
<p>H₂-Straßenfahrzeuge & H₂-Tankstellen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufbau der H₂-Tankstellen in der Lausitz (Pkw und ÖPNV), im Industriepark Schwarze Pumpe (Lkw) und in Eberswalde, • H₂-Busse für den ÖPNV in der Lausitz, Cottbus und Potsdam, • Oberleitungsbusse mit H₂-Range-Extender in Eberswalde. 	<p>Wartung & Instandhaltung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wartung & Instandhaltung von: <ul style="list-style-type: none"> - Elektrolyseuren, - H₂-Tankstellen, - H₂-Straßenfahrzeugen, - H₂-Schienenfahrzeugen.
<p>H₂-Schienenfahrzeuge & H₂-Tankstellen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 6 H₂-Züge auf der reaktivierten Stammstrecke der Heidekrautbahn von Berlin-Wilhelmsruh nach Basdorf, • Aufbau einer H₂-Eisenbahntankstelle, • Umstellung von Diesel-Bahnstrecken auf Wasserstoff. 	<p>Prüf- und Zertifizierungszentrum (an der BTU Cottbus) für:</p> <ul style="list-style-type: none"> • H₂-Tanksysteme, • Elektrolyseure, • Brennstoffzellen, • Messtechnik für H₂-Mengemessung, • Pipelines Testfeld.
	<p>Forschungseinrichtungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fraunhofer Institut für Energieinfrastruktur und Geothermie, • DLR-Institut für CO₂-arme Industrieprozesse in der Lausitz, • Stärkung zukunftsweisender Forschungsschwerpunkte an der BTU Cottbus.
	<p>Kompetenzzentren</p> <ul style="list-style-type: none"> • Innovationsstandorte für Wasserstoff-

	<p>und Brennstoffzellentechnologien,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kompetenzregion Lausitz – Vermittlung von Schlüsselkompetenzen und Qualifizierung von Fachkräften und Auszubildenden mit Schwerpunkt Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien, • Weiterentwicklung des Oberstufenzentrums OLS als Kompetenzzentrum „Digitalisierung im Bereich Energie und Mobilität“.
	<p>Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bildung und Förderung eines Clusters Hy-Industrie-Brandenburg.
<p>Markthochlaufphase</p>	
<p>H₂-Erzeugung zur Nutzung in der Industrie, im Verkehr und im Wärme- und Stromsektor</p> <ul style="list-style-type: none"> • 20 MW Elektrolyseleistung am BASF Standort in Schwarzheide für die Nutzung in der chemischen Industrie (chEErs), • Erweiterung der Elektrolyseleistung im Industriepark Schwarze Pumpe und Aufbau innovativer Regelungssysteme im Charakter eines „technologieoffenen virtuellen Kraftwerks“ (Referenzkraftwerk Lausitz), • 50-100 MW Elektrolyseleistung in Bahnsdorf und graduelle H₂-Einspeisung in das Gasnetz zur Nutzung im Wärmesektor und im Verkehr; Austausch fossiler Heizkessel durch Brennstoffzellen (Wasserstoffregion Lausitz), • 200 MW Elektrolyseleistung in PCK-Raffinerie in Schwedt zur Herstellung von konventionellen und synthetischen 	<p>Anlagenbau</p> <ul style="list-style-type: none"> • Herstellung von Produktionsanlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen.

<p>Kraftstoffen,</p> <ul style="list-style-type: none"> • 100 MW Elektrolyseleistung in Stahlwerk in Eisenhüttenstadt zur Produktion von emissionsarmem Stahl. 	
<p>H₂-Straßenfahrzeuge & H₂-Tankstellen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umstellung aller Busse für den ÖPNV in Cottbus auf Wasserstoff, • 50 H₂-Busse für den ÖPNV in der Lausitz, • H₂-Busse für den ÖPNV in Brandenburg, • H₂-Sonderfahrzeuge, wie z.B. Müll- und Straßenreinigungsfahrzeuge, in Potsdam und Cottbus, • Ausbau der H₂-Tankstelleninfrastruktur. 	<p>Straßenfahrzeugbau & Umbau von Mining Trucks</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neu- und Umbau von H₂-Bussen, • Kleinserienproduktion von H₂-Pkw und leichten Nutzfahrzeugen, • Umbau von Mining Trucks auf Wasserstoff bzw. Entwicklung von Umbausystemen (für den weltweiten Export), • Nachträgliche Ausstattung von O-Bussen mit H-Range-Extender bzw. Entwicklung von Umbausystemen, • Teststrecke für H₂-Fahrzeuge auf dem Lausitzring.
<p>H₂-Schienenfahrzeuge & H₂-Tankstellen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umstellung von 50 % der nichtelektrifizierten Bahnstrecken auf Wasserstoff, • Ausbau der Infrastruktur von H₂-Eisenbahntankstellen. 	<p>Schienenfahrzeugbau</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neu- und Umbau von H₂-Zügen bzw. Entwicklung von Umbausystemen in den Eisenbahnwerken in Eberswalde und in Wittenberge resp. in Cottbus.
	<p>Wartung & Instandhaltung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wartung & Instandhaltung von: <ul style="list-style-type: none"> - Anlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen, - H₂-Busse, - H₂-Mining Trucks.

2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Übergeordnetes Ziel der vorliegenden H₂-Industrie Potenzialstudie ist die Identifizierung und Analyse der Chancen und Potenziale zur Herstellung, Speicherung und Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff und zur Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie im Land Brandenburg. Dabei werden insbesondere die energie- und industriepolitischen Aspekte beachtet.

Die Ergebnisse der Studie sollen dem Auftraggeber eine qualifizierte Grundlage zur Entwicklung einer industriepolitischen Strategie und zur Erstellung eines Maßnahmenkatalogs zur gezielten Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie geben.

Die Kurzstudie knüpft an die besonderen Gegebenheiten und die spezifischen Stärken des Landes Brandenburg an, und gibt eine Orientierung für zukünftige industrie- und energiepolitische Handlungsfelder und mögliche strategische Maßnahmen. Dabei sind aus energiepolitischer Sicht die Möglichkeiten zur Systemintegration und Speicherung von großen Mengen volatiler erneuerbarer Energien und zur weiteren Nutzung und Umrüstung von Gaspipelines und Gaskraftwerken auf Wasserstoffbetrieb von Interesse (Sektorenkopplung). Aus industriepolitischer Sicht ist zudem eine Darstellung des zu erwartenden Einsatzes von Wasserstoff im Verkehr, in der Industrie und im Wärmesektor von Interesse (Sektorenintegration).

Die Studie beschränkt sich auf die qualitative Identifizierung der Potenziale zur Wasserstoffnutzung in den unterschiedlichen Sektoren und zur Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie in Brandenburg. Mögliche Potenziale für den Arbeitsmarkt und die lokale Wertschöpfung werden aus verfügbaren Studien abgeleitet und auf Brandenburg übertragen. In der Analyse werden die vorhandenen brandenburgischen Infrastrukturen wie z. B. erneuerbare Energieerzeugung, Gasnetze, Gaskraftwerke, Raffinerien, Chemieindustrie und Verkehr berücksichtigt.

Der Leistungsumfang beinhaltet keine betriebswirtschaftliche oder rechtliche Detailanalyse zur Umsetzung und beschränkt sich auf einen überschlägigen Abgleich vorhandener Studien, Strukturen, aktueller Aktivitäten und konkreter Projektansätze in Brandenburg, die zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Brandenburg geeignet erscheinen.

Für eine detaillierte und umfassende Analyse der rechtlichen, technischen und betriebswirtschaftlichen Realisierungsfähigkeit empfiehlt der Auftragnehmer, aufbauend auf dieser Studie, eine Machbarkeitsstudie unter Einbeziehung betroffener Akteure zu erstellen. Erfahrungsgemäß wäre die Gründung eines Hy-Industrie-Brandenburg Clusters von relevanten Stakeholdern eine gute Basis zur gezielten Umsetzung der in der Studie vorgeschlagenen Handlungsmaßnahmen und zum erfolgreichen Aufbau einer Wasserstoffindustrie im Land Brandenburg.

Die Studie enthält folgende Bestandteile:

- Darstellung der EU- und der deutschen Klimapolitik als Treiber für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien im Kontext der Energiewende (Kapitel 3),
- Beschreibung der Möglichkeiten zur Erreichung der klimapolitischen Ziele durch den Einsatz von grünem Wasserstoff (Kapitel 4),

- Analyse des Standes und der Potenziale zur Herstellung, Speicherung, Transport und Nutzung von Wasserstoff im Land Brandenburg in den Sektoren Energie, Industrie und Verkehr (Kapitel 5),
- Nennung beispielhafter Möglichkeiten, unter Berücksichtigung des geplanten Kohlenausstiegs bis 2038, die Stromversorgungssicherheit weiter zu gewährleisten (Kapitel 5),
- Analyse des Standes und der Potenziale zur Ansiedlung von Wasserstoffindustrie sowie von wasserstoffbezogenen Forschungs-, Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen (Kapitel 6),
- Erste Identifizierung gegenwärtiger Aktivitäten und Projektideen die für die Markteinführung von Wasserstofftechnologien in Brandenburg geeignet sind (Kapitel 7),
- Katalog der vorgeschlagenen strategischen Maßnahmen mit Nennung von konkreten Projektideen und Projektvorschlägen (Kapitel 8),
- Überschlägige SWOT-Analyse für das Land Brandenburg in Bezug auf:
 - Herstellung, Speicherung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff und
 - Ansiedlung von potenziell infrage kommender Wasserstoffindustrie sowie von wasserstoffbezogenen Forschungs-, Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen (Kapitel 9, Abschnitte 9.1 und 9.2),
- Zusammenstellung potenzieller Marktakteure aus Forschung und Industrie (Kapitel 9, Abschnitt 9.3),

Im Zuge der Erstellung der Studie wurden über 15 Studien und Metastudien mit zahlreichen Szenarien, welche mit Stand Juni 2019 verfügbar waren, herangezogen.

Die Informationen wurden hauptsächlich aus den folgenden Quellen entnommen und verwendet:

- nationale und europäische Legislativdokumente,
- nationale und europäische Statistiken,
- nationale und europäische Klimastrategien,
- Studien und Analysen über den Stand und über die Entwicklungstendenzen zu den Themen europäische und nationale Wasserstoffmarktpotenziale, Sektorenkopplung, Power-to-Gas-, Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien,
- Dokumente der Europäischen Kommission und des Europäischen Parlaments;
- Unterlagen aus öffentlichen Konsultationen,
- Strategien, Statistiken, Initiativen und Projekte in den Bereichen Energie, Umwelt, Verkehr, Industrie und Forschung und Entwicklung im Land Brandenburg.

Zusätzlich wurden zu einzelnen Themenkomplexen Experteninterviews geführt. Diese hatten eine offene Struktur und erfolgten vorwiegend telefonisch. Die Interviewpartner

waren unter anderem im Politikbereich, in nationalen Energieagenturen und Branchenverbänden oder in themenrelevanten Industrien tätig.

Die Studie setzt voraus, dass Konzepte wie *Power-to-Hydrogen* oder *Power-to-Gas* ausschließlich mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen betrieben werden. Der Wasserstoff, der mit erneuerbaren Energien erzeugt wird, wird im Folgenden als „grüner oder erneuerbarer“ Wasserstoff bezeichnet.

3 Treiber der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien im Kontext der Energiewende

Sowohl die EU als auch Deutschland haben sich ambitionierte Klimaschutzziele gesetzt: Bis 2050 sollen die jährlichen Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 um 80 bis 95 % sinken. Zwischenziele bestehen ebenso für 2020 und 2030. Die Ziele leiten sich aus den Ergebnissen der Klimakonferenz in Paris (COP 21) ab. Die Weltgemeinschaft einigte sich dort Ende 2015 auf das Ziel, die Erderwärmung auf unter zwei Grad Celsius und möglichst unter 1,5 Grad Celsius zu beschränken, und eine treibhausgasneutrale Weltwirtschaft zwischen 2050 und 2100 zu schaffen.

3.1 EU-Klimapolitik

3.1.1 Klima- und Energiepaket 2020

Die drei wichtigsten Ziele des EU-Klima- und Energiepaketes 2020 sind:

- Senkung der Treibhausgasemissionen um 20 % (gegenüber dem Stand von 1990),
- 20 % Anteil der Energie in der EU aus erneuerbaren Quellen,
- Verbesserung der Energieeffizienz um 20 %.

Diese Ziele sind auch Kernziele der Strategie Europa 2020 für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum.

3.1.2 Klima- und Energiepolitik bis 2030

Im Rahmen ihrer Klima- und Energiepolitik bis 2030 verfolgt die EU drei Hauptziele:

- Senkung der Treibhausgasemissionen um mindestens 40 % (gegenüber dem Stand von 1990),
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien auf mindestens 32 % (14 % im Verkehrssektor); grüner Wasserstoff kann erstmalig auf die Ziele angerechnet werden,
- Steigerung der Energieeffizienz um mindestens 27 %.

Um die Klimaziele für das Jahr 2030 zu erreichen, hat die Europäische Union eine Reihe von Rechtsvorschriften im Rahmen der Klima- und Energiepolitik entworfen. Die relevanten Rechtsakte und Vorschläge für deren Revision, die finanzielle und nichtfinanzielle Anreize für verschiedene Wasserstoffanwendungen schaffen können, sind in der folgenden Übersicht dargestellt.

3.1.3 Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II)

Neben dem neuen verbindlichen Ziel für einen Anteil erneuerbarer Energien am EU-Endenergieverbrauch von mindestens 32 % im Jahr 2030 sind einige weitere Änderungen zwecks Förderung erneuerbarer Energien im Verkehr und für die Integration von Gasen aus erneuerbaren Energiequellen in das Gasnetz von wesentlicher Bedeutung:²

² Richtlinie 2018/2001

- Die EU-Mitgliedsstaaten sollen dafür sorgen, dass mindestens 14 % der im Straßen- und Schienenverkehr verbrauchten Energie aus erneuerbaren Quellen stammt, wobei die Treibhausgaseinsparungen durch Nutzung erneuerbarer Kraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs (Wasserstoff und daraus produzierte synthetische Kraftstoffe) ab 2021 mindestens 70 % betragen müssen,
- Bei der Berechnung des EE-Mindestanteils im Verkehr sollen auch erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs, einschließlich Wasserstoff, berücksichtigt werden, sofern sie als Zwischenprodukt zur Produktion konventioneller Kraftstoffe verwendet werden,
- Herkunftsnachweise werden auf erneuerbare Gase ausgeweitet. Dies würde den Endverbrauchern ein beständiges Nachweismittel für die Herkunft der erneuerbaren Gase, einschließlich Wasserstoff, bereitstellen und einen grenzüberschreitenden Handel mit solchen Gasen ermöglichen,
- Eine jährliche Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien im Wärme- und Kältesektor von 1,3 % ab dem Stand von 2020 ist eingeführt; eine der möglichen Maßnahmen ist "die physische Beimischung von erneuerbarer Energie zu Energie und Brennstoffen für die Wärme- und Kälteversorgung",
- Die Mitgliedstaaten sollten gegebenenfalls die Notwendigkeit für die Erweiterung der bestehenden Gasnetzinfrasturktur beurteilen, um die Integration von erneuerbaren Gasen zu erleichtern und die Netzbetreiber dazu auffordern, die Netzanschlussstarife für den Anschluss der Erzeugungsanlagen für erneuerbare Gase in transparenter und nichtdiskriminierender Weise zu veröffentlichen.

3.1.4 Richtlinie über saubere Fahrzeuge

Die Richtlinie über saubere Fahrzeuge³ verpflichtet die öffentlichen Auftraggeber in umweltfreundliche Fahrzeuge zu investieren und so den Markt für saubere und energieeffiziente Fahrzeuge zu fördern und zu beleben. Eine im Jahr 2015 durchgeführte Evaluierung zeigte, dass die Ergebnisse nur begrenzt waren.

Im November 2017 hat die EU-Kommission im Rahmen ihres Clean Mobility Package eine Überarbeitung der Richtlinie über saubere Fahrzeuge vorgeschlagen.⁴

Mit der Revision werden Mindestziele für saubere Pkw, leichte Nfz, Lkw und Busse vorgegeben, die bei der öffentlichen Auftragsvergabe ab 2025 bzw. 2030 einzuhalten sind. Dabei handelt es sich um Mindestprozentanteile sauberer Fahrzeuge an der Gesamtzahl aller Straßenfahrzeuge, die Gegenstand öffentlicher Beschaffungs- oder Dienstleistungsaufträge sind.

Der Text enthält auch eine neue Definition des Begriffs "sauberes Fahrzeug". Bei Pkw und leichten Nfz stellt die Definition des Begriffs "sauberes Fahrzeug" ab auf die CO₂-Emissionsnormen. Bei schweren Nfz stellt die Definition des Begriffs "sauberes Fahrzeug" ab auf die Verwendung alternativer Kraftstoffe.

Die Mindestziele für saubere Nutzfahrzeuge in Deutschland sind:

³ Richtlinie 2009/33/EG

⁴ COM/2017/0653

- Pkw und leichte Nfz – 35 % bis 2025 bzw. 35 % bis 2030,
- Lkw – 10 % bis 2025 bzw. 15 % bis 2030,
- Busse – 50 % bis 2025 bzw. 75 % bis 2030.

3.1.5 CO₂-Emissionsnormen für Personenkraftwagen, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge

Im April 2019 hat die EU mit einer Verordnung neue CO₂-Emissionsnormen für Pkw und leichte Nfz in der Europäischen Union für die Zeit nach 2020 festgelegt.⁵ Anders als bisher wird kein absolutes CO₂-Ziel, sondern eine prozentuale Minderungsvorgabe als Ziel definiert. Die durchschnittlichen Emissionen der EU-Neuwagenflotte sollen bis 2030 um 30 % gegenüber dem Jahr 2021 sinken. Bezogen auf das Ausgangsjahr 2021 soll der durchschnittliche CO₂-Ausstoß bis 2025 um 15 % sinken.

Ab dem 1. Januar 2020 legt die Verordnung für den CO₂-Emissionsdurchschnitt von in der Europäischen Union zugelassenen neuen Personenkraftwagen bzw. neuen leichten Nutzfahrzeugen einen für die gesamte EU-Flotte geltenden Zielwert von 95 g CO₂/km bzw. 147 g CO₂/km fest.

Am 17. Mai 2018 legte die Europäische Kommission einen Legislativvorschlag vor, in dem die allerersten CO₂-Emissionsnormen für schwere Nutzfahrzeuge in der EU festgelegt werden.⁶ Die durchschnittlichen CO₂-Emissionen neu zugelassener schwerer Nutzfahrzeuge sollen bis 2025 um 15 % und bis 2030 um 30 % gegenüber 2019 reduziert werden.

Beide Vorschläge, für Pkw und leichte Nfz und für schwere Nfz enthalten Mechanismen, die Anreize für die Aufnahme von emissionsfreien und emissionsarmen Fahrzeugen in technologieutraler Weise bieten.

3.1.6 EU-EHS Richtlinie

Um die EU-THG-Minderungsziele für 2030 erreichen zu können, müssen die vom EU-Emissionshandelssystem (EU-EHS) erfassten Industriezweige ihre Emissionen gegenüber dem Niveau von 2005 um 43 % senken.

Die neu verabschiedete EU-EHS-Richtlinie,⁷ die für den Zeitraum 2021-2030 (vierte Handelsperiode) gilt, erzielt dies durch folgende Maßnahmen:

- Die Gesamtzahl der Emissionszertifikate wird ab 2021 um 2,2 % pro Jahr sinken, und nicht mehr wie bisher um 1,74 % jährlich,
- Die Marktstabilitätsreserve — der von der EU geschaffene Mechanismus zur Senkung des Überangebots an Emissionszertifikaten auf dem CO₂-Markt und zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit des EU-EHS gegenüber künftigen Turbulenzen - wird erheblich ausgebaut,

⁵ Verordnung (EU) 2019/631

⁶ COM/2018/284

⁷ Richtlinie 2018/410

- Zwischen 2019 und 2023 wird sich die Menge der in die Reserve eingestellten Zertifikate auf 24 % der in Umlauf befindlichen Zertifikate verdoppeln. Ab 2024 kommt die normale Einstellungsrate von 12 % wieder zur Anwendung.

Diese Maßnahmen stellen große Herausforderungen für mehrere energieintensive Prozesse in der Chemie- und Stahlindustrie dar.

3.1.7 EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie

Die neue EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie zielt darauf ab, den Einsatz intelligenter Technologien in Gebäuden zu fördern, die bestehenden Regeln zu straffen und die Gebäudesanierung zu beschleunigen.⁸

Die Mitgliedstaaten verknüpfen ihre finanziellen Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz bei der Renovierung von Gebäuden mit den Energieeinsparungen, die durch eine solche Renovierung erzielt werden. Mit der Richtlinie wird ein Intelligenzfähigkeitsindikator eingeführt, um die Fähigkeit von Gebäuden zu messen, Informations- und Kommunikationstechnologien sowie elektronische Systeme zu nutzen, den Betrieb von Gebäuden an die Bedürfnisse der Bewohner und des Stromnetzes anzupassen und die Energieeffizienz und Gesamtleistung von Gebäuden zu verbessern.

Die Richtlinie ist am 9. Juli 2018 in Kraft getreten und muss innerhalb von 20 Monaten in nationales Recht umgesetzt werden.

Es hängt von der nationalen Umsetzung ab, ob Mikro-KWK-Anlagen mit Brennstoffzellen als eine geeignete Technologie zur Reduzierung der CO₂-Emissionen des Gebäudesektors, zur Erzielung von Energieeinsparungen und zur Bereitstellung intelligenter Netzlösungen anerkannt und noch stärker als bisher gefördert werden.

3.1.8 EU-Langfristige Strategie – Zeithorizont 2050

Am 28. November 2018 legte die Europäische Kommission ihre langfristige strategische Vision für eine wohlhabende, moderne, wettbewerbsfähige und klimaneutrale Wirtschaft für den Zeithorizont 2050 vor.⁹

Die Strategie zeigt auf, wie Europa auf dem Weg zur Klimaneutralität vorangehen kann, indem es in realistische technologische Lösungen investiert, den Bürgerinnen und Bürgern Eigenverantwortung überträgt und Maßnahmen in Schlüsselbereichen wie Industriepolitik, Finanzwesen oder Forschung aufeinander abstimmt und gleichzeitig aber dafür sorgt, dass der Übergang sozial gerecht vollzogen wird.

Wasserstoff und Power-to-X spielen eine wesentliche Rolle in fünf der insgesamt acht Szenarien, die verschiedene Technologien und Handlungsmöglichkeiten betrachten, die den Übergang zu einer Wirtschaft ohne Netto-Treibhausgasemissionen fördern.

3.2 Deutsche Klimapolitik

3.2.1 Klimaziele Deutschland

Deutschland strebt eine nationale Reduktion der klimaschädlichen Treibhausgase gegenüber dem Basisjahr 1990 um mindestens 40 % bis 2020 bzw. um mindestens 50 %

⁸ Richtlinie 2018/844

⁹ COM 2018/773

bis 2030, sowie um 80 bis 95 % bis 2050 an. Damit gehen die nationalen Ziele über die europäischen und internationalen Zwischenziele für 2020 und 2030 hinaus.

Der Anteil der erneuerbaren Energien im Bruttoendenergieverbrauch soll bis Jahr 2020 auf 18 %, bis 2030 auf 30 % und bis 2050 auf 60 % steigen. Der Primärenergieverbrauch soll bis 2020 um 20 % und bis 2050 um 50 % gegenüber 2008 gesenkt werden.

Zudem soll die Treibhausgasintensität der Transportkraftstoffe um mindestens 6 % bis 2020 gegenüber dem Referenzwert aus dem Jahr 2010 gemindert werden.

Um diese Ziele zu erreichen, werden die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr zunehmend auf erneuerbare Energieträger umgestellt.

Nach einem Beschluss des Bundestages aus dem Jahr 2011 müssen bis Ende 2022 die letzten Kernkraftwerke in Deutschland stillgelegt werden.

Dabei soll weiterhin die sozial tragfähige Bezahlbarkeit von Energie erhalten und die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands gewährleistet werden. Ferner soll die Versorgungssicherheit auf Basis einer emissionsfreien und nachhaltigen Energiewirtschaft sichergestellt werden, so dass die Energienachfrage in Deutschland jederzeit effizient gedeckt wird.

3.2.2 Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung

Laut der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS)¹⁰ der Bundesregierung sind Brennstoffzellenfahrzeuge, aus erneuerbaren Energien erzeugter Wasserstoff sowie strombasierte Kraftstoffe wichtige Elemente für eine auf erneuerbaren Energien basierende Energiewende im Verkehr.

Die MKS ist u. a. auf folgende Ziele ausgerichtet:

- Fortsetzung der Innovations- und Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Deutschland im Rahmen des zweiten Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)¹¹ mit Fokus auf eine Marktaktivierung,
- Aufbau einer entsprechenden Betankungsinfrastruktur mit Nennung des Zieles der Initiative H2 Mobility bis 2030 ein Netz von ca. 1.000 H₂-Tankstellen in Deutschland verfügbar zu machen,
- Übernahme einer aktiven, nationalen Rolle bei europäischen Initiativen und Aufbau von Infrastrukturallianzen mit EU-Nachbarländern.

3.2.3 Nationale Plattform Zukunft der Mobilität

Die Einsetzung der Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) basiert auf dem Koalitionsvertrag für die 19. Legislaturperiode.

Die NPM hat unter anderem folgende Kenngrößen¹² für das Jahr 2030 zur Erreichung der Klimaziele im Verkehr erarbeitet:

¹⁰ BMVI (2013)

¹¹ NIP (2016)

¹² NPM (2019)

- Im Handlungsfeld Antriebswechsel wurde ein Anteil von 7 bis 10,5 Mio. Elektro-Pkw im Bestand diskutiert sowie der Einsatz von Elektro-Lkw und eine massive Elektrifizierung kleinerer Lkw und Busse sowie der Wechsel auf weitere Antriebsarten in allen Fahrzeugsegmenten (Gas, LNG, H₂),
- Der Zielkorridor erneuerbarer Kraftstoffe beträgt für strombasierte Kraftstoffe 2,1 bis 8,4 % bezogen auf den gesamten Endenergiebedarf des Verkehrssektors. Für deren Produktion müssten ca. 20 GW an Elektrolyseleistung mit einem erneuerbaren Energiebedarf von 80 TWh/a installiert werden.

3.2.4 Kohleausstieg 2038

Mit dem Einsetzungsbeschluss vom 6. Juni 2018 hat die Bundesregierung die Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ einberufen, um einen breiten gesellschaftlichen Konsens über die Gestaltung des energie- und klimapolitisch begründeten Strukturwandels in Deutschland herzustellen.

Die Kommission hat sich am 26. Januar 2019 auf den Kohleausstieg bis spätestens 2038 verständigt. Die vom Kohleausstieg betroffenen Bundesländer sollen vom Bund eine finanzielle Hilfe zur Kompensation des damit verbundenen Strukturwandels in Höhe von insgesamt 40 Mrd. EUR bekommen. Die jeweiligen Regionen sollen laut Kommissionsbericht über 20 Jahre jeweils 1,3 Mrd. EUR erhalten. Im Jahr 2032 soll überprüft werden, ob der Ausstieg auf 2035 vorgezogen werden kann.

Zusammen haben die Kohlekraftwerke in Deutschland derzeit eine Gesamtleistung von rund 45 GW. Im Jahr 2030 wird die Kraftwerksleistung dem Beschluss zufolge auf 17 GW Braun- und Steinkohle gekürzt und somit mehr als halbiert. Mit der Schließung der Kohlekraftwerke ist davon auszugehen, dass die Tagebaue ebenfalls geschlossen werden, da ein Export der Braunkohle im aktuellen Marktumfeld aus wirtschaftlichen Gründen keine reale Option darstellt.

Im Lausitzer Revier betreibt die Lausitz Energie Bergbau AG (LEAG) vier Tagebaue. Im brandenburgischen Teil des Reviers befinden sich die Tagebaue Jänschwalde und Welzow-Süd, im sächsischen Teil die Tagebaue Nochten und Reichwalde. Diese Tagebaue versorgen hauptsächlich die Kraftwerke Jänschwalde mit 3.000 MW und Schwarze Pumpe mit 1.600 MW in Brandenburg und Boxberg mit 2.575 MW in Sachsen.

Aus Sicht der Kohlekommission ist unter anderem eine neue Wertschöpfung im Energiesektor wesentlich, um die sukzessive Reduzierung und Beendigung der Kohleverstromung im Einklang mit dem energiepolitischen Zieldreieck (Umweltverträglichkeit, Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit) zu gestalten.¹³

Um die Schaffung von 5.000 Arbeitsplätzen in den Kohleregionen in den nächsten zehn Jahren anzuregen, könnten Behörden des Bundes und der Länder verlegt und Forschungseinrichtungen neu gegründet werden.

In den betroffenen Regionen sollen neue Technologiekompetenzen und Innovationsfähigkeiten aufgebaut sowie der Einsatz von erneuerbaren Energien, Speichern und erneuerbarem Wasserstoff (Power-to-Gas) als Zukunftstechnologien gestärkt werden. Wasserstoff- und weitere Power-to-X-Technologien könnten - vorbehaltlich der Anpassung

¹³ Kohlekommission (2019)

der regulatorischen Rahmenbedingungen und der Förderung einer gezielten Ansiedlungsstrategie - einerseits einen Beitrag zum treibhausgasneutralen Umbau des Energiesystems bei gleichzeitiger Gewährleistung der Versorgungssicherheit liefern und andererseits eine sozial gerechte Lösung zur Bewältigung der Herausforderungen in den vom Kohleausstieg betroffenen Regionen bieten.

3.2.5 Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen

Die gesetzliche Umsetzung des Kohleausstieges soll durch ein „Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen“ erfolgen. Nach dem Eckpunktpapier des Bundeswirtschaftsministeriums¹⁴ vom April 2019 soll das Strukturstärkungsgesetz der erste Teil der notwendigen gesetzlichen Änderungen, die sich aus den Empfehlungen der Kohlekommission ergeben, sein und die Strukturwandelhilfen für die vom Kohleausstieg betroffenen Regionen regeln. Das Gesetz wird aus zwei Elementen bestehen: Einem „Investitionsgesetz Kohleregionen“ und Änderungen bestehender Gesetze und Rechtsverordnungen.

14 Mrd. EUR für Einzelprojekte zum Strukturwandel

Über das „Investitionsgesetz Kohleregionen“ sollen die von der Kohlekommission empfohlenen 700 Mio. EUR fließen, die die Braunkohleländer jährlich direkt für Einzelprojekte zum Strukturwandel erhalten sollen; insgesamt 14 Mrd. EUR bis 2038. Die Verwendung der Mittel wird regelmäßig überprüft.

Angedacht ist, die 14 Mrd. EUR nach dem Vorbild der EU-Regionalpolitik in drei Sechsjahres-Perioden zu splitten, zu Beginn könnten dann bis zu 5,5 Mrd. EUR fließen, später 4,5 bzw. 4 Mrd. EUR. Der Entwurf enthält auch eine Aufschlüsselung nach Braunkohle-Regionen beziehungsweise Bundesländern:

- 43 % der Finanzhilfen gehen demnach in die Lausitz,
- 37 % ins Rheinische Revier,
- 20 % in die mitteldeutschen Regionen.

Bei den Bundesländern liegt Nordrhein-Westfalen mit einem Anteil von 37 % (5,2 Mrd. EUR) an den möglichen Strukturhilfen vorn. Brandenburg bekommt 25,8 % (3,6 Mrd. EUR), Sachsen 25,2 % (3,5 Mrd. EUR) und Sachsen-Anhalt 12 % (1,7 Mrd. EUR) der Mittel.

Das Geld soll für Projekte in den Bereichen Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung, Infrastruktur, Naturschutz, Raumentwicklung und Tourismus zur Verfügung gestellt werden. Die Verwaltung der Finanzhilfen liegt bei den Ländern. Die Länder leisten dabei den grundgesetzlich vorgeschriebenen Eigenanteil von 10 %.

26 Mrd. EUR für Leuchtturmprojekte

¹⁴ BMWi (2019a)

Über das „Investitionsgesetz Kohleregionen“ hinaus verpflichtet sich die Bundesregierung Maßnahmen im Umfang von maximal 26 Mrd. EUR für die Braunkohleregionen und bis zu 1,3 Mrd. EUR für die Steinkohlestandorte zu finanzieren.

Mit dem Geld will die Bundesregierung beispielsweise Leuchtturmprojekte im Verkehr und in der Forschung unterstützen.

Das Bundesverkehrsministerium soll zudem ein "Bundesverkehrsinfrastrukturgesetz Kohleregionen" vorlegen.

5.000 neue Arbeitsplätze in den Kohlerevieren durch die Ansiedlung von Bundeseinrichtungen

Um neue Arbeitsplätze in den betroffenen Regionen zu schaffen, sieht der Eckpunkteentwurf unter anderem den Aufbau eines Fraunhofer Instituts für Energieinfrastrukturen und Geothermie in der Lausitz und dem Rheinischen Revier vor, die Einrichtung eines Helmholtz-Zentrums für untertägige Forschungsinfrastruktur in Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen sowie die Gründung neuer Standorte des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Jülich, Cottbus und Zittau/Görlitz.

Auf der Grundlage der Eckpunkte wird dann das „Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen“ erarbeitet. Der Bundeswirtschaftsminister beabsichtigt noch in diesem Jahr eine Einbringung des Gesetzesvorschlages in den Bundestag.

3.2.6 Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg

Mit der 2012 verabschiedeten Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg ist durch die Landesregierung ein Leitszenario für die Entwicklung der Energiepolitik in Brandenburg bis zum Jahr 2030 geschaffen worden.

Laut der Energiestrategie 2030 sollen unter anderem die folgenden strategischen Ziele bis 2030 erreicht werden:¹⁵

- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch auf 32 % und am Endenergieverbrauch auf 40 % mit folgenden rechnerischen Teilzielen:
 - Anteil an Stromverbrauch: 100 %,
 - Anteil am Wärmeverbrauch: 39 %,
 - Anteil im Verkehr (inkl. Flugverkehr): 8 %,
- Reduktion der absoluten CO₂-Emissionen um 72 % gegenüber 1990,
- Senkung des Endenergieverbrauchs um ca. 23 % gegenüber 2007, was einer Senkung um durchschnittlich ca. 1,1 % pro Jahr und einer Senkung des Primärenergieverbrauchs um 20 % entspricht.

Ein weiteres Ziel besteht darin, die Systemintegration der erneuerbaren Energien mit Schwerpunkt auf Speichertechnologien, Netzaus- und Umbau zu forcieren.

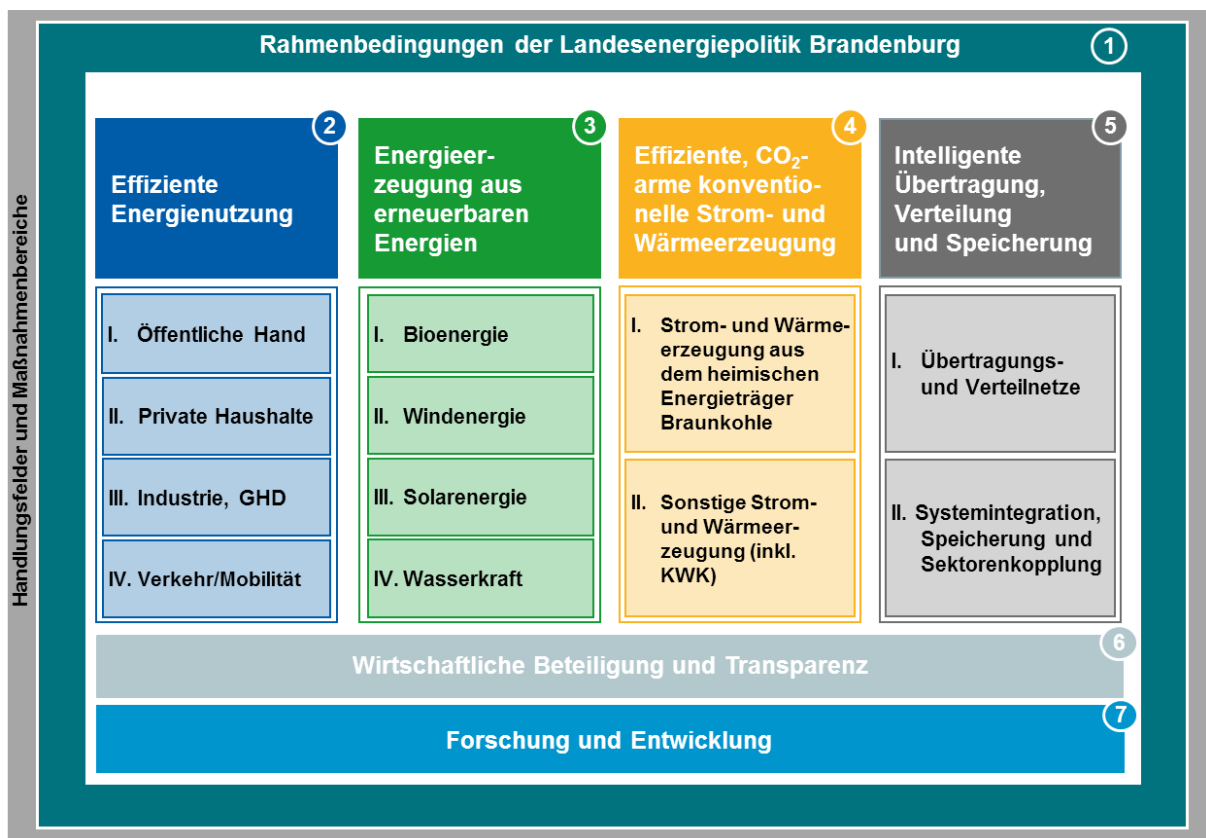
¹⁵ MWE (2013)

Zudem soll die dezentrale Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen zur regionalen Wertschöpfung beitragen und neue Arbeitsplätze in Industrie, Handwerk und Forschung schaffen.

Die europäischen und nationalen Zielsetzungen, rechtlichen Rahmenbedingungen und technologischen Entwicklungen sind die strategischen Leitlinien für die zukünftige Entwicklung des Energielandes Brandenburg.

Die Energiestrategie 2030 wurde in den Jahren 2016/2017 evaluiert, der dazugehörige Maßnahmenkatalog wurde deshalb aktualisiert und im Juli 2018 von der Landesregierung beschlossen. An der bisherigen Energiestrategie 2030 mit dem wichtigen Schwerpunkt Systemintegration der erneuerbaren Energien wird bis auf weiteres festgehalten. Die Wasserstofftechnologien sind in den Handlungsfeldern „Effiziente Energienutzung“, „Intelligente Übertragung“, „Verteilung und Speicherung“ und „Forschung und Entwicklung“ von besonderer Bedeutung.

Abbildung 1: Handlungsfelder und Maßnahmenbereiche der Energiestrategie 2030



Quelle: MWE (2018)

4 Erreichung der klimapolitischen Ziele durch den Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff

Mehr als ein Zehntel der in Deutschland verbrauchten Energie wird in Brandenburg produziert. Mit einem Mix aus erneuerbarer und konventioneller Energie ist Brandenburg verlässlicher Lieferant von bezahlbarem Strom aus heimischen Quellen. Bei der Erzeugung von Wind- und Solarstrom zählt Brandenburg deutschlandweit zu den Spitzenreitern.¹⁶ Die Braunkohle ist dabei regionaler Wertschöpfungs- und Beschäftigungsfaktor (2,1 % der Bruttowertschöpfung des Landes) sowie einer der Eckpfeiler der Energieversorgungssicherheit.¹⁷ Allerdings verursacht die gesamte Braunkohlenutzung (Verstromung, Brikettierung etc.) fast zwei Drittel der CO₂-Emissionen des Landes.

Wenn man die energiebedingten CO₂-Emissionen mit dem Bruttoinlandsprodukt verrechnet, erhält man die so genannte CO₂-Intensität. Der Indikator zeigt an, wie klimaschädlich oder -freundlich die Wirtschaftsleistung in den jeweiligen Regionen generiert wird. Den deutlich höchsten Wert weist hier Brandenburg auf. Die Wirtschaft des Landes Brandenburg stößt fast 1.000 Tonnen CO₂ aus, um eine Million EUR im Land zu erwirtschaften. Im deutschlandweiten Schnitt waren es 2016 gerade einmal 264 Tonnen.¹⁸

In einem vollständig dekarbonisierten Energiesystem könnte dem erneuerbaren Wasserstoff eine wesentliche Rolle zufallen. Wasserstoff kann mittels Power-to-X-Technologien und Sektorenkopplung ein voll integriertes erneuerbares Energiesystem ermöglichen, und die Energiebereitstellung und die Energieverbrauchssektoren wie Wärme, Industrie, Chemie und Verkehr dekarbonisieren bzw. defossilisieren. Damit Wasserstoff diese Rolle einnehmen kann, muss er jedoch mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen mittels Wasserelektrolyse gewonnen werden. Auf diese Weise hergestellter Wasserstoff kann dann zur Dekarbonisierung verschiedener Sektoren beitragen:

- Erstens als **Speicher** im Stromsektor, um die schwankende Erzeugung aus erneuerbaren Energiequellen zu stabilisieren,
- Zweitens als möglicher **Energieträger** für die Nutzung im Wärme-, Verkehrs- und Industriesektor,
- Drittens als **Einsatzstoff** für die Industrie (z. B. für die Erzeugung von Stahl, Chemikalien und synthetischen Kraftstoffen).

Darüber hinaus können Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien zu den im Entwurf der Nationalen Industriestrategie 2030¹⁹ des Bundeswirtschaftsministeriums aufgeführten strategischen Ziele entscheidend beitragen:

- Nachhaltige Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Industrie in ihrer gesamten Breite in Deutschland und Europa,
- Förderung und Erhaltung der industriellen und technologischen Souveränität,
- Ausbau des Anteils der Industrie an der Bruttowertschöpfung auf 25 % in Deutschland und 20 % in der Europäischen Union,

¹⁶ WindNODE (2018)

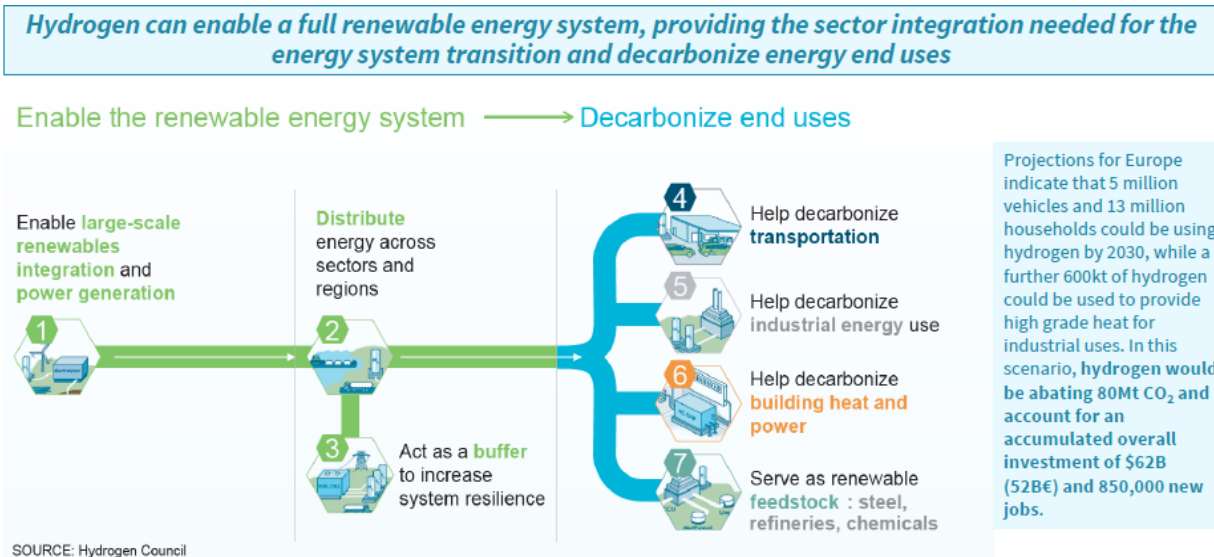
¹⁷ MWE (2013)

¹⁸ AEE (2018)

¹⁹ BMWi (2019)

- Erhalt geschlossener Wertschöpfungsketten im Inland,
- Stärkung des industriellen Mittelstands sowie Aufbau nationaler und europäischer „Champions“.

Abbildung 2: Wasserstoff als Schlüssel zur Energiewende



Quelle: Hydrogen Council

Mit den richtigen politischen Rahmenbedingungen können die Wasserstofftechnologien bis 2030 wettbewerbsfähig und ausgereift sein. Sie können zur Erreichung der klimapolitischen Ziele, unter Aufrechterhaltung eines sozial gerechten Wohlstandes in Europa, Deutschland und Land Brandenburg, einen maßgeblichen Beitrag leisten:

- Deutliche CO₂-Minderungen in schwer zu dekarbonisierenden Sektoren: Schwertransport (Straße, Schiene, Schiff)²⁰, Industrie, Chemie und Wärme,
- Erreichung der Ausbauziele für erneuerbare Energien und Verbesserung der Gestaltung des Energiemarktes aufgrund der stabilisierenden Rolle des Wasserstoffs im Energiesystem,
- Verringerung der Luft- und Lärmverschmutzung,
- Gewährleistung einer bezahlbaren und klimaverträglichen Energieversorgung,
- Reduzierung der Importabhängigkeit von Rohstoffen,
- Erhaltung der Gasindustrie und der bestehenden Gasinfrastruktur.

Um für die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien eine stabile und wettbewerbsfähige Grundlage für Wachstum und Expansion in neuen Märkten zu bilden, sollten alle Teile einer Wasserstoff-Wertschöpfungskette in einem Wirtschaftsraum vorhanden sein:

²⁰ Die Bundesregierung geht inzwischen davon aus, dass bis 2030 Strafzahlungen bis zu 35 Mrd. EUR für das Nichterreichen der verbindlichen europäischen Klimaziele im Verkehr geleistet werden müssen.

- Forschung und Entwicklung,
- Wasserstoffbezogene Anlagen- und Fahrzeugbauindustrie,
- Herstellung, Speicherung und Verteilung von erneuerbarem Wasserstoff,
- Anwendung im Verkehr als Kraftstoff, in der Industrie als Rohstoff oder im Wärmesektor als Energieträger.

Wegen der rasch wachsenden Märkte für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien außerhalb der EU ist es für ein einzelnes Unternehmen kaum möglich die kritische Größe zu erreichen, um ein Produkt oder eine Dienstleistung im internationalen Wettbewerb erfolgreich anbieten zu können. Durch die Förderung der Bildung strategischer Kooperationen zwischen Forschung und kleinen und mittleren Herstellern könnte diese Herausforderung bewältigt werden.

Das Land Brandenburg verfügt über herausragende Standortvorteile, um geschlossene Wertschöpfungsketten aufzubauen und die Region zu einem nationalen Champion im wasserstoffbezogenen Anlagen- und Fahrzeugbau, vor allem im Kleinserien- und Sonderfahrzeugbau, zu entwickeln.

Die genannten zukünftigen Einsatzoptionen für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien könnten erhebliche Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale für viele Unternehmen im Energieland Brandenburg bieten. Die benötigten Kompetenzen in der konventionellen Kohlewirtschaft lassen sich durch frühzeitige Maßnahmen auf die Wasserstoffindustrie und -wirtschaft übertragen. So werden bei dem Bau von Elektrolyseuren z. B. Mechatroniker, Anlagenbauer, Elektroniker, Metallfacharbeiter, Industriemechaniker, Industrieelektriker oder Rohrleitungsbauer benötigt.

5 Stand und Potenziale zur Herstellung, Speicherung, Transport und Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff in Brandenburg

5.1 Herstellung von erneuerbarem Wasserstoff

Weltweit wird der derzeitige Verbrauch von Wasserstoff auf 1.700 - 2.200 TWh/a (570-730 Mrd. Nm³/a)^{21,22} geschätzt. Davon wird wiederum knapp die Hälfte direkt energetisch genutzt, meist in verunreinigter Form als Abfallprodukt chemischer Prozesse. Der Haupteinsatzbereich ist die Ammoniak-Produktion; ein Drittel der Wasserstoffproduktion wird dafür eingesetzt. Der Rest findet in der Mineralölindustrie Verwendung, wird also ebenfalls indirekt energetisch genutzt. Kleinere Mengen werden in der Direktreduktion von Eisenerz, der Halbleiterindustrie, der Metallurgie, der Fetthärtung, und der Pharmazie benötigt.

Etwa die Hälfte des in Deutschland hergestellten Wasserstoffs (insgesamt ca. 19 Mrd. Nm³/a) wird aus Erdgas und Naphtha erzeugt. Die andere Hälfte fällt als Nebenprodukt in Raffinerien an und wird dort weitgehend für die Hydrierung eingesetzt. Ein geringer Anteil (ca. 2 %) entsteht als Nebenprodukt der Chloralkalielektrolyse. Durch die Wasserstoffproduktion werden in Deutschland jährlich circa über 19 Mio. t CO₂ emittiert.

Die elektrolytische Wasserspaltung wird insbesondere zur Erzeugung hochreinen Wasserstoffs eingesetzt und ist mit rund 5 % Anteil an der Gesamtmenge gering. Durch die Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energieanlagen würden bei der elektrolytischen Wasserstofferzeugung keinerlei Treibhausgasemissionen anfallen.

Potenziale der Nutzung einheimischer erneuerbarer Energien für die Wasserstoffherstellung

Im Land Brandenburg ist die Windenergie der wichtigste erneuerbare Energieträger. Daneben leisten Biomasse und Sonnenenergie einen wertvollen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung. Da die Biomasse als vielseitiger erneuerbarer Energieträger zur Strom- und Wärmeerzeugung und zur Herstellung von Biokraftstoffen genutzt wird, wird in Folgendem angenommen, dass Wasserstoff vor allem durch Elektrolyse aus Wind- und Photovoltaikstrom produziert wird.

Nach der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg wird der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch (220 PJ bzw. 61,11 TWh) in 2030 in Summe 147 PJ bzw. 40,83 TWh betragen. Wind- und Solarenergie liefern dabei einen Anteil von 55 %. Fast 60 PJ bzw. 16,66 TWh Stromerzeugung wird exportiert (insbesondere nach Berlin). In Saldo ergibt sich ein Anteil von 40 % erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch im Land Brandenburg.²³

Der hohe Anteil der fluktuierenden Wind- und Solarenergieeinspeisung führt zu einem erheblichen Bedarf an Regel- und Reserveenergie. Grundsätzlich kann es zu Zeiten einer hohen erneuerbaren Energieerzeugung und eines geringen Bedarfs an Elektroenergie zu Abregelungen der erneuerbaren Energieanlagen kommen. Aktuell ist dies vornehmlich dem fehlenden Netzausbau geschuldet. Mit dem steigenden Ausbau erneuerbarer Energien ist jedoch zu erwarten, dass Abschaltungen der Anlagen selbst nach der Realisierung des geplanten Netzausbaus, insbesondere in Zeiten in denen die Stromproduktion aus

²¹ ENCON & LBST (2018)

²² JRC (2019)

²³ Eigene Berechnung basierend auf Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburgs.

erneuerbaren Energien den Strombedarf überschreiten wird, erforderlich sein werden. Die Netzbetreiber sind in diesen Fällen dazu verpflichtet, durch bestimmte Netzstabilisierungsmaßnahmen kritische Situationen abzuwenden. Dabei ist das Einspeisemanagement als letzte Maßnahme zu verstehen, die der Netzbetreiber erst ergreifen darf, wenn andere Möglichkeiten zur Engpass-Umgehung gescheitert sind (Redispatch, Sicherheitsreserve).

Im Gesamtjahr 2018 betrafen den Energieträger Braunkohle knapp 42 % der abgesenkten Mengen. Bei den Einspeiseerhöhungen wurden mit 46 % insbesondere Steinkohlekraftwerke eingesetzt.²⁴

In Anbetracht des geplanten Kohleausstiegs können zukünftig Elektrolyseure (Power-to-Gas) als regelbare Lasten im Netz genutzt werden, um die Systemstabilität zu erhalten. Dank der Pufferfähigkeit der Gasversorgungskette bietet Power-to-Gas Flexibilität im Stromsystem, die nicht durch den Endenergieverbrauch eingeschränkt wird. Durch die schnelle Regelbarkeit der Leistungsaufnahme der Elektrolyseure und die Nutzung von Gasspeichern oder Gasnetzen, können PtG-Anlagen systemdienliche Zusatzleistungen (Spannungs- und Frequenzsteuerung) von hohem Wert anbieten.

Zum Erreichen der Klimaziele muss jedoch nicht nur der Stromsektor defossilisiert werden, sondern ebenfalls alle anderen Sektoren (Verkehr, Wärme, Industrie). Teilweise kann dieses durch den Einsatz von grünem Wasserstoff erfolgen. Um den zusätzlich erforderlichen Wasserstoffbedarf im Verkehr, im Wärmesektor und in der Industrie decken zu können, müssen die erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten für die Wasserstoffherzeugung zusätzlich ausgebaut werden.

Die Agentur für erneuerbare Energien schätzt das gesamte Stromerzeugungspotenzial aus Windenergie und Photovoltaik in Brandenburg auf 48,5 TWh (gegenüber 11,7 TWh im Jahr 2016).²⁵

Gleichzeitig bietet die Produktion von grünem Wasserstoff die Chance, die regionale Wertschöpfung zu stärken und die Importabhängigkeit zu reduzieren. Durch eine intelligente Systemintegration der PtG-Anlagen, Sektorenkopplung und Speicherung des erzeugten Wasserstoffs könnte die Versorgungssicherheit auch in Zukunft wirtschaftlich effizient gewährleistet werden.

Anknüpfend an die bestehenden Kompetenzen in den Bereichen Energietechnik und Ressourceneffizienz, die vorhandenen Forschungskapazitäten, die verfügbare Infrastruktur bei Strom und Gas sowie das Angebot geeigneter Flächen, kann speziell die Lausitz den Trend der Dekarbonisierung im Energiesektor nutzen, um mit dem Ausbau erneuerbarer Energien und der großtechnischen Produktion von Wasserstoff neue industrielle Wertschöpfungsketten aufzubauen. Die Kraftwerksstandorte in Jänschwalde, Spremberg und Boxberg können zu Industrieparks neuer Generation, mit Fokus auf Nutzung von erneuerbaren Energien und deren Umwandlung zu langfristig verfügbaren Energieträgern für die Wirtschaft, umgestaltet werden.

²⁴ BNetzA (2019)

²⁵ AEE (2018)

5.2 Speicherung in Untergrundspeicher und Transport über das Gasnetz

Die Wasserstoffherstellung mittels Elektrolyse ermöglicht nicht nur die Bereitstellung signifikanter zeitlich flexibler Lasten, sondern eröffnet Potenziale zur Speicherung großer Energiemengen auch über längere Zeiträume sowie zur Nutzung der bestehenden Gasnetzinfrastruktur.

Ein Nachteil der Solar- und Windenergie ist die Abhängigkeit der Stromerzeugung vom aktuellen Dargebot der erneuerbaren Energien. Aufgrund ihrer starken Wetterabhängigkeit stellen Solar- und Windenergie somit keine bedarfsabhängige gesicherte Erzeugungsform dar. Bei Flaute oder Schwachwind und zugleich auftretender Dunkelheit können die PV- oder Windkraftanlagen nahezu keinen Strom erzeugen (Dunkelflaute). Die Verbraucher sind jedoch darauf angewiesen, dass Strom jederzeit verfügbar ist. Andererseits kann es vorkommen, dass große Mengen an Strom zu Zeiten erzeugt werden, in denen kein Bedarf besteht.

Grüner Wasserstoff und Power-to-Gas bieten die Chance erneuerbare Energien in industrieller Größenordnung zu speichern und das Gassystem zu dekarbonisieren. So kann unter Nutzung heimischer Produktion aus erneuerbaren Energien der lokale Energiebedarf unter Beachtung der Klimaziele in allen Sektoren gesichert erfolgen. Zusätzlich könnten über das Gas- und Stromnetz weitere benötigte erneuerbare Energien importiert werden.

Laut der IndWEDe-Studie ergibt sich bis zum Jahr 2050 insgesamt ein Speicherbedarf in Deutschland von rund 50 bis 150 TWh und unterstreicht aufgrund der langen Vorlaufzeiten die Notwendigkeit, das Thema großskalige Untergrundspeicherung, beispielsweise die Speicherung in Salzkavernen, zügig anzugehen.

Untergrundspeicher

Die Untergrundspeicherung von Wasserstoff in Kavernen ist in Deutschland noch nicht erprobt. Erste Projekte wie die Umwandlung einer Salzkaverne bei Bad Lauchstädt zur H₂-Speicherung sind in Vorbereitung. Bis zum Jahr 2030 müssten jedoch ca. 50 bis 250 Standard-Kavernen zur Verfügung stehen bzw. bis zum Jahr 2050 sogar ca. 400 bis 1.000, sofern auf einen großskaligen Import von Wasserstoff verzichtet werden soll.²⁶

In Brandenburg ist heutzutage nur ein Erdgas-Kavernenspeicher in Betrieb. Die EWE GASSPEICHER GmbH - eine hundertprozentige Tochter der EWE AG - betreibt am Standort Rüdersdorf zwei Einzelspeicher mit einem Arbeitsgasvolumen von ca. 135 Mio. Nm³, wobei im Rahmen der fortgeführten Planungen weitere Kavernen gesolt werden sollen. Die bestehende Kaverne wäre somit in der Lage 446 GWh an Wasserstoff zu speichern und gesichert zur Energieversorgung bereitzustellen.²⁷

Der Aquifer-Speicher in Buchholz mit ca. 175 Mio. Nm³ Arbeitsgasvolumen und der CO₂-Aquifer-Speicher in Ketzin mit ca. 61.000 t CO₂-Inhalt wurden stillgelegt. Die beiden Strukturen könnten für die Speicherung von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen oder reinem Wasserstoff genutzt werden.

²⁶ NOW (2018)

²⁷ Im Vergleich hat der größte installierte Batteriespeicher in der Welt in Buzen, Provinz Fukuoka Japan, eine Speicherkapazität von 300 MWh. Electronics 360, 11.03.2016.

Im Untergrundgasspeicher (UGS) in Buchholz wurde seit Ende der 1970-er Jahre zuerst Stadtgas mit einem erheblichen Wasserstoffanteil (bis 55 %) gespeichert.²⁸ Im Zuge der Umstellung der Gasindustrie von Stadt- auf Erdgas seit den 1990-er Jahren erfolgte auch die Umstellung der Untergrundgasspeicher, die bis 1995 abgeschlossen war.

Die Energieversorger E.DIS und GASAG planen zusammen in Ketzin ein "Energiewendelabor" für den Bau einer Power-to-Gas-Anlage. Der grüne Wasserstoff soll unter anderem ins Gasnetz eingespeist und in Aquifer-Speicher gespeichert werden.

Salzgesteine und Sandstein als Speicherpotenziale

Brandenburg verfügt im Untergrund über ein besonders perspektivreiches Speicherpotenzial für die behälterlose unterirdische Speicherung von Kohlenwasserstoffen und anderen Medien.²⁹ Dies betrifft insbesondere die Gesteinsformationen des Zechsteinsalzes für die Anlage von Kavernenspeichern und die Sandstein-Aquifere im Buntsandstein für die Anlage von Porenspeichern.

Für die Anlage von Kavernenspeichern eignen sich Salzstöcke und Salzkissen (Salinarstrukturen) mit Steinsalzmächtigkeiten von mehr als 150 m und Tiefenlagen der Steinsalzoberfläche bis ca. 1.000 m.

Durch den Geologischen Dienst Brandenburg wurden 31 perspektive Salinarstrukturen kartiert, die potenziellen Speichermöglichkeiten in Kavernen bieten. Die meisten der kartierten Strukturen wiesen Salzmächtigkeiten von mehr als 2.000 m mit geringen Teufenlagen der Steinsalzoberfläche überwiegend zwischen 100-500 m auf.

Neben der Speicherung von Kohlenwasserstoffen können Kavernen auch Bedeutung für die Speicherung von Druckluft, Wärme- und Kälte sowie von Wasserstoff, Methan oder industriellen Abprodukten erlangen.

Für das Land Brandenburg wäre es von besonderem Interesse Eignungsuntersuchungen für die Wasserstoffspeicherung in Kavernen durchzuführen, um aus erneuerbaren Energien erzeugten Wasserstoff in der Zukunft puffern zu können.

Die Eignung von Salzkavernen für die Wasserstoffspeicherung ist bereits an den Standorten Teesside (Großbritannien) und Clemens Dome (USA) nachgewiesen,³⁰ wobei die in den USA betriebenen Wasserstoff-Speicherkavernen hinsichtlich Teufenlage und Volumen solchen Kavernen entsprechen, die auch in brandenburgischen Salzstrukturen angelegt werden könnten.

Wasserstoff bietet die Möglichkeit große Energiemengen aus erneuerbaren Quellen effizient zu speichern. Genauso denkbar und nach ähnlichen Prinzipien verlaufend, wäre künftig auch eine Speicherung von Methan möglich, das über eine synthetische Methanisierung aus CO₂ und erneuerbarem Wasserstoff hergestellt werden kann. Im Vergleich zu Li-Ion Speicher, die maximal 0,08 kWh/kg speichern können, kann Wasserstoff bei Umgebungsdruck 34 kWh/kg speichern.³¹

²⁸ DBI-GTI (2016)

²⁹ LBGR (2010)

³⁰ Crotogino & Hamelmann 2008

³¹ StMWi (2014)

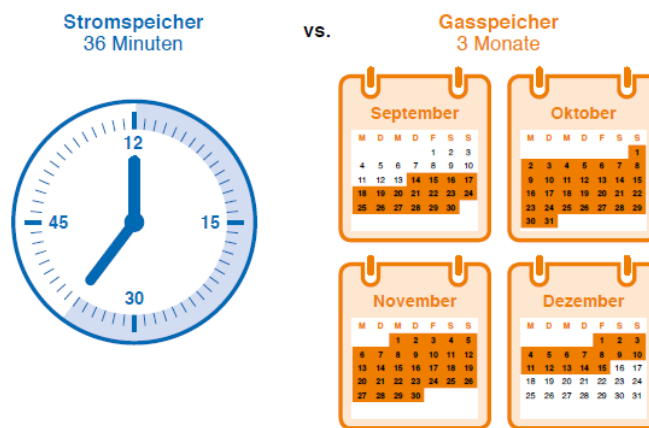
Für die Anlage von Porenspeichern eignen sich mesozoische Sandsteine in strukturellen Hochlagen, wenn sie durch abdichtende tonige Deckschichten gesichert sind. Bewertet und z. T. genutzt wurden bisher vor allem Aquifer-Strukturen in Tiefenlagen von 300 bis etwa 1.400 m. Durch den Geologischen Dienst Brandenburg wurden 23 perspektive Sandsteinstrukturen kartiert, wovon zwei bereits genutzt wurden. Derartige Strukturen sind auch für die Speicherung von CO₂ potenziell geeignet.

Detaillierte geologische Erkundigungen wären in jedem Fall notwendig, um die Eignung einer Struktur als Porenspeicher zu belegen.

Transport über das Gasnetz und Nutzung der bestehenden Gasinfrastruktur

Das Gasnetz und die Gasnetzinfrastrukturen ermöglichen den Transport und die langfristige Speicherung großer Mengen klimaneutraler Gase, die in allen Sektoren des Energiesystems eingesetzt werden können.

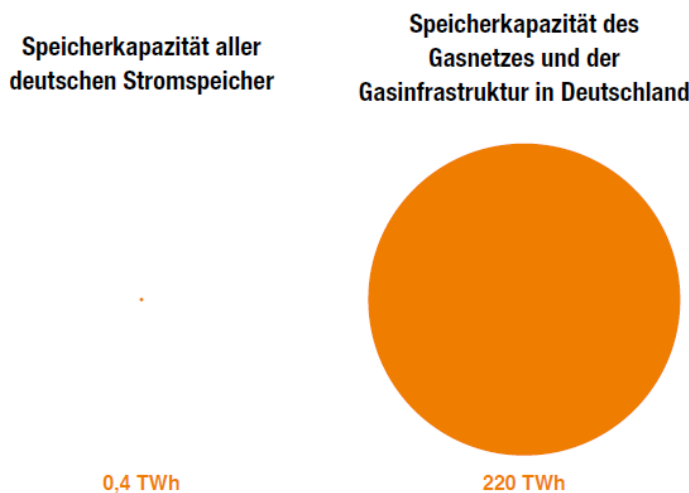
Abbildung 3: Zeitliche Speichervolumina von Strom- und Gasspeichern im Vergleich



Angenommen ist eine Maximallast von 84 GW.

Quelle: DVGW (2017)

Abbildung 4: Mengenmäßige Speichervolumina von Strom- und Gasspeichern im Vergleich



Quelle: ASUE (2014)

Die langfristige Weiternutzung des Erdgasnetzes mit erneuerbarem Methan oder Wasserstoff wäre aus volks- und energiewirtschaftlicher Sicht eine sinnvolle Lösung.

Die meisten Studien nehmen an, dass zunächst für den Transport von Wasserstoff keine Engpässe bestehen.³² Damit geht einher, dass ein zusätzlicher Ausbau der Erdgasleitungen nicht notwendig wird. Die benötigte Wasserstoffinfrastruktur lässt sich zum großen Teil durch Umrüstung der bestehenden Erdgasinfrastruktur bereitstellen. In den nächsten Dekaden sind in der Erdgasinfrastruktur regelmäßig Ersatzinvestitionen notwendig, in deren Zuge der Aufbau regionaler und überregionaler Wasserstoffinfrastrukturen geprüft werden sollte.

Gegenwärtig können gemäß DVGW-Regelwerk (G 262) bis 2 Vol.-% Wasserstoff, wenn sich Erdgastankstellen im betreffenden Gasnetz befinden, ansonsten bis zu 9,9 Vol.-% beigemischt werden. Es wird damit gerechnet, dass in Zukunft der zulässige Anteil an Wasserstoff im Gasnetz für bereits angeschlossene Endgeräte erhöht werden kann. Der DVGW hat im Mai 2019 angekündigt das Regelwerk bis 2030 so anzupassen, dass die Gasnetzinfrastruktur mindestens 10 Vol.-% Wasserstoff aufnehmen können muss. Bis zu einem Anteil von 20 Vol.-% sieht der DVGW keine technischen Hindernisse zur Aufnahme von Wasserstoff in den bestehenden Gastransportleitungen.

Nach der dena-Leitstudie Integrierte Energiewende werden sich die Wasserstoffbeimischungen im Gasnetz bis 2050 auf 13 bis 18 Vol.-% belaufen. Die Beimischung von Elektrolyse-H₂ ins Gasnetz nimmt ab 2030 auf bis zu 10 Vol.-% zu.

Deutschland verfügt über eine sehr gut ausgebaute Gasinfrastruktur, die aus 50.000 km Hochdruckleitungsnetzen und 500.000 km Verteilnetzen besteht. Die Rohrleitungssysteme ermöglichen den Transport und die Verteilung der benötigten Gasmengen über weite Entfernungen für Gebäude und Haushalte, Industrie und Gewerbe sowie den Mobilitätssektor in ganz Deutschland.

In einer DVGW-Potenzialstudie von PtG-Anlagen in deutschen Verteilungsnetzen unter Berücksichtigung einer 15 Vol.-% Wasserstoffbeimischung wurden unter anderem die PtG-Potenziale für die Gasverteilnetze in Brandenburg ermittelt.³³

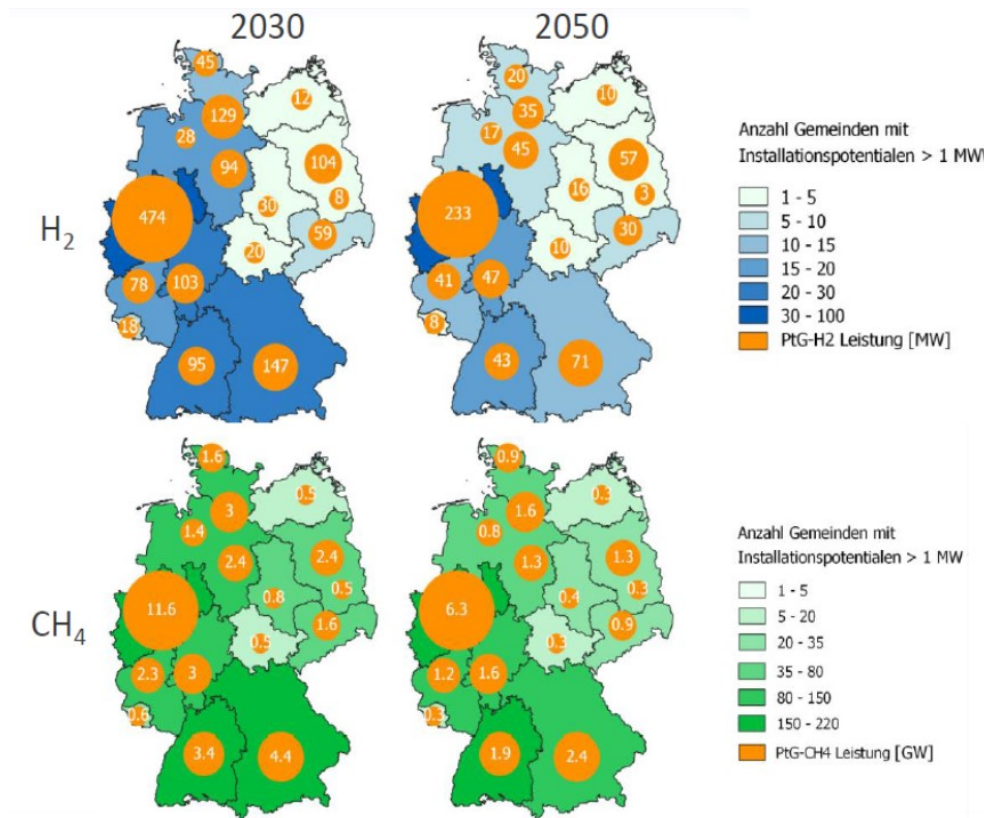
Laut der DVGW Studie ergibt sich in Brandenburg eine potenziell installierbare PtG-H₂-Anlagenleistung von 104 MW in 2030 beziehungsweise von 57 MW in 2050. Die potenziell installierbare PtG-CH₄-Anlagenleistung ist auf 2,4 GW in 2030 und auf 1,3 GW in 2050 geschätzt.

Der Rückgang der Potenziale beruht auf den Annahmen zur Entwicklung der Gasnachfrage. Im Vergleich zu den anderen Bundesländern sind die PtG-Potenziale in den Verteilnetzen eher gering, bedingt durch die geringe Bevölkerungsdichte und den dadurch resultierenden Gasabsatz, welcher bestimmend für die Potenziale in den Verteilnetzen ist. Zum Auffinden von geeigneten Standorten sollte eine detailliertere Analyse der Potenziale in Brandenburg, basierend auf der Analyse realer Netze und unter Berücksichtigung aller Netzebenen, vorgenommen werden.

³² LBST (2018)

³³ DVGW (2019)

Abbildung 5: Deutschlandweites Elektrolysepotenzial in Gasverteilnetzen



Quelle: DVGW (2019)

5.3 Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff (Anwendungsgebiete und Bedarf)

Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien können in einer Vielzahl von Anwendungsgebieten eingesetzt werden. Diese können zur Erreichung der Klimaziele im Verkehr, in der Industrie und im Wärmesektor (durch den Einsatz von Brennstoffzellen) einen signifikanten Beitrag leisten; insbesondere in Bereichen, in denen es schwierig ist, CO₂ zu reduzieren. Ferner besteht die Möglichkeit, Wasserstoff zur Rückverstromung in Gasturbinen zu nutzen.

In den meisten EU-Szenarien addieren sich Wasserstoff und daraus abgeleiteten Kraftstoffe auf 10 bis 23 % des Endenergieverbrauchs der EU bis 2050. Der durchschnittliche Wasserstoffverbrauch in diesen Szenarien beträgt 2.000 TWh.

Nach der dena-Leitstudie Integrierte Energiewende zeigt sich ein Bedarf an synthetischen Energieträgern (PtX-Bedarf) von rund 47 TWh in 2030 bzw. von 155 TWh bis zu 908 TWh in 2050. Der PtX-Bedarf in 2050 ist in den 80 %-Szenarien größtenteils Wasserstoff (151 TWh). Der PtX-Bedarf wird in den 95 %-Szenarien größtenteils durch synthetisches Methan (630 TWh) gedeckt. Jedoch werden auch Elektrolyse-Wasserstoff (169 TWh) und synthetische Kraftstoffe (43 TWh bis 108 TWh) in signifikanten Mengen eingesetzt.

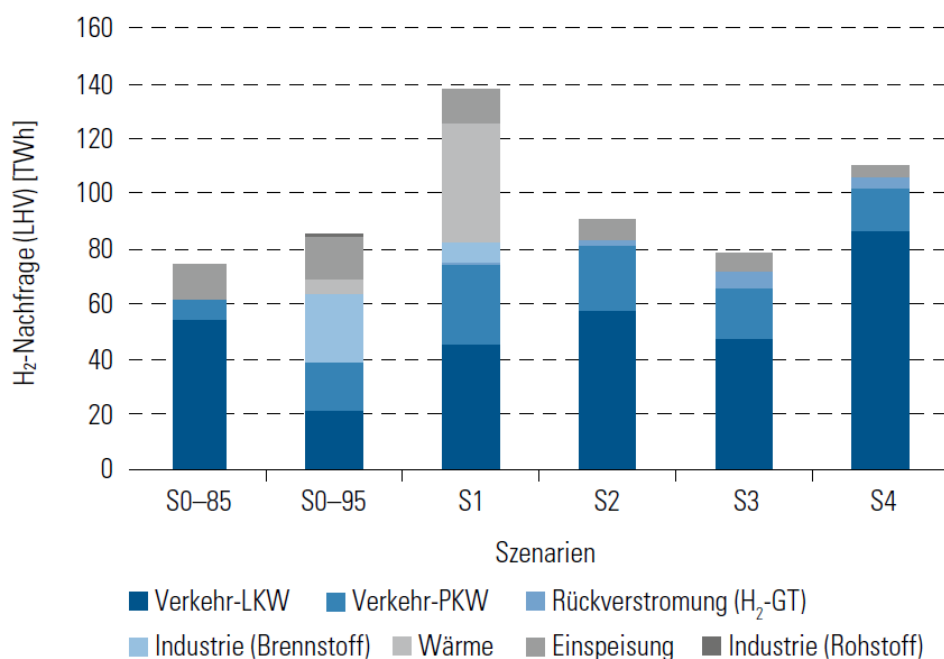
Die Experten aus Industrie und Wissenschaft der Nationalen Plattform Mobilität (NPM) sehen bereits für das Jahr 2030, unter Berücksichtigung eines breiten Maßnahmenmix,

einen Bedarf an synthetischen Kraftstoffen von 35 PJ (9,7 TWh) bis hin zu 140 PJ (38,8 TWh),³⁴ um die Klimaziele im Verkehr zu erreichen.

Aufgrund der weniger günstigen Bedingungen für erneuerbare Stromerzeugung werden je nach Szenario nur 26 % bzw. 18 % der Gesamtmenge in Deutschland produziert, im Wesentlichen Wasserstoff.^{35,36}

Insgesamt steigt für alle Anwendungen die gesamte Bruttostromnachfrage von ca. 570 TWh auf 660 TWh bis 790 TWh an, da die Einsparungen in der klassischen Stromnachfrage vom zusätzlichen Strombedarf aus den anderen Sektoren (Verkehr, Wärme) überkompensiert werden.³⁷

Abbildung 6: Bilanzanalyse 2030 – Sektorale Verteilung der direkten Wasserstoffnachfrage, d. h. ohne Wasserstoffbedarf für Power-to-CH₄ und Power-to-Liquid



Quelle: NOW (2018)

Für eine nahezu emissionsfreie Energieversorgung bis 2050 sind in Deutschland Wind- und Photovoltaikkapazitäten zwischen 250 und 600 GW notwendig (2018: knapp 105 GW).³⁸ Der Bedarf variiert je nach Annahmen zu der Intensität der Sektorenkopplung, den Energieimporten sowie den Technologieentwicklungen.

Um die Perspektiven für die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien und insbesondere die positiven Entwicklungsmöglichkeiten für das Land Brandenburg aufzuzeigen, werden im Folgenden die Zukunftsmärkte und deren globale, nationale und

³⁴ NPM (2019)

³⁵ dena (2018)

³⁶ LBST (2018)

³⁷ LBST (2018)

³⁸ dena (2019)

regionale Potenziale dargestellt. Daraus werden abschließend die möglichen Potenziale für den Arbeitsmarkt und die lokale Wertschöpfung abgeleitet.

Eine quantitative Bewertung des Wasserstoffbedarfes nach Sektoren in Brandenburg sollte in einer Machbarkeitsstudie unter Beteiligung der relevanten Akteure aus Wirtschaft erfolgen.

Experten gehen davon aus, dass sich kurzfristig ein Bedarf für erneuerbaren Wasserstoff in folgenden Anwendungsbereichen ergeben wird:

- In Raffinerien zur Verringerung der Treibhausgasemissionen bei der Produktion herkömmlicher Kraftstoffe,
- Im emissionsfreien Zugverkehr auf nicht elektrifizierten Eisenbahnstrecken,
- Im emissionsfreien Schwerlastverkehr, im ÖPNV und in der Logistik sowie zur bilanziellen Erfüllung der Flottenemissionsgrenzwerte (H₂ oder E-Fuels).

Mittel- bis langfristig kann der erneuerbare Wasserstoff in folgenden Bereichen eingesetzt werden:

- Emissionsarme Stahlproduktion,
- Emissionsarme Ammoniakproduktion,
- Brennstoffzellen-Personenwagen,
- Synthetische erneuerbare Schiffskraftstoffe zur Verringerung der Emissionen in der Schifffahrt,
- Synthetische erneuerbare Flugkraftstoffe (E-Kerosin) zur Verringerung der Emissionen in der Luftfahrt,
- Chemische Industrie,
- Wärmesektor.

5.3.1 Verkehr

Der Verkehrssektor verursacht knapp 32 % der EU-THG-Emissionen und 18 % der THG-Emissionen in Deutschland.^{39,40} Es ist bis heute nicht gelungen die Emissionen im Vergleich zu 1990 im Verkehr zu senken. Daher nimmt die Dekarbonisierung des Verkehrssektors in den nächsten Jahren eine Schlüsselrolle zum Erreichen der Klimaziele ein.

Im Verkehr ist Wasserstoff die vielversprechendste Option zur Dekarbonisierung von Lkw, Bussen, Schiffen, Zügen, großen Pkw und Nfz. Immer mehr Fahrzeughersteller setzen dabei auf Brennstoffzellenantriebe. Insbesondere Hersteller aus Korea und Japan fokussieren sich auf diese Technologie. In Japan sollen z. B. bis 2025 über 200.000 und bis 2030 sogar 800.000 Brennstoffzellenfahrzeuge zum Einsatz kommen. Einer der Gründe ist, dass Brennstoffzellen im Vergleich zu Batterien deutlich weniger Rohstoffe benötigen

³⁹ IEA (2017)

⁴⁰ BMU (2018)

und somit ein höheres regionales Wertschöpfungspotenzial aufweisen. Darüber hinaus weist die Wasserstoffmobilität folgende Vorteile auf:

- Reichweiten bei Pkw über 500 km und bei Lkw von über 1.000 km bereits 2019 möglich,
- Entkopplung der Energiebereitstellung für den Verkehr vom aktuellen Dargebot der erneuerbaren Energien,
- Weltweit einheitlich standardisiertes Betankungssystem,
- Vollständiges Auftanken der Brennstoffzellenfahrzeuge in wenigen Minuten,
- Wasserstofftankinfrastruktur benötigt nur rund ein Zehntel der erforderlichen Fläche eines Schnellladesystems für BEV,
- 5.000 bis 8.000 Betankungsstationen sind ausreichend für die Versorgung von 45 Mio. Fahrzeugen (bereits mit 70 Tankstellen können 1.3 Mio. Fahrzeuge versorgt werden),
- Entkopplung der Mobilität von der Strominfrastruktur erhöht die Robustheit der Versorgungssicherheit in Krisenfällen.

In der Hydrogen Roadmap Europe wurde ermittelt, dass im Jahr 2030 einer von zweiundzwanzig Pkw (5 %) und eines von zwölf verkauften leichten Nfz (8 %) auf Brennstoffzellenfahrzeuge entfallen könnten. Somit würde eine EU-Flotte von 3,7 Mio. Pkw und 500.000 leichten Nfz mit Brennstoffzellenantrieb benötigt werden. Ferner könnten rund 45.000 Brennstoffzellen-Lkw und -Busse und rund 570 Brennstoffzellenzüge zum Einsatz kommen. Dieses würde zu einer Brennstoffzellennachfrage von mehr als 450 GW mit einem geschätzten Umsatz von über 13,5 Mrd. EUR führen.⁴¹

Für das Jahr 2050 könnten in einem ambitionierten Szenario ca. 30 % des gesamten Wasserstoffbedarfs (675 TWh) im europäischen Verkehr benötigt werden. Bis 2050 könnte Wasserstoff eine europäische Flotte von etwa 45 Mio. Personenkraftwagen, 6,5 Mio. Kleintransportern, 250.000 Bussen und 1,7 Mio. Lastkraftwagen antreiben. Das heißt, Brennstoffzellenfahrzeuge könnten 20 bis 25 % der Flotten dieser Segmente ausmachen. Bei größeren Fahrzeugen mit Langstreckenanforderungen könnten die Akzeptanzraten höher sein, da Wasserstoff im Vergleich zu den anderen emissionsfreien Antriebskonzepten deutliche Reichweitenvorteile bietet.

Auf nicht elektrifizierten Strecken könnten die brennstoffzellenbetriebenen Züge im Jahr 2050 fast 20 % der EU-weiten Dieselzüge ersetzen. Die Flotte könnte damit etwa 5.500 wasserstoffbetriebene Züge erreichen.⁴² Bis 2050 könnte Wasserstoff auch einen erheblichen Beitrag zur Herstellung von emissionsarmen synthetischen Treibstoffen für den Luft- und Seeverkehr liefern.

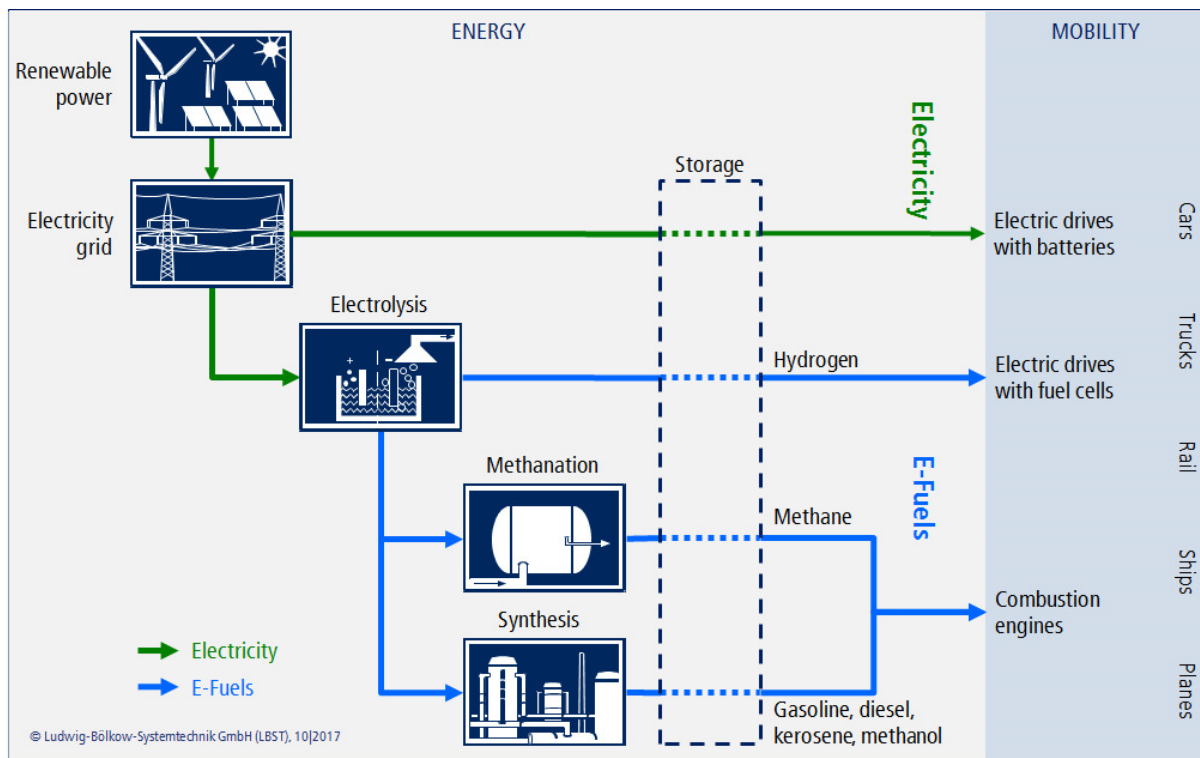
⁴¹ Eigene Berechnung: durchschnittliche Leistung Pkw - 100 kW, Nfz - 150 kW, Lkw - 250 kW; durchschnittlicher Stack-Preis - 30 EUR/kWh.

⁴² FCH 2 JU (2019)

In den meisten EU-Szenarien summieren sich Wasserstoff und daraus produzierte synthetische Kraftstoffe (E-Fuels) im Jahr 2050 auf 20 bis 50 % des Endenergiebedarfs im Verkehr.

Nach einer Studie von LBST & dena aus dem Jahr 2017⁴³ wird der Endenergiebedarf aller Verkehrsträger der EU im Jahr 2050 selbst in einem stark batterieelektrifizierten Verkehrsszenario zu mehr als 70 % von E-Fuels gedeckt. Der größte Teil dieser E-Fuels wird dabei für den Flug-, Schiffs- und Straßengüterverkehr benötigt.

Abbildung 7: Schematische Übersicht E-Fuels



Quelle: LBST & dena (2017)

In Deutschland kann der Bedarf an E-Fuels alleine für Pkw und Lkw im Jahr 2050 zwischen 207 und 267 TWh betragen.⁴⁴ Es wird davon ausgegangen, dass national in 2050 zwischen 130 und 164 TWh/a an synthetischen Kraftstoffen unter optimierter Nutzung von Einspeisespitzen erneuerbarer Energien erzeugt werden.⁴⁵

Die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen auf Basis von erneuerbarem Wasserstoff hat den Vorteil, dass die bestehende Infrastruktur (Tankstellennetz, Erdgasnetz) und Anwendungen (Verbrennungsmotoren) genutzt werden können. Nachteilig ist jedoch der deutlich höhere Energiebedarf an erneuerbaren Energien gegenüber der Brennstoffzellenmobilität.

Für die Ermittlung der konkreten Bedarfe von PtX und von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen in Brandenburg ist unter Berücksichtigung der sozioökonomischen Faktoren Bevölkerungsstruktur, Wirtschaft und Einkommen sowie der Entwicklungen der

⁴³ LBST & dena (2017)

⁴⁴ NOW (2018): Bis 2050 -zwischen 207 und 267 TWh - nur für Pkw und Lkw

⁴⁵ dena (2018)

Mobilitätsformen eine detaillierte Studie zu erstellen. Auf deren Basis kann eine Strategie zur Erfüllung der Landesziele der Mobilitätsstrategie 2030 entwickelt werden.⁴⁶

Personenkraftwagen

Nach der dena-Leitstudie werden in den Elektrifizierungsszenarien die BEV-Pkw und FCEV-Pkw zusammen mit Vollhybriden und Plug-in-Hybriden in 2030 bereits 57 % der deutschen Verkehrsflotte ausmachen.

Im Jahr 2050 werden 95 % bis 100 % der Fahrzeuge direkt oder indirekt (FCEV) elektrifiziert sein. FCEV werden aufgrund zunehmender Kostendegression und erhöhter Reichweite gegenüber BEV ab 2040 immer attraktiver für den Nutzer.

Lastkraftwagen

Aufgrund von verschärften Umweltemissions- und CO₂-Grenzwerten steht insbesondere der Schwerlastgüterverkehr vor großen Herausforderungen. Selbst bei größten Anstrengungen wird der Dieselmotor in einem optimistischsten Szenario in 2030 mit ca. 68 % weiterhin einen hohen Flottenanteil einnehmen. In 2050 werden nur noch 6 % aller Lkw einen Dieselantrieb aufweisen.⁴⁷ Gasbetriebene Lkw gewinnen bis 2030 an Bedeutung, halten danach jedoch einen relativ konstanten Marktanteil.

FCEV-Lkw werden zukünftig den weitaus stärksten Zuwachs verzeichnen. Mit zunehmender Kostendegression wächst ihr Absatz ab 2030 stark an. Aufgrund ihrer Reichweite und ihren geringen Betankungszeiten sind sie unter der angenommenen Umweltgesetzgebung langfristig für einen großen Teil der schweren Nutzfahrzeuge die präferierte Antriebstechnologie.

Damit die Klimaziele für das Jahr 2030 im Straßenschwerlastverkehr zumindest bilanziell erreicht werden können, wäre die Anrechnung von E-Fuels auf die Flottenemissionen eine Lösungsoption. Dadurch könnten obligatorische Strafzahlungen vermieden werden, und gleichzeitig die für die Luft- und Schifffahrt erforderlichen Produktionskapazitäten von synthetischen Kraftstoffen wirtschaftlich effizient aufgebaut werden.

Busse

Immer mehr Hersteller setzen auf umweltfreundliche Bus-Antriebe. Der Einsatz von Brennstoffzellenbussen ist vor allem vorteilhaft, wenn die täglichen Strecken Reichweiten von 350 Kilometern pro Bus überschreiten. Außerdem hat der H₂-Bus genügend Energie an Bord, um das Fahrzeug zu heizen oder zu kühlen, ohne dass die Reichweite sich verringert. Bei einem rein elektrischen Batteriebus sinkt die Reichweite an kalten Winter- und heißen Sommertagen so signifikant, dass eine zuverlässige Versorgung der öffentlichen Mobilität wirtschaftlich effizient kaum zu gewährleisten ist.

Züge

Nach Angaben aus dem Elektrifizierungsbericht, der alle sechs Jahre vorgelegt wird, sind nur 60 % des deutschen Schienennetzes in Händen des Bundes elektrifiziert, aber gut 90 % der Verkehrsleistung wird auf diesen Strecken erbracht. In Brandenburg sind demnach 61 % der Strecken elektrifiziert.

⁴⁶ MIL (2017)

⁴⁷ dena (2018)

In mehreren Studien wird von einer fortschreitenden Elektrifizierung des Schienennetzes ausgegangen. Die direkten Elektrifizierungspotenziale sind jedoch durch die höheren Kosten für den Ausbau des Oberleitungsnetzes beschränkt. Nach einigen Szenarien kann eine Substitution von Dieselmotoren durch Wasserstoffzüge stattfinden, wobei im Personenverkehr der Anteil der wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenzüge in 2030 bis 3 % und in 2050 bis 7 % und im Güterverkehr bis 4 % betragen kann.⁴⁸

Luftverkehr und Schiffe

Die Kraftstoffversorgung der Luft- und Schifffahrt erfolgt (per Definition) in keinem der untersuchten Szenarien auf europäischer und nationaler Ebene mit reinem Wasserstoff. Hierfür werden laut Vorgabe synthetische Kraftstoffe (auch Power-to-Liquid) eingesetzt, die in dieser Potenzialstudie nicht aufgeführt sind.

Im Sommer 2018 kündigte die Raffinerie Heide gemeinsam mit Partnern an, in einem auf fünf Jahre angelegten Forschungsprojekt der Universität Bremen erneuerbares Kerosin durch die Nutzung von überschüssiger regional erzeugter Windenergie zu produzieren. Erste Projekte zur Entwicklung von Regionalverkehrsflugzeugen mit Brennstoffzellen wurden aufgenommen. Marktakteure rechnen ab 2040 damit, dass 50-100-sitzige Maschinen mit Brennstoffzellen in den Markt eingeführt werden könnten.

Die Schifffahrt steht ebenfalls vor der Herausforderung ihre Emissionen bis 2030 zu senken. Die EU-Verordnung für Non-Road Mobile Machinery (NRMM)⁴⁹ enthält Anforderungen in Bezug auf Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel und ebenso Anforderungen für die Typgenehmigung von Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte, darunter auch Motoren für Binnenschiffe. Nach 2019/2020 – je nach Motorgröße – dürfen nur noch Motoren in Verkehr gebracht werden, welche die neuen Grenzwerte einhalten.

Investitionen nach 2019/2020 werden davon abhängen, ob ein funktionierendes Förderinstrumentarium geschaffen wird, um eine umweltfreundliche Umrüstung der Binnenschiffsflotte mit alternativen Antrieben, einschließlich Brennstoffzellen, zu unterstützen.

5.3.2 Industrie

Die Emissionen des Industriesektors sind für etwa 22 % der EU-THG-Emissionen und über 20 % des deutschen Treibhausgasausstoßes verantwortlich. Der Sektor ist damit die zweitgrößte Emissionsquelle in Deutschland. Vor allem die Metallindustrie (z. B. Eisen und Stahl), die Herstellung mineralischer Produkte (z. B. Zement) und die chemische Industrie mit der Herstellung von Grundchemikalien sind dafür verantwortlich. Neben den direkten Treibhausgasemissionen entstehen indirekte Emissionen durch Fremdstrom- und Fernwärmebezug.

In Europa werden derzeit in einer Vielzahl industrieller Prozesse (hauptsächlich in Raffinerien, Ammoniak- und Methanolproduktion) ca. 7 Mio. t/a durch Methan-Dampfreformierung erzeugter Wasserstoff eingesetzt. Dieser Wasserstoff könnte durch emissionsfreien oder emissionsarmen Wasserstoff (aus erneuerbaren Energien + Elektrolyse und/oder SMR + CCS) ersetzt werden. Wasserstoff kann aber auch fossile

⁴⁸ dena (2018)

⁴⁹ Verordnung (EU) 2016/1628

Brennstoffe und Rohstoffe in einer Reihe anderer industrieller Prozesse ersetzen (Wärme- und Stromerzeugung, Reduktionprozesse in der Stahlherstellung).

Durch chemische Reaktion von Wasserstoff mit CO₂ (aus CO₂-Abtrennungsanlagen/CCU) können konventionelle Öle und Gase in einer Reihe von petrochemischen Anwendungen ersetzt werden, ohne dass dafür die Technologie auf der Anwenderseite geändert werden muss:

- Herstellung flüssiger Brennstoffe: Methanol, Benzin, Diesel, Kerosin,
- Herstellung wichtiger Petrochemikalien wie Olefine (z. B. Ethylen, Propylen) oder BTX (aromatische Kohlenwasserstoffe, die Schlüsselkomponenten für die Herstellung von Nylon und Polyurethan sind).⁵⁰

Nach 2020 kann der Ersatz von fossilem Wasserstoff in Raffinerien einer der ersten marktwirtschaftlichen Haupttreiber des erneuerbaren Wasserstoffmarktes in Deutschland werden. Abhängig von der nationalen Implementierung der RED II, könnte dadurch ein Marktumfeld für bis zu 2 GW Elektrolyseleistung bis 2025 entstehen.

Die dena-Leitstudie zeigt, dass viele alternative Technologien, wie der Einsatz von Wasserstoff anstatt von Kohle bei der Stahlherstellung, erst ab 2040 umfangreich zum Einsatz kommen. Dies ist den sehr langen Investitions- und Innovationszyklen von Industrieprozessen geschuldet, die in der Stahl- und Chemieindustrie bis zu 30 Jahre betragen können – 15 Jahre für die Entwicklung, 15 Jahre für die Marktverbreitung.

Grüner Wasserstoff zur Herstellung von konventionellen Kraftstoffen in Raffinerien

Nach der neuen Erneuerbare-Energien-Richtlinie können erneuerbare flüssige oder gasförmige Kraftstoffe für den Verkehr nicht biogenen Ursprungs, sofern sie als Zwischenprodukt zur Produktion konventioneller Kraftstoffe verwendet werden, ab 2021 auf das 14 % Ziel für den Anteil der erneuerbaren Energien im Verkehrssektor angerechnet werden. Dafür muss die RED II jedoch proaktiv in nationales Recht umgesetzt werden.

In Deutschland befinden sich 12 Raffinerien zur Erzeugung von jeglicher Art von Kraftstoffen, Schmierstoffen und sonstigen Nebenprodukten. Insgesamt verarbeiten die Raffinerien 103 Mio. t Rohöl jährlich.

Die Wasserstoffnachfrage in Raffinerien entsteht im Wesentlichen im Entschwefelungsprozess und bei der Umwandlung langkettiger Kohlenwasserstoffverbindungen in kurzkettige und wasserstoffreiche Verbindungen, insbesondere bei der Herstellung von Otto- und Diesel-Kraftstoffen. Die Raffinerien decken den Wasserstoffbedarf zum Teil durch den beim Cracken freigesetzten Wasserstoff. Der verbleibende Restbedarf, der als H₂ net demand bezeichnet wird, wird über die Dampfreformierung von Erdgas abgedeckt.

Laut einer Studie von ENCON & LBST aus dem Jahr 2018 wurden in Deutschland für die Verarbeitung von Rohöl im Jahr 2015 von den insgesamt produzierten 19 Mrd. Nm³

⁵⁰ HE (2018)

Wasserstoff rund 5,2 Mrd. Nm³ für Prozesse in Raffinerien benötigt. Von diesen wurden circa 1,9 Mrd. Nm³ mittels Dampfreformierung gewonnen.⁵¹

Tabelle 1: H₂-Bedarf in deutschen Raffinerien im Jahr 2015

H ₂ -Bedarf in Deutschland 2015, in Mrd. m ³	19
H ₂ -Bedarf 2015 in Deutschland Raffinerien, in Mrd. m ³	5,2
durch Dampfreformierung gewonnen, in Mrd. m ³	1,9
Zusätzlicher H ₂ <i>net demand</i> in Raffinerien, in Mrd. m ³	1,9
in kt	177
in PJ	20,5
am Gesamtbedarf Raffinerien in %	40

Quelle: ENCON & LBST (2018)

Die Treibhausgasbilanz der Wasserstoffherzeugung in den Raffinerien bezieht sich auf den zusätzlichen H₂ net demand der Raffinerien, da dieser theoretisch vollständig durch erneuerbaren Wasserstoff substituiert werden könnte.

Als Rechnungswert für den CO₂-Ausstoß bei der Wasserstoffherstellung durch konventionelles Erdgasreformierung werden circa 10 t CO₂ pro Tonne Wasserstoff herangezogen. Bei einem jährlichen H₂ net demand von 177.000 t ergibt dies einen CO₂-Ausstoß von jährlich ungefähr 1,7 Mio. t, der durch den Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff gänzlich vermieden werden könnte, was wiederum einer CO₂-Minderung von 8,9 % der direkten Treibhausgasemissionen in Raffinerien entsprechen würde.

Da lediglich bei Diesel eine Substitution des durch Dampfreformierung gewonnenen Wasserstoffs durch erneuerbaren Wasserstoff aus betriebswirtschaftlichen Erwägungen erfolgen würde, reduziert sich die weitere Betrachtung nur auf Dieselkraftstoff. Das Gesamtpotenzial für erneuerbaren Wasserstoff errechnet sich wie folgt:

In den deutschen Raffinerien wurden im Jahr 2016 circa 33 Mio. t Dieselkraftstoff mit einem Energiegehalt von 1.437 PJ produziert, was knapp 39 % der gesamten Raffinerieprodukte entspricht. Bei einer vollständigen Substituierung des bisher verwendeten Wasserstoffes aus Dampfreformierung durch erneuerbaren Wasserstoff würde eine installierte Elektrolyseleistung von 2,04 GW benötigt.

In der PCK Raffinerie Schwedt werden 3.8 Mio. t Dieselkraftstoff pro Jahr produziert. Um den fossilen Wasserstoff mit erneuerbarem zu ersetzen, könnte eine Elektrolyseleistung von bis zu 235 MW zum Einsatz kommen.⁵² Dadurch können ca. 0,2 Mio. t CO₂-Emissionen vermieden werden. Gleichzeitig könnte durch einen systemdienlichen Betrieb das lokale Stromnetz stabilisiert werden und weitere erneuerbare Energien-Anlagen in dem Kraftwerk

⁵¹ ENCON & LBST (2018)

⁵² Eigene Berechnung

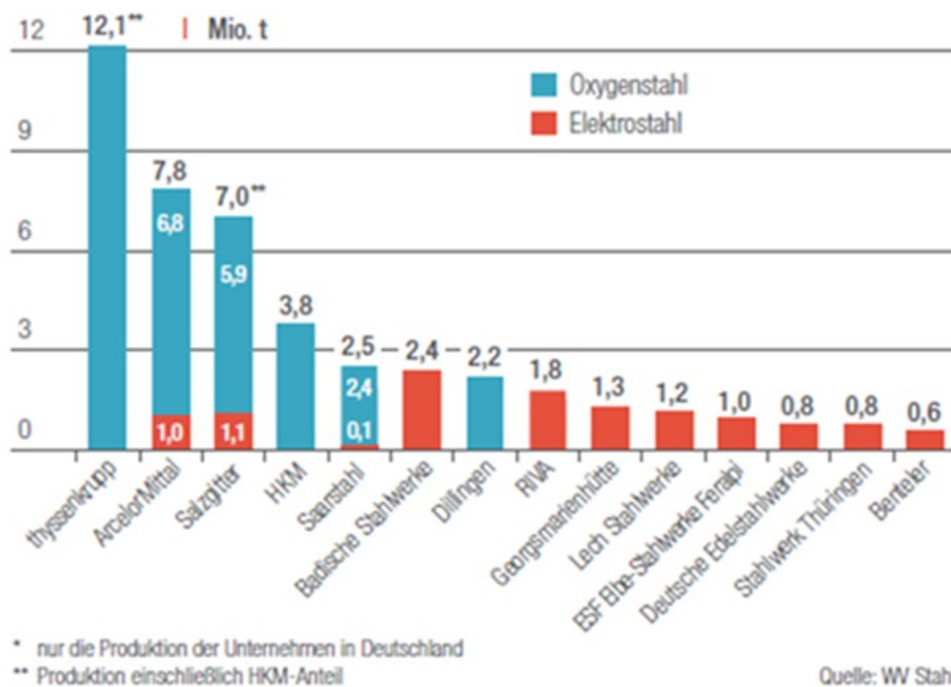
Uckermark installiert werden, ohne das Übertragungsstromnetz ausbauen zu müssen. Insgesamt ergibt sich somit ein Potenzial für Investitionen in der Uckermark in Höhe von ca. 500 Mio. EUR mit einem Jahresumsatz aus regionaler Wertschöpfung von ca. 50 Mio. EUR.

Grüner Wasserstoff in der Stahlindustrie

Die deutsche Stahlindustrie, die rund 6 % der CO₂-Emissionen in Deutschland erzeugt, steht vor großen Herausforderungen, ihren Beitrag zu den anspruchsvollen nationalen und EU-Klimaziele zu leisten. Eine Option zur Reduktion ihres CO₂-Fußabdrucks könnte die Nutzung von grünem Wasserstoff und Strom aus erneuerbaren Quellen sein, welche zumindest technisch als zeitnah machbar eingestuft wird.

Mit 42 Mio. t jährlicher Rohstahlproduktion ist Deutschland der siebtgrößte Stahlerzeuger der Welt. Mit 17,2 Mrd. EUR hat die deutsche Stahlindustrie einen Anteil von rund 30 % an der Wertschöpfung in der Stahlindustrie in Europa. Nach Berechnungen der Wirtschaftsvereinigung Stahl würde nach den neuen Regelungen der EU-EHS Richtlinie die Zuteilung der Zertifikate an die Stahlindustrie um rund 20 % unter den Emissionen der effizientesten Anlagen liegen; im Jahr 2030 sogar um 30 % und mehr.

Abbildung 8: Die größten Stahlerzeuger in Deutschland in 2017 (Anteil an der Gesamterzeugung von 42,1 Mio. t: 99 %)



Quelle: WV Stahl (2017)

Sollte der Preis für die CO₂-Zertifikate entsprechend den politischen Vorstellungen auf 25 bis 30 EUR/t CO₂ steigen, drohen somit der Stahlindustrie in Deutschland durch den notwendigen Kauf von Zertifikaten in der vierten Handelsperiode zusätzliche Kosten von insgesamt etwa 3 Mrd. EUR, was die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen stark belasten würde.

Rund 70 % des Stahls werden in Deutschland in integrierten Hüttenwerken (Hochofen, Stahl- und Walzwerk) erschmolzen, die verbleibenden 30 % werden über die Elektrostahlroute hergestellt.

Zur Verminderung bzw. Vermeidung von CO₂-Emissionen bei der Stahlerzeugung wird zunehmend der Wasserstoffeinsatz zur Sauerstoffreduktion diskutiert. Eisenerze könnten statt im Hochofen (auf Basis von Koks bzw. Kohle) in einer sogenannten Direktreduktionsanlage mit steigenden Anteilen von Wasserstoff als Reduktionsgas zu direktreduziertem Eisen umgesetzt und anschließend unter anderem im Elektrolichtbogenofen unter Verwendung von Strom in Rohstahl umgewandelt werden (kurz: Carbon Direct Avoidance, CDA). Auf diese Weise könnten bis zu 95 % der CO₂-Emissionen vermieden werden.⁵³ Voraussetzung hierfür ist, dass Strom bzw. Wasserstoff aus CO₂-freier Erzeugung stammen und kostengünstig in benötigtem Umfang zur Verfügung stehen.

Für die Umstellung der gesamten Hochofenroute in Deutschland auf eine rein wasserstoffbasierte CDA-Route, ergäbe sich ein erneuerbarer Strombedarf von 130 bis 190 TWh/a.⁵⁴

Fast 10 % (4,2 Mio. t/a) des in Deutschland produzierten Stahls kommen aus den beiden Betrieben ArcelorMittal in Eisenhüttenstadt und Riva-Stahl mit den Elektrostahlwerken in Brandenburg/Havel und Hennigsdorf. Die Rohstahlerzeugung im Stahlwerk in Eisenhüttenstadt war 1,9 Mio. t im Jahr 2016.⁵⁵ ArcelorMittal beabsichtigt in seinem Werk in Eisenhüttenstadt eine 2 MW-Elektrolyseanlage zur Erzeugung von grünem Wasserstoff aufzubauen und ein Demonstrationsprojekt zu starten, bei dem Wasserstoff für die Stahlherstellung eingesetzt wird.

Chemische Industrie

In der chemischen Industrie wird Wasserstoff vor allem in der Ammoniak- und Methanolherstellung benötigt. Wie auch in Raffinerien entsteht ein Teil des notwendigen Wasserstoffs als Nebenprodukt in Verarbeitungsprozessen. Der verbleibende Wasserstoffbedarf wird in der Regel mittels Dampfreformierung aus Erdgas gedeckt.

Eine direkte Produktion von Ammoniak oder Methanol findet bis heute in Brandenburg nicht statt. Unabhängig davon könnte jedoch grüner Wasserstoff in Brandenburg produziert werden und über Pipelines zu bestehenden Erzeugungsanlagen transportiert werden. Mittelfristig wäre jedoch eine Ansiedlung entsprechender lokaler Produktionsanlagen eine wirtschaftlichere Option.

Eine weitere Option für Brandenburg wäre die Produktion von grünem Wasserstoff für die hochpreisigen Produkte der Feinchemie.⁵⁶

Eine Bedarfs-Prognose für diese Technologien auf Basis derzeitiger Erkenntnisse kann nicht abgegeben werden, da keine ausreichenden Daten verfügbar waren.

⁵³ Angaben Salzgitter AG

⁵⁴ BCG (2018)

⁵⁵ WV Stahl (2017)

⁵⁶ DBI-GTI (2016)

5.3.3 Wärmesektor

Erneuerbarer Wasserstoff und Brennstoffzellen könnten eine wichtige ergänzende Lösung zur Dekarbonisierung des Wärmesektors werden. Vor allem im Bereich der Bestandsimmobilien, da eine komplette Elektrifizierung des Wärmebedarfs (mittels Wärmepumpen) in diesen Gebäuden als kaum realisierbar betrachtet wird. Wasserstoff könnte in 2050 zwischen 10 % bis 18 % der benötigten Energie zur Wärmeerzeugung von Haushalten bereitstellen und einen wesentlichen Beitrag bei der Energieversorgung von Mittel- und Hochtemperaturprozessen in der Industrie leisten.

In Deutschland entfallen rund 40 % des Endenergieverbrauchs und etwa ein Drittel der CO₂-Emissionen auf den Wärmemarkt. Den größten Anteil hat daran der Haushaltssektor, gefolgt von gewerblich genutzten Immobilien und Industriegebäuden. Derzeit steht das Erdöl für ein Viertel des Endenergieverbrauchs, dazu sind die eingesetzten Technologien nicht immer effizient. Von den insgesamt 20 Mio. installierten Heizungsanlagen entsprechen nur 6,3 Mio. Heizkessel dem aktuellen Stand der Technik.⁵⁷

Nach dem DVGW-Energie-Impuls können Einsparungen von bis zu 45 Mio. t CO₂ jährlich erzielt werden, wenn 10 Mio. mit Erdöl oder Kohle befeuerte Heizkessel bis 2020 durch moderne Gastechnik ersetzt und circa 10 % grüne Gase ins Netz eingespeist und verwendet würden. Dies entspricht fast 38 % der Gesamtemissionen im Gebäudesektor.

Diese Option weist die geringsten Umsetzungsbarrieren auf, da bereits über 50 % der Gebäude über einen Gasanschluss verfügen. Einzig alte Heizungsanlagen müssten durch hocheffiziente Heizungssysteme bzw. Klein- und Mikro-KWK-Anlagen wie Brennstoffzellen ersetzt werden. Mit einer kontinuierlichen Erhöhung des Anteils erneuerbarer Gasen im Erdgasnetz könnte der Gebäudebestand im Jahr 2050 nahezu vollständig klimaneutral beheizt werden.

In Brandenburg hatte im Jahr 2016 der Wärmebereich (mit den Anwendungszwecken Raumwärme, Warmwasser und sonstige Prozesswärme) einen Anteil von 91,8 % am gesamten Endenergieverbrauch der privaten Haushalte (95,6 PJ). Rund 53 % der Wohnungen in Brandenburg wurden mit einer Erdgas-Zentralheizung oder einer Erdgas-Etagenheizung, 14 % - mit Öl-Zentralheizung, 7,8 % - mit Fernwärmeheizung und 3,6 % - mit Einzelheizung beheizt.

Der Heizungsanlagen-Bestand ist teilweise veraltet: 54 % der Wärmeerzeuger in den Wohnungen wurden vor 1999 eingebaut und sind somit älter als 20 Jahre. Nach einer Befragung, die im Rahmen der Studie „Wie heizt Deutschland?“ aus dem Jahr 2015 stattgefunden hat, wurden in den letzten 20 Jahren in 43,7 % der Wohnungen in Brandenburg keine Maßnahmen zur Erhöhung der Wärmeeffizienz durchgeführt.⁵⁸

Bei den Einzelmaßnahmen liegen die Erneuerung der Fenster (38,3 %) und die Erneuerung der Heizungsanlage (30 %) deutlich vorn.

Nach heutigem technischem Verständnis sind Wasserstoffbeimischungen bis zu 20 Vol.-% ohne Pipeline- oder Geräteumbau im Großteil des Gasnetzes möglich. Grundsätzlich ergibt sich für Brandenburg ein erhebliches Potenzial zur Einspeisung von grünem Wasserstoff ins

⁵⁷ DVGW (2017)

⁵⁸ Die Befragten der Studie „Wie heizt Deutschland?“ wohnen durchschnittlich seit 20,4 Jahren in ihrer Wohnung bzw. ihrem Haus.

Gasnetz und dessen Nutzung im Wärmesektor sowie zum Ersatz der alten Heizungssysteme in den Gebäuden durch Brennstoffzellen-Mikro-KWK-Anlagen.

Um dieses Potenzial quantitativ beziffern zu können, sollte eine detaillierte Studie unter Berücksichtigung aller möglichen Technologieoptionen zur Erhöhung der Energieeffizienz des Gebäudebestandes und zur Wärme-Kälteversorgung der Haushalte und der Industrie erstellt werden.

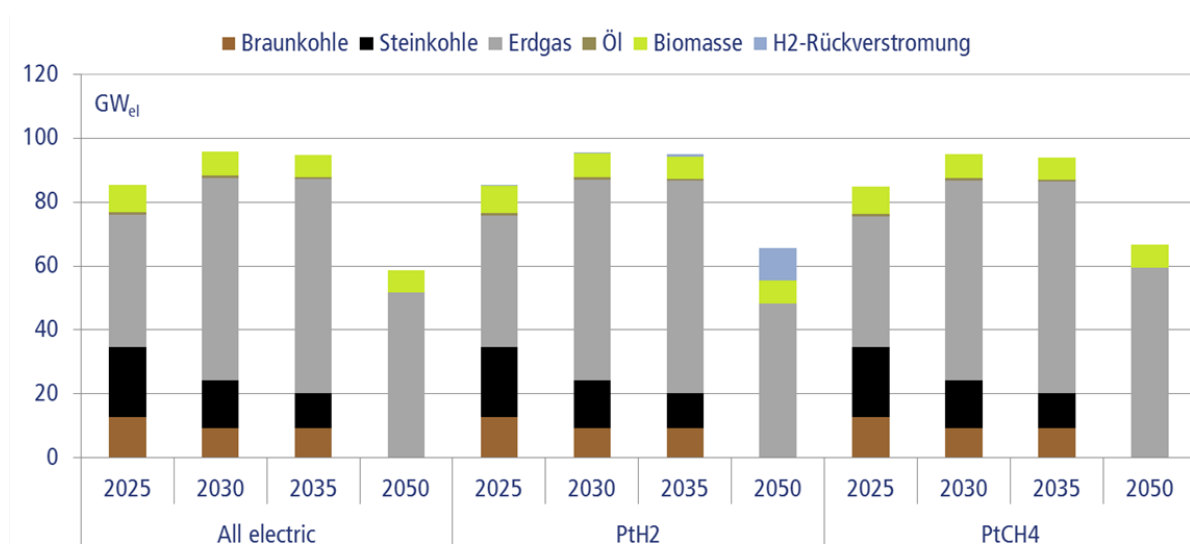
Um das Gasnetz auf 100 % Wasserstoff umzustellen, wäre ein Umwandlungsprogramm für das Gasnetz und die Geräte erforderlich, ähnlich wie bei der Umstellung des Stadtgases auf Erdgas im letzten Jahrhundert. Ein 100 %iges Wasserstoffgasnetz würde es ermöglichen, Kraftstoff sowohl für den Transport als auch für die Heizung zu liefern. Die Umstellung des Gasnetzes auf 100 % Wasserstoffbetrieb kann stufenweise in Teilabschnitten erfolgen; insbesondere dort wo parallele Gasinfrastrukturen zur Verfügung stehen.

In unterschiedlichen Szenarien wird der Bedarf an installierter Elektrolyseleistung im deutschen Wärmesektor bis 2050 im PtH₂-Fall zwischen 149 und 160 GW und im PtCH₄-Fall zwischen 160 und 209 GW geschätzt.⁵⁹

5.3.4 Stromsektor

Im Hinblick auf die Verwendung von Wasserstoff als Energieträger im Stromsektor kann eine Wasserstoff-Nachfrage auch durch H₂-Gasturbinen zur Rückverstromung entstehen. Nach den neuesten Studien zur Machbarkeit der Energiewende sind bis 2050 in Deutschland weiterhin regelbare Kraftwerke mit einer Leistung zwischen 60 bis 130 GW notwendig (im Jahr 2018: rund 100 GW), um die Flexibilisierung im Stromsystem und die Versorgungssicherheit unabhängig vom aktuellen Dargebot der erneuerbaren Energien zu gewährleisten.

Abbildung 9: Installierte Leistung der flexiblen Kraftwerke in Deutschland bis 2050



Quelle: dena (2019)

⁵⁹ LBST (2018)

Als regelbare Kapazitäten kommen in 2050 vor allem flexible Gaskraftwerke und Gasturbinen zum Einsatz, die zunächst mit Erdgas und perspektivisch mit erneuerbarem Wasserstoff oder synthetischem Methan betrieben werden.

Im PtH₂-Fall (100 % Wasserstoffturbine) sollen zusätzlich bis zu 10 GW für die H₂-Rückverstromung mit einer H₂-Gasturbine aufgebaut werden. Im PtCH₄-Fall (methanisierter Wasserstoff in einer konventionellen Gasturbine) wird diese Funktion direkt von den Erdgaskraftwerken übernommen, die nicht nur mit fossilem, sondern auch mit synthetischem Methan betrieben werden können.

Die erste H₂-Gasturbine für Rückverstromung von erneuerbarem Wasserstoff könnte als Teil des Demonstrationsprojektes für ein wasserstoffbasiertes Speicherkraftwerk (Referenzkraftwerk Lausitz) mit 10 MW am Industriestandort Schwarze Pumpe im brandenburgischen Spremberg gebaut werden.

Weiter könnte eine bestehende nicht systemrelevante Gasturbine im Gasturbinenkraftwerk Thyrow in Trebbin im Rahmen eines Pilotprojektes für ein speicherkombiniertes EE-Kraftwerk zur Rückverstromung von grünem Wasserstoff genutzt werden. Die Sekundärliteratur zeigt, dass sich Turbinen desselben Typs weltweit mit unterschiedlichen Gasmischungen (Prozess-, Raffinerie- und Synthesegase) und Wasserstoffanteilen zwischen 46,8 - 95 Vol.-% in Betrieb befinden.⁶⁰

⁶⁰ DBI GUT (2018)

6 Stand und Potenziale zur Ansiedlung von Wasserstoffindustrie und von wasserstoffbezogenen Forschungs-, Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen sowie zur Bildung von Kompetenzzentren und einem Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung

Die industrielle Produktion ist für Brandenburg von entscheidender Bedeutung. Mit einem Wertschöpfungsanteil von 14,2 % (2017), einem Umsatz von rund 26 Mrd. EUR und über 100.000 Beschäftigten leistet die industrielle Produktion einen maßgeblichen Beitrag zur brandenburgischen Wirtschaftskraft. Knapp zwei Drittel aller Industriebetriebe in Brandenburg sind kleine und mittelständische Unternehmen mit maximal 50 Beschäftigten. Nur rund 6 % aller Betriebe des verarbeitenden Gewerbes haben 250 Mitarbeiter und mehr.

Zu den industriellen Schlüsselbereichen in Brandenburg gehören u. a.:

- Stahlindustrie,
- Metallerzeugung und Metallverarbeitung,
- Chemieindustrie,
- Maschinen- und Anlagenbau,
- Fahrzeugindustrie.

Mit drei Universitäten, fünf Fachhochschulen und zahlreichen außeruniversitären Forschungseinrichtungen aller großen deutschen Forschungsverbände verfügt das Land Brandenburg über eine leistungsfähige Wissenschafts- und Forschungsstruktur. Darüber hinaus gehört die Region Berlin-Brandenburg europaweit zu den Regionen mit den meisten Forschungsinstituten, den meisten Universitäten und Fachhochschulen sowie einer Vielzahl von Technologie- und Gründerzentren.

Brandenburg ist ein traditioneller Energiestandort, der vor allem durch die Verstromung von Braunkohle in der Lausitz geprägt war. Laut dem Bericht der Kohlekommission erzielte die Braunkohlewirtschaft im Lausitzer Revier im Jahr 2016 nach den Berechnungen des RWI eine Bruttowertschöpfung von knapp über 1,2 Mrd. EUR, was einem Anteil an der Wertschöpfung in der Region von 4,3 % entspricht. Die LEAG beziffert ihre jährliche Wertschöpfung im Lausitzer Revier mit rund 1,4 Mrd. EUR.

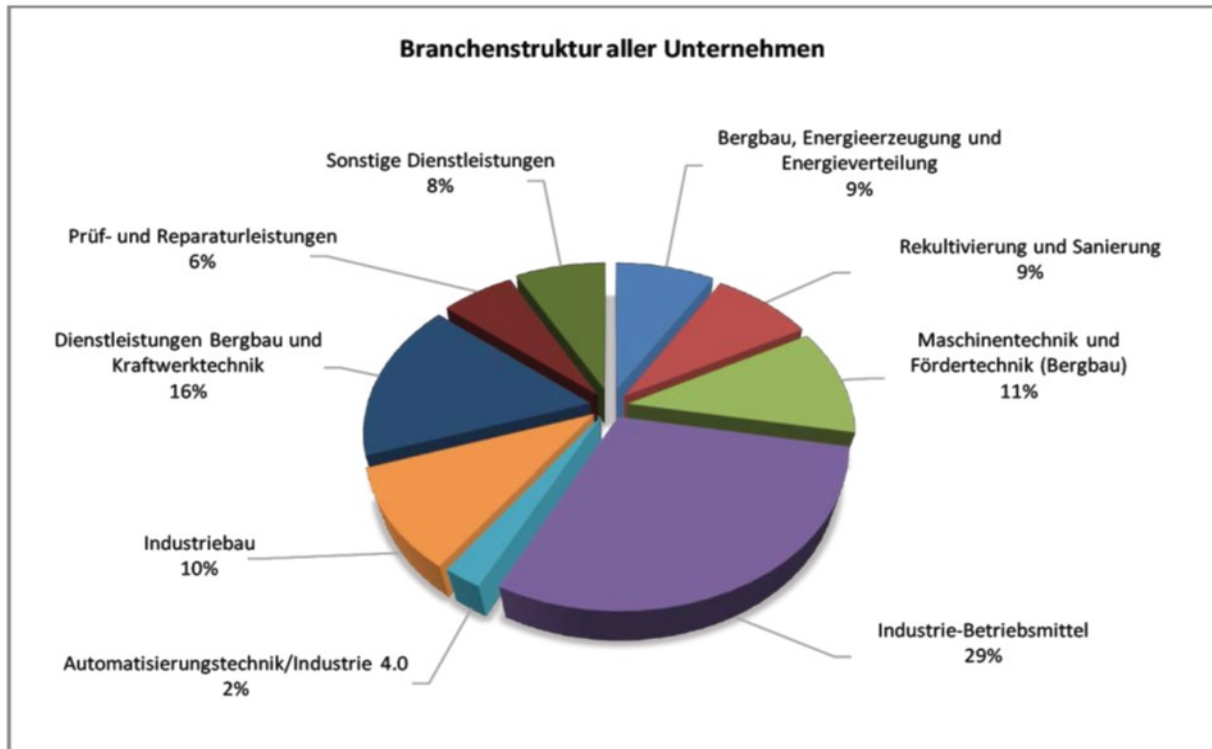
Zu den gut 8.000 direkt bei der LEAG in der Bergbau- und Energiewirtschaft Beschäftigten kommen nach nachvollziehbaren Schätzungen noch einmal rund 500 Unternehmen mit ca. 16.000 Arbeitnehmern hinzu, die als Service- und Zuliefererbetriebe unmittelbar und mittelbar von der Kohle- und Energiewirtschaft abhängen.

Nach einer Potenzialanalyse,⁶¹ die im Rahmen der Initiative zur innovationsgetriebenen Internationalisierung der Bergwerks- und Kraftwerkskompetenzen MinGen Tec (Minnig & Generation Technology – Made in Germany) erstellt wurde, existiert in Berlin, Brandenburg und der Lausitz eine breit gefächerte Unternehmensstruktur, welche dem Markt Dienstleistungen, Technologien und Produkte im Bereich Bergbau- und Kraftwerkstechnik liefert. Produzierende Gewerbe stellen knapp 52 % der Unternehmen, gefolgt vom

⁶¹ DMT (2017)

Dienstleistungssektor mit 39 % und den Rohstoffgewinnungs- und Energieversorgungsbetrieben mit 9 %.

Abbildung 10: Branchenstruktur der in der MinGen Tec-Initiative erfassten Unternehmen (gesamt 129)



Quelle: DMT (2017)

Die in Brandenburg ansässigen Bergbauzulieferer decken mit Spitzenprodukten und Dienstleistungen die gesamte Palette der Tagebautechnik für die Braunkohle sowie die Bereiche der Aufbereitungstechnik und der Energieerzeugung umfassend ab. Das vorhandene Know-how und die Kernkompetenzen könnten potenziell auch im Bereich der Wasserstofftechnologien Anwendung finden (z. B. Umrüstung von Mining Trucks mit Wasserstoffantrieben, Entwicklung und Bau von Speichern für Wasserstoff oder CO₂, Weiterentwicklung von CCS-Technologien).

Im Jahr 2015 konnte Brandenburg 16,3 % seines Endenergieverbrauchs durch erneuerbare Energien abdecken. In Anbetracht des Strukturwandels und der Klimaziele für 2030 und 2050 müssen die erneuerbaren Energien weiter ausgebaut werden und neue innovative Technologien eingesetzt werden, damit Brandenburg die Wertschöpfung und die Beschäftigung in der Energiebranche sichert und weiter ein Energieexportland bleibt.

Das Ministerium für Wirtschaft und Energie hat eine regionale Innovationsstrategie (innoBB+) ausgearbeitet, mit dem Ziel, das Land Brandenburg zu einem international wettbewerbsfähigen Innovationsraum weiterzuentwickeln. Den Kern der innoBB+ bilden fünf länderübergreifende Cluster sowie vier Brandenburg-spezifische Cluster, die sich alle durch dichte Wertschöpfungsketten und eine räumliche Nähe von Unternehmen und wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen auszeichnen.

Die folgenden Cluster könnten die Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie und Forschungs-, Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen sowie die Bildung von Kompetenzzentren und einem Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung (Cluster Hy-Industrie-Brandenburg) unterstützen:

- Energietechnik,
- Verkehr, Mobilität und Logistik,
- Kunststoffe und Chemie,
- Metall.

Die Region Berlin-Brandenburg verfügt mittlerweile auch über eine Vielzahl von Netzwerkverbänden aus Unternehmen der Energietechnik. Der Berlin-Brandenburg Energy Network e. V. (BEN) ist das Netzwerk und die zentrale Interessenvertretung der Energiewende in Berlin-Brandenburg.

Das GRW-Kooperationsnetzwerk „Konsortium Innovative Flugplatzstrategien für einen Emissionsarmen Regionalluftverkehr (KIFER)“ strebt u. a. die Etablierung von Pilotprojekten für eine dezentrale Versorgungskette für synthetische Kraftstoffe für den Flugverkehr an.

Die Brandenburgische Energie-Technologie-Initiative (ETI) ist ein wichtiger Motor für eine zukunftsorientierte Energieversorgung im Land Brandenburg. Die Initiative agiert als Plattform für alle Entwickler, Hersteller und Anwender innovativer energiesparender Technologien und von Technologien und Verfahren zur umwelt- und klimaverträglichen Erzeugung von Energie.

Brandenburg ist eine der Modellregionen des Netzwerkes WindNODE. WindNODE ist eines von fünf großen Verbundprojekten, die im Rahmen des Programms "Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende (SINTEG)" vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) in der Laufzeit 2017-2020 gefördert werden. Ziel ist es, große Mengen erneuerbaren Stroms ins Energiesystem zu integrieren und zugleich die Stromnetze stabil zu halten. Damit entstehen übertragbare Musterlösungen, die auch anderswo die Energiewende voranbringen können. Hierzu zählen u. a. die Ansätze des Regionalkraftwerks Uckermark sowie verschiedener Einzelprojekte in der Energieregion Lausitz.

6.1 Ansiedlung von Wasserstoffindustrie

6.1.1 Herstellung von Elektrolyseuren

In der Analyse des Joint Research Centre⁶² wurden die Wasserstoffproduktionskapazitäten anhand zweier Szenarien basierend auf der Hydrogen Roadmap Europe geschätzt. Im ersten Szenario ist die hauptsächliche Wasserstoffherzeugungstechnologie die Elektrolyse und im zweiten Szenario - die Dampfreformierung von Erdgas mit Carbon Capture and Storage.

⁶² JRC (2019)

Für die europäische Produktion von rund 2.000 TWh Wasserstoff jährlich werden in 2050 im Elektrolyse-Szenario etwa 625 GW Elektrolyseure und 110 GW Dampfreformer benötigt. Im SMR-Szenario werden etwa 100 GW Elektrolyseure und 475 GW Dampfreformer benötigt.⁶³ Abhängig von den Betriebsstunden der Elektrolyseure müssten bis 2050 zwischen 290 und 900 GW Wasserstofferzeugungsanlagen installiert werden. Für auf Erdgas basierenden Wasserstoff mit CCS müssten zwischen 85 und 460 Mio. t CO₂ jährlich aufgefangen und gespeichert werden, um eine kohlenstofffreie Wasserstoffproduktion zu gewährleisten. Diese Menge an CO₂ liegt in der Größenordnung unter dem EU-Speicherpotenzial, würde jedoch der Erfassung und Speicherung von CO₂ aus rund 150 integrierten CCS-Anlagen in großem Maßstab entsprechen.⁶⁴ Der jährliche Wasserbedarf würde etwa 1,2 bis 1,4 Mrd. m³ betragen oder ein Drittel des heute im gesamten Energiesektor der EU verbrauchten Wassers.

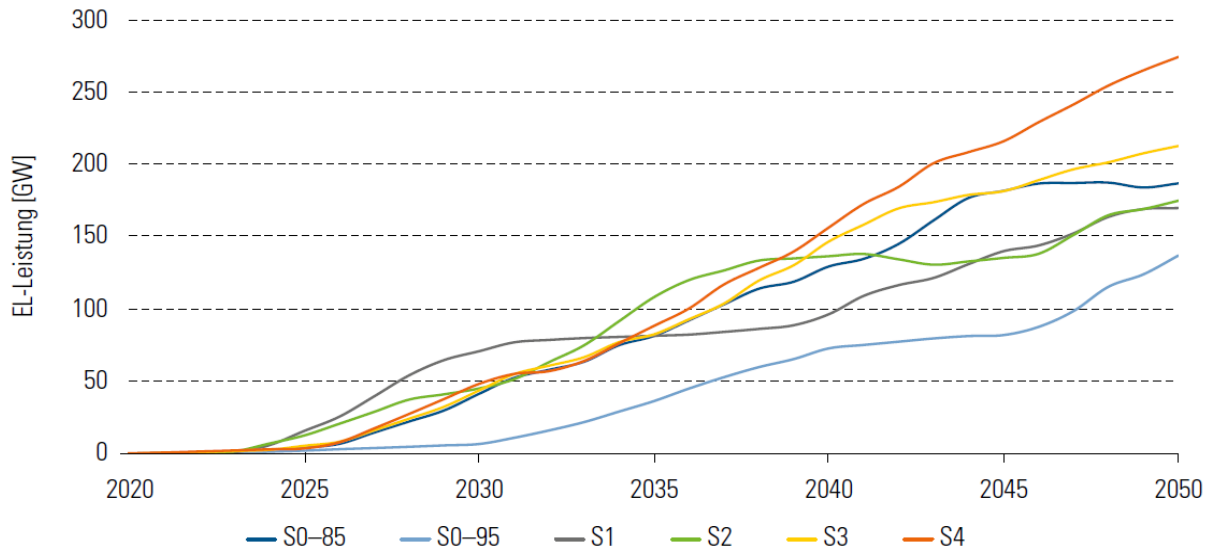
Aus den in der IndWEDe betrachteten Szenarien zur Entwicklung des Energiesystems in Deutschland ergibt sich für die installierte Elektrolysekapazität ein Ausbaukorridor von 10 bis 65 GW bis 2030 und von 137 bis 275 GW bis 2050. Dieses Ergebnis ist unabhängig von der Frage, ob zur Deckung des Bedarfes in Deutschland grüner Wasserstoff aus dem Ausland importiert wird. Studien, welche für Deutschland einen niedrigeren Bedarf ausweisen, beinhalten jedoch oftmals größere Mengen an importierten synthetischen Kraftstoffen, für die dann außerhalb Deutschlands Elektrolysekapazitäten aufgebaut werden müssten.

Die Elektrolysebranche hält ein kumulatives Potenzial von 1 bis 2 GW bis 2025, insbesondere im Raffineriesektor, für erreichbar. Ausgehend von einem Elektrolysebestand von 30 GW im Jahr 2030 müssten in den folgenden 20 Jahre mindestens 5 GW pro Jahr installiert werden, um die ermittelte Mindestinstallation von 137 GW im Jahr 2050 zu erreichen. Die inländische Wertschöpfung, die alleine durch die Herstellung von Elektrolyseuren für den deutschen Bedarf entstehen kann, variiert ab 2030 somit zwischen 5-10 Mrd. EUR/a. Daraus ergibt sich, unter der Annahme einer Beschäftigungsintensität von 7 Arbeitsplätzen pro eine Million EUR Umsatz, ein Arbeitsmarktpotenzial für die Herstellung von Elektrolyseuren von 35.000 bis 70.000 Vollzeitbeschäftigten.

⁶³ Voraussichtlich 4 000 Betriebsstunden.

⁶⁴ Basierend auf der durchschnittlichen Größe der großen integrierten CCS-Anlagen in verschiedenen Entwicklungsstadien, wie vom Global CCS Institute berichtet.

Abbildung 11: Entwicklung der installierten Elektrolyseleistung nach Szenarien



Quelle: NOW (2018)

Aktuell werden die Elektrolyseanlagen meistens unter Manufakturbedingungen im kleinen Maßstab hergestellt. Zukünftig ergibt sich somit ein großes Potenzial zur Ansiedlung industrieller Fertigungsbetriebe für Elektrolyseure und dazugehörige Komponentenbauteile.

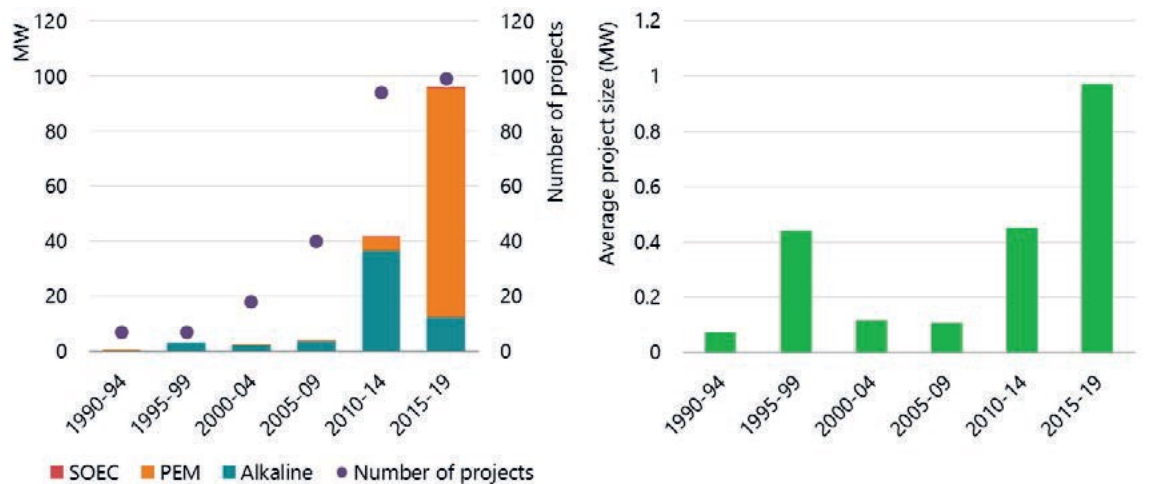
In der jüngsten Studie der NOW⁶⁵ wurden folgende Abschätzungen für die Gesamtindustrie getroffen:

- Der Umsatz der Wasserelektrolysehersteller wird aktuell auf 100 bis 150 Mio. EUR jährlich geschätzt,
- Die jährlich verkaufte Kapazität ist kleiner als 100 MW weltweit (2016) und schwankt aufgrund einzelner Großprojekte und deren Verbuchungszeitpunkte,
- Ca. 1.000 Mitarbeiter sind bei Systemanbietern direkt beschäftigt. Hinzu kommen Mitarbeiter bei Zulieferern, die aber in der Regel nicht direkt bzw. nicht allein der Wasserelektrolyseindustrie zurechenbar sind,
- Laut Aussagen der Hersteller könnten kurzfristig (bis zum Jahr 2020) Wasserelektrolyseherstellkapazitäten von ca. 2 GW jährlich aufgebaut werden.

Etwa zwei Drittel davon sind europäischen Firmen zuzuordnen. Dominiert wird das globale Potenzial von Anbietern aus der Chloralkali-Industrie, welche bereits über entsprechende Zulieferketten verfügen, um sehr zeitnah auch Wasserelektrolyse im Großmaßstab anzubieten.

Abbildung 12: Entwicklung der Elektrolyseur Kapazitätserweiterungen für Energiezwecke und deren durchschnittliche Einheitsgröße, 1990-2019

⁶⁵ NOW (2018)



Quelle: IEA (2019)

Großanlagen im Megawatt-Bereich werden heute ausschließlich im Projektgeschäft verkauft und die Anfertigungen entsprechen den spezifischen Kundenwünschen. Nahezu alle Systemanbieter bauen derzeit ihre eigenen Stacks, und bieten diese nicht extern zum Verkauf an.

Bislang hat keiner der Hersteller solche Produktionsvolumen an Stackfertigungen erreicht, die eine wirtschaftlich sinnvolle teilautomatisierte Serienproduktion ermöglichen.

Viele KMU in der Elektrolyseindustrie verfügen nur begrenzt über die finanziellen Mittel, um den künftig nötigen Hochlauf in der Produktionskapazität aus eigener Kraft zu stemmen. Die Gründung eines herstellerübergreifenden Anlagenbauers wäre eine Option, dieser Herausforderung gerecht zu werden. Durch eine strategische industriepolitische Begleitung würde sich die Chance einer regionalen Ansiedlung eröffnen, und gleichzeitig würde die internationale Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Unternehmen gestärkt.

In Brandenburg könnten durch die gezielte Ansiedlung einer Elektrolyse-Produktionsindustrie, unter der Annahme eines Marktanteils von 10 % des geschätzten deutschen Potenzials von 5 bis 10 Mrd. EUR, bereits im Jahr 2030 zwischen 3.500 und 7.000 qualifizierte Arbeitsplätze geschaffen werden.⁶⁶

Wasserstoffbezogene Investitionen in EU

Die Gesamtinvestitionen für Technologien zur Wasserstofferzeugung (ca. 2.000TWh/a) in der EU werden bis 2050 auf 1,3 bis 2,2 Billionen Euro prognostiziert.⁶⁷

Abhängig von der Art und Weise, wie kohlenstofffreier Wasserstoff erzeugt wird,

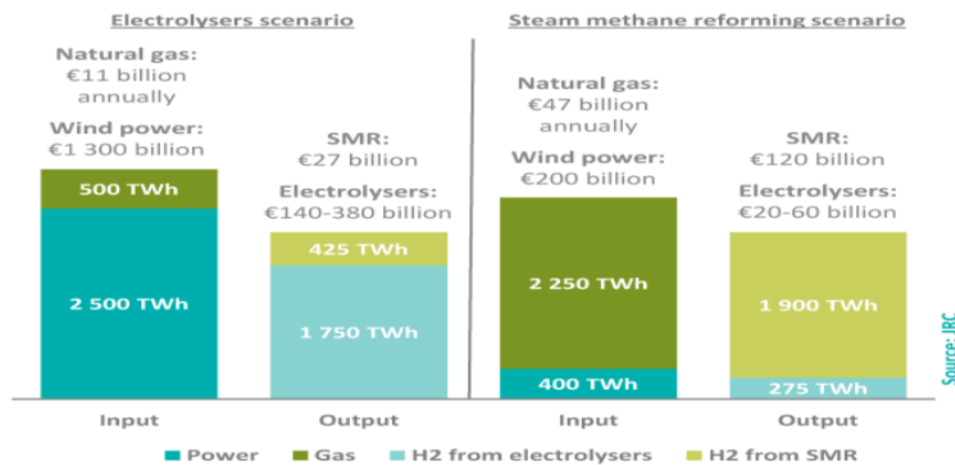
- ist entweder eine Menge an erneuerbarem Strom, die 80 % der heutigen Gesamtstromerzeugung in der EU entspricht, erforderlich. Dabei würde die Wasserstoffproduktion mittels Elektrolyse zu einem der Sektoren mit dem größten erneuerbaren Stromverbrauch werden,

⁶⁶ 1.000 Mio. EUR x 7 Arbeitsplätze pro eine Mio. EUR Umsatz.

⁶⁷ JRC (2019)

- oder alternativ eine enorme Menge an Erdgas benötigt, die 45 % des heutigen Erdgasverbrauchs entspricht. Unter Beachtung der Klimaziele wäre in diesem Szenario jedoch die dauerhafte Speicherung von jährlich 460 Mio. t CO₂ erforderlich.

Abbildung 13: Energieflüsse, Investitionen und Ausgaben für die Erzeugung von Wasserstoff in EU-Dekarbonisierungsszenarien



Quelle: JRS (2019)

Im Elektrolyse-Szenario wären Investitionen in Höhe von bis zu 410 Mrd. EUR für bis zu 900 GW Wasserstoff erzeugender Technologien erforderlich, hauptsächlich für Elektrolyseure. Daneben ergibt sich ein Investitionspotenzial für den Ausbau der erneuerbaren Stromversorgungstechnologien von bis zu 1,3 Billionen Euro. In Summe ergibt sich somit ein Investitionspotenzial in Höhe von 1,7 Billionen Euro.

Im SMR-Szenario würden Investitionen von bis zu 140 Mrd. EUR benötigt, hauptsächlich für die Dampfpreformierung mit Carbon Capture and Storage (CCS). Für einen wirtschaftlichen Vergleich der beiden Szenarien muss man jedoch die Ausgaben für Erdgas von jährlich bis zu 47 Mrd. EUR über 20 Jahre sowie die dauerhafte Speicherung von CO₂ hinzurechnen. Je nach Szenario ergeben sich somit Gesamtkosten in Höhe von 1,3 bis 2,2 Billionen Euro.

Wasserstoffbezogene Arbeitsplätze in EU

In der Hydrogen Roadmap Europe wird geschätzt, dass bis 2030 und bis 2050 eine Million bzw. 5,4 Millionen direkte wasserstoffbezogene Arbeitsplätze geschaffen werden. Für 2050 entspricht dies der dreifachen Zahl der heutigen Arbeitsplätze in der chemischen Industrie der EU. Die zugrunde liegende Beschäftigungsintensität liegt zwischen 6 und 7,5 Stellen pro eine Million EUR Umsatz.

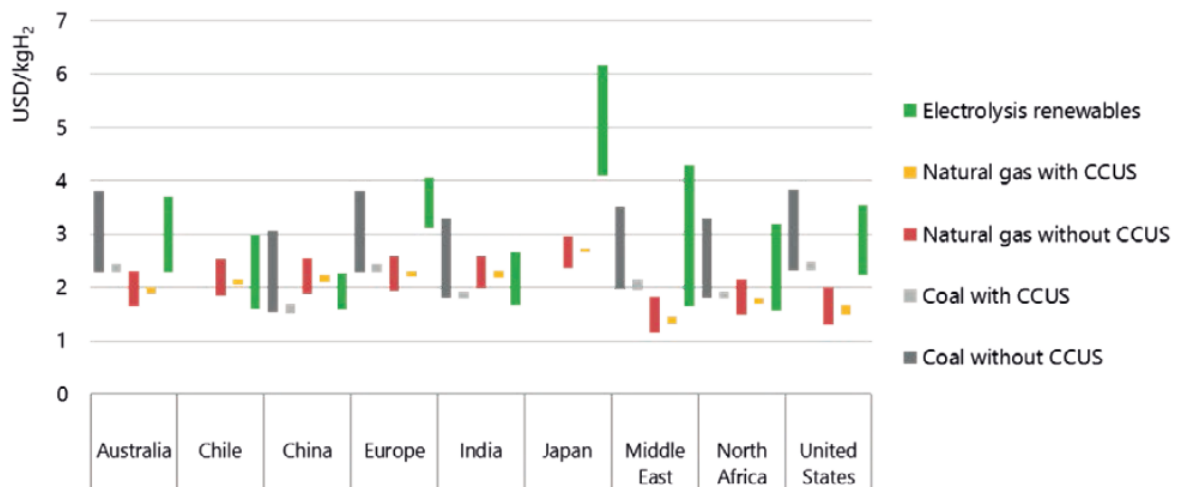
Die Hydrogen Europe Roadmap prognostiziert einen Umsatz der EU-Wasserstoffindustrie von 130 Mrd. EUR bis 2030 bzw. 820 Mrd. EUR bis 2050.

6.1.2 Herstellung von Anlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen

In den meisten Studien für Deutschland wurden Importe von synthetischen Kraftstoffen aus Ländern mit wirtschaftlich besseren Bedingungen für die Gewinnung erneuerbarer Energien angenommen. Aus der heutigen Perspektive ist nicht prognostizierbar, wie sich

international das Angebot und die Nachfrage nach synthetischen Kraftstoffen entwickeln werden.

Abbildung 14: Wasserstoffproduktionskosten in den verschiedenen Teilen der Welt⁶⁸



Quelle: IEA (2019)

Laut der Studie Klimapfade für Deutschland ergibt sich zur Erreichung des 95 %-Ziels in 2050 ein Importbedarf an synthetischen Kraftstoffen von etwa 340 TWh aus Ländern mit wirtschaftlicheren Bedingungen für erneuerbare Energien. Je nach den Volllaststunden, in denen die PtX-Anlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen in den exportierenden Ländern mit erneuerbarem Strom betrieben werden können, ergibt sich ein Anlagenexportpotenzial in die entsprechenden Produktionsländer von 60 bis 160 GW. Insgesamt besteht bis 2050 ein Investitionsbedarf von bis zu 178 Mrd. EUR für PtX-Anlagen im Ausland.⁶⁹

Um diese Mengen 2050 zu möglichst niedrigeren Kosten produzieren zu können, müssten die ersten großtechnischen Anlagen schon Mitte/Ende der 2020er Jahre in Betrieb gehen. Dazu wären bereits in den nächsten Jahren erhebliche Anstrengungen hinsichtlich Technologieerprobung und -skalierung sowie Projektentwicklung und -finanzierung notwendig.

Damit Deutschland bzw. Brandenburg von dem sich voraussichtlich ergebenden globalen Anlagenbedarf profitieren kann, ist der Aufbau und die Demonstration der benötigten Technologien im heimischen Markt erforderlich.

6.1.3 Fahrzeugbau und -umbau

Deutschland fällt als Absatzmarkt und als Entwicklungs- und Produktionsstandort für Wasserstoffautos weiter zurück. Die deutschen Hersteller bieten bis auf eine Ausnahme, und diese mit einer Anzahl von weniger als 1.000 Fahrzeuge pro Jahr, keine Brennstoffzellenfahrzeuge an. Hersteller wie Opel, Ford oder VW planen derzeit keine konkrete Markteinführung von wasserstoffgetriebenen Modellen. Audi, BMW und Daimler

⁶⁸ Die Balken zeigen die Spanne zwischen kurz- und langfristigen Kosten für die Wasserstoffproduktion an, die kurzfristig einen CO₂-Preis von 25 USD/t CO₂ und langfristig 100 USD/t CO₂ enthalten.

⁶⁹ BCG (2018)

erklären auf Anfrage, dass mit einer Produktion von Wasserstoffautos in nennenswerter Zahl erst ab 2025 zu rechnen ist.

Hingegen bieten chinesische, koreanische und japanische Hersteller bereits Brennstoffzellenfahrzeuge am Markt an. Ebenfalls haben diese Hersteller angekündigt, die Produktionszahlen in den nächsten Jahren extensiv zu steigern.

Nach der Studie Klimapfade für Deutschland sollten die folgenden Maßnahmen ergriffen werden, um die Klimaziele im Verkehrssektor für 2050 kosteneffizient erreichen zu können:

- 26 Mio. bis 33 Mio. elektrische Pkw⁷⁰ (60 % bis 80 % des Bestandes) in 2050,
- 2 bis 2,3 Mio. elektrische leichte Nfz,
- 30 bis 60 Tsd. Brennstoffzellen-Lkw,
- Weitere Elektrifizierung des Systems Schiene.

Zur Umsetzung der Klimapfade wären im Verkehrssektor Mehrinvestitionen von 500 Mrd. EUR im 80 %-Klimapfad und 770 Mrd. EUR im 95 %-Klimapfad erforderlich – jeweils kumuliert für den Zeitraum von 2015 bis 2050.

Diese Zahlen verdeutlichen das enorme Marktpotenzial, welches es zu erschließen gilt. Die abwartende Haltung der Autohersteller gefährdet unzweifelhaft den Industriestandort Deutschland. Andererseits liegt hier eine Chance für Regionen, die sich in diesem Bereich industriepolitisch positionieren möchten.

Abbildung 15: Mehrinvestitionen im Sektor Verkehr bis 2050

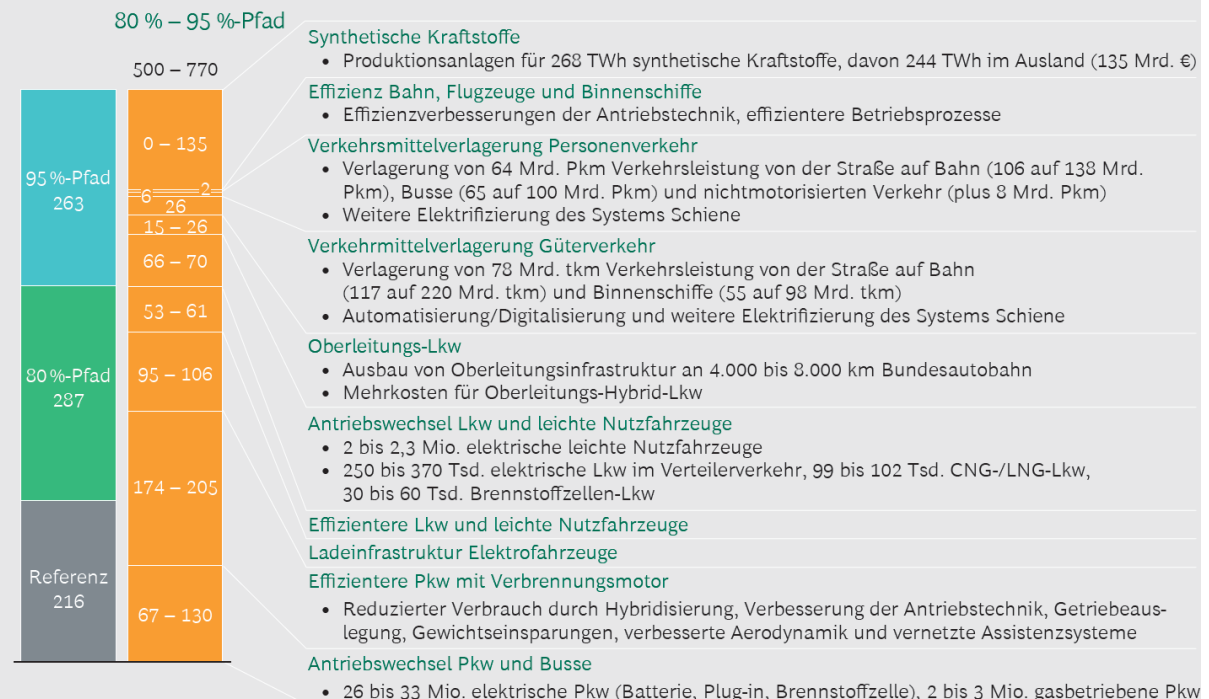
⁷⁰ Hierzu werden in der Studie batterieelektrische Pkw, Plug-in-Hybride und Brennstoffzellen-Pkw gezählt.

500 BIS 770 MRD. EURO MEHRINVESTITIONEN FÜR KLIMAPFADE IM VERKEHR

ABBILDUNG 54 | Mehrinvestitionen im Sektor Verkehr bis 2050

(Mrd. € real 2015)

Kumulierte Mehrinvestitionen, nicht diskontiert, nicht annualisiert



Anmerkung: Mehrinvestitionen in Forschung und Entwicklung nur indirekt berücksichtigt, ohne Restrukturierungskosten. Enthalten sind Mehrinvestitionen aus 80 %-Pfad und 95 %-Pfad. Kosten sind nicht diskontiert oder annualisiert. Keine Verrechnung der Mehrinvestitionen mit Energiekosteneinsparungen
Quelle: BCG

Quelle: BCG (2018)

Wasserstoff und Brennstoffzellen sind Eckpfeiler auf dem Weg zu einer emissionsfreien Mobilität in Deutschland. Deshalb hat der Ausbau der Tankinfrastruktur für Wasserstoff als Kraftstoff eine hohe Priorität. Wie im nationalen Strategierahmen zur Umsetzung der EU-Richtlinie zum Ausbau von Infrastrukturen für alternative Kraftstoffe festgelegt, verfolgt die Bundesregierung das Ziel von bundesweit 100 Wasserstofftankstellen für Brennstoffzellen-Pkw bis 2020. Ebenfalls im Fokus der Bundesregierung stehen Maßnahmen zur Unterstützung von entsprechenden Infrastrukturen für andere Verkehrsträger (Busse, Züge und Schwerlastverkehr).

Die Analysen für Deutschland und EU rechnen erst im Zeitraum von 2020 bis 2030 von signifikanten Mengenzuwächsen der Brennstoffzellenfahrzeuge. Deshalb wäre es für Brandenburg bereits in der früheren Phase der Markteinführung wichtig, günstige Rahmenbedingungen zu schaffen, um die bestehenden brandenburgischen Unternehmen im Sektor zu stimulieren in Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien zu investieren, Fahrzeugbauunternehmen aus anderen Bundesländer anzuziehen und die Gründung von Start-up-Unternehmen anzureizen. Somit wird die Grundlage für ein nachhaltiges, wirtschaftliches Wachstum geschaffen, das sich auf die regionalen Vorteile ausrichtet, neue Stärken entwickelt und sich auf neue Tätigkeitsbereiche ausbreitet.

Für Brandenburg könnte eine große wirtschaftliche Chance in der Ansiedlung von Unternehmen, die sich auf den Umbau von konventionell angetriebenen Schwerlast- und

Sonderfahrzeugen auf Brennstoffzellenantriebe spezialisieren, wie z. B. von Mining Trucks, liegen. Folgende drei Erwägungsgründe sprechen dafür:

- derartige Unternehmen stehen nicht in Konkurrenz mit den Standardfahrzeugherstellern,
- die Kosten für die Brennstoffzellen- und Wasserstofftanktechnologien sind im Verhältnis zu den Gesamtfahrzeugkosten relativ gering,
- die Instandhaltungsmaßnahmen umfassen üblicherweise den Tausch der Antriebsaggregate aufgrund der langen Lebensdauer der Spezialfahrzeuge.

Alleine das Marktpotenzial von Mining Trucks mit einer Nutzlast von mehr als 90 Tonnen, beträgt global über 47.900 Fahrzeuge.

Potenziell könnten sich in Brandenburg Unternehmen aus folgenden Bereichen spezialisieren und ansiedeln:

- Neu- und Umbau von H₂-Bussen,
- Kleinserienproduktion von H₂-Pkw und leichten Nutzfahrzeugen,
- Umbau von schweren Lkw und Mining Trucks auf H₂,
- Umbau bzw. Ausstattung von Sonderfahrzeugen mit H₂-Antrieben,
- Nachträgliche Ausstattung von O-Bussen mit H₂-Range-Extender – vorwiegend für den Exportmarkt,
- Entwicklung, Bau und Umrüstung von konventionellen Zügen auf Brennstoffzellen-Züge,
- Entwicklung und Bau von H₂-Komponenten für die vorgenannten Fahrzeuge.

6.2 Ansiedlung von Forschungseinrichtungen

In der Studie Klimapfade für Deutschland wird prognostiziert, dass zur Erreichung der deutschen THG-Ziele langfristig wahrscheinlich auch Technologien einen wesentlichen Beitrag liefern werden, die sich heute noch im Stadium der Erprobung befinden und deren weitere Entwicklung eine gezielte Unterstützung erfordert. Für den Durchbruch dieser Lösungen müsste eine zukunftsorientierte Innovationspolitik sich an drei Prioritäten ausrichten:

- Förderung weiterer Innovationen in heutigen Schlüsseltechnologien.
Unter anderem Werkstoffe für Effizienztechnologien und integrierte Effizienzsteigerungen von Prozessen sowie digitale Systemlösungen für deren Integration und Optimierung im Rahmen der Sektorenkopplung.
- Erforschung, Erprobung, Demonstration und Unterstützung bis zur Marktreife.
Das betrifft z. B. Technologien wie Power-to-Gas, Power-to-Liquid, erste Einsatzfelder von Wasserstoff und CCU.

- Weitere technologische Entwicklung und Umsetzung der Ergebnisse der Grundlagenforschung auf Feldern möglicher Game-Changer für das Energiesystem, wie z. B. eine bessere Herstellung, Nutzung und Speicherung von Wasserstoff.

Eine Innovationsführerschaft in Deutschland könnte zu einer besseren Nutzung weltweiter Marktpotenziale für deutsche Unternehmen beitragen.

Speziell in der Lausitz sollte die Steigerung der Innovations- und somit Wettbewerbsfähigkeit eine zentrale Rolle im Strukturentwicklungsprozess spielen. Anknüpfend an vorhandenen Kompetenzen und Forschungsprofile gibt es Potenziale für weitere technologieorientierte Ausgründungen, so die Kohlekommission. Das bestehende Wissenschafts- und Innovationssystem der Lausitz sollte weiter ausgebaut werden, um ein nachhaltiges Wachstum zu erzeugen und die Wettbewerbsfähigkeit der Region zu sichern. Weiterhin könnten außeruniversitäre Forschungseinrichtungen der Max-Planck- und der Fraunhofer-Gesellschaft, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und anderer Zentren der Helmholtz- und Leibniz-Gemeinschaften gezielt in der Lausitz angesiedelt und mit den bestehenden Forschungseinrichtungen verknüpft werden, um Forschungs- und Entwicklungspotenziale zu heben.

Von Bedeutung für die weitere Forschung und Entwicklung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien wäre die Ansiedlung von einem neu zu gründenden Fraunhofer-Institut an die BTU Cottbus-Senftenberg für Energieinfrastruktur und von einem neuen DLR-Institut für CO₂-arme Industrieprozesse in Cottbus. Das DLR verfolgt unter anderem einen Ansatz zur Umrüstung von Kohlekraftwerken zu Speicherkraftwerken.

6.3 Ansiedlung von Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen

Mit der Industrialisierung der Elektrolyseproduktion als auch der Brennstoffzellenfertigung ergeben sich Bedarfe für unabhängige Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen. Aktuell erfolgt die Prüfung auf kleinen Prüfständen über ganz Deutschland verteilt. Auch die Zertifizierung der Anlagen ist nicht einheitlich geregelt. Insgesamt sind die bestehenden Kapazitäten nicht annähernd auf die anstehenden Produktionshochläufe und Anlagendimensionierungen ausgelegt.

Zukünftig benötigt die Branche somit eine völlig neue industrielle Struktur der Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen für die Wasserstoffindustrie. Mit der frühzeitigen gezielten Ansiedlung industrieller Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen würde sich zudem ein Spillover-Effekt in Richtung der regionalen Ansiedlung der gesamten Wasserstoffindustrie ergeben. So können die Unternehmen die Produktwege und die zeitlichen Abläufe optimieren und somit flexibler auf die Marktentwicklung reagieren.

6.4 Bildung von Kompetenzzentren und einem Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung

Die Zusammenarbeit aller Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik entlang von Wasserstoff-Wertschöpfungsketten ist eine wesentliche Voraussetzung für die Schaffung innovativer Ideen und Produkte und für die erfolgreiche Erschließung von Zukunftsmärkten für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien. Dabei können sich regionale Cluster und Netzwerke zu Kompetenzzentren und damit zu einem Wachstums- und Beschäftigungsmotor im Land entwickeln.

Die Kohlekommission hat in ihrem Abschlussbericht die Bildung von zwei Clustern mit potenzieller Bedeutung für die Wasserstofftechnologien vorgeschlagen: Lausitzcluster Energie (LCE) und Lausitzcluster Mobilität (LCM).

Mit den kürzlich vom Bundeskabinett beschlossenen Eckpunkten für ein neues Strukturstärkungsgesetz wurde unter anderem der Aufbau eines Kompetenzzentrums „Klimaschutz in energieintensiven Industrien“ in Cottbus, das noch in diesem Jahr eröffnet werden soll, beschlossen.

In Anbetracht der signifikanten Rolle der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in der Gestaltung der Energiewende auf der regionalen, nationalen und europäischen Ebene könnte ein brandenburgisches Cluster Hy-Industrie-Brandenburg (Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung) mit Fokus auf diesen Technologien und deren Einsatz im Verkehr, in der Industrie und im Wärme- und Stromsektor gegründet und vom Land und ggfs. vom Bund gefördert werden.

Die energiespezifischen Kompetenzen in Brandenburg und die bestehenden Forschungseinrichtungen können mit den regionalen, nationalen und europäischen Markttrends verknüpft werden. Ein solches Branchennetzwerk kann ideale Vernetzungs- und Informationsmöglichkeiten für interessierte Akteure bieten. Neben der Herstellung von erneuerbarem Wasserstoff, können Speicherung und Sektorenkopplung die Kernsäulen der Clusterarbeit darstellen. Das Cluster kann sich als Initiator und Keimzelle für erfolgreiches Wachstum nicht nur in der Lausitz und Brandenburg, aber auch in weiteren vom Strukturwandel betroffenen Energieregionen in Deutschland und in Europa positionieren. Durch gemeinsame Entwicklung und Demonstration verschiedener Wasserstofflösungen auf regionaler Ebene, kann die industrielle Umstrukturierung in der Region beschleunigt werden.

Im Cluster könnten Akteure der folgenden Bereiche vernetzt werden:

Energieversorger, Netzbetreiber (Gas und Strom), erneuerbare Energieproduzenten (Wind, Solar), Komponentenfertigung für konventionelle und erneuerbare Anlagen, Fahrzeug- und Fahrzeugkomponentenbau, chemische Industrie, Raffinerie, Stahlproduktion, Eisenbahnwerk, Universitäten und Forschungseinrichtungen.

7 Gegenwärtige Aktivitäten und Projektideen im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in Brandenburg

7.1 Herstellung von grünem Wasserstoff (Power-to-Gas)

Derzeit gibt es vier PtG-Anlagen in Brandenburg.^{71,72} Weitere drei Projekte befinden sich in der Planungsphase.

Tabelle 2: PtG-Projekte

Projektname	Kurzbeschreibung	Status	Start	EI (kW)
ENERTRAG Prenzlau	Treibstoff, Verstromung, Einspeisung Erdgasnetz, Regelenergie	in Betrieb	2011	500
Falkenhagen, Uniper Energy Storage	Methanisierung, Einspeisung ins Erdgasnetz	in Betrieb	2013	2.000
BTU Cottbus, ENERTRAG	Wasserstoffspeicher, Wasserstoffverstromung	in Betrieb	2012	145
Multi-Energie- Tankstelle-H ₂ BER: TOTAL, LINDE, McPhy	Treibstoff, Einspeisung Erdgasnetz, Wasserstoffspeicher, Wasserstoffverstromung, Wärmeerzeugung	in Betrieb	2014	500
EE-Kraftwerk Sperenberg	Entwicklung und Optimierung einer PtG-Anlage in Kombination mit einer Gasturbine und einem H ₂ - Röhrenspeicher	in Planung	2021	5.000
ChEERs (Chemie und Energie aus Erneuerbaren in Schwarzheide)	PtG-Anlage in Schwarzheide	in Planung	k. A.	k. A.
GASAG und E.DIS Ketzin	PtG-Anlage in Ketzin	in Planung	k. A.	k. A.

7.2 Wasserstoffspeicher

Im Forschungsprojekt InSpEE-DS⁷³ entwickeln Wissenschaftler bei KBB Underground Technologies Kriterien, mit denen sich mögliche Standorte für die Speicherung von

⁷¹ LBST (2018)

⁷² BDEW: Interaktive Karte Gas kann Grün, <https://www.bdew.de/energie/erdgas/interaktive-karte-gas-kann-gruen/>

⁷³ Projekt Salzkavernen deutschlandweit nutzen,

Wasserstoff in Salzformationen bewerten lassen. Das Projekt soll bis Ende März des Jahres 2019 laufen. Geologische Erkundungsergebnisse zeigen, dass flach lagernde Salzschieben ein großes Potenzial für eine dezentrale Speicherung erneuerbarer Energien auch für Brandenburg bieten. Für die Abschätzung der Speichermöglichkeiten bereiten die Wissenschaftler geologische Daten auf. Dazu zählen Verbreitung, Tiefenlage und Lagerungsverhältnisse der Salinargesteine. Die Datenanalysen sollen mit mineralogisch-geochemischen Untersuchungen, Bestimmungen geotechnisch relevanter Gesteinsparameter und umfangreichen numerischen Modellrechnungen zur Kavernenauslegung ergänzt werden.

7.3 Wasserstoffmobilität

Anlauf- und Koordinierungsstelle E-mobiles Brandenburg

Im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft und Energie baut Wirtschaftsförderung Brandenburg Energie (WFBB) eine Anlauf- und Koordinierungsstelle E-mobiles Brandenburg (AK EMO) auf.

Durch die AK EMO wird die Entwicklung der Elektromobilität strategisch begleitet und den Wandel im Land hin zu einem energieeffizienten, klima- und umweltverträglichen Mobilitätssystem forciert. Das Ziel von AK EMO ist, Kommunen und Unternehmen in Brandenburg bei der Initiierung und Umsetzung zukunftsweisender Elektromobilitätsprojekte zu unterstützen.

7.3.1 Wasserstoffbusse

Im Rahmen des Projektes CO₂-freies Cottbus – Mobil mit Wasserstoff, das Fördermittel aus dem Sofortprogramm der Bundesregierung bekommen wird, ist der Einsatz von zwei Wasserstoffbussen im ÖPNV als Test für die Praxistauglichkeit im täglichen Linienbetrieb mit dem Ziel der Reduzierung der verkehrsbedingten Emissionen geplant. Die Cottbuser Verkehrsbetriebe prüfen darüber hinaus den weiteren Ausbau der Kapazitäten von Brennstoffzellenbussen.

7.3.2 Wasserstofftankstellen

Derzeit werden eine Wasserstofftankstelle in Potsdam mit 700 bar und eine am neuen Flughafen BER mit ebenfalls 700 bar von TOTAL Deutschland GmbH betrieben.

Eine weitere H₂-Tankstelle in Neuruppin ist in der Genehmigungsphase und soll bis zum Ende des Jahres 2019 von TOTAL Deutschland GmbH in Betrieb genommen werden.

Mit den bestehenden vier Wasserstofftankstellen in Berlin ist somit eine Flächenabdeckung im Großraum Berlin/Potsdam gegeben. Ebenso sind Fernverbindungen zwischen Hamburg-Berlin, Hannover-Berlin, Leipzig-Berlin und Dresden-Berlin aufgrund der Standorte von H₂-Tankstellen in den jeweiligen Städten und auf den Verbindungsstrecken zwischen den Orten gegeben.

Weiterer kurzfristiger Bedarf für den Ausbau des Wasserstofftankstellennetzes besteht für die Räume Cottbus und Frankfurt-Oder.

Der weitere Zubau von Wasserstofftankstellen sollte sich an dem Ausbau des wasserstoffbetriebenen ÖPNV orientieren. Mit dem Vorlauf von 12 bis 15 Monaten wäre die Bereitstellung einer Wasserstofftankstelle unter proaktiver Mitwirkung der zuständigen

Genehmigungsbehörden möglich. Mit limitierenden Standortfaktoren ist nicht zu rechnen, da grundsätzlich die Möglichkeit besteht, die vorhandenen konventionellen Tankstellen mit einer Wasserstofftankanlage zu ergänzen.

7.3.3 Wasserstoffzüge

H₂-Heidekrautbahn und Stammstrecke der Niederbarnimer Eisenbahn

Niederbarnimer Eisenbahn AG (NEB), Alstom Transport Deutschland GmbH, ENERTRAG AG und Barnimer Energiegesellschaft mbH (BEG) möchten ein Pilotprojekt für emissionsfreien Schienenverkehr mittels des Einsatzes von Zügen mit Brennstoffzellenantrieb in Brandenburg starten.

Die NEB plant in den kommenden Jahren mindestens sechs der emissionsfreien Züge zu bestellen, und ab dem Fahrplanwechsel Ende 2022 auf der reaktivierten Stammstrecke der Heidekrautbahn von Berlin-Wilhelmsruh nach Basdorf fahren zu lassen. In Basdorf würde dann die für den Betrieb nötige Wasserstofftankstelle entstehen. Die benötigten Mengen erneuerbaren Wasserstoffes sollen vor Ort erzeugt werden.

Kohlekommissionsempfehlungen

Beim Thema Verkehrsinfrastrukturausbau empfiehlt die Kohlekommission einen umfassenden Infrastrukturausbau, von dem die gesamte Lausitz profitieren kann. Im Anhang zum Abschlussbericht sind zahlreiche konkrete Maßnahmen aufgeführt, unter anderem Ausbau und Elektrifizierung von mehreren Bahnlinien.

Programm für die Elektrifizierung des Schienenverkehrs

Mit einem Milliarden-Programm will der Bund die Elektrifizierung des Schienenverkehrs vorantreiben. Nach dem vorgelegten Konzept des Verkehrsministeriums geht es unter anderem um ein neues Bundesprogramm zur Elektrifizierung regionaler Personennahverkehrsstrecken. Dafür sollen die Mittel für das sogenannte Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz erhöht werden. Für kommunale und regionale Verkehrsprojekte sollten ab 2021 eine Milliarde EUR pro Jahr mehr zur Verfügung stehen - damit könnte auch die Elektrifizierung regionaler Schienenstrecken finanziert werden. Vorgesehen ist daneben ein neues Förderprogramm für Züge mit alternativen Antrieben.

Die Möglichkeit der indirekten Elektrifizierung durch die Umrüstung von Diesel-Rangierloks aus dem Güterverkehr auf einen elektromechanischen Hybridantrieb soll ebenfalls mit dem Förderprogramm abgedeckt werden. Aktuell plant die Deutsche Bahn den Standort Cottbus in den nächsten Jahren schwerpunktmäßig für die Umrüstung von Diesel-Rangierloks aus dem Güterverkehr auf einen elektromechanischen Hybridantrieb auszulegen. Im Werk sichert das nach aktueller Planung bis zu 500 Arbeitsplätze, die dort bis etwa Mitte der 2020er Jahre mit Aufträgen ausgelastet sind.

Weiterhin prüft die Bahn, den Standort Cottbus perspektivisch auch durch den Aufbau von Kapazitäten für elektrische Triebzüge zu stärken. Damit verbunden wären Investitionen in eine neue Instandhaltungshalle sowie die Einstellung und Qualifizierung zusätzlicher Mitarbeiter.

Aber auch die Standorte Eberswalde und Wittenberge der Schienenfahrzeugbau Wittenberge GmbH bieten sich an, entsprechende Fahrzeuge bzw. Umrüstungen von Fahrzeugen auf Wasserstoff zu entwickeln und umzusetzen. Insbesondere vor dem

Hintergrund des Know-hows in der schweren Instandhaltung und der Instandhaltung von Triebfahrzeugen.

7.4 Reallabore der Energiewende

Die Bundesregierung hat "Reallabore der Energiewende" mit ihrem 7. Energieforschungsprogramm etabliert. Es soll klimafreundlicher Energieerzeugung zum Marktdurchbruch verhelfen. Für die Jahre 2019 bis 2022 sind dazu Fördermittel in Höhe von bis zu 100 Mio. EUR pro Jahr vorgesehen. Die Reallabore sind größer und umfassender angelegt als Demonstrationsprojekte und sollen vor allem Aufschluss über die Wechselwirkung von technischer Entwicklung und Regulierung geben.

Die Power-to-Gas-Technologie bildet einen Schwerpunkt des Reallabor-Programms. Ende Juni 2019 wird mit einem Vorentscheid gerechnet, welche Bewerbungen in die nähere Auswahl kommen.

Sechs Projektkonsortien haben sich für Reallaboren in Brandenburg um eine Förderung durch das Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) beworben. Im Technologiefeld Sektorenkopplung und Wasserstofftechnologien wurden Projektskizzen für das Wasserstoff-Projekt in Ketzin und für das Projekt „chEER“ am BASF Standort Schwarzheide Projektskizzen eingereicht.

7.5 Wissenschaftlich-technologisches Know-how

BTU Cottbus-Senftenberg

Die BTU Cottbus-Senftenberg ist eine forschungsintensive Universität mit starker Grundlagen- und Anwendungsorientierung. Innerhalb des Lehrstuhls Kraftwerkstechnik werden vielfältige Energiethemen der Energiewandlung bearbeitet.

Mit der Ausrichtung von Forschung und Lehre auf die Nutzung von erneuerbaren Energien und Energiespeicher, insbesondere mit dem Aufbau des Wasserstoff-Forschungszentrums, wird das Fachgebiet Kraftwerkstechnik den energiepolitischen Herausforderungen auf nationaler und internationaler Ebene gerecht. Der Fokus der Forschungsaktivitäten liegt dabei auf der Entwicklung von:

- Energiespeicherkonzepten im Kontext mit konventionellen, flexiblen Kraftwerken und der Nutzung von Überschussenergien aus PV und Windenergieanlagen,
- Hybridkraftwerken für den dezentralen Einsatz zur Speicherung von Überschussenergien aus erneuerbaren Energien,
- Speicherkomponenten unter Einbeziehung von Elektrolyseuren und Katalyseanlagen.

Gegenwärtig laufen die folgenden wasserstoffbezogenen Forschungsprojekte:

- AEL3D - Neuartige poröse 3D-Elektrodenmaterialien zur effizienteren alkalischen Wasserelektrolyse,
- AEL-MALFE - Alkalische Elektrolyse - Membranelektrolyse mit Anionen leitfähigem Festelektrolyt,

- Entwicklung hocheffizienter, hybrider Energiewandler aus Festoxidbrennstoffzellen (SOFC) und Mikrogasturbinen (MGT).

Die Weiterentwicklung und Optimierung dieser Technologieinnovation (Turbo Fuel Cell 1.0) wird durch das Sofortprogramm der Bundesregierung für die Kohleregionen gefördert. Langfristig wird die Produktion der hybriden Mikrogasturbinen-SOFC Systeme in Cottbus angestrebt.

Institute for Advanced Sustainability Studies Potsdam

Das Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) ist ein Verein mit Sitz in Potsdam und hat das Ziel, Entwicklungspfade für die globale Transformation zu einer nachhaltigen Gesellschaft aufzuzeigen. Das IASS folgt einem transdisziplinären, dialogorientierten Ansatz zur gemeinsamen Entwicklung des Problemverständnisses und von Lösungsoptionen in Kooperation zwischen Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Ein nationales und internationales Partnernetzwerk unterstützt die Arbeit des Instituts. Zentrale Forschungsthemen sind u. a. die Energiewende, aufkommende Technologien, Klimawandel, Luftqualität, systemische Risiken, Governance und Partizipation.

Innovationsregion Lausitz GmbH

Die Innovationsregion Lausitz GmbH (iRL) ist eine Gründung der regionalen Wirtschaft und der BTU Cottbus-Senftenberg. Das iRL-Team entwickelt Ideen und Strategien, wie die Lausitz auf den Strukturwandel reagieren kann. Es hilft betroffenen Betrieben durch Schulungen und Beratungen bei der Erarbeitung neuer Geschäftsfelder und entwickelt Wachstumsprojekte für die Lausitz. Die iRL GmbH stellt moderne Arbeitsmethoden bereit, um Strategien, Produkte und Geschäftsmodelle für Wachstum zu entwickeln.

CEBra - Centrum für Energietechnologie Brandenburg e. V.

Der Verein wurde im Jahr 1995 auf Empfehlung des Landtages und mit Unterstützung der Landesregierung gegründet. Der Zweck des Vereins ist die Förderung der anwendungsorientierten Forschung und Wissenschaft auf den Gebieten Energieressourcen, Energiewandlung und Energieversorgung.

Der CEBra e. V. ist Initiator verschiedener interdisziplinärer Forschungs- und Industrieprojekte im Energiebereich. Wichtige Säulen der Umsetzung des Vereinszweckes sind die Netzwerktätigkeit, der Wissens- und Technologietransfer, die Umsetzung von FuE-Vorhaben und einer branchenbezogenen Öffentlichkeitsarbeit, u. a. mit der Organisation und Durchführung von energierelevanten Veranstaltungen.

Deutsches Wasserstoff Technologiezentrum

Die Hynergy GmbH hat ein Konzept für ein Deutsches Wasserstoff Technologiezentrum mit folgendem Leistungsspektrum entwickelt:

- Testzentrum Wasserstoff für Brennstoffzellenantriebe und -komponenten, Wasserstoff Erzeugungstechnik, Speichertechnik und Betankungstechnik,

- Prototypenbau für Brennstoffzellenantriebe und -komponenten und Wasserstoffherzeugungsanlagen,
- Musterbau für:
 - Brennstoffzellenantriebe und -fahrzeuge (z. B. für Pkw, Lkw, Busse, Drohnen, Schiffe, Sonderfahrzeuge),
 - Wasserstoffherzeugungsanlagen,
 - Wasserstoffspeicher (inkl. neue Speicherverfahren),
 - Wasserstoffbetankungsanlagen.
- Entwicklungszentrum mit Angebot für unternehmensnahe Entwicklungsdienstleistungen zu Wasserstofftechnik für die Industrie im In- und Ausland,
- Startup Zentrum Wasserstoff und Technikhub Wasserstoff Deutschland,
- Ankerzentrum für wasserstoffbasierte synthetische Kraftstoffe.

Das Land Brandenburg und speziell die Lausitz haben das erforderliche wissenschaftliche und technische Know-how, um sich für die Ansiedlung und die Förderung eines derartigen Technologiezentrums einzusetzen.

8 Katalog der strategischen Maßnahmen

Die in dieser Studie genannten Maßnahmen und Projekte⁷⁴ sollten nur als Anhaltspunkte für die Entwicklung einer langfristigen Wasserstoffindustriestrategie des Landes Brandenburg dienen. Dabei ist zu beachten, dass die Zusammenfassung der Maßnahmen indikativ ist, und eine H₂-Machbarkeitsstudie für Brandenburg nicht ersetzen kann. Das Land Brandenburg kann die vorgeschlagenen Maßnahmen und Projekte anreizen, indem das Land die im Kapitel 2.1 genannten Handlungsfelder aktiv gestaltet, die Marktakteure proaktiv begleitet und geeignete Landesförderprogramme entwickelt sowie die Bundesregierung zur Schaffung verlässlicher Rahmenbedingungen und langfristiger Fördermechanismen auf nationaler und europäischer Ebene auffordert.

Die Maßnahmen und Projekte, die in der Einführungsphase vorgeschlagen sind, sollten in der Markthochlaufphase weiterentwickelt und erweitert werden.

8.1 Einführungsphase

Nr.	Maßnahmen & Projekte / Bereich
1.	<p>chEERs - Chemie und Energie aus Erneuerbaren in Schwarzheide / Integriertes Energiekonzept</p> <p>(Projekt im Ideenwettbewerb „Reallabore der Energiewende“)</p> <p>Im Rahmen des Vorhabens soll in Schwarzheide erprobt werden, wie erneuerbare Energiequellen, direkt und mittels Sektorenkopplung zur Basis für innovative chemische Wertschöpfungsketten werden können. Bei einem Überangebot von Energie werden sie für die Produktion von Wärme (Power-to-Heat) und Basischemikalien, wie Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenmonoxid (Power-to-Gas) genutzt, wobei ein lokaler Marktplatz als Bindeglied zwischen der vorhandenen Flexibilität und dem Netzbetreiber fungiert. In Zeiten, in denen das Energieangebot den Bedarf nicht deckt, helfen neu zu entwickelnde Automatisierungs- und Speicherlösungen, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.</p> <p>In Schwarzheide und dem unmittelbaren Umkreis sind bereits heute mehr als 360 MW Leistung aus erneuerbaren Energien installiert.</p> <p>Das Konsortium chEERs vereint chemische Industrie mit Technologielieferanten, Erzeugern von erneuerbaren Energien, Vermarktern und Netzbetreibern.</p> <p>Wasserstoffbezogene Teile des Konzeptes:</p> <ul style="list-style-type: none">• Power-to-Gas Anlage,• Wasserstoff-Speicherlösungen. <p>Projektpartner: BASF Schwarzheide GmbH, Entelios AG (Demand Response), Mitteldeutsche Netzgesellschaft mbH (MITNETZ STROM), NODES AS, Regiogrön GmbH & Co. KG, Stiftung Umweltenergierecht und Sunfire GmbH</p>

⁷⁴ Die Informationen basieren auf öffentlich zugänglichen Daten, Daten von dem Cluster Energietechnik und eigenen Recherchen.

<p>2.</p>	<p>Wasserstoff-Projekt in Ketzin / Integriertes Energiekonzept</p> <p>(Projekt im Ideenwettbewerb „Reallabore der Energiewende“)</p> <p>Am Standort Ketzin soll eine Power-to-Gas Anlage gebaut werden, die aus erneuerbaren Energien erzeugten Strom in Wasserstoff umwandelt. Der grüne Wasserstoff soll ins Gasnetz eingespeist und so gespeichert werden. An anderer Stelle kann der Wasserstoff dann wieder zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt werden oder direkt als Treibstoff im Verkehrssektor zum Einsatz kommen.</p> <p>Der Standort Ketzin befindet sich in der Nähe des Winderzeugungsgebietes "Nauener Platte" mit rund 300 Windkraftanlagen. Aufgrund von Netzengpässen muss die Stromproduktion immer wieder reduziert werden. In einer Studie des Leipziger Instituts für Energie⁷⁵ im Auftrag des Landkreises Havellands wurde ein Speicherbedarf von rund 40 MW ermittelt, um das Abregeln der Anlagen zu verhindern. Dieser könnte über eine Batterie-Kaskade sowie verschiedene Projekte zur Umwandlung von Strom in Wärme und Gas gedeckt werden. Dabei könnte auch der Aquifer, der ursprünglich als CO₂-Speicher vorgesehen war, als Energiespeicher genutzt werden.</p> <p>Unter den aktuellen gesetzlichen Vorgaben ist die Erzeugung und Anwendung per Elektrolyse erzeugter „grüner Gase“ (Wasserstoff, Biomethan) nicht wettbewerbsfähig. Aber man will in dem zunächst auf fünf Jahre angelegten Projekt aufzeigen, dass technologisch bereits Lösungen bestehen oder kurzfristig entwickelt werden können.</p> <p>Dabei werde das Projekt so angelegt, dass die entwickelten Lösungen einerseits an diesem Standort perspektivisch deutlich ausgebaut werden können. Andererseits könnte Ketzin dann quasi als Blaupause für Lösungen an weiteren relevanten Standort-Schnittstellen der Energieverteilung dienen.</p> <p>Wasserstoffbezogene Elemente des Konzeptes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Power-to-Gas Anlage, • Wasserstoffspeicherung im Untergrund-Aquifer-Speicher. <p>Projektpartner: E.DIS AG, Gasag AG mit ihrer NBB Netzgesellschaft Berlin-Brandenburg mbH & Co. KG, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik, Reiner Lemoine Institut für Energieforschung, Geoforschungszentrum Potsdam, BTU Cottbus und HTW Berlin.</p>
<p>3.</p>	<p>Referenzkraftwerk Lausitz* / Integriertes Energiekonzept</p> <p>(Projekt im Ideenwettbewerb „Reallabore der Energiewende“)</p> <p>Entwicklung eines Referenzkraftwerks in der Lausitz als Leitkonzept für die Transformation der braunkohlebasierten Energiewirtschaft.</p>

⁷⁵ IE Leipzig (2018)

	<p>Speicherkraftwerk Schwarze Pumpe/Pilotanlage/großtechnische Anlage</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bevorzugte Entwicklung und Umgestaltung der heutigen Kraftwerksstandorte Jänschwalde und Boxberg sowie Schwarze Pumpe zu Industrieparks, • Erweiterung des Industrieparks Schwarze Pumpe in Absprache mit heutigen Inhabern mit den Schwerpunkten Versorgungssicherheit (Gaskraftwerke mit Wärmekopplung), Etablierung von Wertschöpfung in Elementfertigung für Energieausrüstung/Speicher/Erneuerbare), • Entwicklung und Nutzung der Wärmespeicherfähigkeit der Lausitzer Seen (Seethermie), • Entwicklung und Optimierung der Turbo Fuel Cell 1.0 - Kombination von Mikro-Gasturbinen (MGT) und Hochtemperatur-Brennstoffzellen (SOFC) - an BTU Cottbus. <p>Wasserstoffbezogene Elemente des Konzeptes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausbau der Gasinfrastruktur (auch für Wasserstoff), • Initiierung/Steuerung eines massiven Ausbaus erneuerbarer Energien an weiteren geeigneten Standorten, • neue Energietechnologien/Industriestandort „Neue Generation“ (Referenzkraftwerk Energietechnik für Wasserstoffherstellung und Nutzung für Methanherstellung und Nutzung), • Nutzung der Wasserstofftechnologie für die Errichtung eines Speicherkraftwerkes mit generatorloser E-Rückverstromung. <p>Pilotprojekt: Errichtung eines wasserstoffbasiertes 10 MW-Speicherkraftwerkes mit Sektorenkopplung</p> <p>Projektpartner: Zweckverband Industriepark Schwarze Pumpe, CEBra e.V., Siemens AG, LEAG, Linde AG, Ontras GmbH, Energiequelle GmbH, ENERTRAG AG, BTU Cottbus, Universität Rostock</p>
4.	<p>Wasserstoffregion Lausitz / Integriertes Energiekonzept</p> <p>Aufbau einer lokalen und klimaneutralen Wasserstoffwirtschaft mit dem Ziel, nachhaltige regionale Wertschöpfung und qualifizierte Arbeitsplätze zu schaffen. Im Einklang mit dem Kohleausstiegspfad muss die weitere Nutzung und Umnutzung bestehender Wertschöpfungsketten aufgebaut und strukturell etabliert werden. Die Lausitz besitzt hierfür die wichtigen Grundlagen: Starke energiespezifische Kompetenzen (Großkraftwerke, EE-Anlagen etc.) und infrastrukturelle Voraussetzungen (Überragungsnetze Gas/Strom, Speicher, Wärmenetze).</p> <p>Wasserstoffbezogene Elemente des Konzeptes:</p> <p>Aufbau von Elektrolyseuren</p> <ul style="list-style-type: none"> • 15 MW in der Lausitz,

	<p>Wärme:</p> <ul style="list-style-type: none"> • H₂-Einspeisung ins Erdgasverteil- und Transportnetz, • Bilanzielle CO₂-Neutralität der erdgasbasierten Wärmeversorgung in der Lausitz. <p>Verkehr:</p> <ul style="list-style-type: none"> • H₂-Tankstellen in der Lausitz (Pkw und ÖPNV) und im Industriepark Schwarze Pumpe, • H₂-Busse für den ÖPNV in der Lausitz. <p>Projektpartner: ENERTRAG AG, Ontras Gastransport GmbH, IKEM</p>
5.	<p>Speicher kombiniertes Erneuerbare-Energien-Kraftwerk Thyrow (EE-Kraftwerk) / Integriertes Energiekonzept</p> <p>Das EE-Kraftwerk soll eine versorgungssichere, wirtschaftliche und emissionsarme Energieversorgung im industriellen Maßstab demonstrieren. Am Standort Thyrow bietet sich ein deutschlandweit einzigartiges Potenzial für ein solches Leitprojekt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es soll mittels Elektrolyse erneuerbarer Wasserstoff produziert werden, und innovative Konzepte für die Systemintegration und Speicherung des erneuerbar produzierten Stroms entwickelt und erprobt werden, • Die energietechnische Infrastruktur am Standort Thyrow mit Gasturbinenkraftwerk Thyrow einschließlich Erdgas-Röhrenspeicher, den Anschlüssen an Gastransport- als auch Stromübertragungs- und -verteilnetz sowie an die Bahnstromversorgung weist einzigartige Voraussetzungen zur effizienten Demonstration der gesicherten Energieversorgung 2050 unter Realbedingungen auf. <p>Dabei könnten folgende wasserstoffbezogene Systemlösungen umgesetzt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einspeisung in das Erdgasnetz: aus lokal erzeugtem Strom wird erneuerbarer Wasserstoff gewonnen und ins Gasnetz eingespeist, • Power-to-Gas-to-Power-Kraftwerk (ca. 5 MW): Wind- und Solarstrom wird in der Elektrolyse in Gas verwandelt, das im vorhandenen Gas-Röhrenspeicher gelagert und bei Bedarf in der vorhandenen Gasturbine wieder zu Strom gemacht wird, der ins Netz eingespeist wird, • EE-Bahnstrom-Kraftwerk: Erneuerbare Energie aus Wind und Photovoltaik versorgt mit Hilfe verschiedener Speichertechniken (Elektrolyse, Batterie) das Umspannwerk der Deutschen Bahn in Thyrow mit „fahrplantreuem“ Strom, • Regelbares EE-Kraftwerk: Damit könnten die rund 70.000 Einwohner der KAG-Gemeinden (ähnlich wie beim EE-Bahnstrom-Kraftwerk) zu 100% mit „fahrbahntreuem“ Strom versorgt werden. <p>Projektpartner: ENERTRAG AG, McPhy Energy Deutschland GmbH, GE Power & Water, ENCON.Europe GmbH, BTU Cottbus – Senftenberg, Deutsche Umwelthilfe</p>

	e.V.
6.	<p>CO₂-freies Cottbus – Mobil mit Wasserstoff* / Verkehr</p> <p>Die Stadt Cottbus plant zur Reduzierung der verkehrsbedingten Emissionen langfristig die Umstellung der Dieselflote im Linienverkehr ihres Dienstleisters Cottbusverkehr GmbH auf elektrisch betriebene Busse auf der Basis von Brennstoffzellentechnologie und Wasserstoff. Der Standort Cottbus ist prädestiniert für ein derartiges Vorhaben, da sich durch das Wasserstoffforschungszentrum der BTU besondere Synergieeffekte ergeben.</p> <p>Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird bereits Wasserstoff hergestellt, der in Cottbus für die Betankung genutzt werden kann. Die dort produzierte Menge reicht für die Betankung von max. zwei Bussen. Für mehr Fahrzeuge ist ein Infrastrukturaufbau auf dem Betriebshof oder in der Nähe zum Betriebshof notwendig, der öffentlich zugänglich sein sollte, um eine Nutzung für alle zu ermöglichen.</p>
7.	<p>Wasserstoffbusse für den ÖPNV in Potsdam / Verkehr</p> <p>Einsatz von wasserstoffangetriebenen Bussen auf hoch belasteten Nachfrageachsen (Gelenkbusse 18 m). Die Stadt prüft den Einsatz von 5 Brennstoffzellenbussen auf Langstrecken.</p>
8.	<p>Oberleitungsbusse mit H₂-Range-Extender in Eberswalde / Verkehr</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umrüstung der O-Busse mit Brennstoffzellen als H₂-Range-Extender, (H₂-Range-Extender erweitert die Reichweite der O-Busse ohne Anschluss an die Oberleitung auf mindestens 100 km.) • Bau einer H₂-Tankstelle.
9.	<p>Ausbau der Stammstrecke der Heidekrautbahn der Niederbarnimer Eisenbahn AG und Einsatz von Wasserstoffzügen / Verkehr</p> <p>Gemäß der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 des BMVI steigt die Personenverkehrsleistung (Personenkilometer) zwischen 2010 und 2030 um 19,2 %. In diesem Zusammenhang greift auch das Infrastrukturprojekt i2030 des Verkehrsverbundes Berlin-Brandenburg (VBB). Eines der dortigen Projekte ist die Nordbahn/Heidekrautbahn. Neben den eigenen Anstrengungen der NEB zur Reaktivierung der Stammstrecke der Heidekrautbahn können hier Synergien zur Kosteneffizienz und zum Klimaschutz im Rahmen bestehender Programme genutzt werden.</p> <p>Die vorhandene Infrastruktur prädestiniert dieses Projekt für die Nutzung der neuen Technologie des Wasserstoffantriebes im Schienenverkehr. Durch die Erschließung und Erweiterung des nördlichen Ballungsraums gewährleistet die NEB neben der Vorreiterrolle im Bereich der neuen Technologien und des Umweltschutzes eine zuverlässige, wirtschaftliche, bezahlbare und</p>

	<p>umweltfreundliche Mobilität.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reaktivierung der Stammstrecke der Heidekrautbahn von Berlin-Wilhelmsruh nach Basdorf, • Einsatz von bis zu 6 Wasserstoffzügen, • Bau von einer H₂-Tankstelle für den Eisenbahn in Basdorf. <p>Projektpartner: Niederbarnimer Eisenbahn AG, ENERTRAG AG, Alstom Transport Deutschland GmbH, Barnimer Energiegesellschaft mbH</p>
10.	<p>Umstellung von Diesel-Bahnstrecken auf Wasserstoff** / Verkehr</p> <p>Nach Angaben aus dem Elektrifizierungsbericht, der alle sechs Jahre vorgelegt wird, sind nur 60 % des deutschen Schienennetzes in Händen des Bundes elektrifiziert. In Brandenburg sind demnach 61 % der Strecken elektrifiziert.</p> <p>Der Oberleistungsbau ist kostenintensiv, auf Streckenabschnitten mit geringer Auslastung unwirtschaftlich und in landschaftlich reizvollen Gebieten oftmals nicht gewollt. Der Einsatz von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenzügen ist eine klimaneutrale und wirtschaftliche Alternative, um die Elektrifizierung des Schienenverkehrs voranzutreiben.</p> <p>Die folgenden Strecken könnten auf Wasserstoff umgestellt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bahnstrecke Cottbus-Görlitz, • Bahnstrecke Cottbus-Horka-Görlitz – inkl. dem Viadukt in Görlitz – und die beiden Gleiskurven zur Anbindung der LEAG-Werksbahn Industriepark Schwarze Pumpe in Spreewitz und an die Niederschlesische Eisenbahnmagistrale.
11.	<p>Erzeugung und Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff in der PCK-Raffinerie in Schwedt zur Herstellung von konventionellen Kraftstoffen (erste Ausbaustufe) / Industrie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufbau von bis zu 20 MW Elektrolyseleistung zur Wasserstoffherstellung, • Teilweiser Ersatz von fossilem Wasserstoff durch erneuerbaren Wasserstoff, um den Wasserstoff net demand bei der Herstellung der konventionellen Kraftstoffe zu decken.
12.	<p>Erzeugung und Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff im Stahlwerk in Eisenhüttenstadt zur Herstellung von emissionsarmem Stahl (erste Ausbaustufe) / Industrie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufbau von einer 2 MW Elektrolyseleistung zur Herstellung von grünem Wasserstoff, • Aufbau einer Direktreduktion-Pilotanlage für den Wasserstoffeinsatz bei der Stahlproduktion.

13. Ansiedlung einer Elektrolyseur-Produktionsindustrie/ Anlagenbau

Die Elektrolyseur-Produktionsindustrie steht vor der großen Herausforderung, sehr große Fertigungskapazitäten für einen unsicheren Markt und verschiedene Anwendungen aufzubauen. Daher ist eine Konsolidierung der Akteurslandschaft und Bildung einer Elektrolyseur-Allianz notwendig, um die Beschaffung der notwendigen Mittel, um den künftig nötigen Hochlauf in der Produktionskapazität zu finanzieren und neue Zielmärkte in Deutschland, Europa und weltweit zu erschließen.

Brandenburg verfügt über beste Voraussetzungen, um eine europäische Elektrolyseur-Produktionsindustrie im Land anzusiedeln:

- Führendes Know-how bei Post-Mining,
- Existierende Energieinfrastruktur,
- Erfahrung in Komponentenfertigung für konventionelle und erneuerbare Energien-Anlagen,
- Führende Elektrolyse-Anlagenhersteller in Berlin und in Dresden,
- Technische Möglichkeiten zur Technologieerprobung,
- Forschungsaktivitäten,
- Hochqualifizierte Fachkräfte.

Potenzielle Partner: Siemens AG, McPhy Energy Deutschland GmbH, Sunfire GmbH

14. Aufbau eines Deutschen Wasserstoff Technologiezentrums / Prototypenbau und Prüfung

Das Deutsche Wasserstoff Technologiezentrum soll den Markteintritt von Wasserstofftechnologien beschleunigen und den Technologie- und Innovationsstandort Deutschland stärken.

Das Leistungsspektrum des Technologiezentrums umfasst folgende Bereiche:

- Testzentrum Wasserstoff für Brennstoffzellenantriebe und -komponenten, Wasserstoff Erzeugungstechnik, Speichertechnik und Betankungstechnik,
- Prototypenbau für Brennstoffzellenantriebe und -komponenten und Wasserstoffherzeugungsanlagen,
- Musterbau für Brennstoffzellenantriebe und -fahrzeuge, z.B. für Pkw, Lkw, Busse, Drohnen, Schiffe, Sonderfahrzeuge; für Wasserstoffherzeugungsanlagen; für Wasserstoffspeicher (inkl. Neue Speicherverfahren) und Wasserstoffbetankungsanlagen,
- Entwicklungszentrum mit Angebot für unternehmensnahe Entwicklungsdienstleistungen zu Wasserstofftechnik für die Industrie im In- und Ausland,

	<ul style="list-style-type: none"> • Startup Zentrum Wasserstoff und Technikhub Wasserstoff Deutschland für internationale Kooperationen, • Ankerzentrum für wasserstoffbasierte synthetische Kraftstoffe. <p>Potenzielle Partner: Hynergy GmbH, BTU Cottbus-Senftenberg, Cluster Hy-Industrie-Brandenburg, Automobilhersteller und Zulieferer</p>
15.	<p>Wartung & Instandhaltung von Wasserstoffproduktionsanlagen, wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen und Wasserstofftankstellen / Industrie und Verkehr</p> <p>Wartung & Instandhaltung von:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elektrolyseuren, • H₂-Tankstellen, • H₂-Straßenfahrzeugen, • H₂-Schienenfahrzeugen.
16.	<p>Aufbau eines Prüf- und Zertifizierungszentrums (an der BTU Cottbus) / Prüfung und Zertifizierung</p> <p>Für die zukunftsfähige Energieversorgung spielen sichere, funktionelle und wirtschaftliche Brennstoffzellensysteme und die dazugehörige Wasserstoffinfrastruktur, wie z. B. Elektrolyseure, Wasserstofftankstellen und Wasserstoffpipelines eine entscheidende Rolle.</p> <p>Durch Prüfung und Zertifizierung der diversen Systeme und Komponenten wird die Einhaltung von Sicherheits- und Qualitätsnormen sowie gesetzlichen Vorgaben erreicht. Zudem gewinnen die Produkte durch ein neutrales Prüfzeichen einen Wettbewerbsvorteil in einem wachsenden Markt und erhalten besseren Zugang zu internationalen Märkten.</p> <ul style="list-style-type: none"> • H₂-Tanks, • Elektrolyseure, • Brennstoffzellen, • Pipelines Testfeld.
17.	<p>Etablierung Fraunhofer Institut für Energieinfrastruktur und Geothermie* / Forschung</p> <p>Dieses neue Fraunhofer-Institut ist an zwei Standorten geplant. Möglicher thematischer Schwerpunkt in Nordrhein-Westfalen am Standort Jülich sind die Themen Geothermie und digitale Energie. In der Lausitz kann mit einer eventuellen Anbindung an die BTU Cottbus und die TU Dresden ein Schwerpunkt für Großkraftwerke sowie thermische und stoffliche Netze mit entsprechender Anschubfinanzierung in den Ländern Brandenburg und Sachsen aufgebaut werden.</p>

	<p>Die abschließenden Standortentscheidungen trifft der FhG-Senat.</p> <p>An dem neuen Fraunhofer-Institut für Energieinfrastruktur und Geothermie soll anwendungsorientiert zu den technologischen Herausforderungen im Energiebereich, wie der Integration der erneuerbaren Energie in die Netze oder der Kopplung der traditionell getrennten Energiesektoren Strom, Gas, Wärme und Verkehr, geforscht werden. Bei diesen Forschungsfeldern gibt es noch ein erhebliches Potenzial für die angewandte Forschung, verbunden mit der Chance, neue Wertschöpfungsketten in der Region zu etablieren.</p>
18.	<p>DLR-Institut für CO₂-arme Industrieprozesse in der Lausitz (Cottbus)* / Forschung</p> <p>Mit der Umstellung auf erneuerbare Energien für eine emissionsarme Energieversorgung wird der Braunkohleabbau nach und nach eingestellt. Um gleichzeitig vorhandene Investitionen weiter zu nutzen und Arbeitsplätze zu erhalten, verfolgt das DLR einen Ansatz zur Umrüstung von Kohlekraftwerken zu Speicherkraftwerken. Mit einem neuen DLR-Institut für CO₂-arme Industrieprozesse mit Standorten in Cottbus und Zittau/Görlitz unterstützt das DLR diesen Prozess in einem auslaufenden Braunkohlerevier vor Ort aktiv. Gleichzeitig ergänzt das DLR sein Portfolio und insbesondere seine Arbeiten zu thermischen Energiespeichern um Forschungen zur Umwandlung von Strom in Wärme im Großmaßstab.</p>
19.	<p>Stärkung zukunftsweisender Forschungsschwerpunkte an der BTU Cottbus* / Forschung</p> <p>Erforderlich ist die Stärkung bestehender universitärer Forschungsansätze in der Lausitz, die die Strukturentwicklung in der Lausitz nachhaltig beeinflussen und positive Impulse für die Wirtschaft und Regionalentwicklung setzen können. Bedeutsam hierfür ist u. a. der folgende Profilbereich der BTUCS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energiespeicherung und Sektorenkopplung, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit, Energiewandlung und Energiewende
20.	<p>Integrierter Auf- und Ausbau von Innovationsstandorten** / Forschung</p> <p>(Einschließlich Innovationsstandorte für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien und -Anwendungen)</p> <p>Nach dem Vorbild der Entwicklung des Wissenschaftsparks Potsdam-Golm hin zu einem integrierten Innovationszentrum mit hoher wissenschaftlicher Kompetenz, intensiver Ausgründungsaktivität und Ansiedlung innovativer Hightech-Unternehmen sollte einen entsprechenden Prozess für Cottbus und Senftenberg aufgelegt werden. Ziel ist es, ein oder zwei Innovationsstandorte in der Lausitz zu definieren, die aufbauend auf den vorhandenen Potenzialen von Wissenschaft und Unternehmen ausgebaut und weiterentwickelt werden. Für einen derartigen dialogorientierten Prozess, in dem alle Stakeholder auf Landes-, kommunaler und Universitätsseite einzubeziehen wären, ist eine Steuerung und eine Einbeziehung internationaler Erfahrungen notwendig.</p>

21.	<p>Kompetenzregion Lausitz** / Kompetenzzentrum</p> <p>Gesamtprozess zur Fachkräfteentwicklung in der Lausitz mit folgenden Teilprojekten/-elementen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • „Innovatives Lernzentrum Lausitz“ (ILL) – Projekt in Federführung des MASGF, das entlang der Bildungskette für berufliche Zukunftsperspektiven in der Region wirbt, diese erlebbar macht und entsprechende Schlüsselkompetenzen, einschließlich in Wasserstofftechnologien, vermittelt, • „Leistungszentrum Westlausitz“ – Projekt von BASF Schwarzheide GmbH und TÜV Rheinland Akademie; in Lauchhammer zur Qualifizierung von Fachkräften und Auszubildenden mit dem Schwerpunkt Digitalisierung und Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien.
22.	<p>Weiterentwicklung des Oberstufenzentrums OSL als Kompetenzzentrum „Digitalisierung in der dualen Ausbildung“ im Bereich Energie und Mobilität * / Kompetenzzentrum</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung des OSZ OSL zu einem Kompetenzzentrum „Digitalisierung im Bereich Energie und Mobilität“, • Schwerpunkt auf der dualen Ausbildung bzw. im Bereich der Umschulung, • OSZ wird eng mit den umliegenden Ausbildungsbetrieben zusammenarbeiten und zukunftsweisende Schnittstellen zwischen Schule und Beruf (Lernortkooperation Berufsschule-Ausbildungsbetrieb) schaffen, • Durch eine geplante Kooperation mit der BTU Cottbus-Senftenberg etabliert sich ein kontinuierlicher Wissenstransfer zu aktuellen Entwicklungen im Bereich Energie und Mobilität in das OSZ.
23.	<p>Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung / Netzwerk</p> <p>Bildung und Förderung vom Land bzw. von Bund eines Clusters Hy-Industrie-Brandenburg zur Vernetzung von Unternehmen und Wissenschaft- und Forschungseinrichtungen mit Fokus auf Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien und deren Einsatz im Verkehr, in der Industrie und im Wärme- und Stromsektor.</p>

* Projektvorschläge, die im Bericht der Kohlekommission enthalten sind.

**Projektvorschläge der Kohlekommission zur Anwendung anderer Technologien, die durch Wasserstoff- und Brennstofftechnologien ersetzt werden können.

8.2 Markthochlaufphase

Nr.	Maßnahmen & Projekte / Bereiche
1.	<p data-bbox="277 349 1166 383">Referenzkraftwerk Lausitz * / Integriertes Energiekonzept</p> <p data-bbox="277 416 1007 450">(aufbauend auf dem Projekt in der Einführungsphase)</p> <p data-bbox="277 483 1396 622">Die Projektpartner planen die Installation eines Stromspeichers in einer für die allgemeine Energieversorgung relevanten Größenordnung am Standort des Kraftwerkes Schwarze Pumpe mit Tagebau, Industriepark und kommunaler Fernwärmeanbindung.</p> <p data-bbox="277 656 1396 835">Der Schwerpunkt dieses Projektes liegt auf der Einbindung und intelligenten Vernetzung einer großen Batteriespeichereinrichtung in einen komplexen Standort aus Kraftwerk und Industrieanlagen. Der Standort soll gezielt nachhaltig zukunftsfähig entwickelt werden. Gleichzeitig soll ein Konzept zur Übertragung auf andere Standorte der Partner entwickelt werden.</p> <p data-bbox="277 869 355 902">Ziele:</p> <ul data-bbox="277 936 1396 1675" style="list-style-type: none"><li data-bbox="277 936 1396 1003">• Ergänzung eines bestehenden Kraftwerksstandortes um neue Technologien im industriellen Maßstab (Wertschöpfung 20 Jahre +),<li data-bbox="277 1037 1396 1104">• Entwicklung allgemeingültiger Ansätze zur Übertragbarkeit auf andere Standorte (Generieren von Exportlösungen aus der Lausitz),<li data-bbox="277 1137 1396 1205">• Perspektivisch Kombination mit weiteren Erzeugungstechnologien inner- und außerhalb des Standortes (Vernetzung der Energieregion),<li data-bbox="277 1238 1396 1305">• Aufbau innovativer Regelungssysteme im Charakter eines „technologieoffenen virtuellen Kraftwerkes“,<li data-bbox="277 1339 1396 1406">• Innovative Erbringung von Systemdienstleistungen, Bewertung und Optimierung der netzstützenden Funktionen des Gesamtsystems,<li data-bbox="277 1440 1094 1473">• Optimierung eines heterogenen Erzeugerpools am Markt,<li data-bbox="277 1507 1396 1574">• Flexibilisierung/Einsatzoptimierung des konventionellen Kraftwerkes Schwarze Pumpe in Kombination mit neuen Technologien,<li data-bbox="277 1608 1396 1675">• Koppelung mit dem KW-Standort Boxberg und den Tagebauen Nochten/Reichwalde möglich (überregionale Wirkung). <p data-bbox="277 1709 1396 1848">Entwicklung von Randbedingungen zur Schaffung eines Premium-Strom-Standortes, als Standortfaktor mit technischen Anlagen, welche inselbetriebsfähig und schwarzfallfest/schwarzstartfähig sind, um eine maximale Versorgungssicherheit bieten zu können.</p> <p data-bbox="277 1881 1299 1915">Projektpartner: Lausitz Energie Kraftwerke AG, Lausitz Energie Bergbau AG</p>

<p>2.</p>	<p>Wasserstoffregion Lausitz / Integriertes Energiekonzept</p> <p>(aufbauend auf dem Projekt in der Einführungsphase)</p> <p>Das langfristige Ziel ist die 100%ige Umstellung der Energieversorgung in der Lausitz auf erneuerbare Energien (Strom und Wasserstoff). Dafür soll vor Ort eine klimaneutrale Wasserstoffwirtschaft aufgebaut werden. Das Projekt hat die klare Vorgabe, entlang der Wertschöpfungskette von EE-Erzeugung, über Umwandlung in Wasserstoff mithilfe von Elektrolyseuren, den Transport über das Gasnetz und bis die Nutzung in Industrie, Verkehr und der Wärmeversorgung Arbeitsplätze vor Ort zu schaffen. Dabei werden Geschäftsmodelle entwickelt, die sich dauerhaft ohne Förderung tragen und damit einen echten Beitrag zur Weiterentwicklung der Region leisten.</p> <p>Wasserstoffbezogene Elemente des Konzeptes:</p> <p>Aufbau von Elektrolyseuren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50-100 MW in Bahnsdorf (Lausitz). <p>Aufbau lokaler Wasserstoffnetze</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wasserstoffnetze in der Lausitz, • Umstellen erster Straßenzüge auf 100 % H₂. <p>Wärme:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Austausch fossiler Heizkessel durch Brennstoffzellen, • Graduelles Beimischen von: erneuerbarer Wärme (Strom und/oder Wasserstoff) ins Fernwärmenetz; erneuerbarem Wasserstoff ins Erdgasnetz. <p>Verkehr:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50 H₂-Busse für den ÖPNV in der Lausitz, • Prüfung der Umstellung von Diesel-Bahnstrecken auf Wasserstoff. <p>Industrie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Teillieferung des industriellen Wasserstoff-Bedarfs am Standort Industriepark Schwarze Pumpe (und ggf. Industriepark Schwarzheide). <p>Projektpartner: ENERTRAG AG, Ontras Gastransport GmbH, IKEM</p>
<p>3.</p>	<p>Smart Grid Lausitz* / Integriertes Energiekonzept</p> <p>Die besondere Situation in der Lausitz und die laufende energetische Transformation prädestinieren die Region im Land Brandenburg zu einem „Smart Grid Piloten“. Ein Schwerpunkt könnte die Smart City Cottbus sein. Es eröffnet sich die Chance zur Entwicklung einer Vorzeigeregion für die Transformation der Energiesysteme von der Kohle hin zu erneuerbaren Energien. Weitere Schwerpunkte könnten intelligentes Energiemanagement und auf erneuerbaren</p>

	<p>Energien basierende Mobilität sein.</p> <p>Das Projekt befindet sich derzeit noch in einer frühen Konzipierungsphase. Ein besonderes Merkmal dieses Konzepts ist, dass es stark auf einen systemischen Ansatz setzt. Die Einbindung weiterer Städte aus der Region wird angestrebt, um die hieraus entstehenden Verbund- und Größenvorteile nutzen zu können.</p> <p>Ein Bestandteil des Projektes könnten systemdienliche Wasserstoffherstellung mittels Elektrolyse, H₂-Tankstellen und H₂-Busse in ÖPNV, H₂-Einspeisung ins Gasnetz und H₂-Rückvestromung sein.</p>
4.	<p>Wasserstoffbusse für den ÖPNV und Sonderfahrzeuge in Brandenburg / Verkehr</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umstellung aller Busse für den ÖPNV in Cottbus auf Wasserstoff, • 50 H₂-Busse für den ÖPNV in der Lausitz, • H₂-Busse für den ÖPNV in Brandenburg, • H₂-Sonderfahrzeuge, wie z. B. Müll- und Straßenreinigungsfahrzeuge, in Potsdam und Cottbus, • Ausbau des Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur.
5.	<p>Umstellung von Diesel-Bahnstrecken auf Wasserstoff** / Verkehr</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umstellung von 50 % der nichtelektrifizierten Bahnstrecken auf Wasserstoff u. a.: <ul style="list-style-type: none"> - Berlin-Cottbus-Horka-Görlitz-Wroclaw, - Dresden-Kamenz-Hoyerswerda-Spremberg (inkl. Schwarze Pumpe), • Ausbau der Infrastruktur von H₂-Eisenbahntankstellen.
6.	<p>Erzeugung und Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff in der PCK-Raffinerie in Schwedt zur Herstellung von konventionellen Kraftstoffen (zweite Ausbaustufe) / Industrie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufbau von bis zu 200 MW Elektrolyseleistung zur Wasserstoffherstellung, • Aufbau einer Anlage zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe. <p>Ersatz von fossilem Wasserstoff durch erneuerbaren Wasserstoff, um den H₂ net demand bei der Herstellung der konventionellen Kraftstoffe zu decken; Produktion von synthetischen Kraftstoffen für den Straßen- und Luftverkehr.</p>
7.	<p>Erzeugung und Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff im Stahlwerk in Eisenhüttenstadt zur Herstellung von emissionsarmem Stahl (zweite Ausbaustufe) / Industrie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufbau von bis zu 100 MW Elektrolyseleistung zur Wasserstoffherstellung,

	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau einer Direktreduktion-Anlage zur Stahlproduktion.
8.	<p>Erneuerbarer Wasserstoff in der Chemischen Industrie / Industrie</p> <p>Nutzung von grünem Wasserstoff in chemischen Umwandlungsprozessen.</p>
9.	<p>Industriellen Wasserstoffspeicher / Energieindustrie</p> <p>Umbau der existierenden und nicht genutzten Speicher.</p>
10.	<p>Ansiedlung einer Produktion von Anlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen / Anlagenbau</p> <p>Die synthetischen erneuerbaren Energieträger, die im Großteil nach Deutschland importiert werden, sind ein entscheidender Faktor, um die Klimaziele für 2050 zu erreichen. Sie decken im Jahr 2050 zwischen 150 und 900 TWh/a in allen Anwendungsbereichen ab, die durch eine direkte Nutzung erneuerbaren Stroms ihre THG-Emissionen nicht oder nur schwer reduzieren können. Um erfolgreich eine Produktion von Anlagen zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen in Brandenburg anzusiedeln, sollte frühzeitig eine Konsolidierung und Spezialisierung der Akteurslandschaft stattfinden und hochqualifizierte Fachkräfte angelockt und ausgebildet werden.</p> <p>Die NPM hat für 2030 einen Bedarf von erneuerbaren synthetischen Kraftstoffen von 2,1 bis 8,4 %, bezogen auf den gesamten Energiebedarf des Verkehrssektors, ermittelt.</p> <p>Um Elektrolyseure zur Bereitstellung der erwarteten Wasserstoffmengen herstellen zu können, werden Investitionen in vollständig neue, spezifische Produktionsstätten und Fertigungsanlagen erforderlich.</p> <p>Für einen Markthochlauf sind die Standardisierung der Anlagenkomponenten und die Optimierung der Anlagenkonzepte von größter Bedeutung.</p> <p>Die Ansiedlung der Produktion von Anlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen wird den Wirtschaftsort Brandenburg stärken und neue Zielmärkte außerhalb der EU erschließen.</p>
11.	<p>Ansiedlung einer Fahrzeugbauindustrie / Fahrzeugbau</p> <p>Die NPM hat einen Zielkorridor für den Antriebswechsel im Jahr 2030 von 7 bis 10,5 Mio. E-Pkw im Bestand, sowie der Einsatz von E-Lkw und E-Bussen sowie der Wechsel auf weitere Antriebsarten in allen Fahrzeugsegmenten (H₂, Gas, LNG) ermittelt.</p> <p>Diese Ziele eröffnen signifikante Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale im Bau und Umrüstung von wasserstoffbetrieben Fahrzeugen. Anhand der verfügbaren Kompetenzen und bereits angesiedelten Unternehmen könnten die folgenden Geschäftsfelder von Bedeutung für Brandenburg sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neu- und Umbau von H₂-Bussen,

	<ul style="list-style-type: none"> • Kleinserienproduktion von H₂-Pkw und leichten Nutzfahrzeugen, • Umbau von Mining Trucks auf Wasserstoff bzw. Entwicklung von lizenzierten Modellumbaukästen (für den weltweiten Export), • Nachträgliche Ausstattung von O-Bussen mit H-Range-Extender bzw. Entwicklung von lizenzierten Modellumbaukästen.
12.	<p>Aufbau von einer Teststrecke für wasserstoffbetriebenen Fahrzeuge auf dem Lausitzring / Fahrzeugbau</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wasserstoffherstellung vor Ort, • H₂-Tankstelle, • Messen des H₂-Verbrauchs.
13.	<p>Entwicklung, Bau und Umrüstung von H₂-Zügen im Eisenbahnwerken in Eberswalde und in Wittenberge / Fahrzeugbau</p> <p>Nach der NPM wird der Schienengüterverkehr bis 2030 einen Anteil von bis 25 % an der Transportleistung im Güterverkehr haben, dies entspricht einer Steigerung der Güterverkehrsleistung gegenüber 2015 von 70 %. Der Anteil des Schienenpersonenverkehrs sollte 12 % betragen, dies entspricht eine Steigerung der der Personenverkehrsleistung von 53 % beim Schienenpersonenverkehr.</p> <p>Aufbauend auf bestehenden Kompetenzen und Erfahrungen in Eisenbahnwerken in Wittenberge und Eberswalde ggf. in Cottbus könnte ein neues Geschäftsfeld in Entwicklung, Bau und Umrüstung von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenzügen entstehen.</p> <p>Die Schienenfahrzeugbau Wittenberge ist eine anerkannte Werkstatt, die das komplette Leistungsspektrum rund um die Instandhaltung und Wartung jeglicher Schienenfahrzeuge, einschließlich Lokomotive und Triebfahrzeuge, in Deutschland anbietet. Die Schienenfahrzeugbau Wittenberge GmbH verfügt über eine eigene Achssenke mit einem Gewicht von bis zu 30 t. Hiermit besteht die Möglichkeit, komplette Radsätze, sowie Fahrmotoren beliebiger Lokomotiven oder Waggons auszubauen und auszuwechseln.</p> <p>Die Werkstatt in Eberswalde steht für Instandhaltung, Instandsetzung und Umbauten von Güterwagen auf höchstem Niveau. Schwerpunkte der Werkstatt liegen in der Radsatzaufarbeitung sowie in umfassenden Leistungen beginnend von Revisionen bis hin zur schweren Instandhaltung.</p> <p>Zusätzlich zu der lokalen Umrüstung der Fahrzeuge wäre die Entwicklung und Vertrieb von lizenzierten Modellumbaukästen zum Umbau von bereits global im Einsatz befindlichen Fahrzeugmodellen, die eine hohe Marktdurchdringung aufweisen, eine Diversifizierungsoption für die vorgenannten Unternehmen.</p>

* Projektvorschläge, die im Bericht der Kohlekommission enthalten sind.

**Projektvorschläge der Kohlekommission zur Anwendung anderer Technologien, die durch Wasserstoff- und Brennstofftechnologien ersetzt werden können.

9 Anhang

9.1 SWOT-Analyse: Aktivitäten in Bezug auf die künftige Herstellung, Speicherung und Nutzung von erneuerbarem Wasserstoff

Stärken

- Europäische und Nationale Ziele und Strategien für signifikante THG-Minderung
- Energie- und Rohstofftechnisches Know-How, Ingenieurstradition
- EE-Kapazitäten, Erfahrung in Gasspeicherung in industriellem Maßstab und PtG
- Vorhandene Anlagentechnik und erschlossene Industriestandorte
- Gut ausgebaute Gasinfrastruktur mit hohen Transport-, Verteilungs- und Speicherkapazitäten
- Große industrielle Flächen zum Ausbau der erneuerbaren Industrien und zur Wasserstoffherstellung in industriellem Maßstab
- Entwickelte Hochspannungsnetzanbindungen
- Transportlogistik Straße und Schiene
- Leistungsfähige Industrie
- Gut ausgebaute Wassernetze
- Elektrolyseur-Betreiber mit umfassender Erfahrung in Sektorenkopplung und Sektorenintegration
- Starke wissenschaftliche Basis in Elektrolyseur-Technologien und Brennstoffzellen
- Fachkenntnisse in Bezug auf Kompressoren und elektrochemische Kompression, bei der Herstellung von Druck- und Flüssiggasbehältern, bei Metallhydriden und anderen Trägern sowie bei Sensoren für die H₂-Detektion

Schwächen

- Mangel an wirtschaftlicher Wettbewerbsfähigkeit (für grünen und kohlenstoffarmen Wasserstoff) im Vergleich zu anderen Wasserstoffproduktionsverfahren mit hohem Kohlenstoffgehalt, z. B. Methan-Dampfreformierung
- Unsicherheiten bei den konkreten Dekarbonisierungsstrategien auf europäischer und nationaler Ebene verhindern die Investitionen in H₂-Anwendungen und H₂-Produktion in großem Maßstab
- Keine effektiven regulatorischen Anreize, um die Produktion von grünem/kohlenstoffarmem Wasserstoff und daraus produzierten synthetischen Kraftstoffen zu fördern
- Elektrizitäts- und Gassektor-Kopplung wird noch diskutiert, die Rolle der bestehenden Marktakteure für Power-to-Gas ist zu klären (Gas-to-Power ist voll funktionsfähig)

- Derzeit kleiner Markt und hohe Kosten für Wasserstoff-Druckbehälter (H₂-Tanks)
- Technische Herausforderungen bei der Wasserstoffspeicherung in Aquifer-Kavernen
- Technologiefachwissen ist nicht industrialisiert, die Kosten bleiben hoch
- Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge (Pkw, Lkw, Busse) und KWK-Brennstoffzellen sind im Vergleich mit anderen Technologien noch nicht wirtschaftlich (batterieelektrische Fahrzeuge/Wärmepumpen, Geothermie)
- Aktuell begrenzte Möglichkeiten den erneuerbaren Wasserstoff auf die THG-Quote für die in Verkehr gebrachten Kraftstoffen anzurechnen, wenn er mit aus dem Netz bezogenem erneuerbarem Strom erzeugt ist
- Aktuell bestehendes Risiko, dass PtG/PtX-Anlagen auf den über das öffentliche Netz bezogene Strom mit erheblichen Umlagen und Abgaben belastet werden
- Erneuerbarer Wasserstoff ist aktuell auf die Quote für EE im Wärmesektor nicht anrechenbar

Chancen

- Klima- und energiepolitische Ziele: Wasserstoff als Treiber für Dekarbonisierung und saubere Energie (z. B. die RED II unterstützt den erneuerbaren Wasserstoff und möglicherweise Wasserstoff basierende synthetische Kraftstoffe)
- UGS-Potenzial in ausgeförderten Gas- und Ölvorkommen
- Wasserstoffspeicherungspotenzial in Terrawatt-Bereich in Salzkavernen
- Sektorenkopplung und Sektorenintegration bieten ein großes Potenzial für die Expansion des H₂-Marktes
- Ein neuer Rechtsrahmen könnte die Wasserstoffnachfrage und -nutzung in unterschiedlichen Anwendungen extrem erhöhen und fördern
- Die hohe EE-Zuwachsrates erhöht die Nachfrage nach großen, flexiblen mittel- bis langfristigen (saisonalen) Energiespeichern und Ausgleichsdienstleistungen
- Hochdruckgasleitungen können im Vergleich zum Stromnetz wesentlich größere Volumen kostengünstig transportieren (mehr als 20 GW im Vergleich zu einem Stromnetz mit max. 3 GW)
- Wasserstoff, der mit erneuerbarem Strom aus dem Netz erzeugt wird und von Abgaben, Umlagen und Netzgebühren befreit ist, kann wirtschaftlich mit anderen Technologieoptionen konkurrieren
- Entwicklung neuer Endanwendungen und Geschäftsfelder mit H₂-Infrastruktur (in der chemischen Industrie, in der Stahlproduktion)

Risiken

- Mangelnde Anreize für kohlenstoffarmen und/oder erneuerbaren Wasserstoff behindern den Einsatz/die Nutzung von Wasserstoff

- Dominanz außereuropäischer Wettbewerber (z. B. drastisch niedrigere Preise für H₂ aus Asien)
- Keinen wirklichen Speicherbedarf (z. B. saisonal), bevor ein hoher Anteil an intermittierender Produktion im Strommix erreicht wird
- Sicherheitsbedenken, Akzeptanz der Öffentlichkeit bei schweren Unfällen
- Technologische Alternativen (die früher entwickelt wurden) behindern die H₂-Entwicklung und -Einsatz
- Die Technologiekosten sinken nicht wie erwartet
- Die Industrialisierung senkt die Kosten möglicherweise nicht so schnell wie erwartet oder erforderlich

9.2 SWOT-Analyse: Ansiedlung von Wasserstoffindustrie und von wasserstoffbezogenen Forschungs-, Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen sowie Bildung von Kompetenzzentren und einem Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung

Stärken

Wasserstoffindustrie

- Starke Forschungsbasis in der Elektrolyseurtechnologie und -wissenschaft (H₂-Forschungszentrum der BTU Cottbus-Senftenberg)
- Technologiekompetenz in Energietechnik und Innovationsfähigkeit sowie der Einsatz von erneuerbaren Energien sind bereits vorhanden
- Regional ansässige Elektrolyseuren-Hersteller (McPhy in Wildau, Sunfire in Dresden, Garforce in Berlin)
- Reife Elektrolyseurtechnologie mit guter Zuverlässigkeit (z. B. für AEL, PEMEL)
- Erfahrung im Kraftwerkskomponentenbau
- Erfahrung im Straßen- und Schienenfahrzeugbau und -umbau
- Gut ausgebildeten Fachkräfte aus dem Braunkohlesektor als wertvolle Ressource für die zukünftige Strukturentwicklung

Forschungs-, Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen

- Vorhandene Forschungseinrichtungen – BTU Cottbus
- Bereits existierende Testzentren: u. a. Brenner-Testzentrum für Gasturbinen (Siemens, Ludwigsfelde); Mechanical Test Operation Centre (MTOC) von Rolls-Royce in Dahlewitz
- Hochqualifizierte Fachkräfte und moderne Prüfstände für Luftfahrtantriebe des unteren bis mittleren Schub- und Leistungsbereichs, Industriegasturbinen
- Prüfstände für Wellenleistungs- und Strahltriebwerke, europaweit einzige Serien-Testeinrichtung für den Antrieb des neuen Militärtransporters A400M von Airbus

Kompetenzzentren und Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung

- Starke und koordinierte Forschungs- und Entwicklungsgemeinschaft; dynamische Wettbewerbscluster und Regionen, die sich für erneuerbaren Energien und Wasserstofftechnologien einsetzen; Industrie vor Ort (Stahlindustrie, Metallerzeugung und Metallverarbeitung, Chemieindustrie, Maschinen- und Anlagenbau, Fahrzeugindustrie), KMU, Start-ups

Schwächen

- Kleine und fragmentierte Industrie (Elektrolyseure) und wenig (unzureichende) Supply-Chain-Optimierung

- Derzeit gibt es keine regulatorischen Anreize, um die Elektrolyseur-Produktion zu fördern
- Mangel an Technologie-, Markt- und Geschäftsstrategien - teilweise mangelnder Konsens über die Wahl der Technologie
- Mangel an Markt, der eine „natürliche“ Auswahl der relevanten Produkte ermöglicht (keine kritische Masse) / schlechte Geschäftsgrundlage für einzelne Einheiten (keine Skaleneffekte)

Chancen

Durch die finanziellen Zusagen des Bundes zur Kompensation des Strukturwandels in den Kohlerevieren verfügt Brandenburg über die finanziellen Ressourcen, die Ansiedlung einer Wasserstoffindustrie finanziell zu begleiten. Gleichzeitig können diese finanziellen Mittel aufgrund der aktuellen europäischen Strategie zur Stärkung der Wasserstoffwirtschaft durch entsprechende europäische Finanzausschüsse ergänzt werden.

Wasserstoffindustrie

- Supply-Chain-Crossover mit FC könnte zur Kostensenkung beitragen
- Keine etablierten Standorte einer industriell modularisierten Produktionsfertigung von Elektrolyseursystemen – Basis für die Ansiedlung gemeinschaftlicher Fertigungs- und EPC-Unternehmen für Elektrolyseure bzw. Gesamtsystemen
- Schaffung neuer Arbeitsplätze bei der Herstellung von Elektrolyseuren für Deutschland, die EU und die Weltmärkte
- Die Palette der H₂-Produktionstechnologien ist eine Chance, erfordert jedoch eine Strategie, um Produktionsoptionen zu reduzieren und kritische Masse zu schaffen

Forschungs-, Prüf- und Zertifizierungseinrichtungen

- Anknüpfend an bestehende Kompetenzen und Forschungsprofile gibt es Potenziale für weitere technologieorientierte Ausgründungen
- Abschlussbericht der Kohlekommission beinhaltet zahlreiche Empfehlungen für die Ansiedlung unterschiedlicher Forschungseinrichtungen im Bereich der zukunftsorientierten Energietechnologien, die mit den bestehenden verknüpft werden sollen

Kompetenzzentren und Netzwerk für Wasserstoff und Sektorenkopplung

- Energiespezifische Kompetenzen können weiterentwickelt werden
- Ein technologieübergreifender Wasserstoffcluster kann wichtige Akteure aus der Region zusammenbringen und als Dialogplattform für die Energiewende in Brandenburg dienen
- Ausbildungsstandorte der LEAG können erhalten und weiterentwickelt werden

Risiken

- Dominanz außereuropäischer Wettbewerber
- Wettbewerb mit anderen Bundesländern
- Verlust an Wertschöpfung, falls es nicht gelingt, auch bei den bahnbrechenden Technologien eine Führungsposition zu bekommen.
- Die Industrialisierung kann außerhalb der EU stattfinden oder die Kosten sinken nicht wie erwartet

9.3 Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft

Im Folgenden werden die bestehenden Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft in der Metropolregion Berlin-Brandenburg, die eine Rolle bei dem Einsatz von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien spielen könnten, aufgeführt. Genannte Forschungseinrichtungen und Unternehmen sind als Beispiele zu verstehen. Eine Darstellung aller Akteure ist nicht möglich.

Wissenschaft

- BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung Berlin / www.bam.de
- Beuth Hochschule für Technik Berlin / www.beuth-hochschule.de
- Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg / www.b-tu.de
- Fachhochschule Potsdam / www.fh-potsdam.de
- Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen Konstruktionstechnik (IPK) Berlin / www.ipk.fraunhofer.de
- Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien Energie / www.helmholtz-berlin.de
- Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde / www.hnee.de
- Hochschule für Technik und Wirtschaft / www.htw-berlin.de
- Reiner Lemoine Institut gGmbH / www.reiner-lemoine-institut.de
- Technische Hochschule Brandenburg / www.fh-brandenburg.de
- Technische Hochschule Wildau / www.th-wildau.de
- Technische Universität Berlin / www.tu-berlin.de
- Universität Potsdam / www.uni-potsdam.de

Wirtschaft

- ArcelorMittal Eisenhüttenstadt GmbH / www.arcelormittal-ehst.com
- Barnimer Energiegesellschaft mbH / www.beg-barnim.de
- BASF Schwarzheide GmbH / www.basf.com
- DB Fahrzeuginstandhaltung GmbH / www.db-fzi.com
- Deutsche Eisenbahn Service AG / www.desag-holding.de
- Cottbusverkehr GmbH / www.cottbusverkehr.de
- E.DIS AG / www.e-dis.de
- Energiequelle GmbH / www.energiequelle.de
- ENERTRAG AG / www.ENERTRAG.com

- Entelios AG / www.entelios.de
- Ferrostaal Maintenance Eisenhüttenstadt GmbH / www.dsd-ehs.com
- GASAG AG / www.gasag.de
- Helmholtz-Zentrum Potsdam / Deutsches GeoForschungs Zentrum GFZ / www.gfz-potsdam.de
- HKW Heizkraftgesellschaft Cottbus mbH / www.stadtwerke-cottbus.de
- KSC Kraftwerks-Service Cottbus Anlagenbau GmbH / www.ksc-anlagenbau.de
- Lausitz Energie Bergbau AG / www.leag.de
- MAP Maschinen- und Apparatebau Produktions GmbH / www.map-rathenow.de
- McPhy Energy Deutschland GmbH / www.mcphy.com
- Mercedes-Benz Ludwigsfelde GmbH / www.mercedes-benz.de
- Mitteldeutsche Netzgesellschaft Strom GmbH / www.mitnetz-strom.de
- Mitteldeutsche Netzgesellschaft Gas GmbH / www.mitnetz-gas.de
- NBB Netzgesellschaft Berlin-Brandenburg mbH & Co.KG / www.nbb-netzgesellschaft.de
- Niderbarnimer Eisenbahn AG / www.neb.de
- ONTRAS Gastransport GmbH / www.ontras.com
- PCK Raffinerie GmbH / www.pck.de
- Reuther STC GmbH / www.reuther-stc.com
- Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co. KG / www.rolls-royce.com
- Siemens AG / www.siemens.com
- Schienenfahrzeugbau Wittenberge GmbH / www.sf.wittenberge.de
- UKA Cottbus Projektentwicklung GmbH / www.uka-gruppe.de
- Viessmann Werke Berlin GmbH | Viessmann Industriekessel Mittenwald / www.viessmann.de

Literaturverzeichnis

- AEE (2018) Agentur für Erneuerbare Energien e.V.: Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen in Bundesländern, Analyse des Standes und der Entwicklung bei Energieverbrauch und Klimaschutz. In: Renew Compact 42 der AEE, 2018
- ASUE (2014) ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.: Power to Gas. Erzeugung von regenerativem Erdgas, 2014
- BCG (2018) The Boston Consulting Group GmbH; Prognos AG: Klimapfade für Deutschland, 2018
- BDEW (2015) BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: Wie heizt Deutschland?, BDEW-Studie zum Heizungsmarkt, 2015
- BMVI (2013) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung – Energie auf neuen Wegen, 2013
- BMWi (2019) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Entwurf für eine Nationale Industriestrategie 2030, Strategische Leitlinien für eine deutsche und europäische Industriepolitik, 2019
- BMWi (2019a) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Eckpunkte zur Umsetzung der strukturpolitischen Empfehlungen der Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ für ein „Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen“, 2019
- BMU (2018) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Klimaschutz in Zahlen Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik, Ausgabe 2018
- BNetzA (2019) Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen: Netz- und Systemsicherheitsmaßnahmen Gesamtjahr und Viertes Quartal 2018
- COM/2017/0653 EU-Kommission: Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge, COM/2017/0653 final
- COM/2018/284 EU-Kommission: Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festlegung von CO₂-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge, COM/2018/284 final
- COM 2018/773 EU-Kommission: Ein sauberer Planet für alle – Eine Europäische strategische, langfristige Vision für eine wohlhabende, moderne, wettbewerbsfähige und klimaneutrale Wirtschaft, COM 2018/ 773 final

- COM 2011/144 EU-Kommission: Weißbuch, Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem, COM 2011/144
- Crotogino & Hamelmann (2008) Crotogino, F.; Hamelmann, R.: Wasserstoff-Speicherung in Salzkavernen zur Glättung des Windstromangebots, 2008
- DBI-GTI (2016) DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH: Wirtschaftliche Bewertung der HYPOS-Wertschöpfungsketten zur Wasserstofferzeugung im Kontext der verschiedenen Nutzungspfade – H2-Index, im Rahmen des Innovationsprojektes Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany (HYPOS), 2016
- DBI GUT (2018) DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, Machbarkeitsstudie Sperenberg, Januar 2018
- dena (2019) Deutsche Energie-Agentur GmbH; Bundesverband der deutschen Industrie e.V.; Initiative Energiesysteme der Zukunft: Expertise bündeln, Politik gestalten – Energiewende jetzt!, Essenz der drei Grundsatzstudien zur Machbarkeit der Energiewende bis 2050 in Deutschland, 2019
- dena (2018) Deutsche Energie-Agentur GmbH: dena-Leitstudie Integrierte Energiewende, Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050, 2018
- De Vita (2018) De Vita, A.; Capros, P.; Evangelopoulou, S.; Kannavou, M.; Siskos, P.; Zazias, G.; Boeve, S.; Bons, M.; Winkel, R.; Cihlar, J.; De Vos, L.; Leemput, N.; Mandatova, P.: Sectoral integration- long-term perspective in the EU Energy System, 2018
- DMT (2017) DMT GmbH & Co. KG: Potentialanalyse Bergbau- und Kraftwerkskompetenzen in der Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg, 2017
- DVGW (2019) Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.: Potenzialstudie von Power-to-Gas-Anlagen in deutschen Verteilungsnetzen, 2019
- DVGW (2017) Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.: Der Energie-Impuls – ein Debattenbeitrag für die nächste Phase der Energiewende, 2017
- DWV (2018) Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen- Verband e.V.: HyLaw, Nationales Strategiepapier – Deutschland, 2018
- ENCON & LBST (2018) ENCON.Europe GmbH, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH: Potenzialatlas für Wasserstoff, Analyse des Marktpotentials für Wasserstoff, der mit erneuerbarem Strom hergestellt wird, im Raffineriesektor und im zukünftigen Mobilitätssektor, 2018
- ECF (2018) European Climate Foundation: Net Zero by 2050: from whether to

- how, 2018
- Navigant (2019) Navigant Netherlands B.V.: Gas for Climate. The optimal role for gas in a net-zero emissions energy system, 2019
- EID (2017) EID Energie Informationsdienst GmbH: Untertage-Gasspeicherung in Deutschland. In: ERDÖL ERDGAS KOHLE, 133 Jg. 2017 Heft 11 409
- e-mobil (2014) e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie (e-mobil); Cluster Brennstoffzelle BW c/o e-mobil BW GmbH;): Die Rolle von Wasserstoff in der Energiewende, Entwicklungsstand und Perspektiven, 2014
- e-mobil (2012) e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie (e-mobil); Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW); WBZU GmbH; Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Energieträger der Zukunft, Potenziale der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg, 2012
- EnergieAgentur.NRW (2018) EnergieAgentur.NRW GmbH: Wasserstoff – Schlüssel zur Energiewende, Beispiele aus Nordrhein-Westfalen von der Herstellung bis zur Nutzung, 2018
- FCH 2 JU (2019) Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking: Hydrogen Roadmap Europe, 2019
- GridLab (2015) GridLab GmbH; B.A.U.M. Consult GmbH; NEW ENERGY Capital Invest GmbH: Fachstudie zur Umsetzung der Energiewende in der 50Hertz-Regelzone mit Fokus auf Berlin und Brandenburg, 2015
- Hänel (2018) Hänel, G., Krautz, H.J, Weber, H.: Referenzkraftwerk – Lausitz, Vom Braunkohlenkraftwerksstandort zum Energie- und Industriepark für neue Technologien, Speicherkraftwerk mit Sektorenkopplung, 2018
- HE (2018) Hydrogen Europe: Hydrogen, enabling a zero emission Europe, Technology Roadmaps, Full pack, 2018
- Höding (2014) Höding, T.: Nutzung und Potenziale des tiefen Untergrundes in Brandenburg, Teil 1: Kohlenwasserstoffe, tiefliegende feste mineralische Rohstoffe, Speicherpotenziale, 2014
- IE Leipzig (2018) Leipziger Institut für Energiewende, Ermittlung des Speicherbedarfs Erneuerbarer Energien auf der Nauener Platte, 2018
- IEA (2019) International Energy Agency: The Future of Hydrogen, Seizing today's opportunities, 2019
- IEA (2017) International Energy Agency: Energy Technology Perspectives, 2017
- Innoverse (2017) Innoverse GmbH: Entwicklungsstrategie für den Schienenpersonennahverkehr (SPNV) in Berlin und Brandenburg,

2017

- IÖW (2017) Institut für ökologische Wirtschaftsforschung: Mehrwert einer regionalen Energiewende im Lausitzer und im Rheinischen Revier, Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale durch den Ausbau von Photovoltaik und Windenergie, 2017
- JRC (2019) Joint Research Centre EU: Hydrogen use in EU decarbonisation scenarios, 2019
- Kohlekommission (2019) Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“: Abschlussbericht, Beschluss vom 26.01.2019, 2019
- LBGR (2010) Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg: Atlas zur Geologie von Brandenburg - 4. aktualisierte Auflage 2010
- LBST (2019) Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH: Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen, 2019
- LBST (2018) Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH: Intelligente Sektorenkopplung, Ermittlung des volkswirtschaftlichen sowie des klimarelevanten Nutzens mittels Power-to-Gas, 2018
- LBST & dena (2017) Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH; Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): E-Fuels Study, The potential of electricity-based fuels for low-emission transport in the EU, 2017
- MIL (2017) Ministerium für Infrastruktur und Landesplanung des Landes Brandenburg: Mobilitätsstrategie Brandenburg 2030
- Mitzel (2018) Mitzel, J.; Friedrich, K. A.: Wasserstoff und Brennstoffzellen. In: BWK-Energie-Fachmagazin 70 (2018) Nr.5
- MWE (2013) Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten des Landes Brandenburg: Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg, 2013
- MWE (2018) Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten des Landes Brandenburg: ENERGIESTRATEGIE 2030, Katalog der strategischen Maßnahmen, 2018
- NEB (2019) Niederbarnimer Eisenbahn AG: Projekt H2-Heidekrautbahn, 2019
- NIP (2016) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) 2016-2026, 2016
- Nijs (2018) Nijs, W.; Ruiz Castillo, P.; Tarvydas, D.; Tsiropoulos, I.; Zucker, A.: Deployment Scenarios for Low Carbon Energy Technologies, 2018
- NOW (2018) Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH (NOW): Studie IndWEDe, Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme, 2018

NPM (2019)	Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Arbeitsgruppe 1 Klimaschutz im Verkehr: Zwischenbericht 03/2019, Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrssektor, 2019
ÖKO (2017)	Öko-Institute: The Vision Scenario for the European Union, 2017
Sandlaß (2008)	Sandlaß, H.: Studie zu den Grundlagen einer nachhaltigen Wasserstoffbereitstellung und -nutzung im Land Brandenburg, 2008
Shell (2018)	Shell: Sky - Meeting the goals of the Paris Agreement, 2018
Shell (2017)	Shell: Wasserstoff-Studie Energie der Zukunft?, Nachhaltige Mobilität durch Brennstoffzelle und H2, 2017
StMWi (2014)	Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie: Ergebnisprotokoll AG 2 – Beitrag der Speichertechnologien, 2. Sitzung, 05.12.2014
Richtlinie 2018/2001	EU-Parlament; Rat der EU: Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen
Richtlinie 2009/33	EU-Parlament; Rat der EU: Richtlinie 2009/33/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge
Richtlinie 2018/410	EU-Parlament; Rat der EU: Richtlinie (EU) 2018/410 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2018 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Unterstützung kosteneffizienter Emissionsreduktionen und zur Förderung von Investitionen mit geringem CO2-Ausstoß und des Beschlusses (EU) 2015/1814
Richtlinie 2018/844	EU-Parlament; Rat der EU: Richtlinie (EU) 2018/844 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz
Richtlinie 2014/94	EU-Parlament; Rat der EU: Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe
Statistik-BB (2016)	Amt für Statistik Berlin-Brandenburg: Statistischer Bericht E IV 4 – j / 16, Energie- und CO2-Bilanz im Land Brandenburg, 2016
Verordnung (EU) 2019/631	EU-Parlament; Rat der EU: Verordnung (EU) 2019/631 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO2-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011
Verordnung (EU)	EU-Parlament; Rat der EU: Die Verordnung (EU) 2016/1628 des

2016/1628	Europäisches Parlament und des Rates vom 14. September 2016 über die Anforderungen in Bezug auf die Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel und die Typgenehmigung für Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte, zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 1024/2012 und (EU) Nr. 167/2013 und zur Änderung und Aufhebung der Richtlinie 97/68/EG
WFBB (2018)	Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH: Energiestrategie des Landes Brandenburg, 8. Monitoringbericht, 2018
WindNODE (2018)	WindNODE-Jahrbuch 2018
WV Stahl (2017)	Wirtschaftsvereinigung Stahl: Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2017
ZAB (2015)	ZAB ZukunftsAgentur Brandenburg GmbH: Stahl- und Metallindustrie in der Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg, 2015