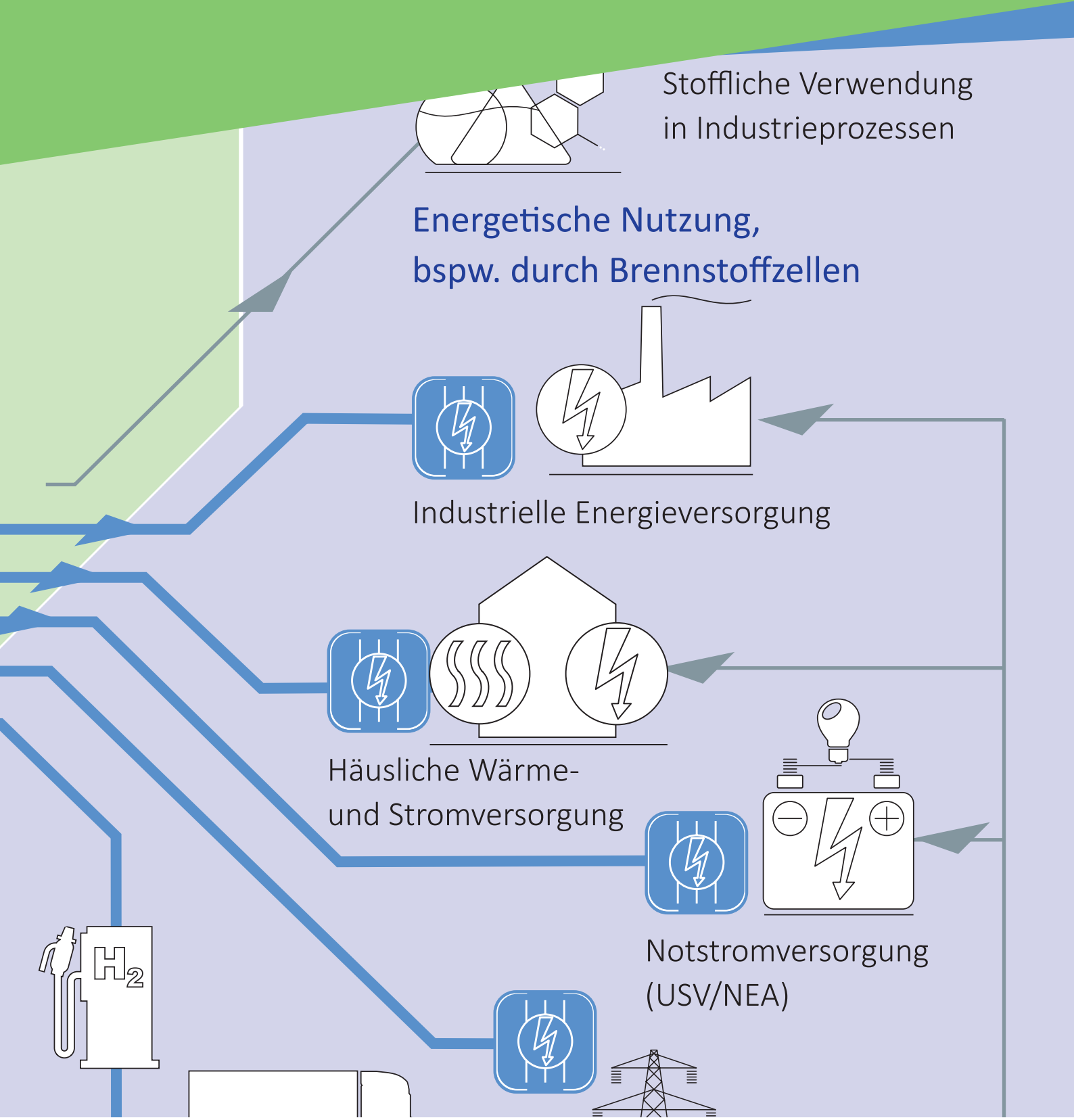


Wertschöpfungspotenziale von Wasserstoff für Sachsen

Potenzialstudie mit Akteurs- und Marktanalyse zu Wasserstofftechnologien und Brennstoffzellen für Sachsen

HZwo Antrieb für Sachsen

Im Auftrag von
HZwo e. V. – Die sächsische Kompetenzstelle
für Brennstoffzellen und grünen Wasserstoff
ALLE RECHTE VORBEHALTEN

Impressum:
HZwo e. V.
c/o TU Chemnitz/Fak. MB/IAF
Reichenhainer Straße 70 | R. C24.310
09126 Chemnitz

Ansprechpartner:
Herr Karl Lötsch
karl.loetsch@hzwo.eu
0371 531 35757

Veröffentlichung:
29. April 2021

Autoren
Kapitel 2 Prof. Dr.-Ing. Thomas von Unwerth, Florian Müller;
Professur Alternative Fahrzeugantriebe, Technische Universität Chemnitz
Nico Keller, HZwo e. V.

Kapitel 3 und 4 Prof. Dr. Prof. h. c. Uwe Götze, Dr. Steve Rother,
Annika Tampe; Professur Unternehmensrechnung und Controlling,
Technische Universität Chemnitz

Redaktion und Handlungsempfehlungen
Nico Keller, Karl Lötsch; HZwo e. V.

Layout, Satz, Grafik
www.punkt191.de

Diese Studie zum Projekt HZwo TRANSFER wird im Rahmen
der Technologieförderung durch das Sächsische Staatsministerium
für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr unterstützt.

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der
Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags
beschlossenen Haushaltes.

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnisse **2**
Inhaltsverzeichnis 2
Abbildungsverzeichnis 3
Tabellenverzeichnis 4
Abkürzungsverzeichnis 4

Zusammenfassung **5**

1 Einleitung **8**
1.1 Motivation 9
1.2 Zielsetzung der Studie 9
1.3 Struktur und Methodik 10

2 Wasserstofftechnologien und ihre Wertschöpfung **12**
2.1 Die energetischen Wasserstoffwertschöpfungsketten 14
2.2 Die Produktwertschöpfung 16
2.3 Wasserstoffherstellung am Beispiel der Elektrolyse 18
2.4 Wasserstoffspeicherung 20
2.5 Wasserstoffanwendung am Beispiel der Brennstoffzelle 22

3 Marktentwicklung im Wasserstoffsegment **24**
3.1 Globale Marktentwicklung 25
3.2 Europäische Marktentwicklung 28
3.3 Deutsche Marktentwicklung 32

4 Sächsische Wirtschaft im Wasserstoffsegment **34**
4.1 Ausgangssituation 35
4.2 Potenzialabschätzung 45
4.3 Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken 54

Handlungsempfehlungen aus der Perspektive des HZwo e. V. **60**

Literaturverzeichnis **66**

Anhang **68**
Anhang 1 – Auszug aus dem Onlinefragebogen 68
Anhang 2 – Teilnehmer der Onlinebefragung 69
Anhang 3 – Liste der betrachteten sächsischen Institutionen 70
Anhang 4 – Experteninterviews 73

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Überblick zur energetischen Wasserstoffwertschöpfung 15
Abbildung 2 Auszug aus der Produktwertschöpfung mit Bezug zu Wasserstofftechnologien 16
Abbildung 3 Funktionsprinzip der alkalischen Elektrolyse 18
Abbildung 4 Funktionsprinzip der PEM-Elektrolyse. 18
Abbildung 5 Funktionsprinzip der Hochtemperatur-Elektrolyse 18
Abbildung 6 Elektrolyseur des sächsischen Unternehmens Sunfire nach dem Verfahren der Hochtemperatur-Elektrolyse mit einer Leistung von 720 kWAC; © Salzgitter AG 19
Abbildung 7 Komponenten eines Typ-4-Druckspeichertanks 21
Abbildung 8 Prognostizierte globale Nachfrage nach Wasserstoff [TWh], Quelle: Hydrogen Council [1] . 25
Abbildung 9 Aufteilung der globalen Nachfrage nach Wasserstoff in Segmente der Wertschöpfungskette für das Jahr 2050 [TWh], Quelle: Hydrogen Council [1] 26
Abbildung 10 Prognostizierte globale Jahresumsätze in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft [Mrd. EUR], Quelle: Hydrogen Council [1]. 26
Abbildung 11 Investitionsbedarf für die Wasserstoffherstellung [Mrd. EUR], Quelle: Hydrogen Council [1] 27
Abbildung 12 Prognostizierte Nachfrage nach Wasserstoff für die Jahre 2030 und 2050 in Europa [TWh] . 29
Abbildung 13 Prognostizierte Umsätze in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in Europa 2030 [Mrd. EUR], Quelle: FCH JU [2]. 30
Abbildung 14 Prognostizierte Arbeitsplätze in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in Europa 2030, Quelle: FCH JU [2] 31
Abbildung 15 Prognostizierte Nachfrage nach Wasserstoff für die Jahre 2030 und 2050 in Deutschland. . 32
Abbildung 16 Prognostiziere Umsätze deutscher Unternehmen in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft 2030 [Mrd. EUR], Quelle: Eigene Berechnung auf Basis der Daten des FCH JU [2] und des statistischen Bundesamts [19] 33
Abbildung 17 Aktuelle Akteurslandschaft Sachsens im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (Mehrfachnennungen möglich) 36
Abbildung 18 Einordnung der Unternehmen in die Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft [n = 56, Mehrfachnennungen möglich], Quelle: Online-Umfrage 39
Abbildung 19 Produktwertschöpfung in Sachsen (Mehrfachnennungen möglich) 39
Abbildung 20 Tätigkeitsbereiche der Unternehmen im Bereich der Produktion/Herstellung von Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellensystemen und/oder Komponenten für diese [n = 26, Mehrfachnennungen möglich], Quelle: Online-Umfrage. 40
Abbildung 21 Tätigkeitsbereiche der Unternehmen im Bereich der Brennstoffzellensysteme und -komponenten [n = 24, Mehrfachnennungen möglich], Quelle: Online-Umfrage 41
Abbildung 22 Akteure gegliedert nach Dienstleistungen und Forschung & Entwicklung (Mehrfachnennungen möglich) 42
Abbildung 23 Akteure gegliedert nach Energieversorgern/Verkehrsunternehmen, Städten/Kommunen/ Wirtschaftsförderungen und Netzwerken/Clustern (Mehrfachnennungen möglich) 43
Abbildung 24 Entwicklungsstadium der Produkte, Quelle: Online-Umfrage 43
Abbildung 25 Aktuelle Umsätze im Wasserstoff-/ Brennstoffzellensegment, Quelle: Online-Umfrage . . . 43
Abbildung 26 Zeiträume der erwarteten Umsätze, Quelle: Online-Umfrage 44
Abbildung 27 Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Sachsen, Quelle: Online-Umfrage 44
Abbildung 28 Systematik der Zuordnung relevanter Wirtschaftszweige 48
Abbildung 29 Umsatzpotenzial sächsischer Unternehmen für das Jahr 2030 [Mio. EUR] 50
Abbildung 30 Entwicklung der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft, Quelle: Online-Umfrage . . . 51
Abbildung 31 Attraktivität des Wasserstoff- und Brennstoffzellenmarktes, Quelle: Online-Umfrage 51
Abbildung 32 Zielmärkte der nächsten 10 Jahre, Quelle: Online-Umfrage. 51
Abbildung 33 Arbeitskräftepotenzial für Sachsen für das Jahr 2030 [Bruttoarbeitsplätze], Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Daten des statistischen Bundesamts [19] 52
Abbildung 34 Prognose der Arbeitsplatzentwicklung, Quelle: Online-Umfrage 53
Abbildung 35 TOWS-Analyse der sächsischen Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft 60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Farbenlehre der Wasserstoffproduktion 13
Tabelle 2 Wissen Wasserstoff 14
Tabelle 3 Verfahren der Wasserstoffherstellung mittels Elektrolyse 18
Tabelle 4 Typen von Druckgasspeichern 20
Tabelle 5 Typen von Brennstoffzellen und ausgewählte Eigenschaften 23
Tabelle 6 Umsätze nach Wirtschaftszweigstatistik, Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Daten von Eurostat [21] und des statistischen Bundesamts [19] 49

Abkürzungsverzeichnis

A-Szenario	Ambitious-Szenario
AFC	Alkalische Brennstoffzelle (engl. Alkaline Fuel Cell)
AMZ	Automobilzulieferer Sachsen
BAU-Szenario	Business-as-usual-Szenario
BHKW	Blockheizkraftwerke
BoP	Systemperipherie (engl. Balance of Plant)
BZ	Brennstoffzelle
BZS	Brennstoffzellensystem
CO_2	Kohlenstoffdioxid
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
DMFC	Direktmethanolbrennstoffzelle (engl. Direct Methanol Fuel Cell)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
ET	Equipment Transport
F&E	Forschung und Entwicklung
FC	Brennstoffzelle (engl. Fuel Cell)
FCH JU	Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking
Fraunhofer ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
H_2	Wasserstoff
HTE	Hochtemperatur-Elektrolyseeinheit
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
kW	Kilowatt
kWAC	Kilowatt Wechselstrom
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier
MaaS	Mobility as a Service
MCFC	Schmelzcarbonat-Brennstoffzelle (engl. Molten Carbonate Fuel Cell)
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik
NEA	Netzersatzanlage
NKW	Nutzkraftwagen
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
OEM	Erstausrüster (engl. Original Equipment Manufacturer)
OH^-	Hydroxidion
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PAFC	Phosphorsaure Brennstoffzelle (engl. Phosphoric Acid Fuel Cell)
PEM	Polymerelektrolytmembran
PEMFC	Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle (engl. Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)
SOC	Festoxidzelle (engl. Solid Oxide Cell)
SOEC	Festoxid-Elektrolyseurzelle (engl. Solid Oxide Electrolyzer Cell)
SOFC	Festoxid-Brennstoffzelle (engl. Solid Oxid Fuel Cell)
TOWS/SWOT	Risiken (engl. threats), Chancen (opportunities), Schwächen (weaknesses) und Stärken (strenghts)
USV	Unterbrechnungsfreie Stromversorgung
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VEMAS	Innovationsverbund Maschinenbau Sachsen
WZ	Wirtschaftszweig

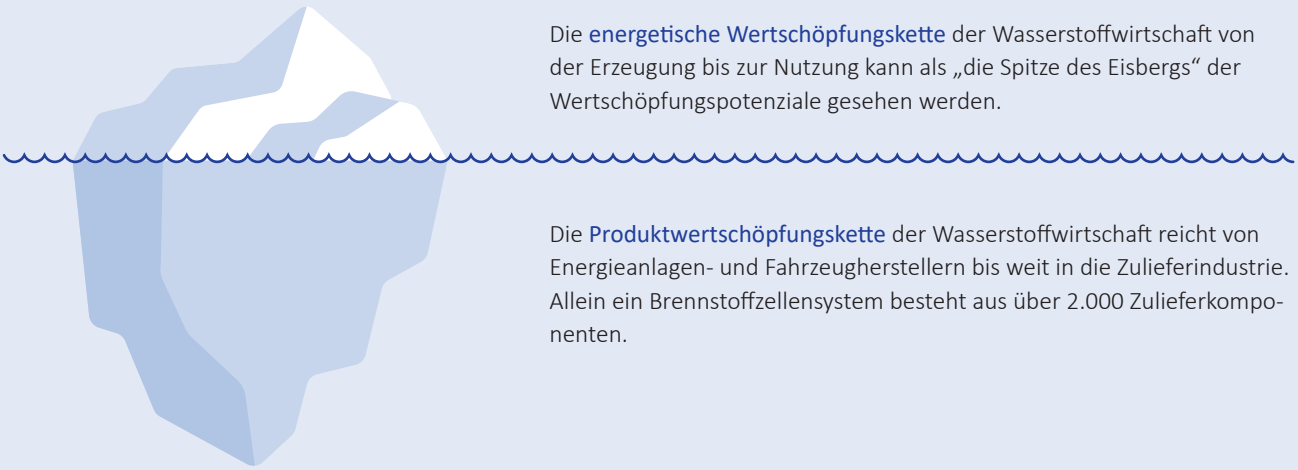
Zusammenfassung

Der Megatrend „Nutzung von Wasserstoff“ stellt schon bis 2030 weltweit neue Märkte in Aussicht. Diese Entwicklung gibt Unternehmen die Chance, neue Marktpotenziale zu erschließen und mit eigenen Innovationen Arbeitsplätze zu sichern und aufzubauen. Sachsen kann hiervon profitieren, wenn Wirtschaft und Politik die Potenziale rechtzeitig erkennen und mit gezielten Maßnahmen handeln. Die vorliegende Potenzialstudie zu Wasserstoff und Brennstoffzellen in Sachsen mit einer Akteurs- und Marktanalyse soll einen Beitrag hierzu leisten, indem technisches Wissen zu Wasserstofftechnologien vermittelt, der Ist-Stand der sächsischen Industrielandschaft sowie die wirtschaftlichen Potenziale erfasst und abschließend hierauf aufbauende Handlungsempfehlungen gegeben werden. Die Kernaussagen und Ergebnisse der Studie werden folgend kurz zusammengefasst.

Wertschöpfungsketten einer Wasserstoffwirtschaft sind vielfältig und sowohl für die produzierende Industrie als auch die Energiewirtschaft von hoher Relevanz

Bei der Diskussion über die Transformation der Energiewirtschaft und den Strukturwandel in der Industrie rückt Wasserstoff zunehmend in den Fokus. Dessen zukünftige Rolle als Speicher und Träger für erneuerbare Energie sowie dessen Einsatz zur Dekarbonisierung und Defossilisierung großer Bereiche der Industrie, Wärme und Mobilität steht außer Frage. Dies ist Konsens vieler Experten sowie in weiten Teilen von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft geworden. Die entsprechende energetische Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft von der Erzeugung über Speicherung und Transport bis zur Nutzung besteht aus einer Vielzahl von Energieanlagen, komplexen Systemen und Fahrzeugen. Diese wiederum setzen sich aus Teilsystemen und Einzelkomponenten zusammen, zu deren Herstellung Fertigungs- und Montageanlagen sowie Werkzeuge benötigt werden. Hinzu kommen noch vielfältige Dienstleistungen, wie Engineering oder Qualitätssicherung. Daher wird in dieser Studie auch die Produktwertschöpfungskette umfassend beleuchtet.

Die vorgenommene Analyse der entstehenden Wertschöpfungsketten zeigt die hohe Relevanz der Wasserstoffwirtschaft für produzierende Unternehmen. Viele der benötigten Komponenten und Teilsysteme sind klassische Produkte von Zuliefer-, Maschinen- und Anlagenbauunternehmen oder ähneln diesen in hohem Maße. Gleichzeitig sind diese Unternehmen besonders vom Strukturwandel und dem damit einhergehenden Rückgang konventioneller Technologien betroffen. Damit hat der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft hohes Kompensationspotenzial für im Strukturwandel rückläufige Industrien. Dies ist einer der wichtigsten Aspekte der Wasserstoffwirtschaft für Exportländer wie Deutschland und speziell den Freistaat Sachsen.



Die energetische Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft von der Erzeugung bis zur Nutzung kann als „die Spitze des Eisbergs“ der Wertschöpfungspotenziale gesehen werden.

Die Produktwertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft reicht von Energieanlagen- und Fahrzeugherstellern bis weit in die Zulieferindustrie. Allein ein Brennstoffzellensystem besteht aus über 2.000 Zulieferkomponenten.

Die prognostizierte Wasserstoffwirtschaft für europäische Unternehmen im Jahr 2030 schafft in den betrachteten Szenarien bis zu

- **130 Milliarden €** Umsatz
- **913.000** Arbeitsplätze

Bis 2030 entsteht ein großer Markt für Wasserstoff und wasserstoffbasierte Produkte

Die weltweite Nachfrage nach Wasserstoff wächst kontinuierlich. Gemäß der Angaben des Hydrogen Councils 2015 betrug die jährliche globale Nachfrage nach Wasserstoff ca. 2.200 TWh. Die Herstellung und die Nutzung von grünem, aus regenerativen Energien erzeugtem Wasserstoff erfolgen zwar aktuell noch auf geringem Niveau, allerdings haben sich weltweit Länder und eine zunehmende Anzahl an Unternehmen ambitionierte Ziele für deren Ausbau gesetzt. Bis zum Jahr 2030 wird laut dem Hydrogen Council ein moderater Zuwachs hin zu ca. 3.900 TWh erwartet und bis zum Jahr 2050 ein deutliches Marktwachstum bis auf ca. 21.400 TWh prognostiziert. Dies entspricht gegenüber dem Jahr 2015 knapp einer Verzehnfachung.

Bereits bis 2030 wird für europäische Unternehmen ein großer Markt für grüne Wasserstofftechnologien und Brennstoffzellen sowie die dafür benötigten Systeme und Komponenten vorhergesagt. Im „Ambitious-Szenario“ (A-Szenario) des europäischen Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) zur Erreichung des Zwei-Grad-Ziels im Pariser Abkommen entsteht bis 2030 für europäische Unternehmen eine Wasserstoffwirtschaft mit ca. 130 Mrd. EUR Umsatz und 913.000 Arbeitsplätzen. Ausgehend von diesem Szenario wird für Deutschland bis 2030 ein Umsatz von ca. 47 Mrd. EUR sowie zwischen 120.000 und 150.000 Arbeitsplätze im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie erwartet.

Akteurslandschaft zu Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Sachsen

- mehr als **150**
  Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Netzwerke beschäftigen sich aktiv mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien
- **34 %**
  von 70 Umfrageteilnehmern erzielen bereits Umsätze mit Wasserstofftechnologien
- **91 %**
  von 33 Umfrageteilnehmern gehen von ersten Umsätzen in den nächsten 5 Jahren aus

Sachsen ist mit der bestehenden Akteurslandschaft und Infrastruktur gut für die Wasserstoffwirtschaft aufgestellt

Zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in der Energiewirtschaft und in der Industrie werden viele Technologien und Kompetenzen benötigt. Vor Ort bestehendes Know-how und eine gut ausgebaute Infrastruktur sind wichtige Faktoren zur schnellen Erreichung dieses Ziels. Die vorhandene Energieinfrastruktur ist ein Standortvorteil für Sachsen, der beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft genutzt werden kann, insbesondere die Gasnetzinfrastruktur.

Mittels einer Onlineumfrage, elf Experteninterviews und einer Sekundärquellenanalyse wird in dieser Studie die sächsische Akteurslandschaft abgebildet und analysiert. Bereits über 150 Akteure beschäftigen sich in Sachsen aktiv mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien. Vor allem in sächsischen Forschungseinrichtungen wird seit vielen Jahren zu Wasserstofftechnologien und Brennstoffzellen geforscht. Ebenso beschäftigen sich eine Vielzahl an Unternehmen seit Jahren mit Produkten für die Wasserstoffwirtschaft. Hervorzuheben ist, dass Sachsen bereits Elektrolyseur- und Brennstoffzellenhersteller vorweisen kann. 34 % von 70 Umfrageteilnehmern geben an, bereits Umsätze mit Wasserstoff- oder Brennstoffzellentechnologien zu erwirtschaften. 91 % gehen von ersten Umsätzen in den nächsten 5 Jahren aus.

Eine Wasserstoffwirtschaft hat hohe Umsatz- und Arbeitskräftepotenziale für sächsische Unternehmen

In Europa wird bis 2030 ein großer Markt für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien prognostiziert. Davon können Industrie- und Exportländer, wie der Freistaat Sachsen, besonders profitieren. In dieser Studie wird der bis 2030 prognostizierte Markt für europäische Unternehmen auf den Freistaat Sachsen abgebildet. Dies erfolgt anhand der durchschnittlichen Umsatzanteile der bestehenden Wirtschaftszweige in Deutschland und im Freistaat Sachsen, welche für eine Wasserstoffwirtschaft relevant sind.

Wird das A-Szenario des Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking zugrunde gelegt, können bis 2030 für sächsische Unternehmen durch die Wasserstoffwirtschaft ca. 1,7 Mrd. EUR Umsatz und ca. 4.800 Arbeitsplätze vorhergesagt werden. Der Großteil der Umsatz- und Arbeitskräftepotenziale für Sachsen liegt mit 91 % bei Zulieferern und Herstellern von Systemen und Anlagen für die Wasserstoffwirtschaft.

Potenziale für sächsische Unternehmen umfassen bis 2030

- ca. **4.800** Arbeitsplätze
- ca. **1,7 Milliarden €** Umsatz
- **91 %** der Umsatz- und Arbeitskräftepotenziale liegen in der Produktwertschöpfung

Handlungsempfehlungen des HZwo e. V. für Stakeholder

Zum Ausschöpfen der hohen Potenziale beim Aufbau der Wasserstoffwirtschaft für Sachsen sind zielgerichtete Maßnahmen der Stakeholder notwendig. Mit Blick auf die dynamische Marktentwicklung in den vergangenen Jahren sieht der HZwo e. V. die nächsten 2 bis 5 Jahre für entscheidend für die Wettbewerbsposition des Freistaat Sachsen und sächsischer Unternehmen im entstehenden europäischen und weltweiten Markt für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien an.

Anhand der Studie werden vom HZwo e. V. vierzehn Handlungsempfehlungen formuliert, die als Entscheidungsgrundlage für Stakeholder in Sachsen dienen sollen. Diese basieren auf den in der Studie hergeleiteten Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken Sachsens beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft.

Aufgrund der Nutzbarkeit von Wasserstoff (und Brennstoffzellen) in sehr vielen verschiedenen Anwendungsfeldern handelt es sich um ein sehr vielschichtiges Thema. Die Untersuchung ist daher breit angelegt; es wird angestrebt, einen Überblick über das Gesamtsystem und seine Elemente, deren voraussichtliche Entwicklung sowie die Position und Perspektiven sächsischer Akteure zu vermitteln. Damit einhergehend waren aber tiefer gehende spezifische Analysen, Prognosen und Empfehlungen bezüglich einzelner Anwendungsfelder nicht möglich und müssen zukünftigen Untersuchungen vorbehalten bleiben. Ihnen dienen unter anderem Transferworkshops des Hzwo e. V., die auf Basis der vorliegenden Studien ergebnisse konzipiert und im Sommer 2021 durchgeführt werden.

1. Leuchtturmprojekte schaffen
2. Technologie- und Kompetenzzentrum aufbauen
3. Spezifische Tankinfrastruktur aufbauen
4. Förderung von Forschung, Entwicklung und Anwendung
5. Wettbewerbsposition bei Schlüsseltechnologien ausbauen und halten
6. Ansiedelung fehlender technologischer Kompetenzen
7. Aus- und Weiterbildungsangebote schaffen
8. Umbau der Energiewirtschaft
9. Erneuerbare Energien fördern
10. Technologieoffenheit beim Markthochlauf
11. Ausbau länderübergreifender Kooperationen
12. Netzwerk- und Transferarbeit stärken
13. Aufklärungsarbeit in Gesellschaft, Wirtschaft und Politik leisten
14. Spitzentechnologiecluster zu Wasserstofftechnologien und Brennstoffzellen erschaffen

1

Einleitung

1 Einleitung

1.1 Motivation

Wasserstofftechnologien liegen im Trend der Zeit! Schon bis 2030 werden sich weltweit neue Märkte in diesem Technologieumfeld erschließen. Diese Entwicklung gibt Unternehmen die Chance, durch einen frühzeitigen Einstieg von eben diesem Technologiewandel zu profitieren, neue Marktpotenziale zu erschließen und mit eigenen Innovationen Arbeitsplätze nachhaltig zu sichern und aufzubauen. Weltweit ist dies bereits in Asien und Nordamerika zu beobachten.

Die Wasserstoffwirtschaft ist ein Schlüssel zur sektorenübergreifenden Senkung von CO_2-Emissionen. In Europa entstehen zahlreiche Wasserstoffinitiativen. Deutschland hat sich diesem Trend angeschlossen und 2020 eine nationale Wasserstoffstrategie beschlossen. Die darin verankerten Maßnahmen zielen zu einem großen Teil auf die hohen Umsatzpotenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien für die deutsche Wirtschaft ab.

Sächsische Forschungseinrichtungen konnten bereits ein sehr hohes Expertenwissen zu Wasserstoff und Brennstoffzellen aufbauen und arbeiten mit sächsischen und überregionalen Unternehmen an der Entwicklung innovativer Produkte und Technologien für die Wasserstoffwirtschaft. Mit dem erwarteten Markthochlauf und der Industrialisierung der Technologien breitet sich ein weites Innovationsfeld, insbesondere für Zuliefer-, Maschinen- und Anlagenbauunternehmen, aus. Auch die vom Technologiewandel betroffenen sächsischen Unternehmen können ihre bestehenden Kompetenzen für zukunftsfähige Produkte zur Senkung des weltweiten CO_2-Ausstoßes einsetzen und gleichzeitig Wertschöpfung im Freistaat Sachsen halten und ausbauen.

Allerdings stellen fehlendes Wissen über die Technologien und die Systemkomplexität eine hohe Einstiegsbarriere für viele Unternehmen dar. Es ist daher zum einen von großer Bedeutung, den Unternehmen die Potenziale der Wasserstoffwirtschaft aufzuzeigen und sie so zu motivieren, die nötigen Kompetenzen rechtzeitig aufzubauen. Zum anderen ist ein gezielter und nachhaltiger Transferprozess notwendig, um fehlendes Know-how aufzubauen und die Möglichkeiten der Portierung bestehender Kompetenzen in den Unternehmen auf zukünftige Wasserstofftechnologien aufzuzeigen.

Sachsen kann vom Megatrend Wasserstoff profitieren, wenn Politik und Wirtschaft die Potenziale rechtzeitig erkennen und mit gezielten Maßnahmen handeln. Diese Potenzialstudie zu Wasserstoff und Brennstoffzellen in Sachsen mit einer Akteurs- und Marktanalyse soll einen Beitrag hierzu leisten, indem technisches Wissen zu Wasserstofftechnologien vermittelt, der Ist-Stand der sächsischen Industrielandschaft sowie die wirtschaftlichen Potenziale ermittelt und abschließend hierauf aufbauende Handlungsempfehlungen gegeben werden.

1.2 Zielsetzung der Studie

Bereits bis 2030 wird weltweit ein großer Markt für verschiedene Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien erwartet. Die vorliegende Studie soll die Wertschöpfungspotenziale für sächsische Unternehmen aufzeigen. Dabei stehen die bis 2030 erzielbaren Umsätze und damit verbundenen Arbeitsplatzeffekte für Sachsen im Zentrum der Betrachtung.

Viele Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Netzwerke und Wirtschaftsförderungen in Sachsen beschäftigen sich bereits mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien. Die Studie soll diese bestehende Akteurslandschaft in Sachsen erfassen und hinsichtlich besonderer Stärken sowie Schwächen analysieren.

Die produzierende Wirtschaft in Sachsen ist multidisziplinär aufgestellt und die bestehende Energieinfrastruktur sehr leistungsfähig. Durch den Strukturwandel in der Automobilindustrie und durch den Braunkohleausstieg besteht in weiten Teilen der Wirtschaft und der Infrastruktur dringender Bedarf an neuen Märkten und Geschäftsmodellen. Die Rolle einer Wasserstoffwirtschaft im Zuge des Energie- und Strukturwandels ist vielen bestehenden Akteuren bereits zumindest teilweise bewusst. Allerdings können zum einen noch viele weitere Akteure davon profitieren, zum anderen wird die Rolle der Wasserstoffwirtschaft sehr unterschiedlich gesehen bzw. wahrgenommen. Zu diesem Zweck soll die Studie insbesondere die Branchen aufzeigen, welche für den Industriestandort Sachsen die größten wirtschaftlichen und technologischen Potenziale bieten. In Verbindung damit werden die Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken der sächsischen Wirtschaft identifiziert. Diese stellen eine Basis für die Ableitung gezielter Handlungsempfehlungen durch den HZwo e. V. dar.

1.3 Struktur und Methodik

In Kapitel 2 wird zunächst die Wertschöpfung der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft vorgestellt. Dabei wird unterschieden in die energetische Wasserstoffwertschöpfung und die Produktwertschöpfung. Die energetische Wertschöpfung umfasst die Herstellung, den Transport und die Speicherung von Wasserstoff sowie dessen Nutzung in Endanwendungen. Die Produktwertschöpfung ergibt sich aus den hierfür notwendigen Sachgütern und Dienstleistungen. Die Herstellung, Zulieferung und Integration von Komponenten, Aggregaten und Systemen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien sowie Dienstleistungen stellen ein großes Marktpotenzial für sächsische Unternehmen dar. Anhand von Beispielen aus den Bereichen Wasserstofferzeugung, -speicherung sowie -nutzung wird die Produktwertschöpfung für ausgewählte technische Systeme beschrieben.

In Kapitel 3 wird die zukünftige Marktentwicklung der Wasserstoffwirtschaft prognostiziert. Dazu werden jeweils die Nachfrage nach Wasserstoff, die prognostizierten erreichbaren Umsätze sowie die entstehenden Bruttoarbeitsplätze auf globaler, europäischer und nationaler Ebene betrachtet. Dabei erfolgt auf europäischer und nationaler Ebene eine Differenzierung der zukünftigen Marktentwicklung in zwei Szenarien. Bei dem „Business-as-usual"-Szenario wird von einer moderaten Entwicklung der Wasserstoffindustrie ausgegangen, wohingegen beim „Ambitious"-Szenario eine beschleunigte Marktentwicklung sowie hohe Investitionen erwartet werden. Die Prognosen auf globaler Ebene basieren auf dem Bericht des „Hydrogen Council" [1]. Für die Darstellung der erwarteten Werte für Europa wird die Studie des FCH JU [2] genutzt. Für die Prognosen der deutschen Marktentwicklung werden zwei Szenarien zugrunde gelegt, die einmal von der ambitionierten Umsetzung der Klimaziele und einmal von der bisherigen Marktentwicklung ausgehen.

In Kapitel 4 werden schließlich die Marktpotenziale für den Freistaat Sachsen untersucht. Dafür wird zunächst die bestehende Akteurslandschaft mittels einer Sekundärquellenanalyse auf Basis von Branchenkatalogen und Netzwerkinformationen erfasst[1]. Dies umfasst Akteure entlang der gesamten Wertschöpfungskette und über alle Anwendungsbereiche hinweg. Ferner wird bezogen auf Sachsen eine Abschätzung der Marktpotenziale vorgenommen, die sowohl prognostizierte Umsätze als auch Bruttoarbeitsplätze berücksichtigt. Die Aussagen zu Akteuren und Potenzialen werden anschließend mit Ergebnissen aus Primärerhebungen in Form einer Online-Umfrage und Experteninterviews zusammengeführt. Über eine Verknüpfung der Akteure mit den Segmenten der Wertschöpfungskette und den Informationen aus den Primärerhebungen lässt sich schließlich feststellen, an welchen Stellen die sich entwickelnde sächsischen Wasserstoffwirtschaft heute Stärken oder Schwächen aufweist. Zudem werden potenzielle Chancen und Risiken – wiederum basierend auf den Primär- und Sekundäranalysen – herausgearbeitet. Aufbauend auf diesem Ergebnis wird eine Einschätzung zu den Potenzialen der Wasserstofftechnologien in Sachsen gegeben.

Mithilfe einer TOWS-Analyse wird schließlich herausgearbeitet, wie die Stärken der sächsischen Wasserstoffwirtschaft genutzt und Schwächen abgebaut, Chancen ergriffen sowie Risiken vermieden werden können. Darauf aufbauend formuliert der HZwo e. V. Handlungsempfehlungen, mit denen der Aufbau der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in Sachsen gezielt gefördert werden kann.

1 *Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die als Quellen genutzten Studien aus dem Wasserstoffumfeld stammen.*

Die im Kapitel 2 aufgeführten Inhalte bilden den grundlegenden Stand der Technik ab, welcher auch in anerkannter Fachliteratur, bspw. nach [3-9], aufgeführt wird.

2

Wasserstoff-technologien und ihre Wertschöpfung

2 Wasserstofftechnologien und ihre Wertschöpfung

Die Transformation der Industrie in eine nachhaltige Wertschöpfung wird maßgeblich durch Wasserstofftechnologien mitbestimmt. Die im Pariser Abkommen hinterlegten globalen Ziele zur Senkung der Treibhausgasemissionen können sowohl durch den Ausbau erneuerbarer Energien als auch durch die Anwendung CO_2-freier Energielösungen in nahezu allen Sektoren (Verkehr, Industrie, Energie, Wärme) erreicht werden. Wasserstoff als kohlenstofffreier, chemischer Energieträger hat dabei das Potenzial, einen entscheidenden Beitrag zu einer nachhaltigen und klimafreundlichen Zukunft zu leisten. Neben den klimapolitischen Aspekten stehen vor allem die Ergründung neuer Wertschöpfungspotenziale und die Sicherung bisheriger sowie die Erschaffung zukünftiger Arbeitsplätze im Hauptfokus vieler Industriebranchen. Wichtige Aspekte der Wertschöpfungskette sind dabei die Bereiche Erzeugung, Transport, Speicherung und Anwendung von Wasserstoff.

Wasserstoffvorkommen und -gewinnung

Wasserstoff ist häufig in Kohlenwasserstoffen gebunden, so z. B. in fossilen Energieträgern oder Biomasse. Die Abtrennung des Wasserstoffs kann auf verschiedene Arten erfolgen, oft wird das Verfahren der Dampfreformierung eingesetzt, seltener die unmittelbare Zerlegung in Kohlenstoff und Wasserstoff durch Pyrolyse. Über Elektrolyse kann Wasserstoff auch aus Wasser gewonnen werden, seltener kommen photobiologische oder photokatalytische Verfahren zur Anwendung. In jedem Fall benötigt die Herstellung bzw. Abtrennung reinen Wasserstoffs den Einsatz von Primärenergie.

Wasserstoffversorgung

Wesentliche Bestandteile der Wertschöpfungsketten von Wasserstofftechnologien betreffen die Versorgung mit Wasserstoff, speziell die sichere Speicherung und der effektive Transport des Wasserstoffs. Nur so kann der Wasserstoff durch die gekoppelten Technologiebereiche dem Endverbraucher auf effiziente Weise zur Verfügung gestellt werden. Untersuchungen zum Wasserstoffdurchsatz in Abhängigkeit der entstehenden Kosten und der Transportdistanz sind hierbei von zentraler Bedeutung:

Der Transport von Wasserstoff durch das Gasnetz für hohe Durchsätze und kleine Distanzen:
Hierfür ist der Transport von Wasserstoff in bestehenden Pipelines hinsichtlich entstehender Kosten vorteilhaft. Derzeit wird erforscht, inwiefern Wasserstoff in Abhängigkeit vom technischen Aufwand dem Erdgas beigemischt werden kann, um das enorme Potenzial des in Deutschland vorhandenen Gasnetzes mit einer Länge von 500.000 km auszuschöpfen.

Speicherung und Transport von flüssigem Wasserstoff:
Bei niedrigen Durchsätzen und großen Distanzen von über 200 km ist der Transport von Wasserstoff in flüssiger Form bspw. mittels LKW im Kostenvorteil. Dabei wird der Wasserstoff bei unter -253 °C mit einer Kapazität von bis zu 1.100 kg nahezu drucklos gespeichert.

Speicherung und Transport durch Trägerstoffe:
Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC) können mehrere einhundert Liter Wasserstoff unter Normaldruck und -temperatur aufnehmen und lassen sich wie herkömmliche Kraftstoffe leicht transportieren.

Die gasförmige Druckspeicherung ist die häufigste Speicherart, so wird sie oft auch an Tankstellen oder als Wasserstoffspeicher in Fahrzeugen eingesetzt. Neuere Festkörperspeicher, in denen Wasserstoff in physikalischen oder chemischen Verbindungen eingelagert/absorbiert gespeichert wird, zeigen großes Potenzial bezüglich der Sicherheit und Speicherdichte, haben aber noch Nachteile im verfahrenstechnischen Aufwand und der Dynamik.

Wasserstoffproduktion

Die Gewinnungsmöglichkeiten von Wasserstoff sind vielfältig und werden heutzutage meist nach den verschiedenen Herstellungstechniken und den damit verbundenen direkten und indirekten CO_2-Emissionen unterschieden. Je nach Grad der Emission haben sich gegenwärtig verschiedene Farbkennzeichnungen für Wasserstoff etabliert, nachfolgend eine Übersicht.

„Farbenlehre“ der Wasserstoffproduktion

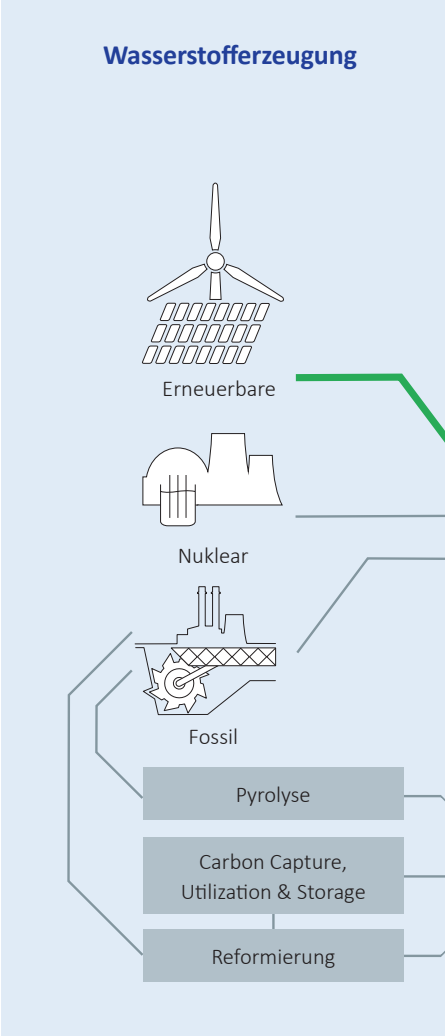
Grau	Grauer Wasserstoff wird aus fossilen Brennstoffen gewonnen. Ein übliches Verfahren ist hierbei die Dampfreformierung. Auch die Elektrolyse auf Basis des aktuellen Strommixes wird aufgrund der hohen CO_2-Emissionen als grau eingestuft.
Blau	Blauer Wasserstoff ist dem grauen Wasserstoff in der Produktion gleichzusetzen. Das freigewordene CO_2 wird jedoch gespeichert (Carbon Capture and Storage) oder industriell weiterverwendet.
Türkis	Türkiser Wasserstoff wird über die thermische Spaltung von Methan (Methanpyrolyse) hergestellt. Anstelle von CO_2 entsteht dabei fester Kohlenstoff.
Grün	Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser hergestellt, wobei für den Elektrolyseprozess selbst ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommt.
Pink	Pinker Wasserstoff wird ebenfalls durch Elektrolyse, jedoch auf Basis von Strom aus Nuklearenergie hergestellt.

Tabelle 1: Farbenlehre der Wasserstoffproduktion

Die Produktionskosten von Wasserstoff divergieren je nach Typ sehr stark. Im Jahr 2019 hatte grüner Wasserstoff (16,5 ct/kWh H_2) den vierfachen Preis gegenüber grauem Wasserstoff (4,5 ct/kWh H_2). Viele Prognosen gehen aber von einer Angleichung des Preises bis 2050 aus.

2.1 Die energetischen Wasserstoffwertschöpfungsketten

Die entlang der energetischen Wasserstoffwertschöpfungsketten hergestellten technischen Produkte bestehen meist aus einer Vielzahl von Einzelbauteilen. Deshalb können Unternehmen, die in die jeweiligen Herstellprozesse eingebunden sind, gleichzeitig Teil mehrerer dieser Ketten sein. Einzelne produzierte Komponenten werden oft zu Baugruppen zusammengefügt. Diese übernehmen dann eine Teilfunktion innerhalb eines Bereiches einer Wasserstoffwertschöpfungskette. Erst die Integration dieser Baugruppen als technische Anlagen, Teilsysteme und Maschinen in ein Gesamtsystem bildet den Abschluss einer möglicherweise sektorenübergreifenden Produktwertschöpfung. Am Beispiel einer Brennstoffzelle gibt es je nach Anwendungsgebiet (z. B. mobil oder stationär) unterschiedliche Aggregate- und Bauteilfunktionen, welche im Gesamtsystem eine Rolle spielen. Die daraus folgende Schnittmenge aus Möglichkeiten zur Systemintegration mit einer jeweils unterschiedlichen Dimensionierung und Anzahl an notwendigen Komponenten für die unterschiedlichen Technologien verbindet die verschiedenen Wirtschaftssektoren miteinander. Wasserstoff als Medium für Energiespeicher und Energiewandler erlaubt dabei die Vernetzung und gesamthafte Optimierung der Sektoren Elektrizität-, Wärme- und Gasversorgung, Verkehr sowie Industrie. Diese Sektorenkopplung ermöglicht es, Energie aus erneuerbaren Quellen auch zur Dekarbonisierung der anderen Sektoren zu nutzen.



Wissen Wasserstoff

Geschichte

- 1766: Henry Cavendish gilt als Entdecker des Wasserstoffs
- 1785: Antoine Lavoisier stellte Wasserstoff aus Wasser mittels Thermolyse her und verlieh dem Gas seinen Namen infolge dieses Experimentes

Allgemeine Eigenschaften

- Einfachstes und häufigstes chemisches Element im Universum
- Sehr reaktiv
- Kann Verbindungen mit allen Elementen, außer Edelgasen, eingehen
- In Reinform nicht entzündbar
- Farbloses, leichtes und ungiftiges Gas
- Geschmacks- und geruchsneutral
- Verschiedene Isotope möglich:
  - Protium: Kern besteht nur aus einem Proton
  - Deuterium (schwerer Wasserstoff): Ein Neutron, ein Proton im Kern
  - Tritium: (superschwerer Wasserstoff): Zwei Neutronen, ein Proton im Kern

Chemische und physikalische Eigenschaften	Einheit	Wert
Dichte gasförmig	kg/m³	0,0888
Dichte flüssig	kg/m³	70,79
Heizwert	kWh/kg	33,286
	MJ/kg	119,83
Schmelzpunkt	°C	-259,347
Siedepunkt	°C	-252,879
Molare Masse (H_2)	kg/kmol	2,0159

Tabelle 2: Wissen Wasserstoff

In Abbildung 1 wird ein Auszug aus der energetischen Wasserstoffwertschöpfung gezeigt. Hierbei erfolgt eine grundlegende Einteilung in die Bereiche **Erzeugung**, **Transport und Speicherung** sowie **Endverwendung**. Zudem gibt es technologiefeld-übergreifende Wirtschaftszweige, bspw. in den Bereichen Engineering und Zertifizierung. Die farblich hervorgehoben Pfade basieren auf „grünem" Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen. Ergänzend werden weitere Wasserstofferzeugungstechnologien und -wertschöpfungsketten dargestellt.

Die Artverwandtschaft einiger eingesetzter Materialien und notwendiger technischer Produktionsschritte im Vergleich zu konventionellen Produkten der Energietechnik eröffnet das Potenzial, die Herstellprozesse teilweise oder vollständig mit wenig Aufwand an die Komponenten der Wasserstoffwertschöpfungsketten anzupassen. Es bilden sich so neue Zuliefererstrukturen und Netzwerke von Unternehmen heraus. Durch weiter fortschreitende Forschung und Entwicklung sowie zunehmenden Einsatz von Serienproduktionsprozessen

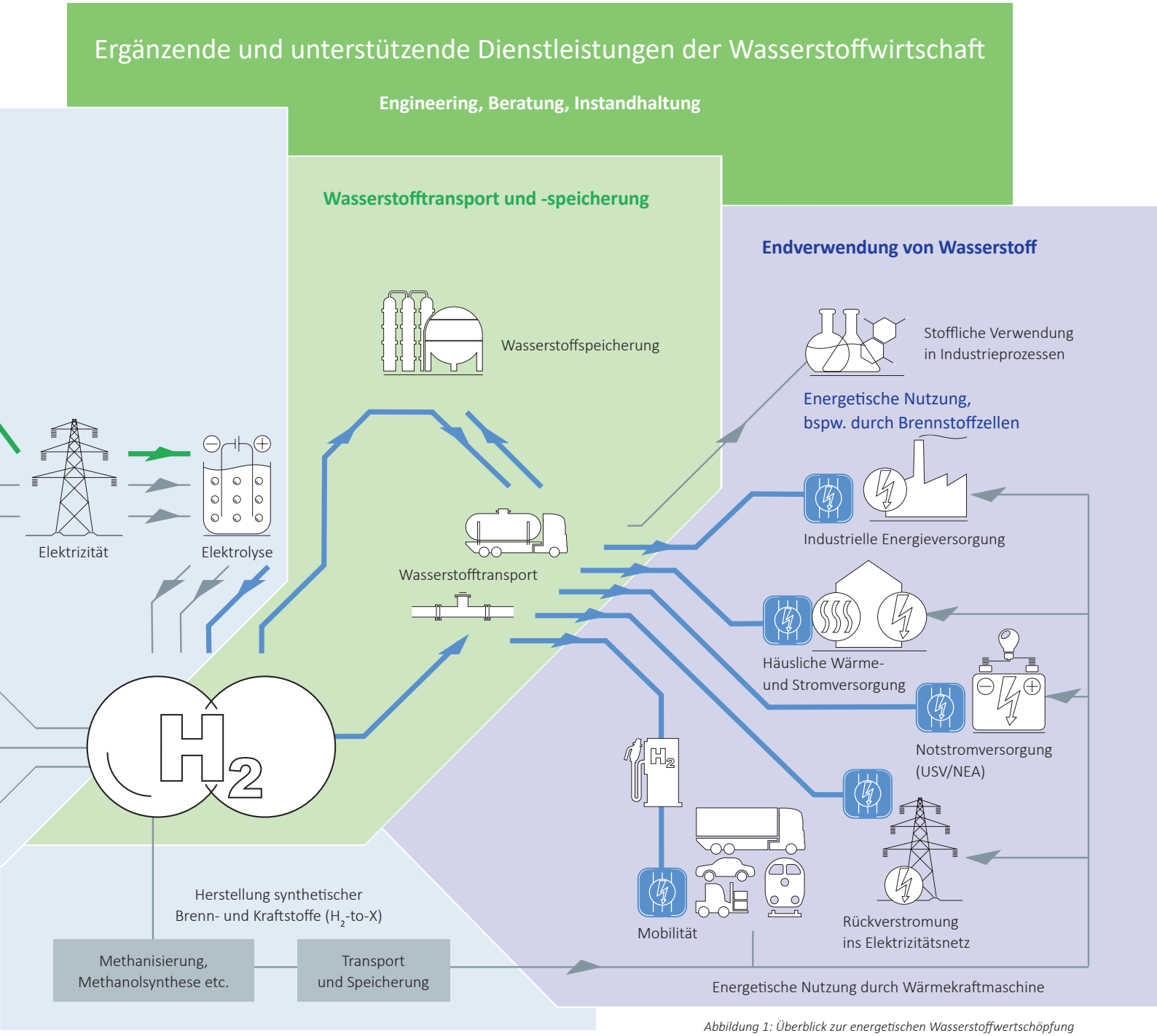


Abbildung 1: Überblick zur energetischen Wasserstoffwertschöpfung

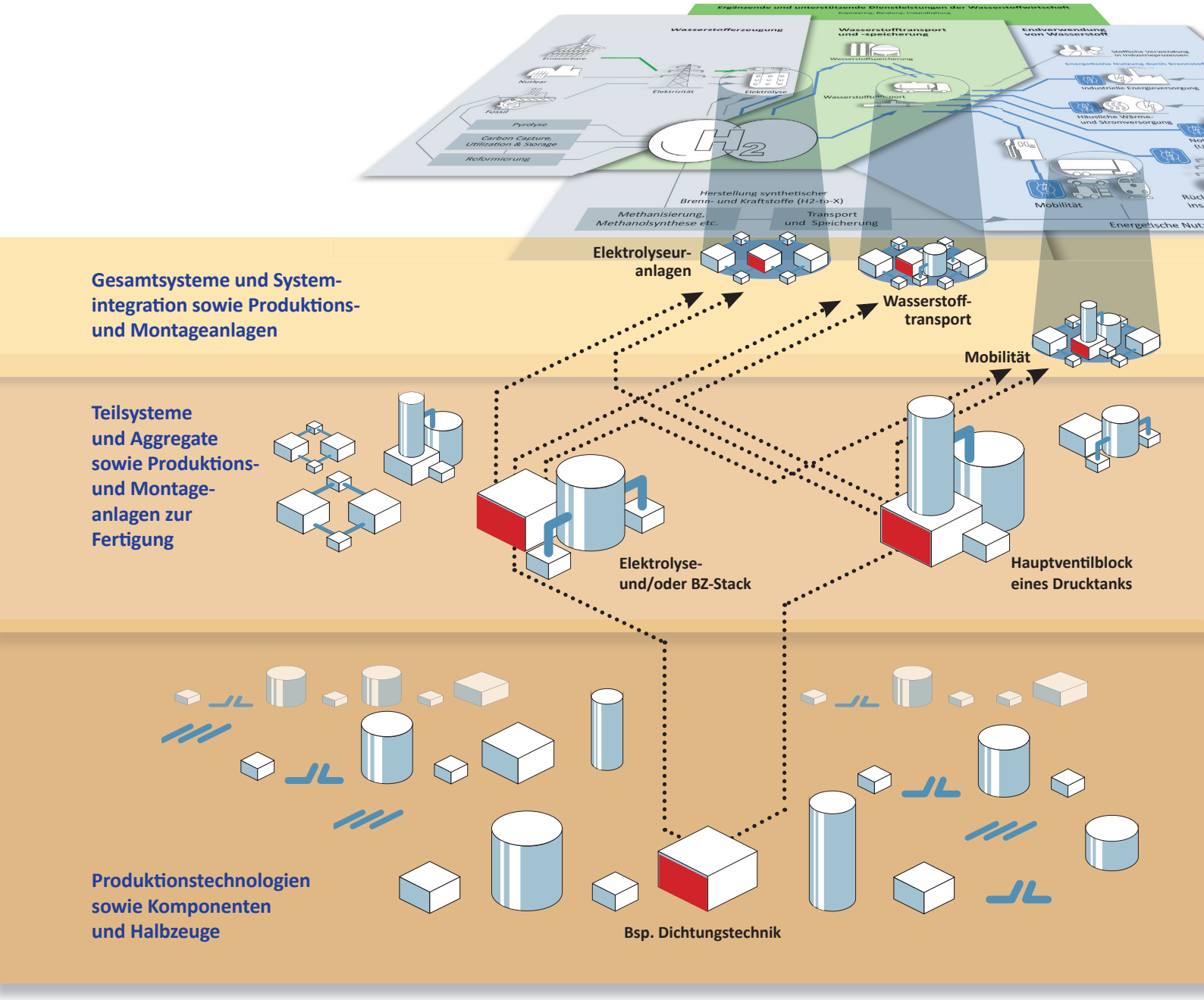
können zudem die Kosten für Brennstoffzellensysteme und Komponenten für Wasserstoffanwendungen in den nächsten Jahren signifikant reduziert werden. Durch diese absehbare Preissenkung rückt die Markteinführung dieser Technologien deutlich näher.

Ein wesentlicher Bestandteil einer zukünftigen Infrastruktur werden großskalige Wasserstoffspeicher sein, da die Speicherung von Energie in rein elektrischer Form in großem Umfang kaum wirtschaftlich darstellbar scheint. Wasserstoff als Sekundärenergieträger, insbesondere erzeugt aus regenerativen Energien, kann über große Wasserstoffspeicher saisonale Nachfragespitzen, gegeben durch Umwelteinflüsse und Diversifizierung der Energiebereitstellungsarten, sicher abdecken. Auch Überhangenergie aus Erneuerbaren kann in Form von Wasserstoff gespeichert statt verworfen werden. In Deutschland wird angenommen, dass hierfür vor allem Untergrundspeicher in Salzkavernen in Frage kommen. [9]

Die Endverwendung von Wasserstoff muss nicht immer im Rahmen von Brennstoffzellenanwendungen erfolgen. Auch Technologien auf Basis von Wasserstoff-Verbrennungskraftmaschinen sind möglich.

2.2 Die Produktwertschöpfung

Produktion/Herstellung von Wasserstofftechnik
von der Komponeten- bis zur Systemebene



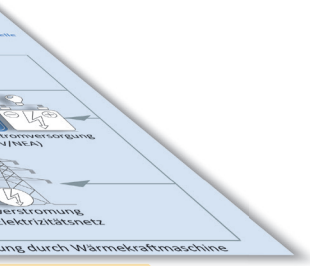
Die Produktwertschöpfung kann, wie in Abbildung 2 dargestellt, mittels eines top-down-Ansatzes betrachtet werden, d. h. von der übergeordneten, abstrahierten Ebene der Wasserstofftechnologien (Erzeugung bis zur Anwendung) hinunter zu den Komponenten, Materialien und Verfahren, die wiederum in der gesamten Wertschöpfungskette benötigt werden.

Die einzelnen Bereiche der Kette können zunächst auf eine Systemebene aufgeschlüsselt werden, auf der sich partiell auch Montageanlagen und Geräte wiederfinden, die nicht ausschließlich für Wasserstoffanwendungen entwickelt wurden. Damit bietet sich ein erhebliches Potenzial, Entwicklungsrisiken zu minimieren, indem ein breiteres Anwendungsfeld für die Produktionskette zur Verfügung steht.

Produktionstechnologien, sowie Komponenten und Halbzeuge (siehe dritte Ebene der Grafik) können in mehreren Wasserstofftechnologiebereichen verortet sein. Beispielhaft wird dies in der nebenstehenden Grafik am Beispiel der Dichtungstechnik dargestellt.

Diese kann in Form von Stack-Dichtungen für Brennstoffzellen oder Elektrolyseure relevant sein. Zugleich ergeben sich aber auch Potenziale bei Ventilblöcken für Drucktanksysteme.

Ähnlich dem Dichtungsbeispiel finden sich bei sächsischen Unternehmen eine Vielzahl dieser Technologien und Komponenten aus Ebene 3 wieder. Hieraus kann folglich ein erhebliches Wertschöpfungspotenzial für die sächsische Industrie geschlussfolgert werden.



- Elektrolyse- und/oder Brennstoffzellen-Stack
- Konditionierung und Überwachung zugeführter Reaktions- sowie abgeführter Produktmedien
- Prozessüberwachung und-steuerung sowie Sensorik
- Kühlsysteme und/oder Wärmetauscher
- Medienleitungs- sowie Anschlusssysteme

- Druckbehälter
- Befüll- und Entladesysteme
- Hauptventilblock/Boss-System
- Teilsystem für andere Tanktechnologien
- Batteriesysteme
- Teilsysteme zur Schaffung eines mechanischen Aufbaus
- Systeme und Komponenten zur Integration, Befestigung und Fixierung in der Anwendung
- Elektrische und Leistungselektronische Teilsysteme

Begleitthemen auf allen Ebenen: F&E, Automatisierung, Qualitätssicherung

- **Komponenten und Halbzeuge**
- Membranen und Folien
- Elektrolyt- und Katalysatormaterialien
- Gasdiffusionslagen
- Blech- und Plattenbauteile
- Metallguss- sowie Spritzgussbauteile
- Sensoren, Aktoren und Ventile
- Elektronik, Leistungselektronik, Leiterplatten
- Verrohrung, Schläuche und Anschlüsse
- Sonderkomponenten und Spezialteile
- Schrauben, Federn und sonstige klassische Maschinenelemente
- Software

- **Technologien A bis Z**
- Additive Fertigung
- Beschichtungstechnologien
- Dichtungstechnik
- Federtechnik | Filtertechnik | Fügetechnik
- Informations- und Kommunikationstechnik-
- Kunststoffver- und bearbeitung
- Mess- und Sensortechnik
- Polychemie
- Schweißtechnologien
- Textiltechnik
- Umformtechnik
- Vliestechnologien
- Zahnrad- und Getriebetechnik

Abbildung 2: Auszug aus der Produktwertschöpfung mit Bezug zu Wasserstofftechnologien

Die Basis bildet die unterste Ebene der Komponenten, Prozesse und grundlegender Aufgabenstellungen wie Materialien und Arbeitsprozesse, Qualitätssicherung und F&E sowie die damit verbundenen Begleitthemen. Auch die Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung sind Teil dieser Ebene, wobei diese über den Transfer von neuen Ideen und Forschungsergebnissen bis auf die oberste Ebene zu neuen Prozessen und Produkten sowohl für die Erzeugung als auch für Verteilung und Anwendung von Wasserstoff Einfluss haben kann.

2.3 Wasserstoffherstellung am Beispiel der Elektrolyse

Funktionsweise und Arten

Die Elektrolyse ist im Allgemeinen ein chemischer Prozess, der durch Zufuhr elektrischer Energie eine Stofftrennung erzwingt. Das Verfahren ist ein Kernbestandteil der Wertschöpfungskette und ermöglicht die Erzeugung von grünem Wasserstoff. Notwendig dafür sind regenerative Energien mithilfe derer die Wasserstofferzeugung CO_2-frei erfolgen kann. Im Prozess selbst wird Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff aufgespalten. Beide Reaktionsprodukte werden gespeichert und für weitere Anwendungen verwendet.

Der grundlegende Aufbau und das Wirkprinzip sind bei allen Arten der Wasserelektrolyse gleich. Über zwei Elektroden wird ein Gleichstrom in ein leitendes Medium, den Elektrolyt, geleitet. Mithilfe eines Katalysators und der elektrischen Energie wird das Wasser aufgespalten.

Das eingesetzte Elektrolyt und die Arbeitstemperatur definieren die Art der Elektrolyse. Im Stand der Technik wird zwischen drei Arten unterschieden:

I. Die alkalische Elektrolyse ist ein ausgereiftes und seit Ende des 19. Jh. genutztes Verfahren mit hohen Wirkungsgraden und hohen Lebensdauern.
II. Die PEM-Elektrolyse (englisch für proton exchange membran) hat sich bisher vor allem in Nischenanwendungen durchgesetzt. Mit Eignung zum Druckbetrieb und hoher Dynamik bei Lastwechseln eignet sich diese Art besonders für die Kopplung mit Energiewandlertechnologien.
III. Die Hochtemperaturelektrolyse (mit vergleichsweise sehr hohem Wirkungsgrad) eignet sich durch die hohen Arbeitstemperaturen vor allem zur Kopplung mit industriellen Prozessen.

Alkalische Elektrolyse

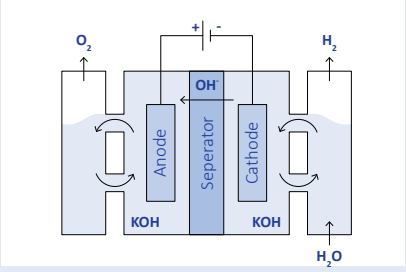


Abbildung 3: Funktionsprinzip der alkalischen Elektrolyse

Funktionsprinzip

Beim alkalischen Elektrolyseur dient Kalilauge als Elektrolyt. Ein Diaphragma (gasdichte Membran) trennt beide Elektroden und trennt so die entstehenden Reaktionsgase ab, ist gleichzeitig aber für OH^--Ionen durchlässig.
Temperatur 40-90°C

Vorteile

- etablierte Technologie
- keine Edelmetallkatalysatoren
- hohe Langzeitstabilität
- relativ niedrige Kosten
- Module bis 1075 Nm³/h (5 MW)
- Anlagen im großindustriellen Multi-Megawatt-Bereich möglich

Nachteile

- geringe Stromdichten
- geringer Teillastbereich
- Systemgröße und Komplexität („Footprint“)
- Aufwendige Gasreinigung
- Korrosiver flüssiger Elektrolyt

PEM-Elektrolyse

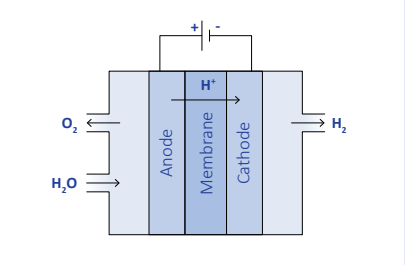


Abbildung 4: Funktionsprinzip der PEM-Elektrolyse

Funktionsprinzip

Bei der PEM-Elektrolyse wird eine protonenleitende Membran eingesetzt, welche sich als Elektrolyt zwischen porösen Kohlenstoffelektroden befindet.
Temperatur 20-100°C

Vorteile

- hohe Stromdichten
- hoher Spannungswirkungsgrad
- einfacher Systemaufbau
- gute Teillastfähigkeit
- Fähigkeit zur Aufnahme extremer Überlast (systemgrößenbestimmend)
- extrem schnelle Systemantwort für Netzstabilisierungsaufgaben
- kompaktes Stackdesign erlaubt Hochdruckbetrieb

Nachteile

- korrosive Umgebung
- hohe Investitionskosten durch kostenintensive Komponenten (Katalysatoren/ Stromkollektoren/Separatorplatten)
- hohe Abhängigkeiten von seltenen Erden

Hochtemperatur-Elektrolyse

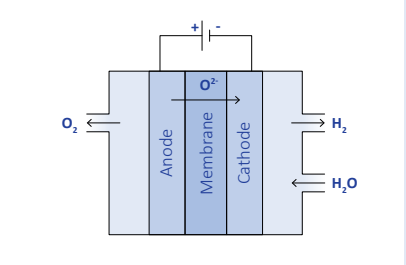


Abbildung 5: Funktionsprinzip der Hochtemperatur-Elektrolyse

Funktionsprinzip

Die Festoxid-Elektrolyse ist das bekannteste Hochtemperaturverfahren, bei dem gasförmiges Wasser an der Grenzfläche zum Elektrolyt, hier Zirkoniumdioxid, reduziert wird. Temperatur 700-1000°C

Vorteile

- Wirkungsgrade über 100 % bezogen auf die thermoneutrale Zellspannung, da Wärme eingekoppelt werden kann
- keine Edelmetallkatalysatoren
- Gleichzeitige Reduktion von CO_2 und H_2O zu Synthesegas möglich
- Geringster Stromverbrauch zur Herstellung von Wasserstoff
- Anlagen im Multi-Megawatt-Bereich
- Nutzung von Abwärme aus industriellen Prozessen als weitere Energiequelle

Nachteile

- Langzeitstabilität (mechanisch)
- Wärmemanagement

Tabelle 3: Verfahren der Wasserstoffherstellung mittels Elektrolyse

Aufbau einer Elektrolyseeinheit

In der nachfolgenden Abbildung ist ein Systemlayout einer leistungsstarken Hochtemperatur-Elektrolyseeinheit (HTE) des sächsischen Unternehmens Sunfire aufgezeigt. Dieser Elektrolyseur produziert bereits heute in einer industriellen Anwendung durch eine hoch effiziente Produktionsmethode Wasserstoff. Voraussichtlich bis Ende 2022 werden so etwa 100 Tonnen grüner Wasserstoff pro Jahr aus erneuerbarem Strom hergestellt und in die angrenzende Infrastruktur integriert. Durch die Integration dieser Anlage in die Wertschöpfungskette kann das Potenzial des Wasserstoffs ausgeschöpft und die prozessbedingten CO_2-Emissionen erheblich reduziert werden.

Der im unteren Bild dargestellte Elektrolyseur Sunfire-HyLink HL200 auf Basis von Festoxidzellen (SOC) erreicht durch Skalierbarkeit eine Wasserstofferzeugerleistung von 200 Nm³/h bei einer elektrischen Nennleistung von 720 kWAC. Das HTE-System besteht aus acht Modulen mit jeweils 1080 SOECs bzw. 36 Stapeln. Neben der Elektrolysezellentechnologie sind weitere Module zur Kühlung des Elektrolyseurs, Kompression und Trocknung von Reaktanden und Prozessmedien sowie Wasserstofftanks Bestandteil dieser Anlage.

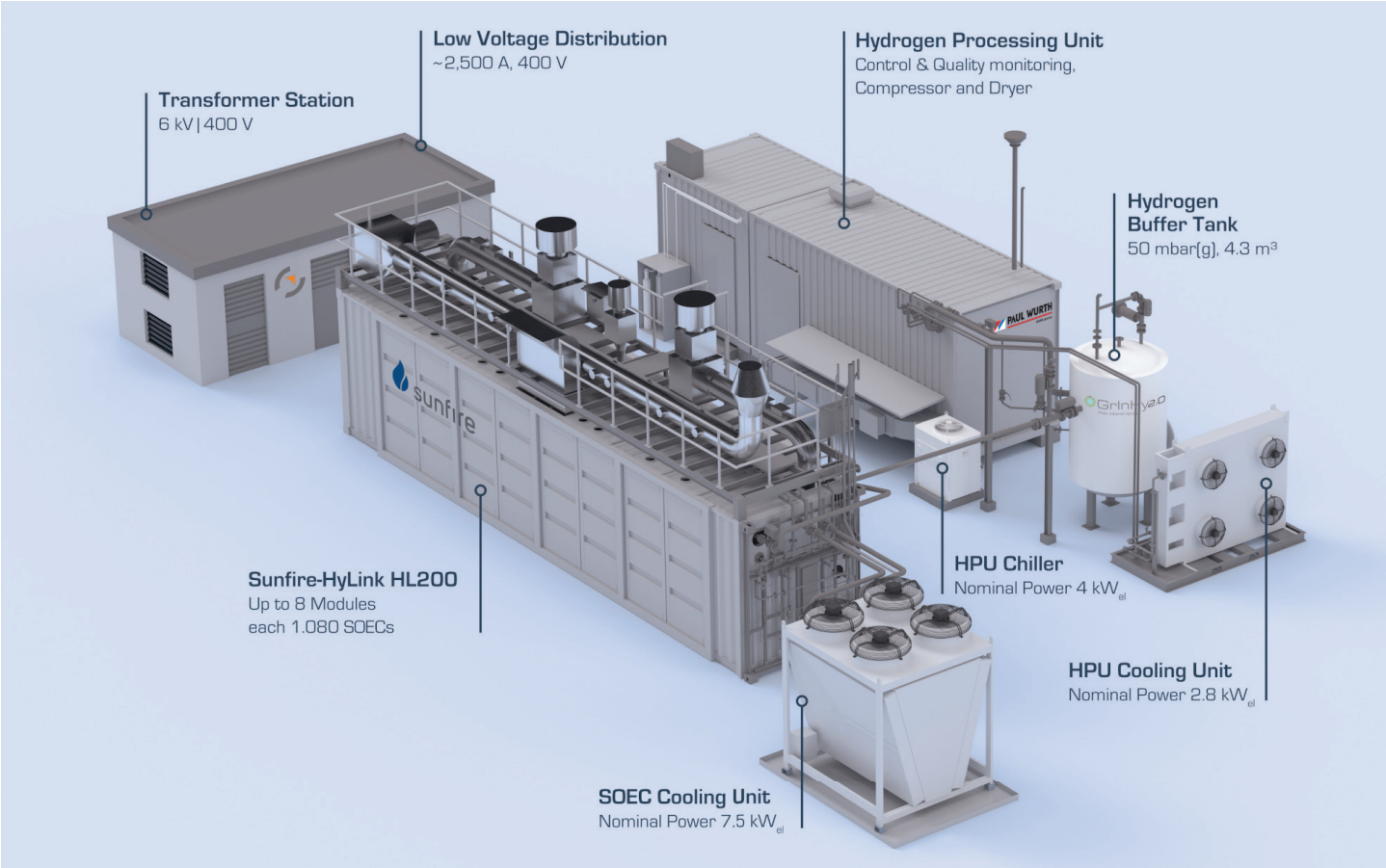


Abbildung 6: Elektrolyseur des sächsischen Unternehmens Sunfire nach dem Verfahren der Hochtemperatur-Elektrolyse mit einer Leistung von 720 kWAC; © Salzgitter AG

Historie zur Elektrolyse

1800 Erste quantitative Wasserelektrolyse durch J. W. Ritter
1832 genauere Untersuchung der Elektrolyse durch M. Faraday und Prägung der Begriffe Elektrode, Elektrolyt, Anode, Kathode
1866 Erfindung leistungsfähiger Generatoren u. a. durch W. von Siemens zur effizienten Bereitstellung von Strom
1890 erste Anlage zur Chlor-Alkali-Elektrolyse in Greisheim nach dem Diaphragma-Verfahren
1893 Herstellung von Wasserstoff durch technische Elektrolyse von Wasser für die Luftschifffahrt

2.4 Wasserstoffspeicherung

Wasserstoff hat unter Normalbedingungen die geringste Dichte aller Elemente und ist folglich hochgradig flüchtig. Dies spiegelt sich oftmals in vergleichsweise höheren Diffusionsraten bzw. -koeffizienten wieder. Heutzutage ist der prozentuale Verlust an Speichermenge durch Diffusion aber durch den Einsatz neuer Materialien deutlich geringer als in der Vergangenheit als bei anderen Stoffen. Neben der Speicherung von gasförmigem Wasserstoff unter Druck gibt es auch die Möglichkeit, mittels geeigneter isolierter oder aktiv gekühlter Tankbehälter Wasserstoff bei tiefkalten Temperaturen in flüssiger Form zu lagern. Des Weiteren sind heutzutage Kombinationen aus Druck- und Kryospeichern darstellbar sowie eine chemische Speicherung in Feststoff- oder Metallhydridspeichern möglich. Zudem werden neue Speicheransätze auf Basis natürlicher Kavernen erprobt. Hier können sehr große Mengen Wasserstoff vergleichsweise kostengünstig gespeichert werden. Dies ist daher insbesondere für lokal verortete Großindustrieanlagen vorteilhaft. Für den klassischen Mobilitätsbereich haben sich bis heute vor allem Druckspeichertechnologien etabliert. Die Flüssigwasserstoffspeicherung kommt hingegen aufgrund einer höheren Systemkomplexität eher seltener zur Anwendung, könnte jedoch aufgrund vergleichsweise höherer Speicherdichten insbesondere für den Schwerlastverkehr in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

Druckgasspeicherung

Im Mobilitätssektor können vor allem Tanksysteme auf Basis der Druckgasspeichertechnologie als Stand der Technik betrachtet werden. Die Speicherdrücke liegen hierbei für den PKW-Sektor typischerweise bei 700 bar, für NKW, Busse oder auch im Bahnbereich sind hingegen zumeist 350-bar-Systeme üblich. Im Vergleich zu den anderen Speichertechnologien liegen die Vorteile von Druckgasspeichern vor allem in der geringeren Komplexität, einem meist geringeren spezifischen Gewicht sowie zunehmend geringeren Kosten begründet. Bis heute haben sich vier Typen[2] von Drucktanks etabliert, nachfolgend eine Übersicht.

	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Druck	ca. 200 bar	bis zu 1000 bar	350 oder 700 bar	350 oder 700 bar
Materialien	metallische (i. d. R. stählerne) Wandung	metallische Wandung und Ummantelung aus harzgetränkter Glas- oder Kohlefaser (um zylindrischen Teil)	Liner aus Metall (meist Aluminium) und eine Ummantelung aus Kohlefaser (um gesamten Behälter)	Liner aus Kunststoff (meist Polyamid- oder Polyethylen) und Ummantelung aus Kohlefasern
Anwendungen	Gasindustrie • Transport • stationär	Speicherbehälter an Wasserstofftankstellen	für mobile Anwendungen	Transport- und im mobilen Bereich

Tabelle 4: Typen von Druckgasspeichern

Metallhydridspeicher

- Intrinsisch sicheres Speicherverfahren, da geringer Druck und chemisch gebundener Wasserstoff
- Geringere Speicherdichten im Vergleich zu anderen Speichertechnologien
- Beim Hydrieren wird Wärme frei, beim Dehydrieren muss Wärme aufgewendet werden
  - Thermomanagement wichtig
- Geringe Dynamik beim Be- und Entladen und deshalb ungünstig für mobile Anwendungen

Metallhydridspeicher

Einige Metalle und Legierungen besitzen die Eigenschaft, Wasserstoff chemisch binden zu können. Die Wasserstoff-Atome lagern sich dabei an Oberflächen an oder in Zwischengitterplätzen des Materials ein. Der Beladedruck des Speichers liegt je nach verwendeten Material zwischen 2 und 100 bar. Mit angepassten Parametern für Druck, Temperatur sowie für die Geschwindigkeit der Wasserstoffaufnahme und -abgabe haben heutige Metallhydridspeicher teilweise eine Speicherkapazität von bis zu sieben Gewichtsprozent.

2 *Typ 5 ist Gegenstand der Forschung: linerlose Zylinder*

Flüssigwasserstoffspeicherung

Die Speicherung von Wasserstoff in flüssiger Form ist nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Die dafür notwendigen Tanksysteme werden auch Kryotanks genannt. Der Name lässt sich aus der für die Verflüssigung notwendigen Temperatur von -253 °C zurückführen. Nur durch eine sehr gute Isolierung oder eine aktive Kühlung kann ein Verlust durch Sieden und folgendes Druckentlasten (sogenannte Dormancy Rate) verhindert werden. Eine gute Isolation zieht aber auch stets einen großen Bauraumbedarf nach sich. Bezogen auf das Gewicht ist der Energiegehalt dieser Speicherform allerdings sehr hoch, sodass sich der Einsatz in mobilen Anwendungen und für den Gebrauch bei großen Speichermengen anbietet. Der Einsatz in verschiedenen Fahrzeugsegmenten ist bereits erprobt, doch ist ein weiterer wesentlicher Nachteil neben der Abdampfrate in der Gesamtenergiebilanz der sehr hohe Energieaufwand für die Verflüssigung. Eingesetzt wird die Flüssigwasserstoffspeicherung auch in der Raumfahrt für die Bereitstellung von Raketentreibstoff.

Natürliche Speicherung

In Salzkavernen, wie derzeit in Deutschland erprobt, kann viel Wasserstoff aus überschüssiger Wind- und Sonnenenergie gespeichert werden. Das Speicherpotenzial an Energie ist um ein Vielfaches höher als von Pumpspeicherkraftwerken. Im Vergleich mit anderen Speichermöglichkeiten im geologischen Untergrund zeichnen sich Salzkavernen durch besonders geringe spezifische Baukosten aus, da der Bau und Betrieb der Kavernen mit einer einzigen Bohrung erfolgt. In Deutschland wird bisher nur Erdgas auf diese Weise gelagert. Die Anwendung erfolgt für die Energiewirtschaft und die Großindustrie. In den USA und Frankreich wird diese Speicherung bereits eingesetzt.

Unterirdische Kavernenspeicher

- Durchschnittliche Durchmesser 50 bis 100 m
- Durchschnittliche Höhe 100 bis 500 m
- Maximaler Druck: 50 bis 150 bar

Komponenten eines Typ-4-Druckspeichertanks

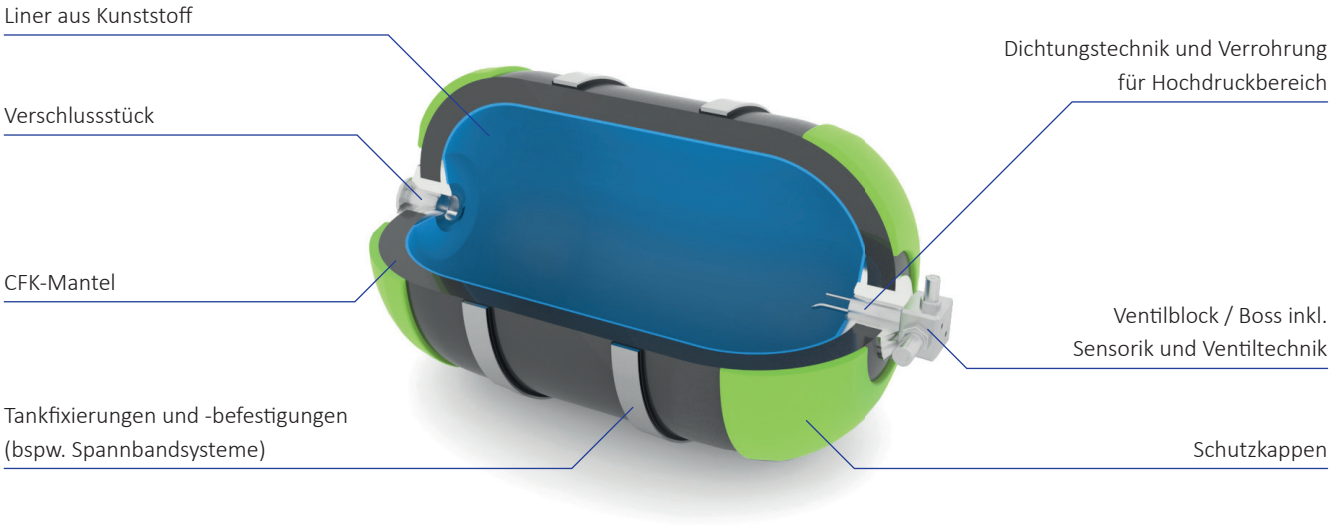


Abbildung 7: Komponenten eines Typ-4-Druckspeichertanks

2.5 Wasserstoffanwendung am Beispiel der Brennstoffzelle

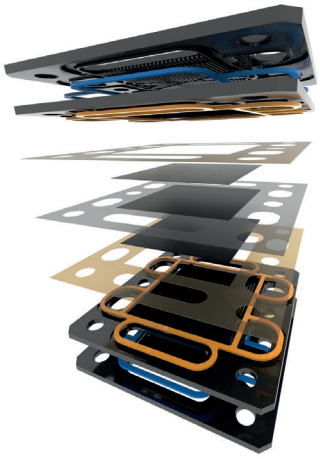
Eine Brennstoffzelle ist eine galvanische Zelle, in der die chemische Reaktionsenergie eines Brennstoffes und eines Oxidationsmittels in elektrische Energie und Wärme umgewandelt wird. Der bekannteste Brennstoff ist hierbei Wasserstoff, der mit Sauerstoff als Oxidationsmittel reagiert. Andere nutzbare Brennstoffe sind beispielsweise Methanol, Butan oder Erdgas. Brennstoffzellen sind Energiewandler, wobei die Energie in chemisch gebundener Form zugeführt wird. Die Vorteile im Vergleich zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren sind vor allem höhere Wirkungsgrade, geringe Schadstoff- und Lärmemissionen sowie ein wartungsarmer Systemaufbau.

Aufbau und Funktion (am Beispiel PEMFC)

Ein Brennstoffzellenstapel, bestehend aus einer seriellen Aneinanderreihung von Einzelzellen, wird auch Stack genannt. Die Gesamtleistung des Stacks ist hierbei abhängig von Anzahl und Fläche der Einzelzellen. Die einzelne Zelle besteht aus zwei Elektroden, der Anode und der Kathode, welche meist direkt je auf einer Seite einer protonenleitenden Membran aufgebracht sind. Beide Elektroden beinhalten neben einem Trägersubstrat auch Katalysatormaterial, das die Reaktionen an den Elektroden antreibt. An der Anode werden die Wasserstoffmoleküle in ihre Kernbestandteile aufgespalten, somit negativ geladene Elektronen abgetrennt. Die dabei zurückbleibenden positiv geladenen vereinzelten Protonen können die Ionen leitende Membran (Elektrolyt) durchqueren und wandern in Richtung Kathode. Die Elektronen werden über den äußeren Stromkreis geleitet und verrichten elektrische Arbeit. An der Kathode nehmen die Sauerstoffmoleküle nach Aufspaltung in Sauerstoffatome die Elektronen auf und vereinigen sich mit den Protonen zu Wassermolekülen.

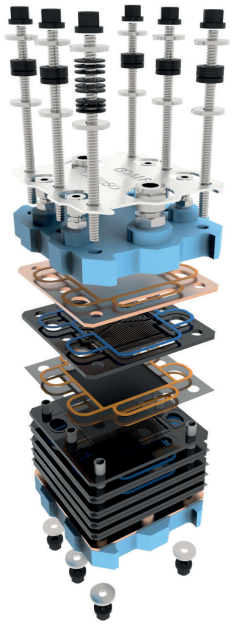
Zellkomponenten

- Bipolarplatten
- Dichtungen
- Subgasket Rahmen
- Gasdiffusionslage
- Elektroden
- Polymerelektrolytmembran



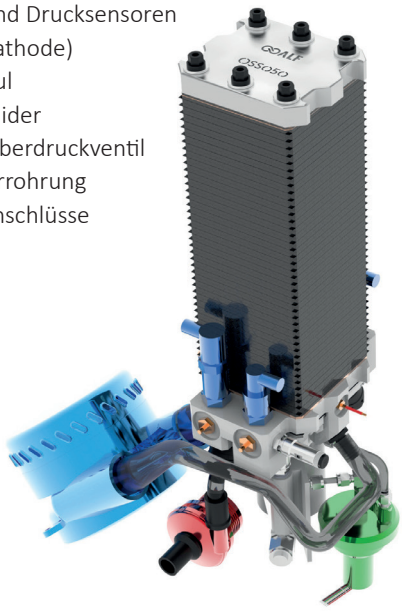
Stackkomponenten

- Federsysteme
- Zuganker
- Medienanschlüsse
- Dichtungen
- Endplatten mit Isolierung
- Stromabnehmerplatten
- Einzelzellen in Reihe gestapelt = Stack



Systemkomponenten

- Brennstoffzellenstack
- Deionisierungsfilter
- Kühlmittelpumpe
- Luftfilter, Luftverdichter
- Wasserstofffilter
- Wasserstoff-Rezirkulationspumpe
- Temperatur und Drucksensoren (Anode und Kathode)
- Manifoldmodul
- Wasserabscheider
- Wasserstoff-Überdruckventil
- Schläuche, Verrohrung und Medienanschlüsse



Bei Brennstoffzellensystemen sind große Wertschöpfungspotenziale insbesondere auch im Bereich der Systemperipherie (Englisch Balance of Plant – BoP) zu finden. Ein Gesamtsystem besitzt üblicherweise Kreisläufe zur Medienversorgung und -konditionierung für die Kathoden- (Luft), die Anoden- (Wasserstoff) und die Kühlseite. Zudem ist die elektrische Einbindung in die Endanwendung notwendig. Zahlreiche Systemkomponenten werden hierfür benötigt.

Beispiele für Anodenkreislauf

- Rezirkulationspumpe oder -ejektordüse
- Sensorik und Ventile
- Verrohrung und Anschlüsse
- Wasserabscheider
- Druckregler
- Filter

Beispiele für Kathodenkreislauf

- Luftverdichter oder Gebläse
- Sensorik, Ventile und Regelklappen
- Verrohrung und Anschlüsse
- Feuchtetauscher
- Filter

Typen

Es existieren unterschiedliche Arten und Ausführungsformen von Brennstoffzellen. Üblicherweise erfolgt eine Unterscheidung bzw. Einteilung nach der Art des genutzten Elektrolyten, der Betriebstemperatur und dem vorhandenen Druck im System. Zusätzlich können typische Betriebsweisen (dynamisch, variabel, stationär etc.) für jede Art definiert werden. Nachfolgende Tabelle gibt hierzu einen Überblick.

- AFC Alkaline Fuel Cell (Alkalische Brennstoffzelle)
- PEMFC Proton Exchange Membrane Fuel Cell (Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle)
- PAFC Phosphoric Acid Fuel Cell (Phosphorsaure Brennstoffzelle)
- MCFC Molten Carbonate Fuel Cell (Schmelzcarbonat-Brennstoffzelle)
- SOFC Solid Oxid Fuel Cell (Oxidkeramische Brennstoffzelle)
- DMFC Direct Methanol Fuel Cell (Direktmethanolbrennstoffzelle)

Brennstoffzellen Typ	AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
Elektrolyt	30 %-ige Kalilauge	Protonen-leitende Polymembran	Phosphor-säure	Karbonat-Schmelze	Dotiertes Zirkonoxid	Protonenleitende Membran
Transport-Ion	OH^-	H^+	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}	H^+
el. Wirkungsgrad (H_2) in %	60-70	50-68	40-55	55-65	60-65	20-30
Betriebsweise	variabel	variabel	eher stationär	stationär	stationär	eher stationär (portable Anw.)
typ. Anwendungs-beispiel	Raumfahrt	dezentrale Energie-versorgung	Kraftwerke	Fahrzeuge, Hausenergie-systeme	Hausenergie-systeme, Kraftwerke	portable Anwendungen
typ. Betriebs-temperatur in °C	20-90	60-95	160-220	620-650	800-1000	60-130
Brennstoff / Oxidans	H_2 / O_2	H_2 / Luft	H_2 / Luft	Erdgas / Luft	Erdgas, Biogas / Luft	Methanol / Luft

Tabelle 5: Typen von Brennstoffzellen und ausgewählte Eigenschaften

Anwendung

Die Hauptanwendungen der Brennstoffzelle sind heute in drei Branchen zu finden. Das weltweit häufigste Feld bildet die Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden. Hier ist vor allem Japan Vorreiter mit mehr als 15 % der auf diese Weise versorgten Gebäude, gefolgt von der Energieversorgung netzferner Geräte. Des Weiteren werden Wasserstoff-Brennstoffzellen in Fahrzeugen eingesetzt. Es ist hierbei mit einem steigenden Marktanteil in der Zukunft zu rechnen, da die Brennstoffzelle zusammen mit dem reinen batterieelektrischen Antrieb eine Option der Mobilität der Zukunft abbildet und in vielen Bereichen den Verbrennungsmotor ablösen kann, in denen eine Batterie nicht ausreichend ist.

Portable Anwendungen umfassen beispielsweise die Stromversorgung elektronischer Kleinverbraucher wie Laptops, Smartphones und MP3-Player, aber auch die elektrische Energieversorgung für den Campingbereich, bei Sonderfahrzeugen oder Yachten.

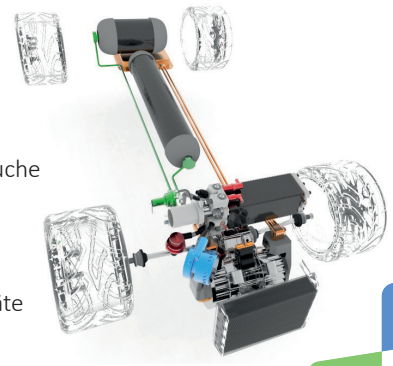
Von mobilen Anwendungen spricht man, wenn Brennstoffzellen als Energiewandler in Antriebssträngen von Fahrzeugsystemen jeglicher Art eingesetzt werden. Hierunter zählen auch Anwendungen, bei welchen entsprechende Systeme lediglich als Zusatzaggregate vorgesehen werden, beispielsweise als Range-Extender.

- Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge: bereits Serienproduktion
- Gabelstapler und Flurförderfahrzeuge: bereits Serienproduktion
- Schienenverkehr: erste Brennstoffzellenzüge im Betrieb
- Luftfahrt: technisch bereits umgesetzt, Prototypenstadium
- Schifffahrt: seit 20 Jahren verschiedene funktionale Prototypen
- Raumfahrt: seit Jahrzehnten werden Brennstoffzellen als Energiewandler eingesetzt

Stationäre Anwendungen bezeichnen Systeme zur Energieversorgung einzelner Häuser bis hin zu Systemen für die Energieversorgung ganzer Wohnviertel oder Industrieanlagen.

Mobile Anwendung

- Wasserstofftank
- Batteriesystem
- Kabelbaum, Verrohrung und Schläuche
- Brennstoffzellensystem
- Getriebesystem
- Elektromotor
- Leistungselektronik und Steuergeräte



3

Markt-entwicklung im Wasserstoff-segment

3 Marktentwicklung im Wasserstoffsegment

3.1 Globale Marktentwicklung

Nachdem die Wertschöpfungsketten der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft[3] sowie Anwendungstechnologien von Wasserstoff vorgestellt wurden, soll nun die zukünftige wirtschaftliche Bedeutung von Wasserstoff betrachtet werden. Die weltweite Nachfrage nach Wasserstoff wächst kontinuierlich [11], aber es wird derzeit fast ausschließlich konventionell erzeugter Wasserstoff gehandelt und als Rohstoff oder Industriegas in industriellen Fertigungsprozessen eingesetzt. Die Herstellung und die Nutzung von grünem, aus regenerativen Energien erzeugtem Wasserstoff erfolgen aktuell noch auf geringem Niveau. Jedoch haben sich verschiedene Länder weltweit und eine zunehmende Anzahl an Unternehmen ambitionierte Ziele für deren Ausbau gesetzt [12]. Unter anderem wurden im internationalen Industrieverband „Hydrogen Council“ grüner Wasserstoff sowie Brennstoffzellen als potentielle Mittel für den Umbau der Energiesysteme und eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen sowie wirtschaftlich hoch relevante Faktoren identifiziert [11; 1].

Laut dem Hydrogen Council [1] betrug die jährliche globale Nachfrage nach Wasserstoff 2015 ca. 2.200 TWh. Bis zum Jahr 2030 wird ein moderater Zuwachs hin zu einer Nachfrage von ungefähr 3.900 TWh erwartet, bis zum Jahr 2050 aber ein deutliches Marktwachstum bis auf ca. 21.400 TWh prognostiziert (siehe Abbildung 12). Dies entspricht gegenüber dem Jahr 2015 knapp einer Verzehnfachung.

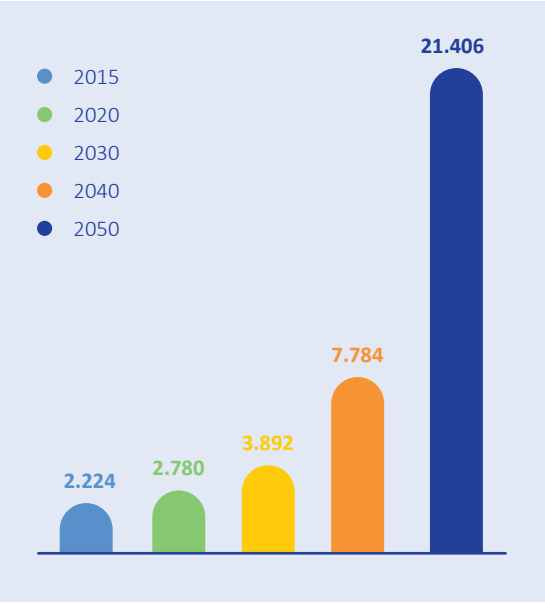


Abbildung 8: Prognostizierte globale Nachfrage nach Wasserstoff [TWh], Quelle: Hydrogen Council [1]

Prognostizierte globale Nachfrage nach Wasserstoff
Im Jahr 2030 ca. 2.200 TWh
Im Jahr 2050 ca. 21.400 TWh

Der prognostizierte Wasserstoffbedarf im Jahr 2050 wird in der nachfolgenden Grafik differenziert für die einzelnen Segmente der Wertschöpfungskette dargestellt. Der größte Bedarf an Wasserstoff besteht demgemäß mit ungefähr 6.100 TWh/a im Bereich „Mobilität und Verkehr“, aber auch für den Bereich „Industrielle Energie“ wird mit ca. 4.500 TWh/a eine besonders hohe Nachfrage erwartet.

3 *Es ist zu berücksichtigen, dass die als Quellen genutzten Studien aus dem Wasserstoffumfeld stammen.*

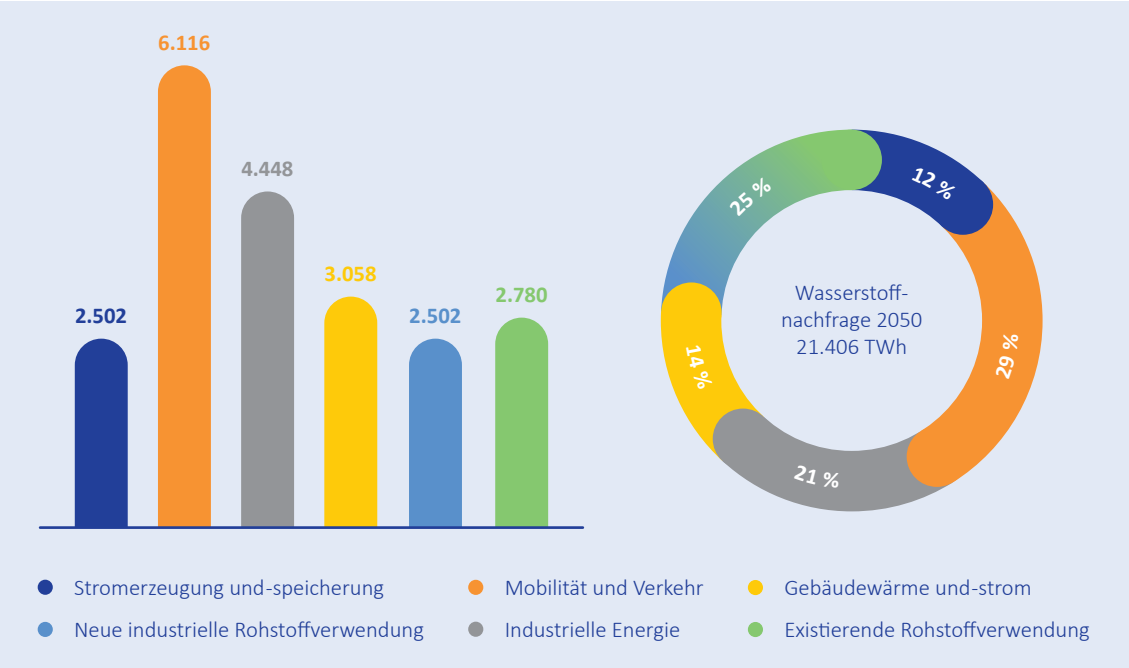


Abbildung 9: Aufteilung der globalen Nachfrage nach Wasserstoff in Segmente der Wertschöpfungskette für das Jahr 2050 [TWh], Quelle: Hydrogen Council [1]

Einhergehend mit diesem Anstieg der Nachfrage wird ein starkes Umsatzwachstum erwartet. Das Volumen des gesamten globalen Wasserstoff- und Brennstoffzellenmarktes im Jahr 2030 wird vom Hydrogen Council auf ca. 112 Mrd. EUR geschätzt [1][4]. Das größte Teilvolumen weisen dabei die Endanwendungen von Wasserstoff (Mobilität und Verkehr, industrielle Energie, Gebäudewärme und -strom sowie die Nutzung als Rohstoff) mit einem erwarteten jährlichen Umsatz von ca. 54 Mrd. EUR auf, gefolgt von der Wasserstoffherstellung mit 33 Mrd. EUR und der Lagerung/Speicherung, dem Transport sowie der Distribution mit einem prognostizierten Jahresumsatz von ungefähr 25 Mrd. EUR. Für das Jahr 2050 wird der Jahresumsatz auf dem bis dahin entwickelten Massenmarkt auf ca. 2,1 Bio. EUR geschätzt (vgl. Abbildung 10).

Die größte Wertschöpfung der Wasserstoffwirtschaft[5] wird bei der Wasserstoffnutzung in hochentwickelten Industrien (z. B. Maschinenbau, Automobilbau, Elektroenergieversorgung) gesehen. Es wird erwartet, dass hier mehr Arbeitsplätze entstehen als in den entsprechenden Bereichen der industriellen Wertschöpfungsketten, die auf fossilen Brennstoffen basieren. Das Hydrogen Council rechnet mit einer direkten und indirekten Schaffung von 12 Arbeitsplätzen je 1 Mio. USD Umsatz im Kontext der Nutzung von Wasserstoff in diesen Industrien, sodass im Jahr 2030 ca. 1,7 Mio. Menschen in der Wasserstoffwirtschaft arbeiten würden [1]. Im Jahr 2050 wären demnach ungefähr 30 Millionen Menschen in der Wasserstoffwirtschaft beschäftigt, und es kämen noch zusätzliche Arbeitsplätze durch die Wertschöpfung rund um die Brennstoffzellen hinzu.

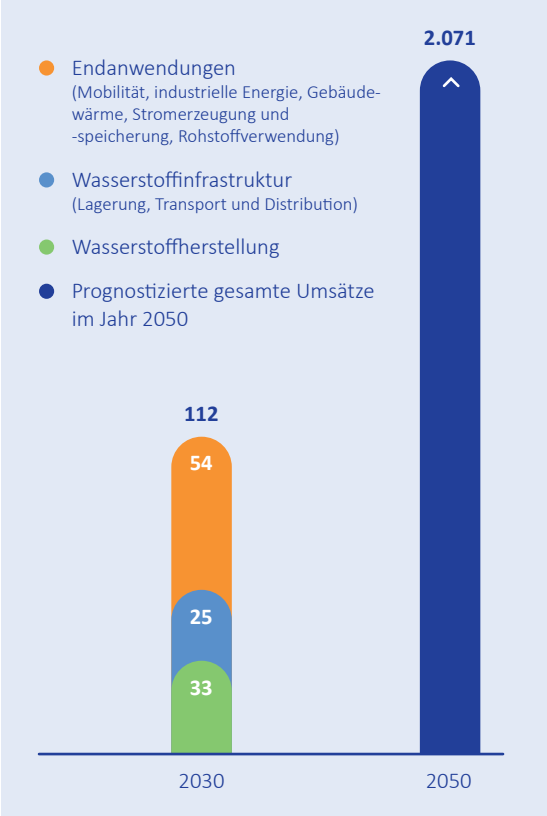


Abbildung 10: Prognostizierte globale Jahresumsätze in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft [Mrd. EUR], Quelle: Hydrogen Council [1]

Prognostizierte globale Umsätze in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft
Im Jahr 2030 ca. 112 Mrd. EUR | Im Jahr 2050 ca. 2.070 Mrd. EUR

Prognostizierte globale Arbeitsplätze in der Wasserstoff und Brennstoffzellenwirtschaft:
Im Jahr 2030 ca. 1,7 Mio. | Im Jahr 2050 ca. 30 Mio.

Für die Erreichung der prognostizierten Jahresumsätze besteht bereits bis 2030 ein großer Bedarf an Investitionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette; dessen Höhe wird mit insgesamt ungefähr 232 Mrd. EUR erwartet[6]. Dies umfasst Investitionen in Höhe von ca. 91 Mrd. EUR für den Ausbau von Kapazitäten für die Wasserstoffherstellung (z. B. Power-to-Gas-Anlagen), von ungefähr 66 Mrd. EUR für die Wasserstoffinfrastruktur (Lagerung, Transport und Distribution, z. B. in Tanksysteme und -stellen) sowie von rund 75 Mrd. EUR für die Herstellung der Endanwendungen (insbesondere für den Ausbau der Produktionskapazitäten und die Entwicklung der Technologien im Anwendungsbereich) [1]. Allerdings liegen keine Informationen vor, wie hoch die Investitionen bei Nutzung konventioneller Technologien (z. B. für den Ersatz von Anlagen) oder bei Investitionen in andere Technologien sind, die als Alternativen zum Wasserstoff zur Erreichung des Ziels der Dekarbonisierung beitragen könnten. Die im Zusammenhang mit der Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft zu tätigenden Investitionen induzieren einerseits einen Finanzierungsbedarf, andererseits bieten sie ebenfalls ein wirtschaftliches Potenzial.

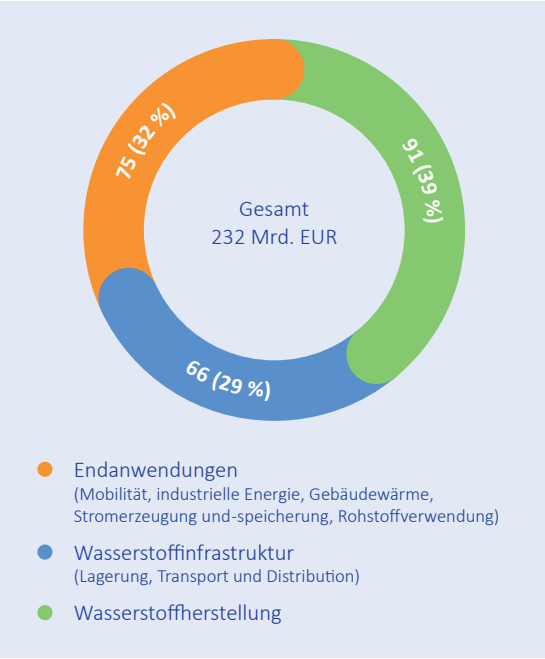


Abbildung 11: Investitionsbedarf für die Wasserstoffherstellung [Mrd. EUR], Quelle: Hydrogen Council [1]

4 *Umrechnungskurs USD in EUR vom 01.02.2021 (1 USD = 0,828245 EUR)*

5 *Im weiteren Verlauf der Studie ist bei der Nutzung des Begriffs „Wasserstoffwirtschaft" die Brennstoffzellenwirtschaft inkludiert.*

6 *Umrechnungskurs USD in EUR vom 01.02.2021 (1 USD = 0,828245 EUR)*

3.2 Europäische Marktentwicklung

Analog zu den ambitionierten Zielen von Unternehmen und Ländern weltweit wird der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft auch in Europa eine bedeutende Rolle hinsichtlich der Verwirklichung von Klimazielen und der damit einhergehenden Reduzierung der Treibhausgasemissionen zugesprochen. Ein Ziel des Pariser Klimaabkommens ist es, mit Hilfe zahlreicher Maßnahmen die globale Erderwärmung gegenüber dem vorindustriellen Niveau unter 2 Grad Celsius zu halten [13]. Ausgehend von diesem 2-Grad-Ziel unterscheidet das FCH JU [2] zwei unterschiedliche Szenarien für die Entwicklung der europäischen Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie bzw. -märkte: ein ambitioniertes („Ambitious“ [A]) und ein moderates („Business-as-usual“ [BAU]) Szenario (siehe Infobox).

Die Szenarien

Business as usual [BAU]
- Nicht-Erreichen des 2-Grad-Ziels des Pariser Klimaabkommens
- Zurückhaltende Weiterentwicklung der regulatorischen und politischen Rahmenbedingungen
- Moderate F&E-Investitionen
- Moderate Marktentwicklung, die als gesichert angesehen werden kann

Ambitious [A]
- Erreichen des 2-Grad-Ziels des Pariser Klimaabkommens
- Kooperative Wasserstoff-Strategieplanung zwischen Politik, Industrie und Investitionen
- Hohe F&E-Investitionen
- Beschleunigte Marktentwicklung

Im Jahr 2015 lag in der EU[7] eine Energienachfrage von ca. 14.100 TWh vor, wovon ungefähr 325 TWh auf Wasserstoff entfielen. Es wird davon ausgegangen, dass die Energienachfrage bis 2050 insgesamt auf 9.300 TWh zurückgeht – bis dahin wird allerdings in beiden Szenarien ein Anstieg der Nachfrage nach Wasserstoff erwartet. Im BAU-Szenario liegt die Nachfrage nach Wasserstoff im Jahr 2030 bei ca. 480 TWh und nimmt bis zum Jahr 2050 auf ungefähr 779 TWh zu. Dabei geht der größte Nachfrageanteil weiterhin aus der konventionellen Verwendung von Wasserstoff für die Herstellung von chemischen Produkten (z. B. durch Raffinerieprozesse) hervor (391 TWh). Aber auch die durch die Nutzung des Wasserstoffs für Gebäudewärme und -strom induzierte Nachfrage wird stark wachsen (von 25 TWh im Jahr 2030 auf ca. 206 TWh im Jahr 2050). Weiterhin gering wird hingegen die neuartige stoffliche Verwendung von Wasserstoff in industriellen Prozessen (Wasserstoff könnte bspw. Kohle im Stahlherstellungsprozess ersetzen) bleiben (nur ca. 1 TWh im Jahr 2050) [2].

Prognostizierte jährliche Nachfrage nach Wasserstoff in Europa:

	Business-as-usual	Ambitious
2030	ca. 480 TWh	ca. 665 TWh
2050	ca. 780 TWh	ca. 2.252 TWh

Für das A-Szenario wird prognostiziert, dass sich die Wasserstoffnachfrage deutlich erhöht. Insgesamt erwartet das FCH JU eine Nachfrage nach Wasserstoff in Höhe von ca. 780 TWh im Jahr 2030 und 2.252 TWh im Jahr 2050 erwartet. Besonders im Bereich Mobilität und Verkehr wird Wasserstoff eine tragende Rolle spielen – mit einem prognostizierten Bedarf an Wasserstoff für Jahr 2050 von ungefähr 675 TWh. Zudem wird für das A-Szenario im Vergleich zum BAU-Szenario eine deutlich höhere Nachfrage nach Wasserstoff für neuartige Verwendungsformen in industriellen Prozessen (ca. 257 TWh A-Szenario im Gegensatz zu 1 TWh im BAU-Szenario erwartet [2].

7 *Im folgenden Verlauf der Studie sind mit „europäischen Unternehmen“ Unternehmen aus den Mitgliedsstaaten der europäischen Union (vor dem 01.02. 2020, EU 28) gemeint.*

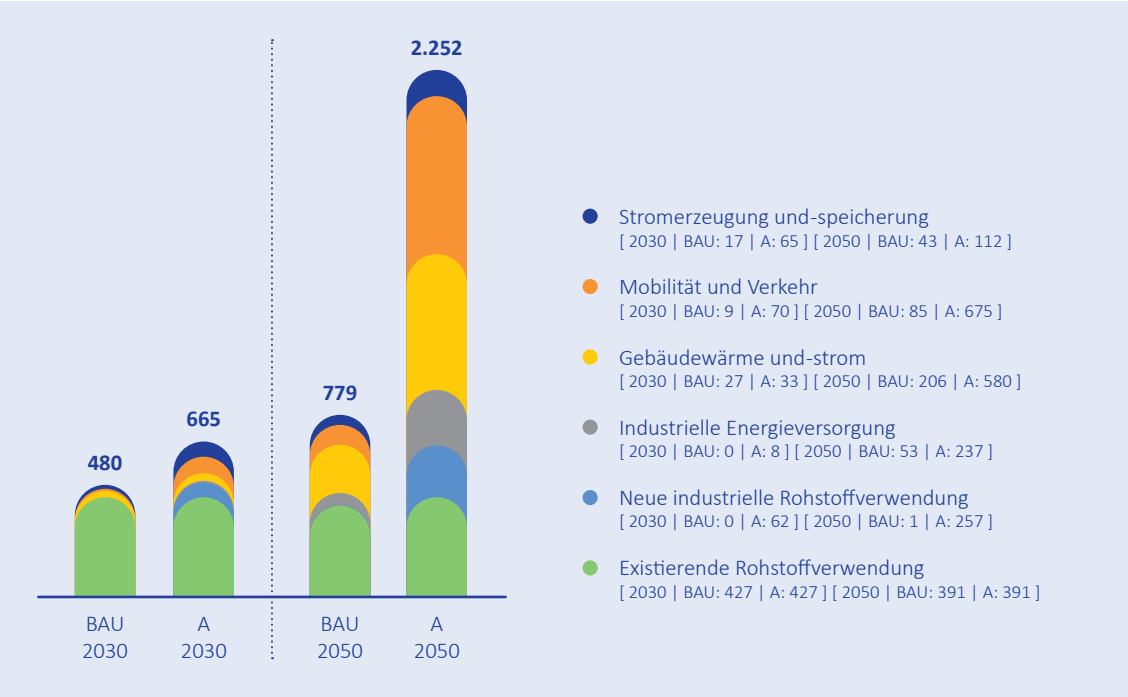


Abbildung 12: Prognostizierte Nachfrage nach Wasserstoff für die Jahre 2030 und 2050 in Europa [TWh], Quelle: FCH JU [2]

Für den Zeitraum bis 2030 erwartet das FCH JU, dass europäische Unternehmen auf dem europäischen Markt eine starke Position einnehmen werden. Innerhalb des A-Szenarios wird bei allen Wertschöpfungsstufen von einem hohen Marktanteil europäischer Unternehmen ausgegangen. Dieser beträgt je nach Wertschöpfungsstufe zwischen 61 % und 90 %. Hervorzuheben sind hierbei die Bereiche der Wasserstoffherstellung, des Wasserstoffvertriebs, der Wasserstoffinfrastruktur und des Wasserstoffverkaufs sowie die „Stufe" der „Aftermarket"-Dienstleistungen und neuen Geschäftsmodelle[8], für die jeweils ein Marktanteil europäischer Unternehmen von 90 % angenommen wird. Diese starke Position europäischer Unternehmen auf dem europäischen Markt besteht bei den genannten Wertschöpfungsbereichen auch im Rahmen des BAU-Szenarios. Die Marktanteile auf den anderen Stufen sind hingegen geringer; sie betragen lediglich zwischen 31 % und 45 %.

Laut der Einschätzung des FCH JU ist die europäische Industrie bei Eintritt sowohl des BAU- als auch des A-Szenarios sehr gut dazu qualifiziert, in die Produktion von Wasserstoff und dessen Distributionsanlagen einzusteigen. Der Schwerpunkt sollte dabei auf der Herstellung von Elektrolysegeräten sowie einer entsprechenden Bereitstellung der Verteilungsinfrastruktur liegen, da die EU-Akteure mittels entsprechender Kompetenzen in diesen Wertschöpfungsbereichen auf dem europäischen Markt Marktanteile bis zu 90 % erreichen könnten [2].

Neben den Marktanteilen werden für beide Szenarien auch die Umsätze auf dem europäischen Markt sowie europäischer Unternehmen aufgegliedert nach den Wertschöpfungsstufen betrachtet. Dabei erfolgt für die europäischen Unternehmen eine Unterteilung in deren Umsätze auf dem europäischen Markt sowie auf dem Weltmarkt („Exporte").

Prognostizierte Umsätze europäischer Unternehmen in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft im Jahr 2030:
Business-as-usual ca. 35 Mrd. EUR
Ambitious ca. 130 Mrd. EUR

Innerhalb des A-Szenarios wird für das Jahr 2030 für europäische Unternehmen ein Marktvolumen von ungefähr 130 Mrd. EUR erwartet. Diese setzen sich für den Heimatmarkt für dieses Szenario aus den erwarteten Umsätzen europäischer Unternehmen von ca. 65 Mrd. EUR und den Exporten in nichteuropäische Länder auch in Höhe von ungefähr 65 Mrd. EUR zusammen. Dabei werden die höchsten Umsätze aus der Herstellung, der Distribution von Wasserstoff sowie der Infrastrukturbereitstellung hierfür prognostiziert (ca. 46 Mrd. EUR). Wird hingegen der europäische Markt betrachtet, kommen zu den Umsätzen auf dem Heimatmarkt noch Importe über alle Wertschöpfungsstufen in Höhe von ca. 20 Mrd. EUR hinzu, was zu einem europäischen Marktvolumen von ca. 85 Mrd. EUR führt [2].

8 *In der Studie des FCH JU werden die Bereiche als „H2 production, distribution, infrastructure and retail" und „Aftermarket services and new business models" bezeichnet.*

Im Rahmen des BAU-Szenarios wird für 2030 für den Markt europäischer Unternehmen ein Volumen von 35 Mrd. EUR prognostiziert, wobei analog zum A-Szenario die höchsten Umsätze (ca. 24 Mrd. EUR) bei der Herstellung von Wasserstoff sowie der Infrastrukturbereitstellung hierfür erwartet werden. Das Marktvolumen europäischer Unternehmen setzt sich zusammen aus den prognostizierten Umsätzen des Heimatmarktes in Höhe von ungefähr 25 Mrd. EUR und den geschätzten Exporten von ca. 10 Mrd. EUR. Im Gegensatz zum A-Szenario ist das prognostizierte Volumen des europäischen Marktes genauso hoch wie das Volumen europäischer Unternehmen, da für das BAU-Szenario für 2030 zu den Umsätzen auf dem Heimatmarkt ungefähr 10 Mrd. EUR an Importen hinzukommen (vgl. Abbildung 13), was insgesamt zu einem Volumen des europäischen Marktes von ebenfalls 35 Mrd. EUR führt [2].

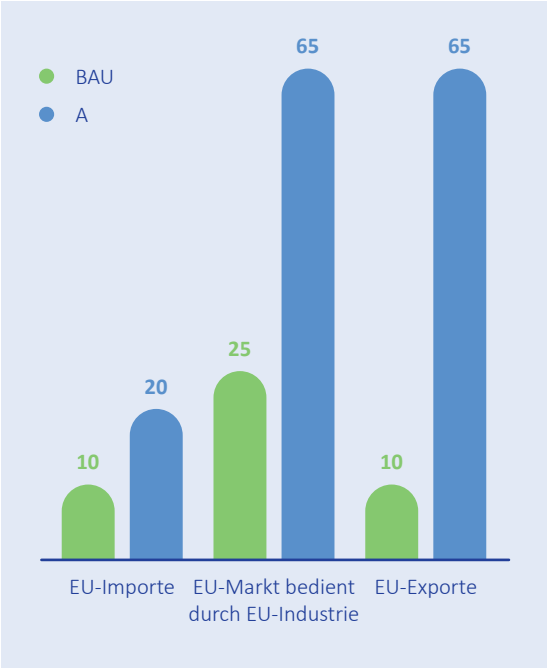


Abbildung 13: Prognostizierte Umsätze in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in Europa 2030 [Mrd. EUR], Quelle: FCH JU [2]

Wie für die globalen wird auch für die europäischen Marktpotenziale angenommen, dass der größte Teil der Wertschöpfung in einer Wasserstoffwirtschaft im Bereich der hochentwickelten Industrie (z. B. Maschinenbau, Automobilbau, Elektroenergieversorgung) auftreten wird. In diesen Branchen werden direkt und indirekt mehr Arbeitsplätze und inländische Wertschöpfung entstehen als bei den entsprechenden Wertschöpfungsketten auf Grundlage fossiler Brennstoffe. Um abzuleiten, wie viele Arbeitsplätze bei Verwendung von Wasserstoff entstehen können, hat das FCH JU die Anzahl der Arbeitsplätze pro Euro Umsatz in Industrien, die den Segmenten in der Wasserstoffwirtschaft ähneln, betrachtet. Für Branchen wie Maschinenbau und Geräteherstellung, Automobil-, Strom- und Gasversorgung können sich pro 1 Mio. EUR Erlöse direkt und indirekt ca. 10 Arbeitsplätze ergeben. Für die Herstellung von Ausrüstung und Endanwendungen werden durchschnittlich 13 Arbeitsplätze pro 1 Mio. EUR Umsatz prognostiziert. Im Bereich Aftermarket-Service und neue Geschäftsmodelle werden pro 1 Mio. EUR Umsatz ca. 15 Arbeitsplätze erwartet. In Anbetracht dieser Umsatz-Arbeitsplatz-Relationen würde die europäische Wasserstoffwirtschaft im Jahr 2030 bei Annahme des A-Szenarios ungefähr 913.000 Menschen beschäftigen. Für den Eintritt des BAU-Szenarios werden durch das FCH JU ca. 278.000 Bruttoarbeitsplätze[9] prognostiziert [2].

Prognostizierte Arbeitsplätze in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in Europa im Jahr 2030
Business-as-usual ca. 278.000
Ambitious ca. 913.000

9 *Im Rahmen der Studie werden lediglich die Arbeitsplätze, die in der Wasserstoffwirtschaft prognostiziert werden bzw. entstehen können, betrachtet und damit Mitnahme-, Verlagerungs- oder Substitutionseffekte vernachlässigt.*

Damit das A-Szenario realisiert werden kann, müssen bis 2030 Investitionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette in Höhe von insgesamt rund 66 Mrd. EUR getätigt werden. Dazu gehören einerseits Investitionen in die Wasserstoffinfrastruktur (etwa 75 % der benötigten Investitionen werden für die Wasserstoffherstellung, -speicherung und -distribution erforderlich) und andererseits Investitionen (die restlichen ca. 25 %) in Forschung und Entwicklung spezialisierter Materialien und den Aufbau neuer Produktionsanlagen für die Endanwendungsgebiete Verkehr, Gebäude, Industrie und Stromerzeugung. Informationen über im Rahmen des BAU-Szenarios benötigte Investitionen liegen nicht vor – es wird lediglich ausgesagt, dass bei diesem Szenario moderate Investitionen in Forschung und Entwicklung getätigt werden müssten. Zudem liegen wie auch zum globalen Marktpotenzial keine Informationen darüber vor, wie hoch die Investitionen bei konventionellen Technologien oder Investitionen in andere Technologien sind, die als Alternativen zum Wasserstoff zur Erreichung des Ziels der Dekarbonisierung beitragen könnten.

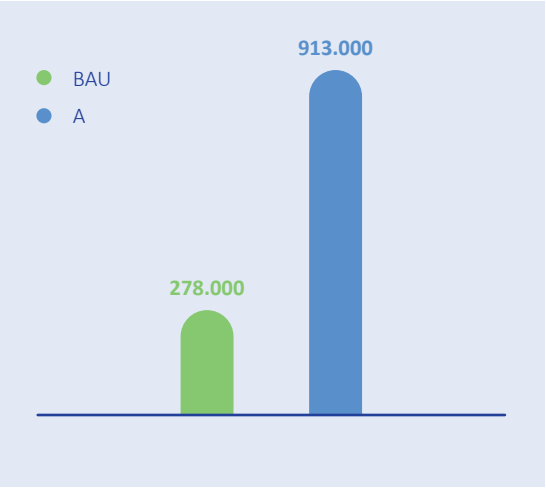


Abbildung 14: Prognostizierte Arbeitsplätze in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in Europa 2030, Quelle: FCH JU [2]

3.3 Deutsche Marktentwicklung

Auch in bzw. für Deutschland werden im Rahmen der Klimapolitik ambitionierte Ziele verfolgt. So sollen die Treibhausgasemissionen bis 2030 im Vergleich zum Jahr 1990 um 55 % gemindert werden. Bis 2050 wird eine Minderung von 80 bis zu 95 % angestrebt [14]. Zudem wird langfristig im Einklang mit der Erreichung des 2-Grad Ziels des Pariser Klimaabkommens das Ziel der Klimaneutralität verfolgt. Grüner Wasserstoff und seine Anwendungstechnologien sind wichtige Elemente, um über die Dekarbonisierung die klimabezogenen Ziele zu erreichen. Seitens der Bundesregierung wird ein zügiger Markthochlauf unterstützt und es soll eine entsprechende Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft etabliert werden [15].

Im Jahr 2015 wurden in Deutschland lediglich etwa 57 TWh Wasserstoff erzeugt und vorwiegend in der Industrie genutzt [16]. Da die Bedeutung von Wasserstoff auch in Deutschland zunehmen wird, ist bis 2030 mit einem sektorübergreifenden Anstieg der Nachfrage zu rechnen. In der Wasserstoffpotenzialstudie für Baden-Württemberg wurden für eine Abschätzung der zukünftigen Marktentwicklung in Deutschland die Annahmen für die Marktentwicklung auf europäischer Ebene zugrunde gelegt – mit der Begründung, dass Deutschland als technologisch und wirtschaftlich starkes Land innerhalb Europas auch im Bereich Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie eine führende Position einnehmen wird [12]. Demgemäß wurde für Deutschland das gleiche relative Nachfragewachstum wie für die EU angenommen [2]. Im BAU-Szenario heißt das, dass sich die Nachfrage nach Wasserstoff bis 2030 auf ca. 84 TWh und bis 2050 auf ungefähr 137 TWh belaufen wird. Im A-Szenario kommt es ungefähr zu einer Verdopplung der Wasserstoffnachfrage bis 2030 und zu einer Versiebenfachung bis 2050. Ausgehend von diesen Annahmen wird der Wasserstoffbedarf in Deutschland im A-Szenario bis 2030 auf 117 TWh und bis 2050 sogar auf 395 TWh ansteigen.

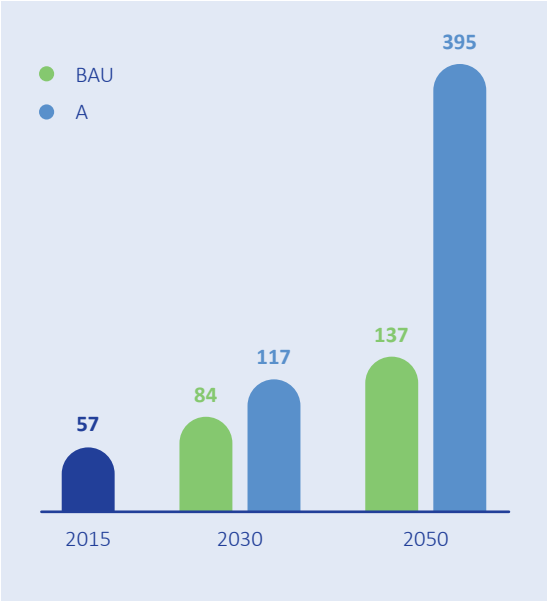


Abbildung 15: Prognostizierte Nachfrage nach Wasserstoff für die Jahre 2030 und 2050 in Deutschland [TWh], Quelle: Eigene Berechnung auf Basis der Daten des FCH JU [2]

Neben den Potenzialbetrachtungen der Baden-Württemberg-Studie hat u. A. auch das Fraunhofer ISE die Nachfrage nach Wasserstoff für Deutschland prognostiziert [17]. Auch hier wurden die Prognosen in zwei Szenarien differenziert, einem A- und einem B-Szenario. Für das Jahr 2030 wird im A-Szenario eine Nachfrage nach Wasserstoff von ca. 4 TWh erwartet, wohingegen das B-Szenario ungefähr 20 TWh prognostiziert. Für beide Szenarien wird ein deutlicher Anstieg der Nachfrage bis zum Jahr 2050 erwartet, die dann im A-Szenario 250 TWh und im B-Szenario 800 TWh beträgt. Im Vergleich zu den Prognosen der Baden-Württemberg-Studie liegt die Nachfrage nach Wasserstoff im Jahr 2030 deutlich niedriger, im Jahr 2050 hingegen deutlich höher (unter der Annahme, dass das A- bzw. das B-Szenario beim Fraunhofer ISE mit dem BAU-Szenario bzw. dem A-Szenario korrespondiert).

Es wird demgemäß erwartet, dass der Markthochlauf der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft auch in Deutschland zu einem signifikanten Anstieg der Marktgröße führen wird. Für die Prognose der Umsätze werden erneut die Daten der europäischen Studie zugrunde gelegt und auf den Markt deutscher Unternehmen übertragen. Bei einer EU-Wasserstoff-Marktgröße von etwa 35 Mrd. EUR (BAU-Szenario) bzw. 130 Mrd. EUR (A-Szenario, Umsätze auf dem Heimatmarkt zzgl. der Umsätze durch Exporte) in 2030 kann für den Wasserstoffmarkt deutscher Unternehmen unter der Annahme eines jeweils gleichbleibenden Anteils daran für 2030 ein Umsatzvolumen von ca. 12,5 Mrd. EUR (BAU) bzw. ca. 47 Mrd. EUR (A)[10] abgeschätzt werden.

Prognostizierte jährliche Nachfrage nach Wasserstoff in Deutschland:

	Business-as-usual	Ambitious
2030	ca. 84 TWh	ca. 137 TWh
2050	ca. 117 TWh	ca. 395 TWh

Prognostizierte Umsätze deutscher Unternehmen in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft für das Jahr 2030:
Business-as-usual ca. 12,5 Mrd. EUR
Ambitious ca. 47 Mrd. EUR

10 *Das Vorgehen bei der Berechnung des anteiligen Umsatzvolumens ist identisch mit der Methodik, die in Kapitel 4 detailliert vorgestellt wird.*

Laut einer Erhebung des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) sind momentan in Deutschland rund 1.500 Mitarbeiter in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft beschäftigt [18]. Gemäß Baden-Württemberg-Studie werden bei Eintritt des A-Szenarios des FCH JU bis 2030 zwischen 120.000 und 150.000 Arbeitsplätze in Deutschland im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie erwartet. Eine Prognose für den Eintritt des BAU-Szenarios liegt hingegen nicht vor. Eine weitere Einschätzung über die Anzahl an Arbeitsplätzen, die durch die Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft geschaffen werden können, hat der Deutsche Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband vorgenommen: Er geht davon aus, dass bis 2030 etwa 70.000 Bruttoarbeitsplätze entstehen werden [19].

Im Vergleich zu heute zeichnet sich damit vor allem, aber nicht nur bei Eintritt des A-Szenarios eine starke Zunahme der Arbeitsplätze bis 2030 ab. Aus dem vom Hydrogen Council bis 2050 prognostizierten Wachstum der Nachfrage nach Wasserstoff weltweit und in Europa (vgl. die Abschnitte 3.1 und 3.2) lässt sich ableiten, dass bis dahin ein um ein Vielfaches höheres Arbeitsplatzpotenzial besteht.

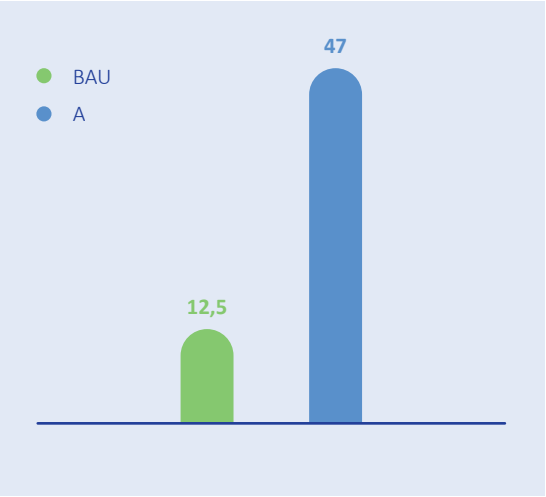


Abbildung 16: Prognostizierte Umsätze deutscher Unternehmen in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft 2030 [Mrd. EUR], Quelle: Eigene Berechnung auf Basis der Daten des FCH JU [2] und des statistischen Bundesamts [20]

Prognostizierte Arbeitsplätze für Deutschland in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft für das Jahr 2030 bei Eintritt des A-Szenarios:
Zwischen 120.000 und 150.000

4

Sächsische Wirtschaft im Wasserstoff-segment

4 Sächsische Wirtschaft im Wasserstoffsegment

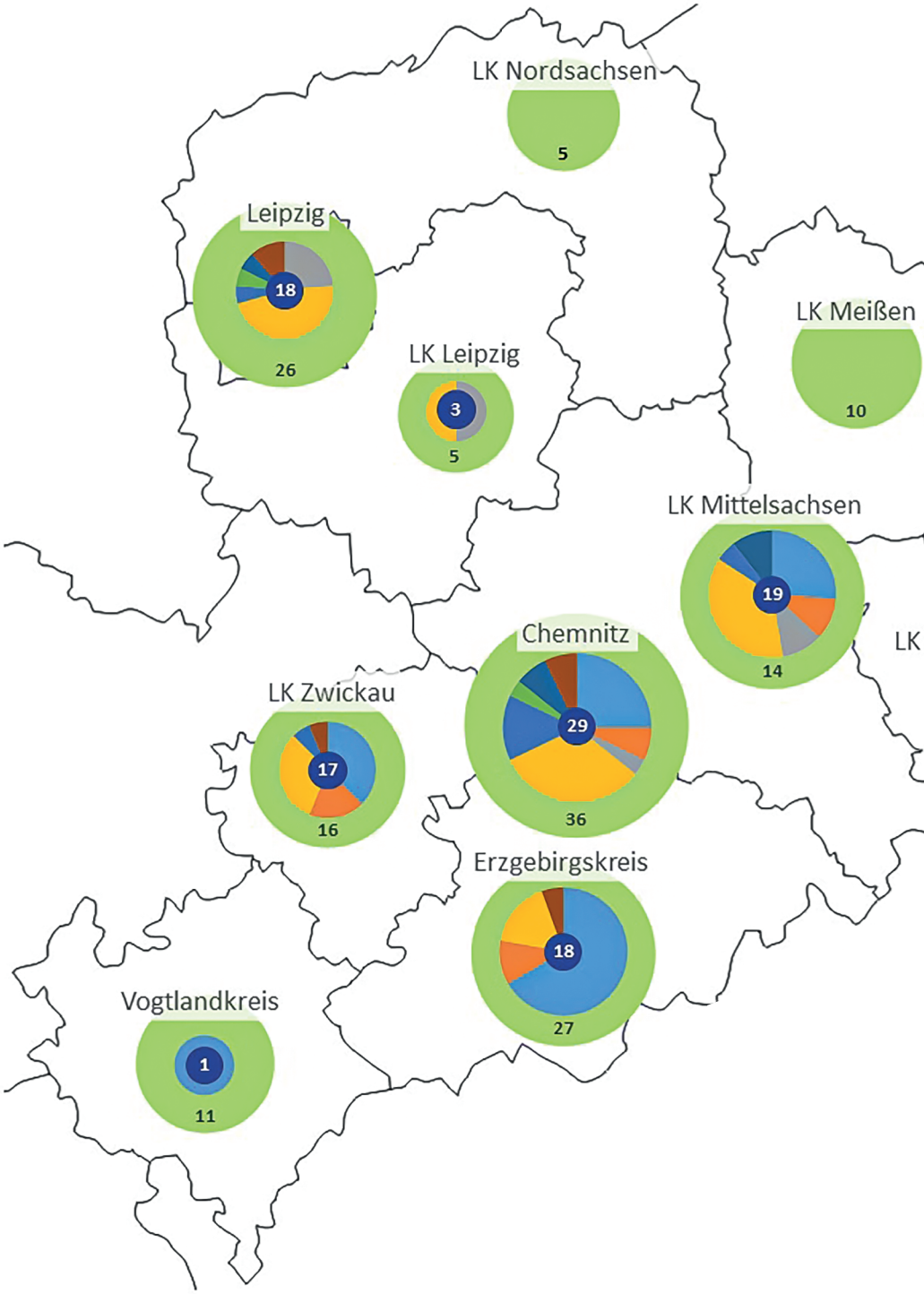
4.1 Ausgangssituation

Nachdem die Marktpotenziale für die Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft dargestellt wurden, wird nun die aktuelle Akteurslandschaft Sachsens im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie vorgestellt. Im Freistaat Sachsen bestehen umfangreiche Kompetenzen für die Erzeugung, Wandlung, Speicherung sowie Nutzung von Energie [21]. Sachsen ist ein traditionelles Technologieland und weist große Forschungs- und Produktionspotenziale auf. Abbildung 17 zeigt u. a. eine Übersicht über Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Netzwerke und Wirtschaftsförderungen, die bereits heute in Sachsen in den unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen aktiv sind und dabei ihren Hauptsitz, einen Forschungs- und Entwicklungsstandort, einen Produktionsstandort oder einen (Aus-)Bildungsstandort im Freistaat haben. Bei den Unternehmen handelt es sich meist um kleine und mittelständische Unternehmen, allerdings sind auch wenige international agierende Großunternehmen in der sächsischen Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft tätig.

In der nachfolgenden Karte ist die Anzahl sowohl der aktuellen als auch der potenziellen, zukünftigen Akteure der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft aufgeführt und den jeweiligen Landkreisen zugeordnet. Es lässt sich erkennen, dass im Freistaat Sachsen aktuell insbesondere Komponentenhersteller und Dienstleistungsunternehmen (letztere in der Beratung, in der Planung und dem Engineering im Wasserstoff- und Brennstoffzellensegment) tätig sind. Einen Schwerpunkt der Komponentenhersteller bilden der Erzgebirgskreis, die Stadt Chemnitz sowie die Landkreise Zwickau und Mittelsachsen. In den genannten Landkreisen sowie der Stadt Chemnitz ist auch der Dienstleistungsbereich stark vertreten. Wasserstoff- und brennstoffzellennahe Dienstleister finden sich darüber hinaus aber auch in Leipzig und Dresden. Die Stadt Dresden weist insgesamt die meisten Akteure im Vergleich mit den anderen Landkreisen und kreisfreien Städte auf. Zudem finden sich dort und in der Stadt Leipzig die meisten Gesamtsystemanbieter. Entlang der Linie Chemnitz – Freiberg (Mittelsachsen) – Dresden liegt darüber hinaus der Schwerpunkt sächsischer Wasserstoff- und Brennstoffzellenforschung.

Die potenziellen Akteure werden in der Abbildung durch die hellgrünen Kreise bzw. Ringe dargestellt. Hier erfolgt keine zusätzliche Differenzierung nach Kategorien und Verteilung auf die Wertschöpfungsstufen. Erkennbar ist, dass sich in allen sächsischen Landkreisen entsprechende Akteurspotenziale finden und damit die Anzahl der Akteure in der sächsischen Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft noch deutlich zunehmen kann. Einen Schwerpunkt bilden hier die Städte Chemnitz und Leipzig sowie der Erzgebirgskreis.

Insgesamt wurden 430 aktive und potenzielle Akteure in Sachsen im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie identifiziert. Die Gesamtübersicht der Akteure befindet sich in Anhang 3.


LK Nordsachsen
5
Leipzig
18
26
LK Leipzig
3
5
LK Meißen
10
LK Mittelsachsen
19
14
LK
Chemnitz
29
36
LK Zwickau
17
16
Erzgebirgskreis
18
27
Vogtlandkreis
1
11

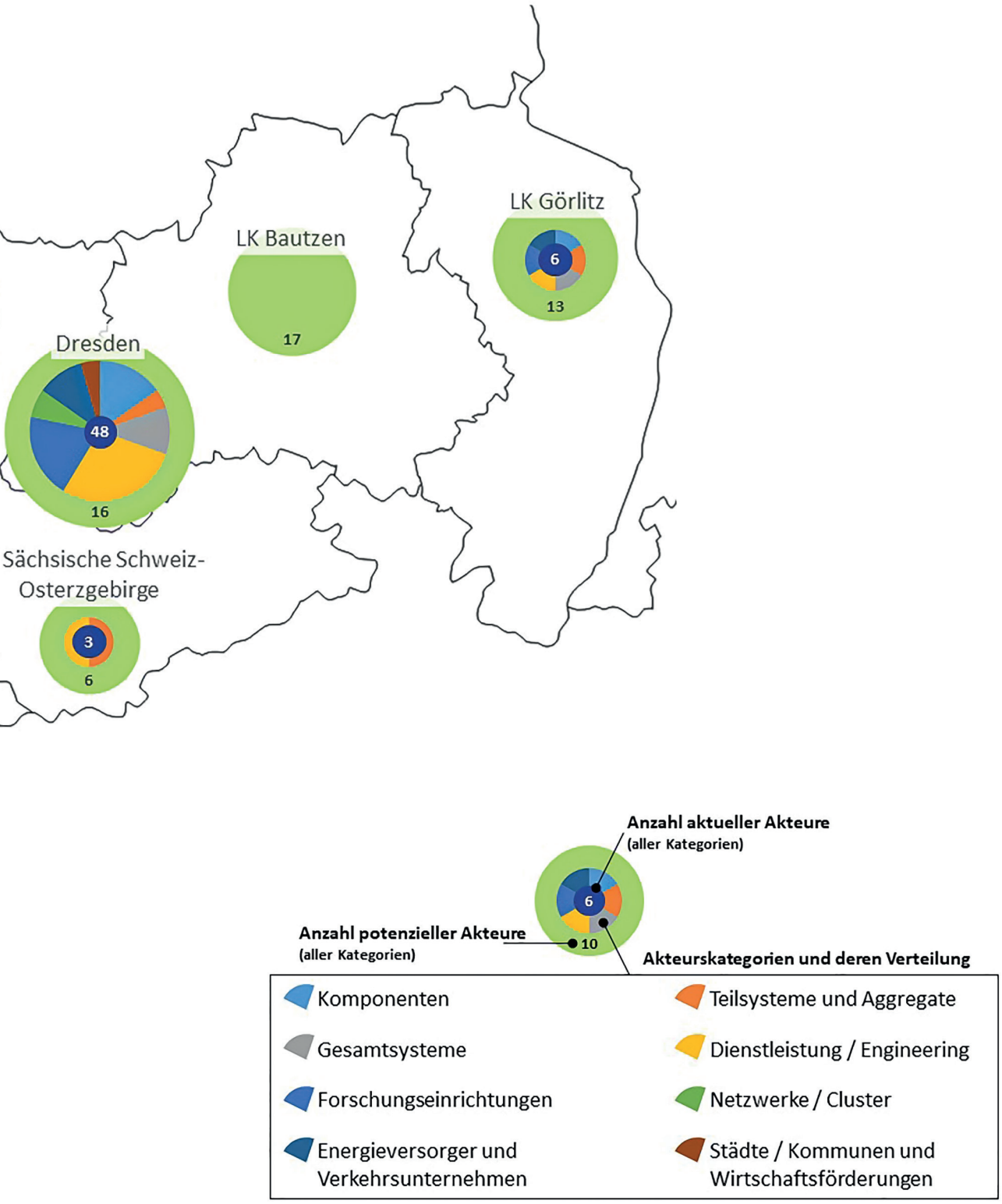


Abbildung 17: Aktuelle Akteurslandschaft Sachsens im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (Mehrfachnennungen möglich)

Wie im Kapitel 2.1 beschrieben, besteht die energetische Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft aus den drei Segmenten Wasserstoffherstellung, Wasserstofftransport und -speicherung sowie Wasserstoffanwendung. Alle drei Segmente sind jeweils mit einer Produktwertschöpfungskette verbunden, in der Komponenten, Teilsysteme und Systeme für das jeweilige Segment hergestellt werden. Sowohl auf allen Ebenen der energetischen Wertschöpfungskette als auch auf denjenigen der Produktwertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft sind Unternehmen bzw. Forschungsinstitutionen in den Bereichen Forschung und Entwicklung sowie Dienstleistung und Engineering aktiv. Die im Rahmen dieser Studie auf Basis von Sekundärquellen durchgeführte Analyse zeigt speziell, dass in Sachsen tätige Unternehmen in unterschiedlicher Intensität die gesamte Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in den verschiedenen Stufen der Produktwertschöpfungskette von der Komponentenherstellung (z. B. Herstellung von Bipolarplatten, Pumpen oder auch Dichtungen) über die Teilsystemintegration (z. B. Fertigung von Brennstoffzellen) bis hin zur Systemintegration (z. B. Anlagenbau im Elektrolyseurbereich oder Elektrolyseure selbst) abdecken. Diese Einschätzung wird durch die Aussagen der befragten Experten und durch die Online-Umfrage gestützt.

Es werden weite Teile der Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft durch in Sachsen tätige Unternehmen abgedeckt.

Energetische Wertschöpfungskette der sächsischen Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft

Um die aktuelle Abdeckung der Wertschöpfungskette für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien durch sächsische Unternehmen zu untersuchen, wird zunächst die energetische Wertschöpfungskette betrachtet.

Im Segment der Wasserstoffherstellung sind in Sachsen lediglich wenige Unternehmen tätig. Nach Expertenmeinung resultieren die Lücken speziell im Bereich der Herstellung grünen Wasserstoffs aus dem geringen Ausbau der Erzeugung elektrischer Energie aus erneuerbaren Energieträgern. Allerdings werden die Unternehmen, die im Segment der Wasserstoffherstellung aktiv sind, durch die befragten Experten als gut aufgestellt eingeschätzt.

Im Segment des Wasserstofftransports und der Wasserstoffspeicherung sind bislang vor allem Komponentenhersteller präsent; auch dieses Segment ist laut Expertenmeinungen bislang durch sächsische Unternehmen noch unterbesetzt. Der Betrieb und die Wartung von Infrastrukturanlagen wie Tankstellen und die Distribution von Wasserstoff stehen aktuell noch nicht im Fokus von vielen Unternehmen. Zudem wird das kaum vorhandene Netz von Wasserstofftankstellen als Lücke identifiziert.

Die meisten sächsischen Unternehmen sind im Segment der Wasserstoffanwendung vertreten. Laut Expertenmeinung ist für den Bereich der häuslichen Energieversorgung festzustellen, dass Energieversorger und Netzbetreiber dem Einsatz von Wasserstoff bereits heute sehr aufgeschlossen gegenüberstehen. Auch im Bereich der chemischen Industrie sei eine große Bereitschaft für den Einsatz von grünem Wasserstoff vorhanden, allerdings stellen nach Aussage der Experten die relativ hohen Kosten hier eine wesentliche Barriere dar. Im Anwendungsbereich Mobilität liegt der Fokus aktuell auf der Nutzung von Wasserstoff bei Busunternehmen und im LKW-Segment.

Im Rahmen der energetischen Wertschöpfungskette sind die meisten Unternehmen im Segment der Wasserstoffanwendungen vertreten. Die Segmente der Wasserstoffherstellung sowie der Wasserstoffspeicherung und des -transports liegen weniger im Fokus der sächsischen Unternehmen.

Produktwertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft

Laut Auswertung der Online-Umfrage, bei der u. a. eine Selbsteinordnung der Unternehmen in die Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft erfolgte (vgl. Abbildung 18), sind viele Unternehmen in den begleitenden Themenfeldern Forschung und Entwicklung sowie Dienstleistungen tätig. Daneben liegt der Schwerpunkt vor allem im Segment der Herstellung von Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellensystemen und/oder Komponenten für diese, was die Stufen sowohl der Komponentenherstellung, der Teilsystemintegration als auch der Systemintegration umfasst. Dagegen sind lediglich wenige Unternehmen Betreiber von Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellensystemen oder im Bereich der Entsorgung aktiv.

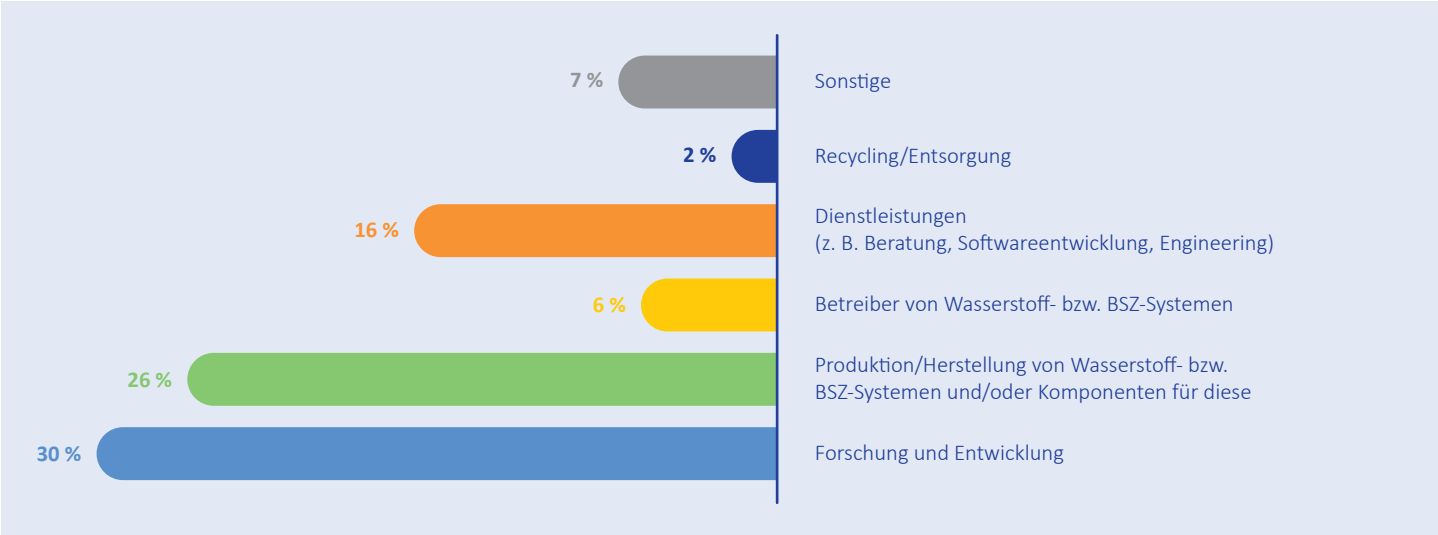


Abbildung 18: Einordnung der Unternehmen in die Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft [n = 56, Mehrfachnennungen möglich], Quelle: Online-Umfrage

Der Schwerpunkt der sächsischen Produktwertschöpfungskette liegt – wie oben bereits angemerkt und in Abbildung 19 zu sehen – auf der Komponentenherstellung.

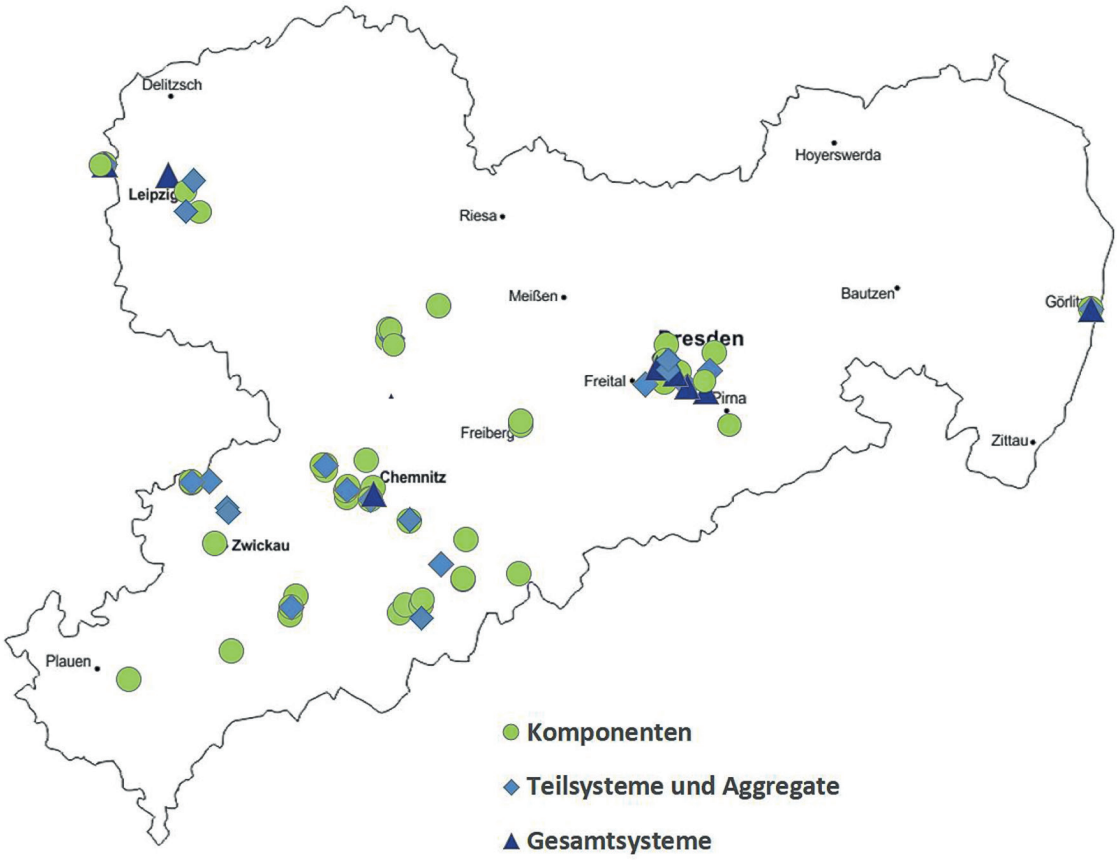


Abbildung 19: Produktwertschöpfung in Sachsen (Mehrfachnennungen möglich)

Komponentenhersteller umfassen Produzenten von Sachgütern, die in komplexen Wasserstoff- und Brennstoffzellensystemen zum Einsatz kommen. Laut Sekundärquellenanalyse sind in diesem Segment etwa 52 Unternehmen aktiv[11]. Von diesen werden vielfältige Komponenten für den Automobilbau, den Maschinen- und Anlagenbau und auch Brennstoffzellensysteme hergestellt. Sachsen profitiert somit von seiner etablierten Zuliefererindustrie, die vor allem im Bereich des Automobilbaus, aber auch im Maschinen- und Anlagenbau seitens der Experten als sehr stark eingeschätzt wird. Zudem ist Sachsen laut den Experten insbesondere bei der Herstellung metallischer Komponenten gut aufgestellt, wohingegen im Bereich der chemischen Komponenten laut Expertenmeinung Kompetenz – zumindest bei einer hinreichenden Breite der Akteure – fehlt.

Aber auch die Teilsystemintegratoren sind mit 18 Unternehmen gut vertreten, wenn auch in deutlich niedrigerem Umfang als die Komponentenhersteller. Teilsystemintegratoren verarbeiten einzelne Komponenten zu Subsystemen, die dann ihrerseits wiederum Bestandteil einer komplexen Anwendung werden. Der Bereich der Systemintegratoren ist mit acht sächsischen Unternehmen am wenigsten vertreten. Zu der Stufe der Systemintegratoren zählen beispielsweise Anlagenbauer oder Automobilhersteller, deren Antriebe auf Brennstoffzellen und/oder Wasserstoff basieren. Laut den befragten Experten fehlt vor allem ein etablierter Anlagenbauer in Sachsen, der bereits heute schwerpunktmäßig Anlagen für den Wasserstoff- und Brennstoffzellenmarkt fertigt.

Wie oben bereits dargestellt, ordnen sich viele Unternehmen im Bereich der Produktion von Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellensystemen und/oder Komponenten für diese ein. Dabei setzen einige Unternehmen ihren Schwerpunkt auf die Produktion von Elektrolyseursystemen und/oder -komponenten (vgl. Abbildung 20); damit einher geht, dass Sachsen nach Meinung der befragten Experten im Bereich der Elektrolyseurherstellung im Vergleich zu anderen Bundesländern als gut aufgestellt angesehen wird. Die meisten Unternehmen weisen einen Schwerpunkt bei der Herstellung von Brennstoffzellensystemen oder -komponenten auf, wohingegen lediglich wenige Unternehmen ihren Fokus auf die Herstellung von Tank- und Transportsystemen und/oder -komponenten gelegt haben.

Im Bereich der Brennstoffzellensysteme und -komponenten steht laut Online-Umfrage die Fertigung des Brennstoffzellenstacks oder einzelner Stackkomponenten im Mittelpunkt (siehe Abbildung 21). Weit weniger im Fokus der sächsischen Unternehmen liegt die Herstellung von Brennstoffzellengesamtsystemen, was auch seitens der Experten als Lücke in der Produktwertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft Sachsens identifiziert wurde. Aber auch die Herstellung der leistungselektronischen, Kühl- und/oder Wärmetauscher-Komponenten oder -Teilsysteme sowie Komponenten oder Teilsysteme für die Sensorik, Medienleitung oder Produktwasserabfuhr werden seitens sächsischer Unternehmen vergleichsweise wenig abgedeckt.

Im Rahmen der Produktwertschöpfungskette sind die meisten Unternehmen in Sachsen im Bereich der Komponentenherstellung aktiv. Aber auch die Bereiche der Teilsystemintegration und Systemintegration werden durch diverse sächsische Unternehmen abgedeckt.

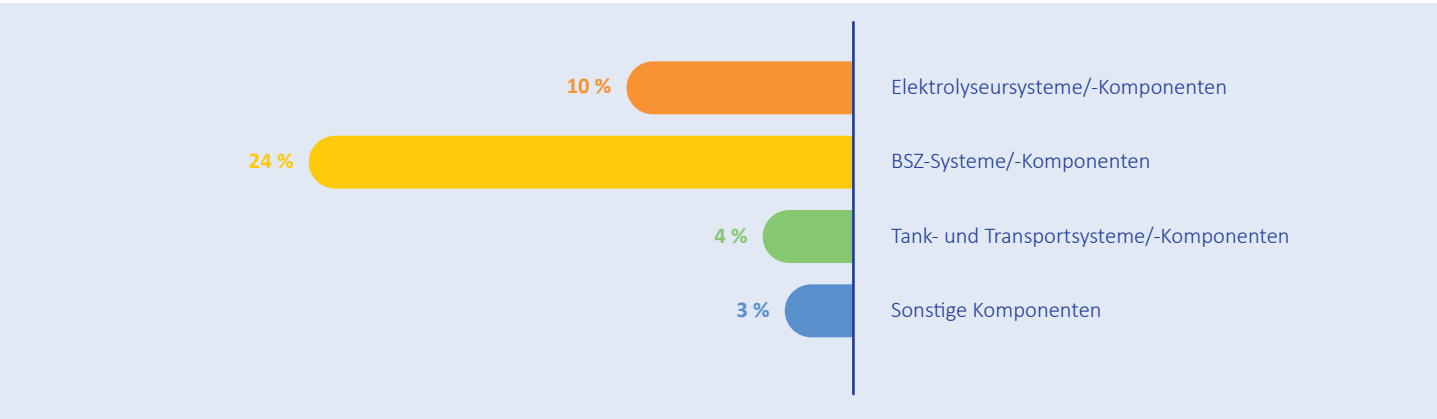


Abbildung 20: Tätigkeitsbereiche der Unternehmen im Bereich der Produktion/Herstellung von Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellensystemen und/oder Komponenten für diese [n = 26, Mehrfachnennungen möglich], Quelle: Online-Umfrage

11 *Die Einordnung der Unternehmen in die Segmente der Wertschöpfungsketten der Wasserstoffwirtschaft erfolgte zum einen durch Selbsteinordnung der Unternehmen bei Teilnahme an der Online-Umfrage und zum anderen durch eine Zuordnung auf Basis der durchgeführten Sekundärquellenanalyse.*

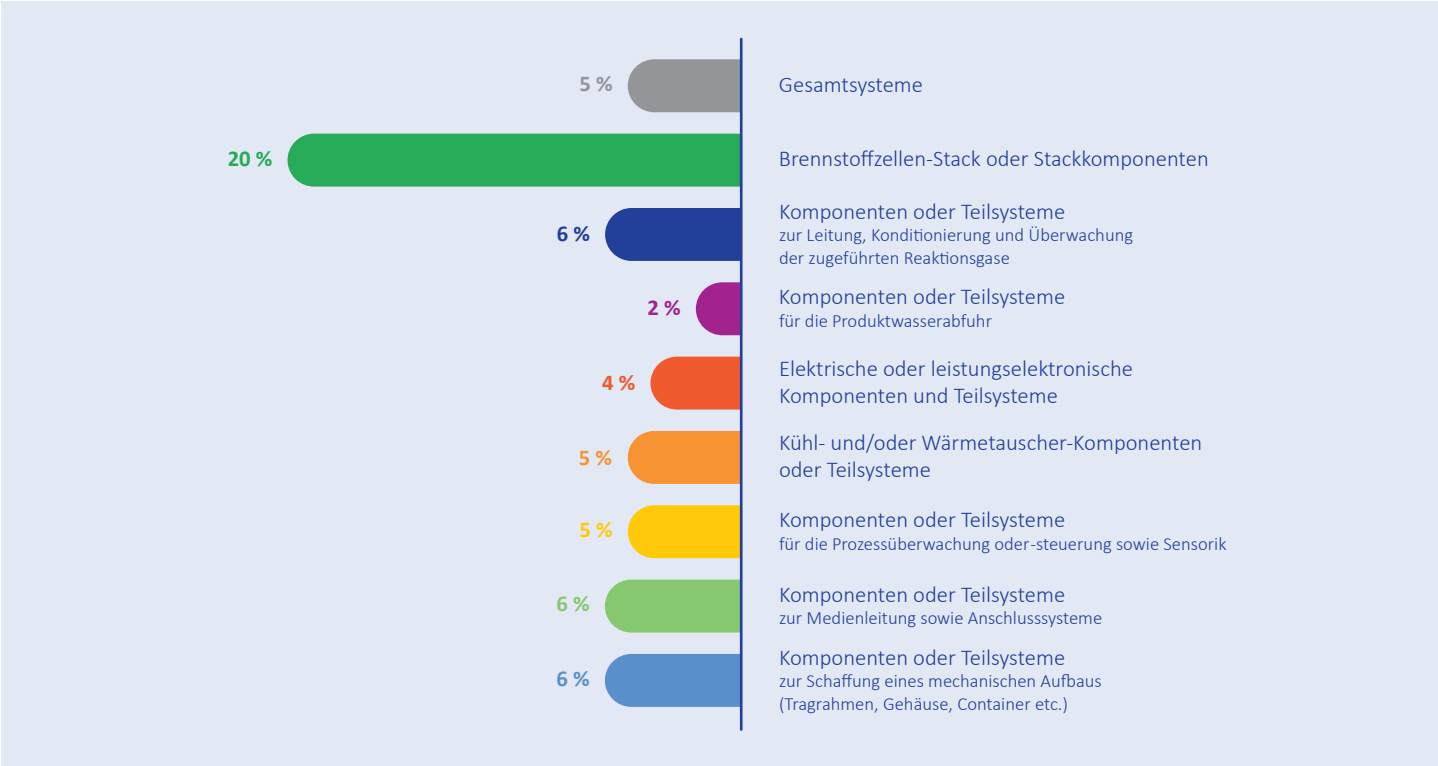


Abbildung 21: Tätigkeitsbereiche der Unternehmen im Bereich der Brennstoffzellensysteme und -komponenten [n = 24, Mehrfachnennungen möglich], Quelle: Online-Umfrage

Wie oben bereits aufgeführt, werden sowohl die energetische als auch die Produktwertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in Sachsen durch Unternehmen aus dem Dienstleistungssektor unterstützt (siehe Abbildung 22). Laut Sekundärquellenanalysen handelt es sich um etwa 52 Unternehmen, die in allen Segmenten der beiden Wertschöpfungsketten in der Beratung und der Planung bzw. des Engineering tätig sind.

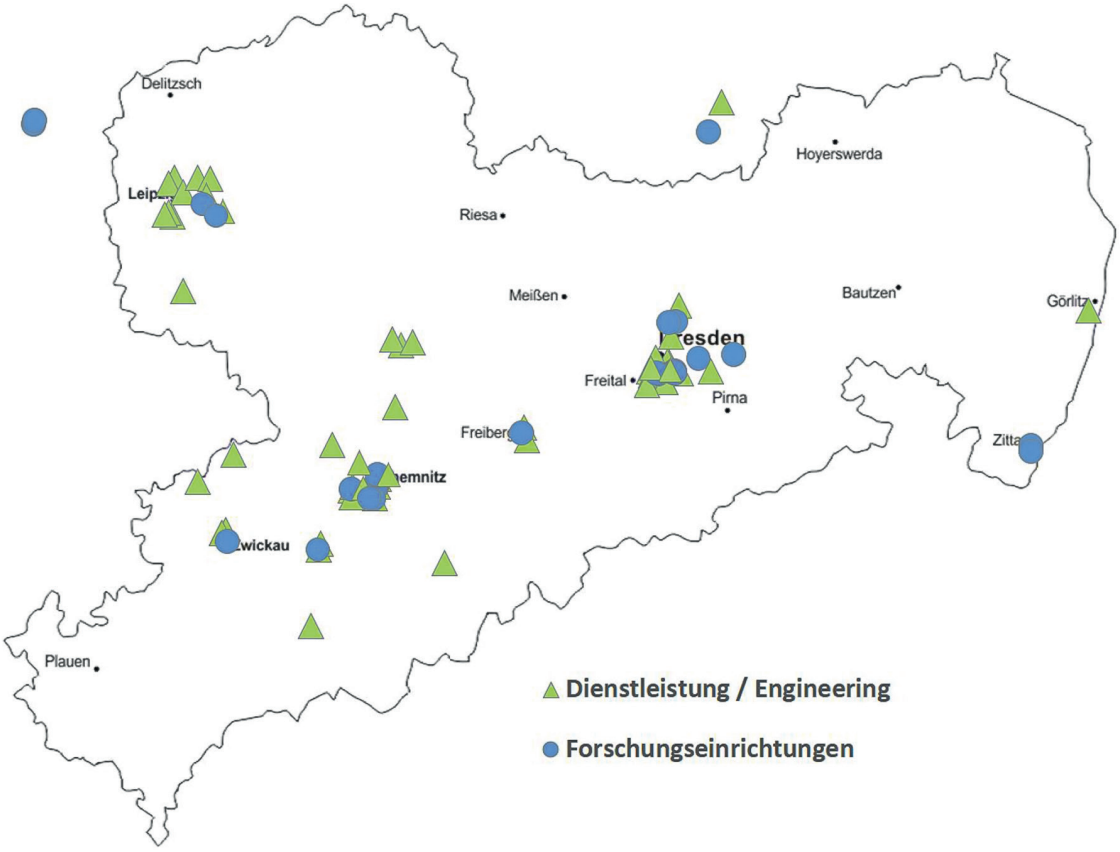


Abbildung 22: Akteure gegliedert nach Dienstleistungen und Forschung & Entwicklung (Mehrfachnennungen möglich)

Zusätzlich zu den produzierenden Unternehmen stellen die universitären sowie außeruniversitären Forschungseinrichtungen einen weiteren wichtigen Teil der sächsischen Akteurslandschaft dar (siehe Abbildung 22). Sie sind in der angewandten Wasserstoff- und Brennstoffzellenforschung mit etwa 18 Institutionen stark aufgestellt. Besonders im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien weist Sachsen eine hohe Forschungsdichte auf. Die Forschung findet entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft statt, von der Herstellung über den Transport und die Speicherung von Wasserstoff bis hin zu dessen Anwendungen, wobei der Schwerpunkt auch hier im Bereich der Anwendungen liegt. Die wichtige Rolle der Forschungsinstitutionen wird auch durch die Expertenbefragung bestätigt. Dabei wird Sachsen im nationalen Vergleich bei der angewandten Forschung als sehr gut eingeschätzt, wenngleich im Segment des Wasserstofftransports nach Ansicht der Experten zu wenig Forschung betrieben wird.

Neben den innovativen sächsischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen bestehen in Sachsen sieben Netzwerke und Cluster mit Bezug zur Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, in denen ein reger Austausch stattfindet (vgl. Abbildung 23). Dadurch werden Kooperationen zwischen Unternehmen und eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft gefördert. Zudem sind bereits einige Energieversorger und Verkehrsunternehmen sowie Städte, Kommunen und Wirtschaftsförderungen als Impulsgeber, Schnittstellen und Koordinatoren im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft aktiv. Vor allem die sächsischen Energieversorger stellen wichtige Betreiber bzw. Anwender dar.

Sowohl die energetische Wertschöpfungskette als auch die Produktwertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft werden in Sachsen durch viele Unternehmen aus den Bereichen Dienstleistung und Engineering unterstützt. Zudem sind viele universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen insbesondere in der angewandten Wasserstoff- und Brennstoffzellenforschung tätig.

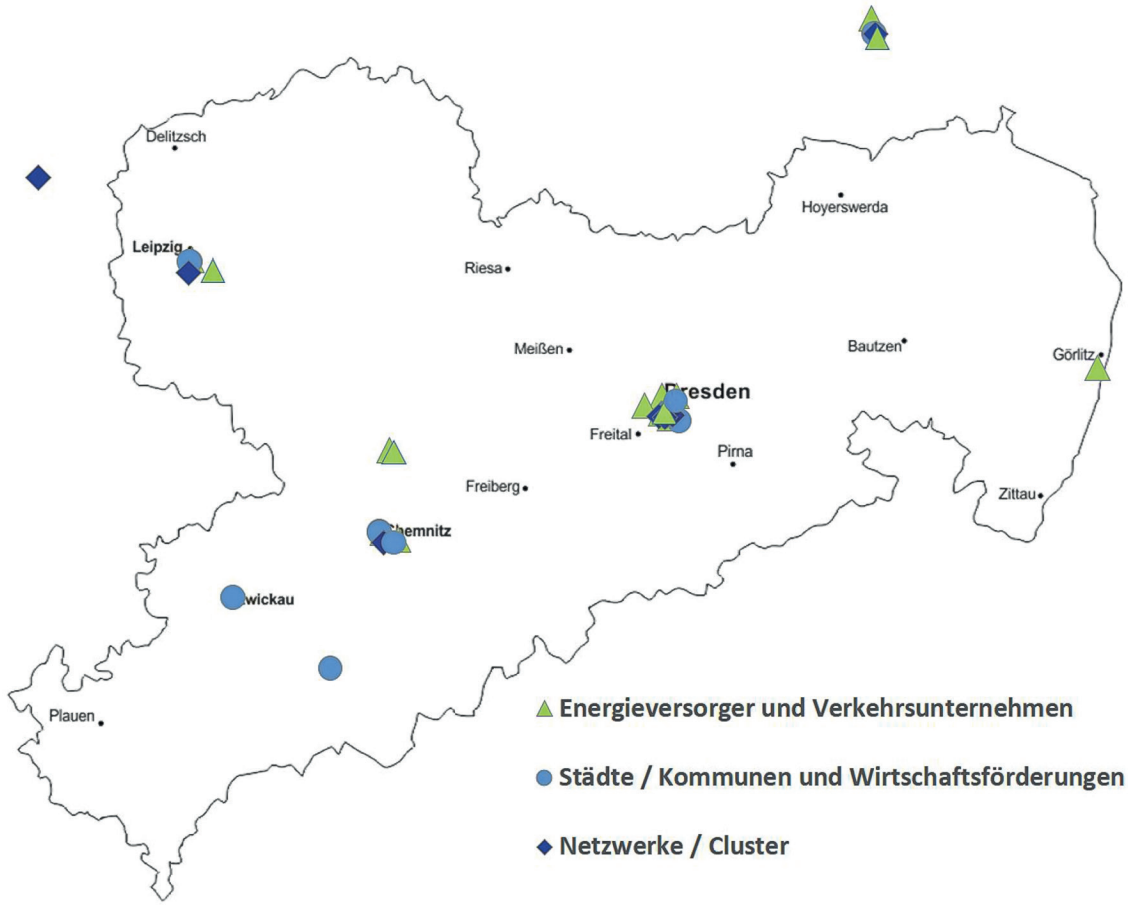


Abbildung 23: Akteure gegliedert nach Energieversorgern/Verkehrsunternehmen, Städten/Kommunen/Wirtschaftsförderungen und Netzwerken/Clustern (Mehrfachnennungen möglich)

Aktuell nimmt die Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft noch eine untergeordnete Rolle in Sachsen ein, was auch durch die Ergebnisse der Online-Umfrage im Hinblick auf den Entwicklungs- bzw. Kommerzialisierungsgrad der von sächsischen Unternehmen hergestellten Produkte bestätigt wird. Laut dieser befinden sich aktuell ca. zwei Drittel noch im Entwicklungsstadium (vgl. Abbildung 24), wohingegen lediglich wenige Unternehmen bereits Prototypen herstellen oder mit ihren Produkten sogar das Stadium der Marktreife erreicht haben. Dass der Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft allerdings zunehmend interessanter für die Unternehmen wird, lässt sich durch die Ergebnisse der Online-Umfrage zeigen (siehe Abbildung 25). Bereits heute generiert ein Drittel der befragten Unternehmen Umsätze durch Produkte und Anwendungen für das Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellensegment. Die zunehmende Relevanz des Themas Wasserstoff und Brennstoffzelle wird zudem durch die Aussagen der befragten Experten bestätigt.

Frage: In welchem Entwicklungsstadium befinden sich Ihre Produkte aktuell? [n = 22]

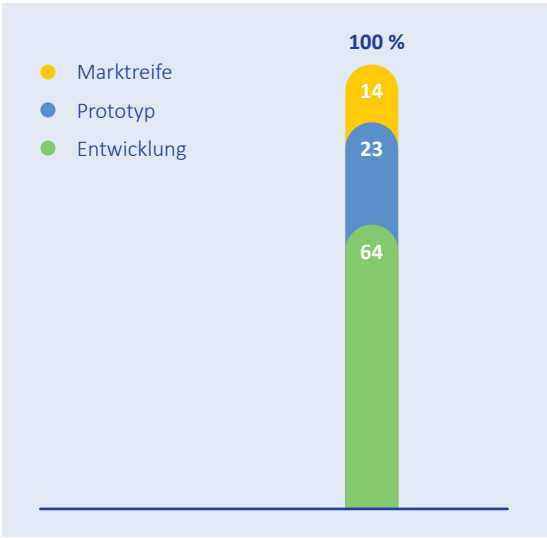


Abbildung 24: Entwicklungsstadium der Produkte, Quelle: Online-Umfrage

Frage: Generiert Ihr Unternehmen bereits Umsätze durch Produkte für das Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellensegment? [n = 70]

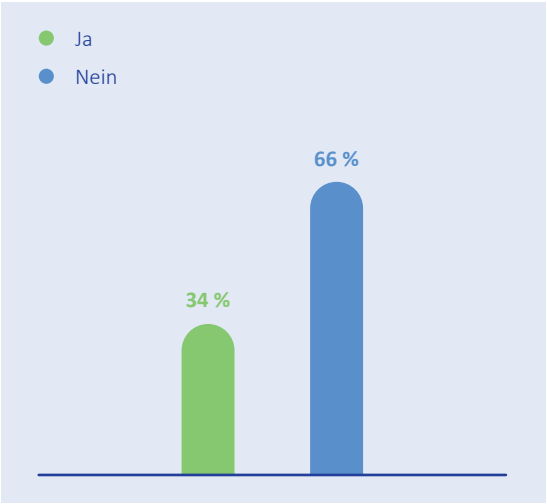


Abbildung 25: Aktuelle Umsätze im Wasserstoff- und Brennstoffzellensegment, Quelle: Online-Umfrage

Frage: Wann erwarten Sie für Ihr Unternehmen erste Umsätze durch Produkte für das Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellensegment? [n=33]

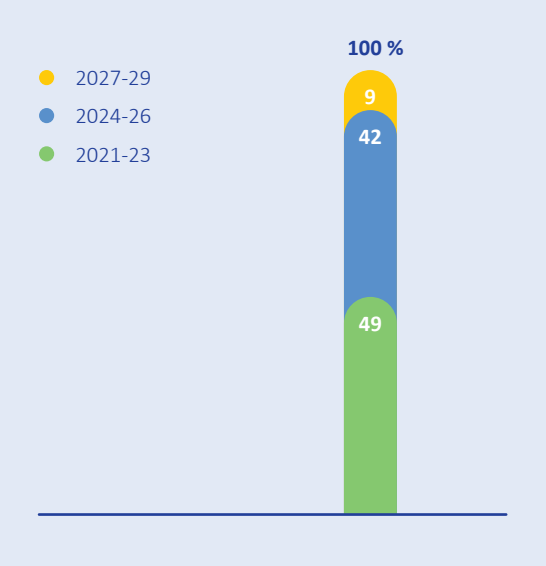


Abbildung 26: Zeiträume der erwarteten Umsätze, Quelle: Online-Umfrage

Frage: Wie schätzen Sie die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Sachsen im nationalen/internationalen Vergleich ein? [n = 68]

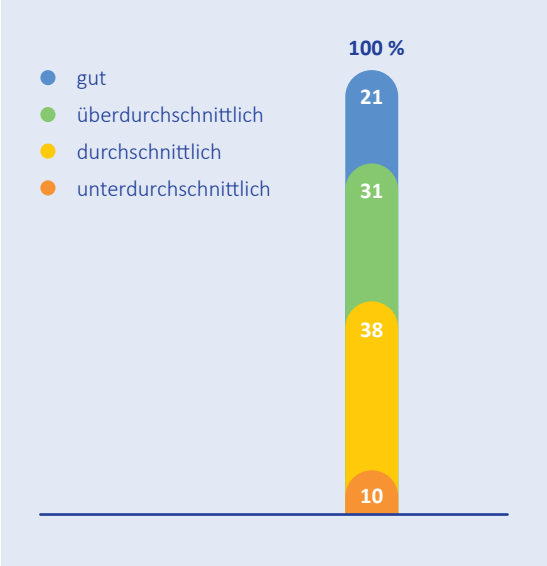


Abbildung 27: Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Sachsen, Quelle: Online-Umfrage

Die Unternehmen, die momentan noch keine Umsätze mit ihren wasserstoff- und/oder brennstoffzellenspezifischen Produkten erzielen, erwarten laut Online-Umfrage jedoch, in absehbarer Zeit Umsätze generieren zu können: Über 90 % der befragten Unternehmen gehen davon aus, dass innerhalb der nächsten fünf Jahre erste Umsätze durch Produkte für das Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellensegment erzielt werden können.

Dass Sachsen eine tragende Rolle im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft einnehmen kann, zeigt auch die Einschätzung zur Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Sachsen im nationalen bzw. internationalen Vergleich. Über 50 Prozent der teilnehmenden Unternehmen schätzen die Wettbewerbsfähigkeit Sachsens als überdurchschnittlich oder gut ein.

Die möglichen Potenziale, die sich für Sachsen aus dem neuen Technologiefeld der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft ergeben können, werden im folgenden Abschnitt betrachtet.

4.2 Potenzialabschätzung

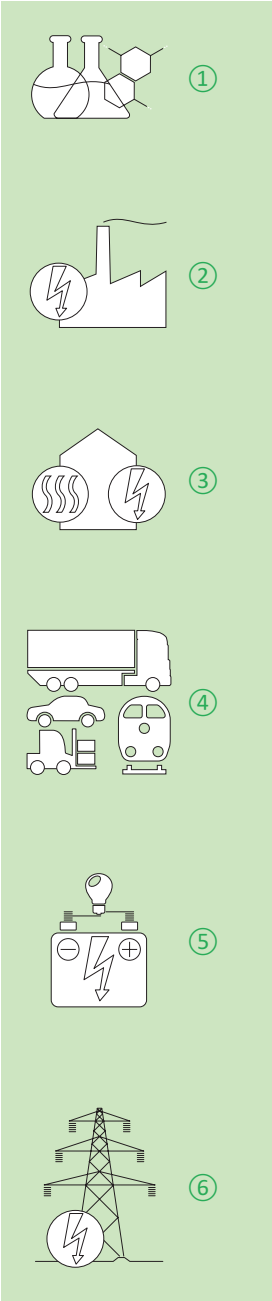
Nachdem im vorangegangenen Abschnitt die Ausgangssituation der sächsischen Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft aufgearbeitet und analysiert wurde, sollen nachfolgend die Potenziale herausgearbeitet werden, die sich für die Wirtschaft des Freistaats Sachsen ergeben. Dazu werden drei methodische Bausteine genutzt: die Online-Befragung, die Experteninterviews und eigene, auf die Resultate existierender Studien zurückgreifende Berechnungen. Die Darstellung der Ergebnisse folgt weitestgehend einer dreiteiligen Struktur: Zunächst wird auf die Potenziale in der energetischen Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft eingegangen. Anschließend folgt eine Betrachtung der Potenziale, die sich in der Produktwertschöpfungskette ergeben. Dabei werden jeweils zum einen die Migrationspotenziale thematisiert, zum anderen wird eingeschätzt, welche der Wertschöpfungssegmente für das Jahr 2030 die größten Potenziale erwarten lassen. Schlussendlich werden die Umsatz- und Arbeitsplatzpotenziale der gesamten Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft differenziert nach Wasserstofferzeugung, Equipment und Zulieferer hergeleitet.

Potenziale der energetischen Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft

Die befragten Experten gehen davon aus, dass sich die Energiewirtschaft Sachsens vor dem Hintergrund des Braunkohleausstiegs (und der damit verbundenen Mittel aus der Strukturförderung) dem Wasserstoff als Energieträger zuwenden wird, um ihn insbesondere als Speichermedium für elektrische Energie zu verwenden. Speziell bei den Gasnetzbetreibern sind dazu schrittweise Veränderungen hin zu einem vermehrten Einsatz von Wasserstoff notwendig, die bereits vorbereitet werden. Die Modifikationen am Gasnetz betreffen auch Rohrleitungen und -systeme (und damit die Stufen der Komponenten- und Systemherstellung in der Produktwertschöpfungskette), die auf die Randbedingungen des Wasserstoffs und speziell auf seine chemischen Eigenschaften umgestellt werden müssen. Dabei sind in der Energiewirtschaft, besonders bei den Netzbetreibern, betriebsgewöhnliche Nutzungsdauern und Ersatzzyklen von Leitungen und Systemen zu berücksichtigen. Diese liegen typischerweise bei 40 Jahren, so dass sich ein Austausch hier nur recht langsam vollziehen dürfte.

Ebenfalls mit Blick auf die Energiewirtschaft sehen die Experten in der Strukturwandelregion Flächen, die für den Ausbau der Windenergie geeignet sind und genutzt werden könnten, um auch nach dem Ausstieg aus der Braunkohleverstromung den Status Sachsens als Energieerzeugungsland zu erhalten. Eine daraus resultierende höhere Verfügbarkeit an grünem Strom wird zu einer stärkeren Notwendigkeit der Speicherung führen. Hier bilden der Wasserstoff und der Einsatz von Elektrolyseuren ein zentrales Wertschöpfungspotenzial.

Ein weiterer Wasserstoffbedarf und damit ein zusätzliches Potenzial für die Wertschöpfung können sich aus Sicht der Experten grundsätzlich insbesondere für die Versorgung der chemischen Industrie ①, die dezentrale Energieerzeugung von Unternehmen ② und Quartieren ③ sowie den Mobilitätssektor ④ ergeben. Lediglich als Nischenanwendungen werden hingegen die unterbrechungsfreie Stromversorgung ⑤ und die Rückverstromung ⑥ von Wasserstoff in das Elektrizitätsnetz gesehen.



Hinsichtlich des Bedarfs in der chemischen Industrie ist aber festzuhalten, dass es in Sachsen aktuell kaum Akteure gibt, von denen ein hinreichendes Potenzial ausgeht. Allerdings stellt die geographische Nähe Sachsens zu den Chemieparks in Sachsen-Anhalt nach Expertensicht durchaus einen Faktor dar, der zu einem entsprechenden Abnehmerpotenzial für sächsischen Wasserstoff führen kann, wenngleich der über die Elektrolyse erzeugte grüne Wasserstoff dafür zu marktverträglichen Preisen hergestellt und angeboten werden müsste.

Das Potenzial im Anwendungsfeld der dezentralen Energieversorgung wird vor dem Hintergrund der Annahme erwartet, dass im Zuge der Dekarbonisierung verstärkt dezentrale, stationäre Brennstoffzellen eingesetzt werden. Allerdings ist hierfür – neben der Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff – auch der oben bereits erwähnte Umbau der Gasnetzinfrastruktur erforderlich.

Auf der Wertschöpfungsstufe der Endanwendung von Wasserstoff stellt nach der Einschätzung der Experten der Umstieg auf den Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen für Anbieter von Mobilitäts- und Logistikleistungen (z. B. Verkehrsunternehmen, Flottenbetreiber, Speditionen) eine vergleichsweise geringe Hürde dar und könnte sich grundsätzlich schnell vollziehen. Eine Voraussetzung dafür bildet jedoch die Verfügbarkeit entsprechender Fahrzeuge. Darüber hinaus sind hierbei typische Beschaffungs- bzw. Ersatzzyklen zu beachten, die dazu führen dürften, dass Flotten nur nach und nach über den Zeitraum mehrerer Jahre umgestellt werden. Schließlich ist zu berücksichtigen, dass der vermehrte Einsatz von Wasserstoffantrieben auch mit der Umstellung zugehöriger Instandhaltungsprozesse und dem Aufbau entsprechender Tankstelleninfrastruktur korrespondieren muss.

Der Wasserstoffbedarf im Mobilitätssektor wird maßgeblich davon abhängen, ob die Automobilhersteller im volumenmäßig größten Marktsegment der Pkw künftig in stärkerem Maße auf Brennstoffzellenantriebe setzen oder bei ihrer momentanen Ausrichtung auf batterieelektrische Antriebe bleiben. Die befragten Experten schließen strategische Kurswechsel der Automobilhersteller nicht aus und sehen daher auch in diesem Segment Wertschöpfungspotenziale für Sachsen. Insbe-

sondere vor dem Hintergrund der in Sachsen ansässigen Zulieferer und ihrer Kompetenzen im Bereich der Fertigung von Komponenten für Antriebssysteme empfehlen sie daher weiterhin eine sehr genaue Beobachtung der Entwicklungen und Ausrichtungen bei den Fahrzeugherstellern. Gleichzeitig ist jedoch festzuhalten, dass sich im Moment beim mobilen Einsatz von Brennstoffzellen ein Trend zum Schwerlastbereich von Bussen und LKWs bis hin zu Schiffen und Flugzeugen abzeichnet, für den die sächsische Wirtschaft weniger ausgeprägte Kompetenzen besitzt als im PKW-Segment. Ein weiteres Potenzial für die sächsische Wirtschaft wird von den Experten im Retrofit von Zügen gesehen: Da diese als „schwere Anwendung" für den Einsatz von Brennstoffzellen prädestiniert sind, könnten bereits jetzt entsprechende Kompetenzen und Kapazitäten für den Umbau gebrauchter Züge sowie den Bau neuer Züge, aber auch von Trams aufgebaut werden. Allerdings gibt es bereits entsprechende brennstoffzellenbetriebene Neufahrzeuge im Schienenverkehrsmarkt.

Vor dem Hintergrund der geographischen Lage Sachsens („im Herzen von Europa"), der damit einhergehenden Bedeutung als Transitland und der erwarteten Schwerpunktsetzung im LKW-Bereich wird von den Experten auch im Aufbau eines H_2-Tankstellennetzes entlang der Hauptverkehrsachsen ein Wertschöpfungsbaustein gesehen.

Potenziale der Produktwertschöpfungskette

Innerhalb der Produktwertschöpfungskette besteht das größte Potenzial zur Migration in die Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft beim in Sachsen stark vertretenen Maschinen- und Anlagenbau. Für diese Branche sehen die im Rahmen der Studie befragten Experten gute Chancen für Markterfolge bei der (Erst-)Ausrüstung und Belieferung von Unternehmen in den drei Segmenten der Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft. Dies gilt insbesondere für den Bereich von Anlagen zur mechanischen Fertigung von metallischen Komponenten (z. B. Umformtechnik). Auch für die Unternehmen, die sich mit den Feldern Montage- und Handhabungstechnik sowie Robotik befassen, spielt es nur eine untergeordnete Rolle, für welche Branche die entsprechenden Produkte und Leistungen erbracht werden, so dass eine Adaption von Produkten aus Sicht der Experten recht einfach möglich sein sollte.

Unternehmen, die bereits heute in der Metallbearbeitung, wie bei der Blechumformung, aktiv sind, können nach Expertenschätzung ebenfalls recht einfach Produkte für die Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft fertigen. Dazu gehören mechanische Komponenten wie Bipolarplatten, aber auch gastechnische Komponenten (z. B. Ventiltechnik). Ähnliches gilt für Unternehmen, die Elektronik für Steuerungen entwickeln und herstellen. Auch Elektrotechnikunternehmen (z. B. Schaltschrankbau) sollten ihre Produkte recht schnell auf den Bedarf und die Anforderungen einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft umstellen können.

Ein etwas heterogenes Bild zeichnen die befragten Experten für den Automobilzuliefererbereich. Einerseits wird hier vor dem Hintergrund der Veränderungen im Bereich der Antriebstechnologien eine hohe Änderungsbereitschaft, zum Teil induziert durch einen entsprechenden Veränderungsdruck, erwartet (speziell bei den Unternehmen, die Komponenten fertigen, welche zukünftig bei elektrischen Antrieben nicht mehr benötigt werden). Andererseits gehen die Experten davon aus, dass sich eine Migration von Zulieferern in den Wasserstoff- und Brennstoffzellenmarkt hinein nur zögerlich vollziehen wird, da die OEMs im Pkw-Segment weiterhin bis zum Ende des Jahrzehnts mit Verbrennungstechnologien arbeiten und diese nur langsam durch elektrische Antriebssysteme verdrängt werden. Zudem erwarten die befragten Experten, dass sich sächsische Unternehmen von ihrem aktuellen Status einer „verlängerten Werkbank" für OEMs und First Tier Supplier auch im Zuge des Aufbaus einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft dass sich sächsische Unternehmen auch im Zuge des Aufbaus einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft kaum von ihrem aktuellen Status einer „verlängerten Werkbank" für OEMs und First Tier Supplier kaum emanzipieren werden.

Vor dem Hintergrund des Bedarfs an Systemen zur Herstellung, aber auch zur Verwendung von Wasserstoff und der in Sachsen aktuell vorhandenen breiten Basis an Maschinen- und Anlagenbauern sowie metallverarbeitenden Unternehmen sehen die befragten Experten wesentliche Wertschöpfungspotenziale vor allem auf der Produktwertschöpfungsstufe der Komponentenherstellung und (Teil-)Systemintegration. Hier wird erwartet, dass sächsische Unternehmen einen großen Beitrag zur Herstellung von Elektrolyseuren und Komponenten leisten. Darüber hinaus können sich sächsische Unternehmen als Komponentenzulieferer oder auch Systemhersteller für Brennstoffzellen platzieren. Diesen Stufen vorgelagert ergeben sich große Potenziale für den Maschinen- und Anlagenbau. Dazu gehört bspw. die Automatisierung von Fertigungsprozessen im Wasserstoff- und Brennstoffzellenmarkt.

Umsatzpotenziale

Im abschließenden Teil der Potenzialabschätzung soll auf die erwarteten Umsatz- und Arbeitsplatzpotenziale im Jahr 2030 eingegangen werden. Diese wurden rechnerisch auf Basis bereits veröffentlichter Studien hergeleitet. Darüber hinaus werden die Einschätzungen der an der Online-Befragung teilnehmenden Unternehmen einbezogen.

Um das Umsatzpotenzial der sächsischen Unternehmen im Wasserstoff- und Brennstoffzellensegment für das Jahr 2030 zu prognostizieren, wird von der vom FCH JU publizierten Marktstudie ausgegangen und analog zur Wasserstoffpotenzialstudie für Baden-Württemberg vorgegangen. Damit erfolgt die Berechnung differenziert für die beiden – im Kapitel 3 bereits umfassend

dargestellten – Szenarien BAU und A. In beiden Szenarien werden die Umsatzpotenziale für verschiedene Sektoren getrennt bestimmt (Einteilung in die Bereiche Zulieferer, Equipment und Wasserstoffproduktion). Im A-Szenario prognostiziert das FCH JU für den gesamten europäischen Markt inklusive der Importe ein Umsatzpotenzial von ca. 85 Mrd. EUR [2]. Dabei wird das Umsatzpotenzial der Zulieferer auf ca. 30 Mrd. EUR geschätzt, der Umsatz für hergestelltes Equipment beträgt 18 Mrd. EUR – wobei 17 Mrd. EUR auf den Transportbereich und 1 Mrd. EUR auf andere entfallen – und für den Bereich der Wasserstoffproduktion wird ein Potenzial von ungefähr 37 Mrd. EUR prognostiziert. Wie bereits bei der Beschreibung der Marktpotenziale (siehe Kapitel 3.2) vorgestellt, prognostiziert die Studie das Umsatzpotenzial europäischer Unternehmen mit insgesamt ungefähr 130 Mrd. EUR, die sich aus jeweils 65 Mrd. EUR auf dem europäischen Markt und 65 Mrd. EUR durch Exporte erzielbaren Umsätzen zusammensetzen.

Das Umsatzpotenzial für europäische Unternehmen wurde in der Wasserstoffpotenzialstudie für Baden-Württemberg [12] mit Hilfe durchschnittlicher Umsatzanteile innerhalb von Wirtschaftszweigen auf Unternehmen in Deutschland und anschließend auf solche in Baden-Württemberg aufgeschlüsselt. Das gleiche Vorgehen wird in der vorliegenden Studie für die Ableitung der Umsatzanteile von Unternehmen in Deutschland und Sachsen angewendet. Dabei wird zudem angenommen, dass die Anteile deutscher Unternehmen an den Umsätzen europäischer Unternehmen sowie die Anteile sächsischer an den Umsätzen deutscher Unternehmen konstant bleiben.

Bei der Abschätzung der Umsatzanteile und Umsätze wird bezüglich der Herstellung und des Verkaufs von Wasserstoff, des Equipment-Bereichs und der Zulieferer differenziert vorgegangen. So wird zur Prognose der Umsätze in Deutschland tätiger Unternehmen aus der Herstellung und dem Verkauf von Wasserstoff der Anteil Deutschlands am Umsatz in Europa [22] innerhalb des Wirtschaftszweigs 20.11 (WZ20.11 „Herstellung von Industriegasen“) nach den Daten von Eurostat für das Jahr 2017 herangezogen.

Zur Ermittlung der Umsätze im Equipment-Bereich werden die durchschnittlichen Umsatzanteile mehrerer Wirtschaftszweige verwendet:

Equipment im Transportsektor:

- Wirtschaftszweig 29 (WZ29 „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“) und
- Wirtschaftszweig 30 (WZ30 „Sonstiger Fahrzeugbau“)

Equipment in den Sektoren Stromerzeugung, Gebäudewärme und -strom sowie industrielle Energie:

- Wirtschaftszweig 27 (WZ27 „Herstellung von elektrischen Ausrüstungen“) und
- Wirtschaftszweig 28 (WZ28 „Maschinenbau“)

Die Umsätze im Zulieferbereich werden auf Grundlage des durchschnittlichen Anteils Deutschlands in Europa bei den WZ 27, 28, 29 und 30 abgeschätzt. Die folgende Abbildung veranschaulicht das Vorgehen zusammenfassend.

Anwendungen	Herstellung von Wasserstoff		WZ 20.11 Herstellung von Industriegasen
	Equipment im Transportbereich		WZ 29 Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen WZ 30 Sonstiger Fahrzeugbau
	Equipment „Andere“ (Stromerzeugung, Gebäudewärme und -strom, industrielle Energie)		WZ 27 Herstellung von elektrischen Ausrüstungen WZ 28 Maschinenbau
Zulieferer			WZ 27 Herstellung von elektrischen Ausrüstungen WZ 28 Maschinenbau WZ 29 Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen WZ 30 Sonstiger Fahrzeugbau

Abbildung 28: Systematik der Zuordnung relevanter Wirtschaftszweige

Die Ermittlung der Umsätze in Sachsen tätiger Unternehmen auf Grundlage der für deutsche Unternehmen insgesamt ermittelten Umsätze wird nach der gleichen Methodik auf Basis von Daten des Statistischen Bundesamtes [20] durchgeführt (analog zur Berechnung der Potenziale für Baden-Württemberg [12]). Demgemäß werden die prozentualen Umsatzanteile Sachsens durch Division der Summe aller Umsätze der einem Bereich zugeordneten Wirtschaftszweige für Sachsen durch die entsprechende Summe aller Umsätze für Deutschland ermittelt. Beispielsweise wird für den Sektor Equipment Transport die Summe der Umsätze aus WZ29 Sachsen und WZ30 Sachsen durch die Summe aus WZ29 Deutschland und WZ30 Deutschland dividiert. Die so ermittelten Umsatzanteile Sachsens werden anschließend auf die deutschlandweiten Umsatzpotenziale sächsischer Unternehmen in den vier Bereichen angewendet. Das Vorgehen ist in der Infobox exemplarisch dargestellt.

Berechnungen am Beispiel „Equipment Transport“ (ET):

$$\text{Umsatzanteil Sachsens}_{ET} = \frac{\text{Umsatz Sachsen WZ 29 + Umsatz Sachsen WZ 30}}{\text{Umsatz Deutschland WZ 29 + Umsatz Deutschland WZ 30}}$$

$$\text{Umsätze Sachsen}_{ET} = \text{Umsätze Deutschland}_{ET} * \text{Umsatzanteil Sachsen}_{ET}$$

In der folgenden Tabelle sind die statistischen Ausgangsdaten differenziert nach Wirtschaftszweigen festgehalten. Zu berücksichtigen war, dass die in Eurostat und Destatis für Deutschland erfassten Umsätze voneinander abweichen. In der vorliegenden Studie wurde für die Berechnung der Umsatzanteile Deutschlands am EU-Markt auf die Werte von Eurostat zurückgegriffen. Für die Berechnung der Umsatzanteile Sachsens erfolgte ein Rückgriff auf die Werte von Destatis.[12]

12 *Für die Berechnung der Umsatzanteile Sachsens im Bereich der Herstellung von Wasserstoff wurde auf die entsprechenden Daten des WZ20 insgesamt zurückgegriffen. Für die Ermittlung der Anteile Deutschlands an der EU erfolgte ein Rückgriff auf die Daten des WZ20.11. Für den Freistaat Sachsen lagen zu diesem WZ keine Daten vor.*

	WZ 20	WZ 29	WZ 30	WZ 27	WZ 28
Umsatz EU 28 [Mrd. Euro]	600,00	1.144,50	295,59	331,00	735,72
Umsatz D (Eurostat) [Mrd. Euro]	179,82	495,68	52,00	122,35	288,83
Umsatz D (Destatis) [Mrd. Euro]	146,51	425,27	48,85	98,93	252,05
Umsatz Sachsen (Destatis) [Mrd. Euro]	2,74	17,99	1,72	3,07	8,47

A-Szenario	Herstellung Wasserstoff	Equipment Transport	Equipment Andere	Zulieferer
Umsätze EU [Mrd. Euro]	27,91	35,15	3,37	63,57
Anteile D an EU	29,97 %	38,03 %	38,55 %	38,25 %
Umsätze D [Mrd. Euro]	8,37	13,37	1,30	24,31
Anteil Sachsen an D	1,87 %	4,16 %	3,29 %	3,79 %
Umsätze Sachsen [Mrd. Euro]	0,16	0,56	0,04	0,92

BAU-Szenario	Herstellung Wasserstoff	Equipment Transport	Equipment Andere	Zulieferer
Umsätze EU [Mrd. Euro]	10,74	8,36	0,80	15,11
Anteile D an EU	29,97%	38,03%	38,55%	38,25%
Umsätze D [Mrd. Euro]	3,22	3,18	0,31	5,78
Anteil Sachsen an D	1,87 %	4,16 %	3,29 %	3,79 %
Umsätze Sachsen [Mrd. Euro]	0,06	0,13	0,01	0,22

Tabelle 6: Umsätze nach Wirtschaftszweigstatistik, Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Daten von Eurostat [22] und des statistischen Bundesamts [12]

Unter Anwendung der beschriebenen Vorgehensweise ergibt sich für das BAU-Szenario im Jahr 2030 ein gesamtes Umsatzpotenzial sächsischer Unternehmen von 421,25 Mio. EUR, wobei der größte Anteil mit knapp 52 % (218,90 Mio. EUR) auf den Bereich der Zulieferer entfällt. Für das A-Szenario beträgt das Umsatzpotenzial sächsischer Unternehmen 1.675,75 Mio. EUR. Auch hier entfällt der größte Anteil von knapp 55 % (920,98 Mio. EUR) auf den Bereich der Zulieferer. Die Berechnungen bestätigen demgemäß die Einschätzungen der befragten Experten, dass die größten Potenziale für die sächsische Wirtschaft im Bereich der Komponenten- und Teilsystemherstellung liegen. Bemerkenswert ist der Unterschied zwischen den beiden Szenarien: So führt der Pfad des A-Szenarios zu fast viermal höheren Umsatzpotenzialen.

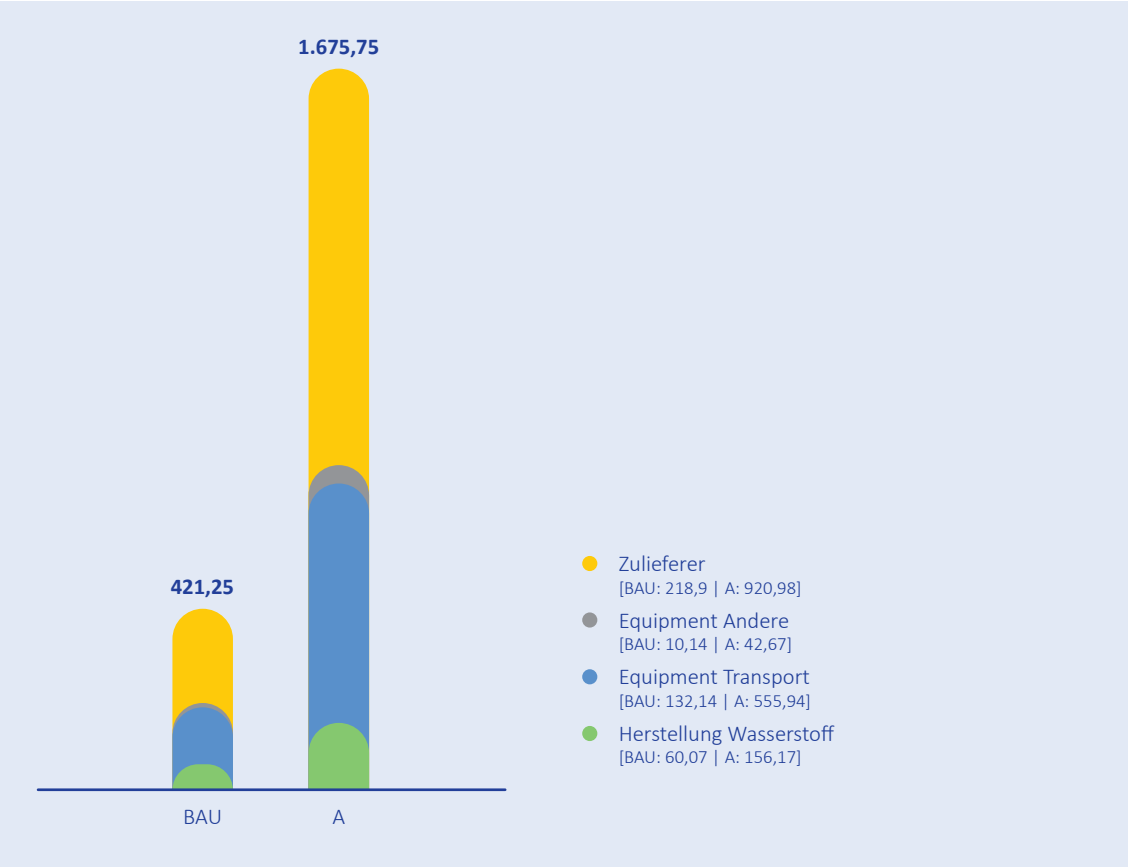


Abbildung 29: Umsatzpotenzial sächsischer Unternehmen für das Jahr 2030 [Mio. EUR]

Bereits für den vergleichsweise kurzen Zeitraum bis 2030 lassen sich also durchaus beachtliche Umsatzpotenziale für die Unternehmen des Freistaats Sachsen ableiten. Von diesen Umsatzpotenzialen ausgehend kann unter Rückgriff auf die vom Hydrogen Council prognostizierte Umsatzentwicklung auf dem weltweiten Wasserstoff- und Brennstoffzellenmarkt im Jahr 2050 wiederum auf die für sächsische Unternehmen bestehenden Potenziale geschlossen werden. Der vom Hydrogen Council angelegte Wachstumsfaktor zwischen den Jahren 2030 und 2050 liegt bei 18,8. Wird von diesem ausgegangen, ergibt sich für die sächsischen Unternehmen der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft im A-Szenario (BAU-Szenario) ein Umsatzpotenzial von 31.500 Mio. EUR (8.000 Mio. EUR). Unter der Annahme, dass die Verteilung innerhalb der Segmente gleich bleibt, würden damit 16.400 Mio. EUR (4.100 Mio. EUR) auf den Zulieferbereich entfallen.

Auch im Rahmen der Online-Befragung wurde unter Angabe der beiden Szenarien nach der Einschätzung zur Entwicklung der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft gefragt. Dabei zeigt sich, dass fast ein Drittel der Befragten davon ausgeht, dass die Potenziale des A-Szenarios erreicht oder sogar übertroffen werden. Fast die Hälfte der teilnehmenden Unternehmen erwartet, dass sich die Entwicklung zwischen den beiden herausgearbeiteten Szenarien bewegen wird. Nur ein vergleichsweise geringer Anteil von 15 % der befragten Unternehmen geht davon aus, dass das Niveau des BAU-Szenarios gerade erreicht oder sogar unterschritten wird. Daraus lässt sich eine positive und mit hohen Erwartungen verbundene Stimmung der teilnehmenden Unternehmen bezüglich der Entwicklung einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft ableiten.

Frage: Wie sehen Sie die Entwicklung der Wasserstoff und Brennstoffzellenwirtschaft? [n = 71]

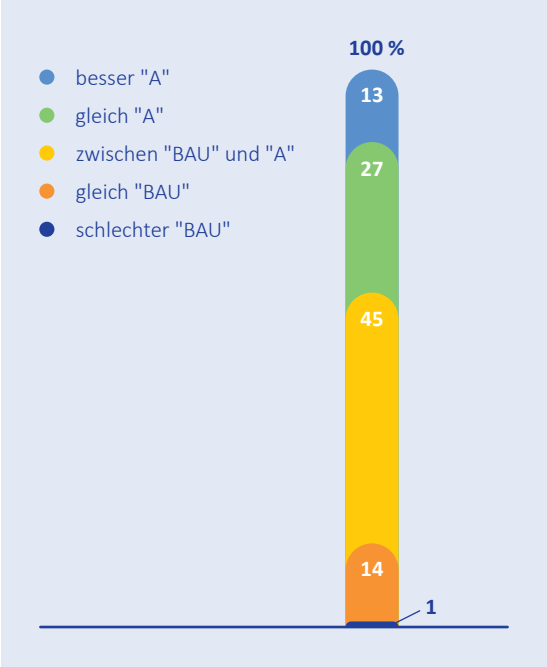


Abbildung 30: Entwicklung der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft, Quelle: Online-Umfrage

Frage: Wie schätzen Sie die Attraktivität des Wasserstoff- und Brennstoffzellenmarktes für Ihr Unternehmen ein? [n = 68]

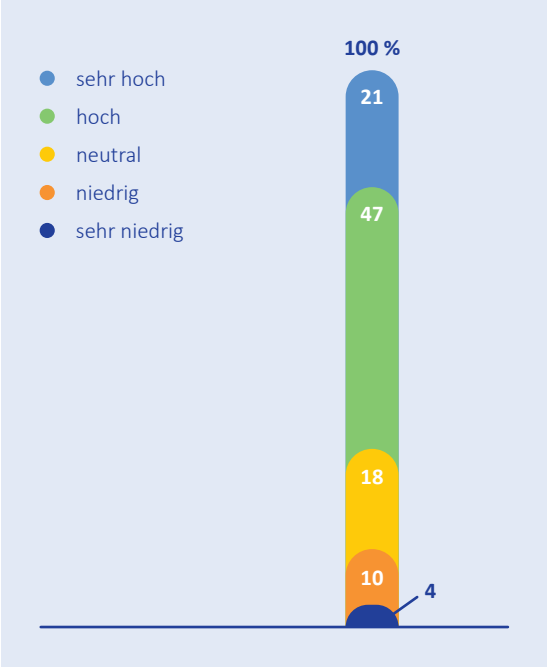


Abbildung 31: Attraktivität des Wasserstoff- und Brennstoffzellenmarktes, Quelle: Online-Umfrage

Die mit dem Aufbau einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft verbundenen Umsatzerwartungen wurden ebenfalls im Rahmen der Online-Befragung erfragt. Dabei kristallisiert sich heraus, dass mehr als zwei Drittel der Unternehmen die Attraktivität der Branche hinsichtlich der zukünftigen eigenen Umsatzpotenziale als hoch oder sehr hoch einschätzen. Nur etwa jedes achte Unternehmen erwartet im Wasserstoff- und Brennstoffzellensegment lediglich niedrige oder sehr niedrige Umsatzpotenziale für die eigene Geschäftstätigkeit.

Dabei gehen die teilnehmenden Unternehmen davon aus, dass fast drei Viertel der Umsätze im Wasserstoff- und Brennstoffzellensegment auf europäischen und internationalen Märkten erwirtschaftet werden. Das spricht dafür, dass sich die Unternehmen der globalen Bedeutung der Wasserstoff- und Brennstofftechnologie bewusst sind, und deutet gleichzeitig darauf hin, dass die Unternehmen bereit sind, internationale Märkte der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft zu erschließen. Für den Freistaat Sachsen und die hier ansässigen Unternehmen erwächst daraus ein entsprechendes Exportpotenzial.

Verbunden sind die Umsatzerwartungen der Unternehmen mit entsprechenden Investitionsvorhaben. So geben knapp zwei Drittel der befragten Unternehmen an, dass es aus ihrer Sicht eher oder sehr wahrscheinlich ist, in der aktuellen Dekade Investitionen in Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellentechnologien und/oder zugehörige Infrastruktur zu tätigen. Nur in etwa jedes achte Unternehmen hält dies für eher bis sehr unwahrscheinlich.

Frage: Welchen Zielmarkt sehen Sie für Ihr Unternehmen im Bereich der Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellentechnologien in den nächsten 10 Jahren als am relevantesten? [n = 71]

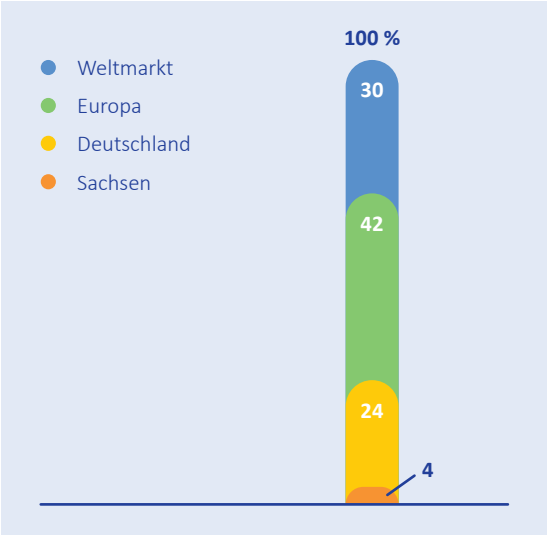


Abbildung 32: Zielmärkte der nächsten 10 Jahre, Quelle: Online-Umfrage

Arbeitsplatzpotenziale

Neben den Umsatzpotenzialen sächsischer Unternehmen wurden auch die Arbeitsplatzpotenziale betrachtet, die durch den Aufbau einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in Sachsen entstehen können. Die Bestimmung des Potenzials von Arbeitsplätzen für Sachsen erfolgt analog zur Wasserstoffpotenzialstudie für Baden-Württemberg. Die Basis für die Berechnungen bilden auch hier Daten des Statistischen Bundesamtes innerhalb der WZ 20, 27, 28, 29 und 30 aus dem Jahr 2017, nun solche zu den Arbeitsplätzen [20]. Um die Arbeitsplatzpotenziale für Sachsen im Jahr 2030 abzuschätzen, wird zudem die Annahme eines auch zukünftig auf heutigem Niveau verbleibenden Verhältnisses von Arbeitskräften zu generiertem Umsatz getroffen.

Zur Berechnung dieser spezifischen Kennzahl wird je Wirtschaftsbereich die Summe aller Arbeitskräfte der diesem Bereich zugeordneten Wirtschaftszweige in Sachsen in ein Verhältnis zu der Summe aller Umsätze dieser Wirtschaftszweige in Sachsen gesetzt (in Mio. EUR). Der ermittelte Quotient gibt die Anzahl der Arbeitsplätze je eine Million Euro Umsatz im betrachteten Wirtschaftsbereich für Sachsen an. Diese Kennzahl wird anschließend mit dem für den betrachteten Wirtschaftsbereich für das Jahr 2030 prognostizierten Umsatzpotenzial für sächsische Unternehmen multipliziert, um das Arbeitsplatzpotenzial je Wirtschaftsbereich abzuleiten. Abgebildet werden dabei nur die direkten und die indirekten Arbeitsplatzeffekte. Direkte Arbeitsplatzeffekte beziehen sich auf die energetische Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft. Indirekte Arbeitsplatzeffekte entstehen darüber hinaus in der Produktwertschöpfungskette im Zusammenhang mit vorgelagerten Leistungen wie der Herstellung von verschiedenen Teilsystemen und Komponenten sowie Dienstleistungen.

Nach den Berechnungen ergeben sich für das BAU-Szenario bezogen auf das Jahr 2030 direkt und indirekt 1.217 Arbeitsplätze. Der größte Anteil entsteht dabei – korrespondierend mit den Umsatzpotenzialen – im Zuliefererbereich und damit indirekt. Wird das A-Szenario als Ausgangspunkt angelegt, so beträgt das Arbeitskräftepotenzial insgesamt 4.831 Arbeitsplätze. Auch in diesem Szenario entfällt mit 2.927 Arbeitsplätzen der überwiegende Teil auf die Produktwertschöpfungskette. Die folgende Abbildung zeigt die prognostizierten Arbeitsplätze der einzelnen Bereiche.

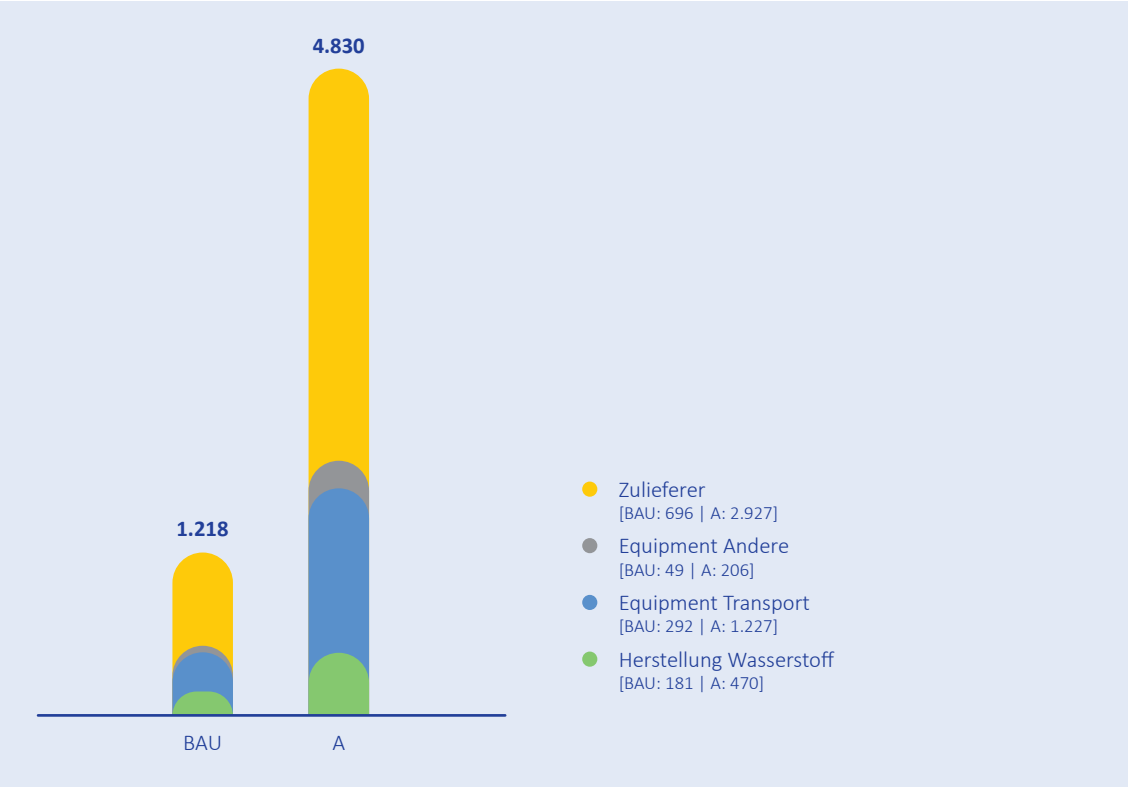


Abbildung 33: Arbeitskräftepotenzial für Sachsen für das Jahr 2030 [Bruttoarbeitsplätze], Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Daten des statistischen Bundesamts [19]

Ergänzend sei auf sog. induzierte Arbeitsplatzeffekte hingewiesen, die über die direkten und indirekten Effekte hinausgehend im Rahmen regionaler Multiplikatorprozesse entstehen. Diese beziehen sich auf Arbeitsplätze in der regionalen Gesamtwirtschaft, welche durch die Konsumausgaben aus Einkommen der direkten und indirekten Arbeitsplatzpotenziale entstehen. Darüber hinaus sind katalytische Effekte denkbar, welche aus einer gesteigerten Standortattraktivität, verbunden mit verstärkten Unternehmensansiedlungen und entsprechenden Beschäftigungseffekten, resultieren. Induzierte und katalytische Effekte wurden aufgrund der sehr schwierigen Operationalisierung und Prognose in der obigen Berechnung nicht berücksichtigt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sie zu höheren Arbeitsplatzpotenzialen führen als dies ausgewiesen ist.

Über die Berechnungen auf Basis bereits veröffentlichter Studien hinausgehend, wurde auch im Rahmen der Unternehmensumfrage nach den erwarteten Arbeitsplatzpotenzialen einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft gefragt. Zwei Drittel der teilnehmenden Unternehmen erwartet unter Berücksichtigung von Substitutionseffekten eine leichte oder deutliche Zunahme der Arbeitskräfte. Keines der teilnehmenden Unternehmen nimmt an, dass durch den Aufbau der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft Arbeitsplätze verloren gehen, während in etwa ein Drittel der Unternehmen davon ausgeht, dass die Anzahl an Arbeitsplätzen konstant bleibt.

Abschließend sei auch hier der Blick auf das Jahr 2050 gerichtet: Werden die oben aufgeführten Prognosen mit den Erwartungen des Hydrogen Council für das Jahr 2050 (mit dem Wachstumsfaktor von 18,8) verknüpft, so ergibt sich im A-Szenario (BAU-Szenario) ein Potenzial von ca. 90.000 (ca. 23.000) Arbeitsplätzen in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft Sachsens insgesamt.

Frage: Erwarten Sie für Ihr Unternehmen eine Zunahme bzw. Abnahme von Arbeitsplätzen durch den Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellenmarkt unter Berücksichtigung von Substitutionseffekten)? [n = 70]

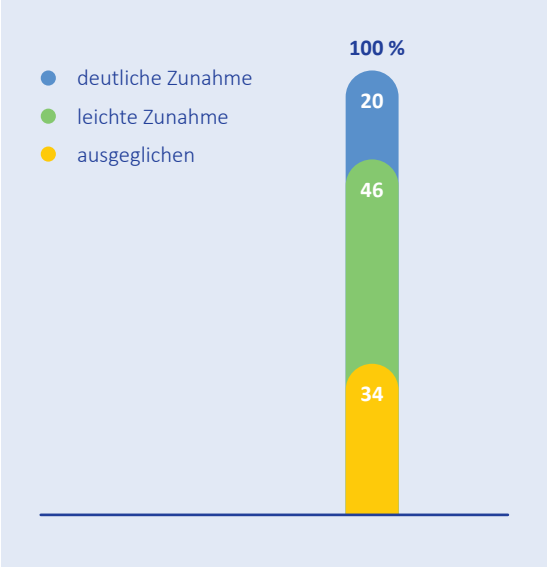


Abbildung 34: Prognose der Arbeitsplatzentwicklung, Quelle: Online-Umfrage

4.3 Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die aktuelle Akteurslandschaft und die wirtschaftlichen Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft dargestellt. Nun soll mittels einer Verknüpfung der Akteure mit den Wertschöpfungskettenelementen und Informationen aus den Primärerhebungen (Online-Befragung und Experteninterviews, siehe Anhang) festgestellt werden, welche Stärken oder Schwächen die sächsischen Akteure in Bezug auf die Wasserstoff- und/oder Brennstoffzellenindustrie aufweisen. Ergänzend werden Chancen und Risiken identifiziert, die sich mit dem Aufbau einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft für den Freistaat Sachsen und die ihm ansässigen Unternehmen ergeben. Diese Ausführungen stützen sich primär auf die im Rahmen der Studie durchgeführten Experteninterviews.

Für die systematische Identifizierung von Stärken und Schwächen bzw. Chancen und Risiken kann das Instrument der SWOT-Analyse genutzt werden. Die Betrachtung der Stärken und Schwächen bezieht sich im Wesentlichen auf interne Größen des Untersuchungsfelds. Dies umfasst hier eine Analyse der Akteure und Standortfaktoren des Freistaats Sachsen. Die Chancen und Risiken ergeben sich primär aus externen Einflussfaktoren. Dazu gehören technologische sowie marktbezogene Faktoren des Themenfelds Wasserstoff und Brennstoffzelle.

Bei der SWOT-Analyse handelt es sich um ein Analyseinstrument, innerhalb dessen Rahmen ein ausgewähltes Untersuchungsobjekt systematisch hinsichtlich Stärken (Strength), Schwächen (Weaknesses), Chancen (Opportunities) sowie Risiken (Threats) untersucht wird.

a) Stärken

Breite KMU-Basis

Sachsen verfügt in Summe über eine breit aufgestellte Basis an KMU. Diese Unternehmen sollten in der Lage sein, eine große Vielfalt an benötigten Wasserstoff- und Brennstoffzellenkomponenten in der für den Markt erforderlichen Quantität und Qualität zu fertigen. Durch die breite KMU-Basis dürften sich zudem neue, erweiterte oder veränderte Wertschöpfungsketten schnell und flexibel, aber auch komplementär, mit sich ergänzenden Kompetenzen, Aktivitäten und Erzeugnissen, aufbauen lassen. Aufgrund des vergleichsweise hohen Anteils an KMU in der sächsischen Wirtschaft [23] erwarten die befragten Experten, dass eine Wasserstoff- und Brennstoffzellenwertschöpfung tendenziell relativ schnell etabliert werden kann, da KMU vor dem Hintergrund niedrigerer Gemeinkostenanteile mit geringeren Margen arbeiten können und damit früher einen wirtschaftlichen Anreiz für einen Eintritt in den Markt haben dürften als Großunternehmen.

Maschinen- und Anlagenbau

Zur breiten KMU-Basis gehört maßgeblich der Maschinen- und Anlagenbau, der sich – entsprechende Nachfrage aus der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft vorausgesetzt – sehr schnell auf Produkte entlang deren Produktwertschöpfungskette ausrichten kann. Sächsische Unternehmen verfügen über ein hohes Maß an Expertise in der Fertigungstechnik, der Fertigung selbst, aber auch der korrespondierenden Logistik. Darüber hinaus bildet die große Anzahl von rund 780 bereits etablierten Automobilzulieferern [24] eine Stärke des Standorts Sachsen vor allem bezogen auf das Feld der Wasserstoffanwendungen. Das gilt nicht nur für das PKW-Segment, sondern auch für den Schwerlastverkehr.

Standorte der Fahrzeughersteller

Die Landschaft der Fahrzeughersteller[13] wird von den befragten Experten ebenfalls als Stärke gesehen, die für den Aufbau einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft nutzbar ist. In diesem Zusammenhang stellt es einen Vorteil dar, dass Automobilhersteller ihre sächsischen Werke bereits auf Elektromobilität, wenn auch aktuell mit batterieelektrischem Fokus umgestellt haben. Die Umstellung der Fertigung vom Verbrennungsmotor auf elektrische Antriebe stellt(e) nach Experteneinschätzung eine größere Herausforderung dar als die Umstellung von batterieelektrischer Fertigung und entsprechenden Produkten auf eine brennstoffzellenzentrierte Fertigung. Weiterhin wird es als Stärke angesehen, dass die Fertigung von Traktionsbatterien, die auch bei Brennstoffzellenantrieben benötigt werden, bereits in Sachsen etabliert ist.

Verkehrsinfrastruktur und geographische Lage

Eine weitere Stärke des Freistaats Sachsen stellt die Verkehrsinfrastruktur und hier speziell die Anbindung an die Nachbarländer und angrenzenden Bundesländer dar. Auch die Lage Sachsens im Herzen Europas und an der Schnittstelle zwischen ost- und westeuropäischen Märkten sowie den jeweiligen Kulturen bildet nach Einschätzung der Experten eine potenzielle Standortstärke. Sachsen kann als eine Brücke zwischen Ost- und Westeuropa verstanden werden. Aus geographischer Sicht ist speziell die Nähe zu Tschechien und Polen eine Stärke, da sich hier wirtschaftlich günstige Produktionsstandorte in unmittelbarer Nachbarschaft befinden. Ähnlich ist die Nähe zum Nachbarbundesland Sachsen-Anhalt und dort speziell zur Chemieindustrie um Leuna gerade vor dem Hintergrund des Einsatzes von Wasserstoff als

13 *Dies umfasst die OEM (Original Equipment Manufacturer) BMW, Volkswagen und Porsche mit insgesamt fünf Fahrzeug- und Motorenwerken in Sachsen sowie Hersteller aus weiteren Segmenten (z. B. FAUN, Heiter Blick, Bombardier)*

positiv zu sehen. Auch die Nähe zu Brandenburg und den dort verfügbaren Kapazitäten an erneuerbaren Energien wird als Standortvorteil gewertet.

Energieinfrastruktur

Darüber hinaus stellt die vorhandene Energieinfrastruktur (für Erzeugung, Transport und Verteilung im Strom-, Wärme- und Gassektor) eine Stärke Sachsens dar, auf die insbesondere im Rahmen der Umstellung der Energiewirtschaft zurückgegriffen werden kann. Dies gilt speziell für die vorhandene Gasnetzinfrastruktur. Sachsen ist schon historisch als Energiestandort positioniert. Die daraus resultierend vorhandene energiewirtschaftliche Kompetenz kann beim Wandel der Energieversorgung (Ausstieg aus der Braunkohleverstromung, hin zum verstärkten Einsatz von Wasserstoff als Energieträger) als Stärke genutzt werden.

Flächenverfügbarkeit

Stärken weist Sachsen weiterhin in Bezug auf die Verfügbarkeit von Gewerbeflächen für Neuansiedlungen auf, die im Zuge des Aufbaus einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft entstehen werden. Auch das flächenseitige Ausbaupotenzial für erneuerbare Energien scheint grundsätzlich gegeben. Allerdings sehen die befragten Experten bei der Verfügbarkeit von Großflächen ab 50 Hektar durchaus auch Nachteile des Standorts.

Fachkräftepotenzial

Ein weiterer Vorteil des Standorts Sachsen wird in der ausgeprägten Technikaffinität der Bevölkerung und dem großen Interesse an MINT-Berufen gesehen. Darüber hinaus verfügt der Freistaat Sachsen über ein hervorragendes Bildungswesen, das die Grundlage eines nach wie vor großen Fachkräftepotenzials bildet. Dazu gehören auch spezifisch auf den Schwerpunkt Wasserstoff und Brennstoffzelle ausgerichtete Studiengänge an den Technischen Universitäten und Hochschulen für Angewandte Wissenschaften des Freistaats. Das Fachkräftepotenzial stellt aktuell (noch) einen Standortvorteil und damit eine Stärke dar. Vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung droht dieser Standortvorteil jedoch verloren zu gehen. Weiterhin kann ein gewisser Lokalpatriotismus der Sachsen und ein Stolz auf hier Erreichtes als Stärke angeführt werden.

Politik und Fördermittellandschaft

Als Stärke kann zudem gewertet werden, dass es von der sächsischen Politik gegenwärtig ein starkes Bekenntnis zum Wasserstoff und zur Brennstoffzelle gibt und die Akteure in diesem Bereich durch die Politik ein hohes Maß an Unterstützung erfahren. Dazu gehört auch die aktuelle Entwicklung einer Wasserstoffstrategie für den Freistaat Sachsen.

Des Weiteren stellt die in Sachsen praktizierte Technologieförderung des Freistaats eine signifikante Stärke dar, mit der der Aufbau von Ressourcen und Kompetenzen im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie bereits in vielen Projekten unterstützt wird.

Vernetzung und Netzwerkarbeit

Sachsen hat bereits in der Vergangenheit sehr stark auf das Thema Wasserstoff gesetzt und ist daher bereits gut auf die Entwicklung des Marktes vorbereitet (Wasserstoffforschung bereits seit ca. 20 Jahren, Erforschung von Brennstoffzellenantrieben seit 10 Jahren). Das zeigen Initiativen wie der Aufbau entsprechender Wasserstoff- und Brennstoffzellencluster. Darüber hinaus ist die Vernetzung und Zusammenarbeit zwischen Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sehr gut ausgebaut.

In Sachsen sind gegenwärtig mehrere Netzwerke im Bereich oder an der Schnittstelle zur Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft aktiv. Dazu gehören der sächsische Innovationscluster HZwo – Antrieb für Sachsen, Automobilzulieferer Sachsen (AMZ), Innovationsverbund Maschinenbau Sachsen (VEMAS) und Energy Saxony.

Wissenschaft und Forschung

Eine weitere Stärke besteht in der sehr guten und international anerkannten Forschungslandschaft. Dies gilt für die Forschung und Entwicklung sowohl im Bereich der Mobilität als auch in den Bereichen der Energie- und der Materialforschung. Darüber hinaus ist aber auch die Wasserstoff- und Brennstoffzellenforschung selbst in Sachsen sehr konkurrenzfähig. Die daraus resultierende große Anzahl und Qualität an Vorarbeiten stellt im Hinblick auf die Erforschung und Entwicklung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie eine wichtige Grundlage dar. Sie wirkt sich zudem positiv auf die Ausbildung von Fachkräften und damit auf das bereits angesprochene Fachkräftepotenzial aus.

b) Schwächen

Geringe Finanzausstattung der Wirtschaft

Eine Stärke der sächsischen Wirtschaft bezüglich des Aufbaus einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft geht mit einer potenziellen Schwäche einher: Die überwiegend durch KMU geprägte Unternehmenslandschaft bringt den Nachteil mit sich, dass die für Innovationen dringend notwendige Finanzmittelausstattung weitgehend fehlt. Es mangelt in Sachsen – abgesehen vom Automobilbau – an Konzernstrukturen, die Innovationen mit eigenen F&E-Abteilungen voranbringen oder zumindest vorfinanzieren und dabei die regionalen KMU einbinden. Vor dem Hintergrund der Rolle der meisten sächsischen Unternehmen als „verlängerte Werkbank" besteht zudem der Nachteil bzw. die Schwäche, dass die wichtigen (Konzern-)Entscheidungen für die Entwicklung neuer Technologien nicht in Sachsen getroffen werden.

Mit der von KMU geprägten Unternehmenslandschaft geht auch die Schwäche einer deutlich schwierigeren Akquise von Venture Capital einher. Dies hemmt Investitionen in innovative Technologien und kann damit auch zu einem Zeitnachteil bei der Umstellung der Produkte und der Fertigung auf Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien führen.

Spezialisierungsgrad von KMU

Die KMU-Landschaft Sachsens bringt den Nachteil mit sich, dass jedes KMU auf ein recht enges Geschäftsfeld fokussiert und damit stark spezialisiert ist. Daraus ergibt sich das Risiko, dass Teile der sächsischen Wirtschaft nicht ohne größere Umstellungen von Prozessen und Produkten sowie Geschäftsmodellen in eine Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft migrieren können.

Geringe Wahrnehmung der Technologie und ihrer Potenziale

Das Thema Wasserstoff und Brennstoffzelle wird nach Experteneinschätzung in der breiten Wirtschaft heute zwar wahrgenommen, aber es fehlt an Initiativen zur proaktiven Umsetzung entsprechender Vorhaben. Zurückzuführen sei dies u. a. auf die bereits skizzierte Rolle der sächsischen Wirtschaft als verlängerte Werkbank und ein bisher fehlendes Commitment insbesondere der in Sachsen aktiven Fahrzeughersteller zur Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.

Unzureichender Ausbau der Erneuerbaren Energien

Eine wesentliche Schwäche des Standorts Sachsen wird mit Blick auf den Aufbau einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in der geringen Erzeugung von grünem Wasserstoff gesehen, da der Freistaat Sachsen beim Ausbau von erneuerbaren Energien zum einen geographische Standortnachteile (z. B. gegenüber den nördlichen Bundesländern) aufweist, zum anderen aber auch in der Vergangenheit relativ wenig Initiative beim Ausbau gezeigt hat.

Teilweise fehlende Kooperationen und zu kleinteiliges Vorgehen

Bisher sind Kooperationen zwischen den vorhandenen Forschungseinrichtungen und zu anderen (Bundes-)-Ländern sowie deren Forschungseinrichtungen nach Auffassung der befragten Experten noch zu gering ausgeprägt und die Aktivitäten im Wasserstoff- und Brennstoffzellensegment zu sehr lokal auf Sachsen orientiert.

c) Chancen

Vorreiterrolle und Image

Der Aufbau einer Wirtschaft, die auf einer Zukunftstechnologie wie dem Wasserstoff und der Brennstoffzelle basiert, bietet für Sachsen die Chance, eine Vorreiterrolle in Deutschland und darüber hinaus einzunehmen. Es können damit Kompetenzen und Ressourcen in den ansässigen Unternehmen gebildet und weiterentwickelt werden, um langfristig die Attraktivität des Standorts sowie dessen wirtschaftliche Leistungsfähigkeit aufrecht zu erhalten und zu steigern. Damit kann Wertschöpfung im Freistaat gesichert und erweitert werden. Aber auch das Interesse ausländischer Unternehmen und Märkte an den Produkten und dem Know-how sächsischer Unternehmen wird potenziell größer, wenn Sachsen eine Vorreiterrolle einnimmt. Damit entstehen für die Wirtschaft des Freistaats Export- und Ansiedlungspotenziale.

Gleichzeitig bietet sich für den Freistaat mit einer Vorreiterrolle auch die Chance zum Aufbau eines Alleinstellungsmerkmals von internationaler Strahlkraft. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund des Potenzials der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie zur Dekarbonisierung von Industrie- und Mobilitätssektor weltweit.

Attraktivität für Unternehmensansiedlungen

Eine weitere Chance wird für den Freistaat in der Ansiedlung ausländischer Unternehmen gesehen. Entsprechendes Interesse ausländischer Unternehmen wurde durch die Wirtschaftsförderung Sachsen bereits wahrgenommen. Aktuell – so die Einschätzung der Experten – scheitert ein aktives Vorortengagement ausländischer Unternehmen jedoch an der Zurückhaltung in der breiten sächsischen Wirtschaft.

Fachkräftesicherung

Durch den Wandel im Energiesektor und Automobilbereich drohen der Wirtschaft des Freistaats Arbeitsplatzverluste in signifikanten Teilbereichen der entsprechenden Wertschöpfung. Der Aufbau einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft bietet die Chance, diese Verluste aufzufangen. Abgesehen von rein quantitativen Effekten wird eine erhebliche Chance in der Bindung

von hochqualifizierten Spezialisten an sächsische Unternehmen gesehen. Die Orientierung an einer neuen Technologie kann Sachsen darüber hinaus für einen Zuzug von Fachkräften interessant machen.

Wertschöpfung im Mobilitätssektor

Sachsen stellt einen der Hauptstandorte der deutschen Automobilzulieferindustrie dar, in der gegenwärtig ein hohes Maß an Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen Ausrichtung von Antriebstechnologien besteht. Vor dem Hintergrund der großen Zahl von in diesem Bereich tätigen Unternehmen mit mehr als 100.000 Mitarbeitern besteht aus Expertensicht die Chance, sich frühzeitig auf die Zukunftstechnologie Brennstoffzelle einzustellen. Aktuell setzen insbesondere die deutschen Hersteller im PKW-Segment auf batterieelektrische Fahrzeuge, aber gerade im Schwerlastbereich zeichnet sich der Weg hin zum Einsatz der Brennstoffzelle deutlich ab und scheint im Moment nach Einschätzung der befragten Experten alternativlos.

Bezogen auf die Mobilität kann Sachsen außerdem eine Vorreiterrolle im Sinne einer Modellregion beim Auf- und Ausbau von Mobilitätsdiensten auf Basis von Wasserstoff und Brennstoffzellen einnehmen. Hier bietet insbesondere die Siedlungsstruktur Sachsens einen guten Ausgangspunkt: Diese ist geprägt von einer Dreiteilung, die sich nach Experteneinschätzung in vielen Regionen Europas findet: die Metropolregionen (Dresden, Leipzig und Chemnitz), der ländliche-urbane Raum (Städte und Regionen um Zwickau und Freiberg) sowie der ländliche Raum (z. B. das Erzgebirge). Das bietet hervorragende Ansatzpunkte für die Entwicklung nach außen präsentierbarer, adaptierbarer und skalierbarer wasserstoff- und brennstoffzellenbasierter Mobilitätsansätze.

Chancen werden zudem im Bereich des schienengebundenen Regionalverkehrs und hier speziell bei den Bahnanbindungen gesehen, da brennstoffzellenbetriebene Züge ein Potenzial zur Dekarbonisierung des Schienenverkehrs in Sachsen bieten, ohne dass zusätzliche Strecken aufwändig elektrifiziert werden müssen.

Energieversorgung/Energieerzeugung

Unabhängig davon, ob die oben skizzierte Entwicklung im Mobilitätsbereich erfolgt, liegt in den globalen Initiativen zum verstärkten Einsatz von Wasserstoff und Brennstoffzellen bei der Energiebereitstellung die Chance, die Energiewirtschaft auf Wasserstoff umzustellen und damit gleichzeitig sowohl den Status Sachsens als Energieerzeugerland aufrecht zu erhalten als auch einen Beitrag zur Dekarbonisierung zu leisten.

In einer stärker dezentral ausgerichteten und auf Wasserstoff sowie Brennstoffzellen basierenden Energieversorgung sehen die befragten Experten eine Chance für eine umweltfreundliche Energieversorgung von Unternehmen und Quartieren. Dies umfasst die Bereitstellung sowohl von elektrischer Energie als auch von Wärmeenergie. Da der Aufbau stationärer Brennstoffzellen denen für mobile Anwendungen ähnlich ist, bedarf es nach Expertensicht bei der Ausrichtung von Produkten und Geschäftsmodellen auf diesem Anwendungspfad nur geringer Modifikationen.

Im Zusammenhang mit der Energieversorgung bietet der Einsatz von Wasserstoff für die sächsische Energiewirtschaft außerdem die Möglichkeit zum Aufbau von Speicherkapazitäten für Strom aus erneuerbaren Energien, auch wenn dieser schwerpunktmäßig – zumindest nach aktuellem Stand des Ausbaus von Windkraft und Photovoltaik – nicht aus Sachsen selbst stammt, sondern aus angrenzenden Bundesländern (z. B. Brandenburg) bezogen werden muss.

Im Zusammenhang mit dem Potenzial der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie zur Dekarbonisierung von Industrie, Verkehr und Quartieren könnte Sachsen an die im Freistaat liegenden, auf Hans Carl von Carlowitz zurückgehenden Wurzeln der Nachhaltigkeit anknüpfen. Die Etablierung eines Labels wie („Hydrogen-based Sustainability made in Saxony“) kann einen Beitrag zum Aufbau einer positiven Reputation und Wahrnehmung Sachsens in Europa und in der Welt leisten.

Entstehung neuer Absatzmärkte

Aus Sicht des Maschinen- und Anlagenbaus stellt die Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft eine neue Branche dar, die mit Produkten und Dienstleistungen versorgt werden muss bzw. kann. Eine Chance für die in diesem Segment tätigen sächsischen Unternehmen ist darin zu sehen, dass Sachsen den Prozess der Entwicklung von Anlagen für das Wasserstoff- und Brennstoffzellensegment aktiv mitgestalten und auch hier eine Art Vorreiterrolle einnehmen und damit Standards setzen kann. Aber auch der großen Zahl an Komponentenherstellern aus dem Automobilbereich, hier speziell solcher Unternehmen, die metallische Komponenten herstellen, bietet die Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft eine Chance zur Erschließung neuer Märkte.

Erfolgreiche Bewältigung des Strukturwandels in der Automobilindustrie

Schlussendlich ist in der Entstehung einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in Sachsen auch eine Chance dahingehend zu sehen, dass die Automobilindustrie den anstehenden Strukturwandel bewältigen kann und somit weiterhin eine tragende Säule der sächsischen Wirtschaft bleibt.

d) Risiken

Zu langsame Entwicklungsgeschwindigkeit

Das größte Risiko für den Freistaat Sachsen und die hier ansässige sowie im Aufbau befindliche Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft stellt nach Auffassung der Experten ein zu langsames Vorankommen bei der Weiterentwicklung der Technologie und beim Aufbau entsprechender Wertschöpfungsstrukturen dar. Der Faktor Zeit bildet hier ein zentrales Erfolgskriterium. Aktuell sind mehrere Bundesländer im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie mit hohem Tempo und bisweilen mit größeren finanziellen Möglichkeiten als Sachsen aktiv (z. B. Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen). Daher besteht für Sachsen und sächsische Unternehmen die Gefahr, den Anschluss an die Entwicklungen zu verlieren bzw. keine Vorreiterrolle mehr einnehmen zu können und damit allenfalls die Position eines „fast followers“ zu erreichen.

Die kleinteilige Wirtschaftsstruktur Sachsens birgt weiterhin ein Risiko dahingehend, dass Entscheidungen in sächsischen Unternehmen zu sehr vor dem Hintergrund des operativen Geschäfts, mit zu kurzfristigem Horizont, getroffen werden. Damit könnte eine entsprechend langfristige Ausrichtung fehlen, die gerade bei einer im Aufbau befindlichen Branche wie der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft wichtig ist.

Fehlender Markthochlauf

Ein weiteres wesentliches Risiko besteht nach Experteneinschätzung darin, dass die im Wasserstoffumfeld erwarteten Marktentwicklungen ausbleiben und es damit auch nicht gelingt, eine hinreichende Nachfrage im Wasserstoff- und Brennstoffzellensegment zu generieren.

Damit verbunden ist das Risiko einer generell zu langsamen Verbreitung der Technologie, so dass Unternehmen auf allen Wertschöpfungsstufen nicht in der Lage sind, rasch die notwendigen Skaleneffekte zu erzielen und damit für Produkte und Leistungen ein hinreichendes Maß an Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

Abwanderung von Technologie und Wertschöpfung

Langfristig wird für sächsische Unternehmen jedoch auch ein Risiko in der Abwanderung von Wertschöpfung gesehen, wenn sich der Wasserstoff- und Brennstoffzellenmarkt aus der momentan besetzten Nische heraus entwickelt. Es wird von einzelnen Experten befürchtet, dass dann Standardkomponenten nicht mehr in Sachsen und Deutschland hergestellt werden, sondern sich die Produktion in Länder mit deutlich günstigeren Kostenstrukturen verlagert.

Zurückhaltung und fehlende Akzeptanz

Ein Risiko besteht weiterhin darin, dass die breite KMU-Landschaft Sachsens auf dem Weg der Entwicklung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie nicht „mitgenommen“ werden kann. Dieses Risiko entsteht nach Expertenansicht dadurch, dass speziell die Automobilhersteller die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie aktuell noch zu wenig fokussieren, vielmehr lange auf konventionelle Verbrennungstechnologien setzen, und dass damit den Zulieferunternehmen Anreize und Absatzmärkte für den Aufbau entsprechender wasserstoff- bzw. brennstoffzellenbezogener Kapazitäten und Kompetenzen fehlen. Dies führt speziell in der Zulieferindustrie zu Zurückhaltung und wenig intensiver Auseinandersetzung mit der Technologie. Dadurch verstärkt sich das bereits angesprochene zeitliche Risiko für die sächsischen Unternehmen: Die Vorbereitung und Umstellung von Prozessen, Geschäftsmodellen und Produkten auf das Wasserstoff- und Brennstoffzellensegment wird für einige Branchen zeitintensiv und herausfordernd sein, so dass zeitliche Engpässe zu befürchten sind (zumal von Experten erwartet wird, dass die Technologie bereits in fünf Jahren großserientauglich ist). Das Risiko der zu großen Zurückhaltung in der Wirtschaft besteht aber nicht nur für den Automobilzulieferbereich. Auch für andere Wirtschaftszweige wird diese Gefahr gesehen, weil Unternehmen abwarten, ob und in welchem Anwendungsfeld sich Wasserstoff durchsetzen wird.

Daneben besteht die Gefahr einer zu geringen Akzeptanz für die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in der breiten Bevölkerung. Dies wird von den befragten Experten insbesondere daran festgemacht, dass die Dekarbonisierung nur über den Ausbau erneuerbarer Energien gelingt und dieser – insbesondere in Bezug auf den Ausbau von Windkraftkapazitäten in Sachsen – auf breite Ablehnung in der Bevölkerung stößt.

Instabilität des politischen Klimas

Ein weiteres Risiko wird von den Experten in der Beständigkeit und Zuverlässigkeit politischer Commitments gesehen. Auch wenn es aktuell ein klares Bekenntnis der sächsischen Politik zur Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie gibt, so besteht das Risiko, dass sich die politische Haltung gegenüber der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie zu Ungunsten des Sektors wandelt.

Handlungsempfehlungen aus der Perspektive des HZwo e. V.

Im folgenden Abschnitt werden auf Grundlage der in Kapitel 4 getroffenen Aussagen zum aktuellen Stand der sächsischen Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft, zu den Potenzialen, die sich für die sächsischen Wirtschaft ergeben (vgl. 4.2) sowie zu deren identifizierten Stärken/Schwächen sowie Chancen/Risiken miteinander verbundene Handlungsempfehlungen vorgeschlagen, die einen erfolgreichen Auf- und Ausbau der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft im Freistaat fördern sollen.

Durch Rückgriff auf eine TOWS-Matrix wird erreicht, dass sich jede Handlungsempfehlung auf eine Kombination aus Stärke/Schwäche und Chance/Risiko (Abschnitt 4.3) bezieht. Zudem sollte jede Stärke, Schwäche, Chance und jedes Risiko in mindestens einer Handlungsempfehlung berücksichtigt werden [25]. Weiterhin sollten die Handlungsempfehlungen dem Grundsatz folgen, dass Stärken der sächsischen Wirtschaft und aus der Umwelt resultierende Chancen genutzt und Schwächen sowie Risiken vermieden, kompensiert oder abgebaut werden [26].

TOWS-Analyse Bei der TOWS-Analyse handelt es sich um ein Instrument der Strategieentwicklung [27]. Mit Hilfe des Instruments sollen aufbauend auf den Ergebnissen der Stärken/Schwächen- sowie Chancen/Risiken-Analyse strategische Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.	**Stärken** • Breite KMU-Basis • Maschinen- und Anlagenbau • Standorte der Fahrzeughersteller • Verkehrsinfrastruktur und geographische Lage • Energieinfrastruktur • Flächenverfügbarkeit • Fachkräftepotenzial • Politik und Fördermittellandschaft • Vernetzung und Netzwerkarbeit • Wissenschaft und Forschung	**Schwächen** • Schwache Finanzausstattung der Wirtschaft • Spezialisierungsgrad von KMU • Geringe Wahrnehmung der Technologie und ihrer Potenziale • Unzureichender Ausbau der Erneuerbaren Energien • Teilweise fehlende Kooperationen und zu kleinteiliges Vorgehen
Chancen • Vorreiterrolle und Image • Attraktivität für Unternehmensansiedlungen • Fachkräftesicherung • Energieversorgung/ Energieerzeugung • Entstehung neuer Absatzmärkte • Erfolgreiche Bewältigung des Strukturwandels in der Automobilindustrie	• Leuchtturmprojekte schaffen (H1) • Spezifische Tankinfrastruktur aufbauen (H3) • Förderung von F&E und Anwendung (H4) • Wettbewerbsposition bei Schlüsseltechnologien ausbauen und halten (H5) • Aus- und Weiterbildungsangebote schaffen (H7) • Umbau der Energiewirtschaft (H8) • Ausbau länderübergreifender Kooperationen (H11) • Aufklärungsarbeit in Gesellschaft, Wirtschaft und Politik (H13)	• Leuchtturmprojekte schaffen (H1) • Technologie- und Kompetenzzentrum aufbauen (H2) • Wettbewerbsposition bei Schlüsseltechnologien ausbauen und halten (H5) • Ansiedelungen technologischer Kompetenzen (H6) • Erneuerbare Energie fördern (H9) • Netzwerk- und Transferarbeit stärken (H12) • Aufklärungsarbeit in Gesellschaft, Wirtschaft und Politik (H13)
Risiken • Zu langsame Entwicklungsgeschwindigkeit • Fehlender Markthochlauf • Abwanderung von Technologie und Wertschöpfung • Zurückhaltung und fehlende Akzeptanz • Instabilität des politischen Klimas	• Förderung von F&E und Anwendung (H4) • Netzwerk- und Transferarbeit stärken (H12) • Spitzentechnologiecluster zu Wasserstofftechnologien und Brennstoffzellen (H14)	• Spezifische Tankinfrastruktur aufbauen (H3) • Förderung von F&E und Anwendung (H4) • Wettbewerbsposition bei Schlüsseltechnologien ausbauen und halten (H5) • Technologieoffenheit beim Markthochlauf (H10) • Netzwerk- und Transferarbeit stärken (H12) • Aufklärungsarbeit in Gesellschaft, Wirtschaft und Politik (H13)

Abbildung 35: TOWS-Analyse der sächsischen Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft

Handlungsempfehlung 1: Leuchtturmprojekte schaffen

Die Umsetzung von erfolgreichen Leuchtturmprojekten (z. B. Gigafactories für Elektrolyseure und Brennstoffzellen oder große Brennstoffzellen-Hybridbusflotten im ÖPNV) stellt einen Erfolgsfaktor für den Aufbau der regionalen Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft dar. Mit ihnen lassen sich der Entwicklungsstand und die Bedeutung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie dokumentieren und gegenüber der Fachöffentlichkeit, Analysten, Investoren und der Allgemeinheit kommunizieren. Es ist allerdings entscheidend, dass Leuchtturmprojekte zur Erzeugung, zum Transport und zur Nutzung von Wasserstoff Hand in Hand gehen, um Doppelinvestitionen zu vermeiden und durch das Bilden von Wertschöpfungsketten Skaleneffekte zu erzielen.

Handlungsempfehlung 2: Technologie- und Kompetenzzentrum aufbauen

Sächsische KMU verfügen auf Basis jahrelanger Erfahrungen und Eigenentwicklungen über ein ausgeprägtes Know-how zur hocheffizienten Fertigung von Komponenten. Die Eigenschaften ihrer Produkte sind ihnen bekannt. Eine solche Erfahrungs- und Kompetenzbasis muss nun frühzeitig für Wasserstofftechnologien und Brennstoffzellen aufgebaut werden. Dies ist auch eine Chance für Quereinsteiger und Start-Ups. Dazu bedarf es Expertenwissen, Testequipment und Labore/Werkstätten mit Wasserstoffversorgung. Die dafür entstehenden hohen Anschaffungskosten können jedoch insbesondere von KMU nicht in absehbarer Zeit durch Erlöse gedeckt werden, da mit einem Markthochlauf erst in 5 bis 8 Jahren zu rechnen ist. Die zu befürchtende Kompetenz- und Infrastrukturlücke sollte durch für KMU offen zugängliche Ressourcen eines Technologie- und Kompetenzzentrums mit Wasserstoffinfrastruktur und Prüfständen überbrückt werden. Experten aus einzubeziehenden Forschungseinrichtungen, industriellen Netzwerk-/Konsortialpartnern und eingemieteten Start-Ups ermöglichen kooperativ einen schnellen und ergebnisorientierten Workflow. Der Aufbau eines leistungsfähigen Technologie- und Kompetenzzentrums für Wasserstoff wird die Position Sachsens erkennbar stärken und die Attraktivität des Standorts für Unternehmen deutlich erhöhen.

Handlungsempfehlung 3: Spezifische Tankinfrastruktur aufbauen

Vor dem Hintergrund der zentralen Lage Sachsens in Europa, der Bedeutung sächsischer Verkehrsinfrastrukturen für europäische Logistikketten sowie der Erwartung, dass sich insbesondere im Schwerlast- und Bussektor die Brennstoffzelle als Antriebstechnologie etablieren wird, muss der Auf- und Ausbau eines Tankstellennetzes für Brennstoffzellenfahrzeuge gefördert werden. Allerdings sollte hier zunächst eine Fokussierung auf die Transithaupttangenten, auf Knotenpunkte mehrerer Mobilitätsformen (z. B. Straße und Schiene) sowie entsprechende Flotten von Verkehrsbetrieben erfolgen. Die Förderung eines flächendeckenden Aufbaus einer ausschließlichen PKW-Wasserstofftankstelleninfrastruktur ist hingegen nach Experteneinschätzung im Moment kein adäquates Mittel, da der Anteil wasserstoffbetriebener Fahrzeuge zu gering ist und angesichts der derzeitigen strategischen Ausrichtung deutscher Automobilhersteller im PKW-Segment vor 2025 auch kein signifikanter Anstieg der Zulassungszahlen erwartet wird.

Handlungsempfehlung 4: Förderung von F&E und Anwendung

Vor dem Hintergrund des Strukturwandels in der Fahrzeugindustrie sollte der Technologietransfer von den Hochschulen und Forschungseinrichtungen hin zu den Zulieferunternehmen sowie zu Maschinen- und Anlagenbauunternehmen mit hoher Priorität gefördert werden. Der Ausbau und die unbürokratische Ausgestaltung wirksamer Förderinstrumente stellen eine zentrale Maßnahme für den Aufbau einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft in Sachsen dar. Schwerpunkte sollten hier auf eine konsequente Forschungs- und Entwicklungs-, Gründungs- und Technologieförderung gelegt werden (u. a. zum investitionsintensiven Umbau bestehender Fertigungslinien). Dabei sollte Sachsen gezielt die Förderlücken nationaler und europäischer Programme schließen. Diese werden insbesondere in den folgenden Bereichen gesehen:

- industrielle Forschung und Entwicklung bei potenziellen Marktteilnehmern
- Aufbau von Pilotlinien/-anlagen
- Modellvorhaben zur Qualifizierung von Technologien für die Wasserstoffwirtschaft
- Wissenstransfer sowie Aus- und Weiterbildung

Dirk Vogel, AMZ – Netzwerk Automobilzulieferer Sachsen

„Zur Unterstützung eines Markthochlaufs der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie sind auch spezifische Anreizsetzungen und ergänzende Förderprogramme geeignet. Dazu gehört beispielsweise die Förderung eines verstärkten Einsatzes von Brennstoffzellen zur dezentralen Strom- und Wärmeversorgung von Industrieunternehmen und Gewerbeparks. Damit ließen sich CO_2-Einsparungen auf Unternehmensebene erzielen und somit ein Beitrag zur Dekarbonisierung leisten. Denkbar ist hier eine Investitionsförderung in Höhe der Differenz zu konventionellen lokalen Energieerzeugungsanlagen. Durch die Förderung entsteht ein Anreiz, der Nachfrage induziert, die auch zu zusätzlicher Wertschöpfung bei sächsischen Unternehmen führt. Verknüpft werden muss ein solches Instrument jedoch mit einem hohen Maß an Aufklärungsarbeit durch Netzwerke und Wirtschaftsförderungen hinsichtlich der Vorteile stationärer Energieerzeugung aus Brennstoffzellen."

Darüber hinaus wird dringend empfohlen, bei allen Vorhaben, Projekten und Initiativen, die mit Landesmitteln gefördert werden, vorher den Blick auf internationale Wasserstoff- und Brennstoffzellenmärkte sowie Technologien und Förderprogramme zu richten, um zu prüfen, ob und welche Entwicklungen es im internationalen Vergleich bereits gibt. Das Technologie- und Kompetenzzentrum (vgl. Handlungsempfehlung 2) kann dazu mit den fördernden Einrichtungen Zielindikatoren für geförderte Projekte erarbeiten. So können die knappen Ressourcen entsprechend zielgerecht eingesetzt und verteilt sowie eine zu starke Konzentration auf international bereits erfolgte Grundlagenarbeit vermieden werden.

Um ein entsprechendes Maß an Koordination der Aktivitäten zu erreichen, könnten sowohl die Wirtschaftsförderung als auch die bestehenden Wasserstoff- und Brennstoffzellennetzwerke durch die Politik in die Aktivitäten zur Forcierung des Aufbaus der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft einbezogen werden.

Handlungsempfehlung 5: Wettbewerbsposition bei Schlüsseltechnologien ausbauen und halten

Um die Risiken zu reduzieren (zu kleinteiliges Vorgehen) und Schwächen abzubauen (begrenzte Finanzmittelausstattung), empfiehlt sich beim Aufbau einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft eine Fokussierung auf Schlüsseltechnologien der Wertschöpfungskette. Diese korrespondieren insbesondere mit den im Abschnitt 4.2 bereits erwähnten Potenzialen im Bereich der Herstellung von Elektrolyseuren, Brennstoffzellen und Komponenten für diese sowie Wasserstofftanks. Diese Schlüsseltechnologien sollten intensiv beforscht, gefördert und kontinuierlich weiterentwickelt werden, um die Wettbewerbsposition Sachsens und der sächsischen Unternehmen auszubauen und auch langfristig zu halten.

Handlungsempfehlung 6: Ansiedelungen fehlender technologischer Kompetenzen

Vor dem Hintergrund des Strukturwandels muss beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft versucht werden, Lücken in der Wertschöpfungskette durch eine frühzeitige Qualifizierung bestehender sächsischer Unternehmen zu schließen (vgl. Handlungsempfehlung 4). Wie in Kapitel 4 erwähnt, sehen die befragten Experten in Sachsen Lücken bei der Herstellung von Membranen und anderen chemischen Komponenten, der Tankherstellung, dem Bau von Brennstoffzellen-Gesamtsystemen und dem Recycling.

Ein weiterer wesentlicher Ansatzpunkt für den Aufbau einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft wird darin gesehen, dass überregionale Unternehmen ihre auf die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie bezogenen Wertschöpfungsschwerpunkte nach Sachsen verlagern. Hier sind in hohem Maße Initiativen der Politik und der Wirtschaftsförderung gefragt (z. B. Unterstützung bei der Akquise und Erschließung entsprechender Flächen sowie Förderung bei Unternehmensansiedlungen).

Handlungsempfehlung 7: Aus- und Weiterbildungsangebote schaffen

Für den Umgang mit Wasserstoff und Brennstoffzellen wird in der Industrie und im Handwerk Fachpersonal benötigt. An den Universitäten, Hochschulen, Ausbildungseinrichtungen und Kammern sollten daher (Aus- und Weiter-)Bildungsangebote zu Wasserstoff und Brennstoffzellen geschaffen und gefördert werden. Die entsprechenden Technologien sollten zum festen Bestandteil von Lehrangeboten im technischen Umfeld werden. Es ist für sächsische Unternehmen von hohem Interesse, dass Hochschulabsolventen mit Kenntnissen und Kompetenzen zu den Themen Brennstoffzellen und Wasserstoff auf dem sächsischen Arbeitsmarkt verfügbar sind. Dies können beispielsweise Netzwerke und Kooperationsprojekte zwischen sächsischen Hochschulen und Unternehmen befördern.

Handlungsempfehlung 8: Umbau der Energiewirtschaft

Ungenutzter Strom aus erneuerbaren Energiequellen sollte mittels Wasserstoff gespeichert (auch saisonal über Wochen und Monate) und in den Sektoren Strom, Wärme, Industrie und Mobilität eingesetzt werden. Insbesondere bestehende Erneuerbare-Energie-Anlagen können nach dem Wegfall der Förderung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) in Verbindung mit einem Elektrolyseur zur Wasserstoffherstellung weitergenutzt werden.

Mit den Erzeugern und Abnehmern von Wasserstoff müssen Transportnetze und Speicher entstehen. Die Umrüstung der bestehenden Gasinfrastruktur sollte dabei im Vordergrund stehen, insbesondere da zu erwarten ist, dass der Bedarf fossiler Gase langfristig abnehmen wird.

Wasserstoff ist ein wichtiger Baustein für grüne Wärmenetze. Er kann frühzeitig anteilig im Gasmix in Gasmotoren sowie mittelfristig direkt in Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Grüne Wärme hat ein hohes CO_2-Vermeidungspotenzial und kann früh zu Skaleneffekten und geringen Kosten in der Wasserstoffwirtschaft führen. Wärmeversorger sollten daher besonders sensibilisiert und bei Projekten früh mit einbezogen werden.

Es ist hier besonders wichtig, dass die Vorhaben zur Erzeugung, zum Transport und zur Nutzung von Wasserstoff Hand in Hand gehen, um Doppelinvestitionen zu vermeiden und durch das Bilden von Wertschöpfungsketten Skaleneffekte zu erzielen (vgl. Handlungsempfehlung 1).

Handlungsempfehlung 9:
Erneuerbare Energie fördern

Zum Erreichen der notwendigen Dekarbonisierung und Defossillisierung in allen Energiesektoren ist ein erheblicher Ausbau von erneuerbaren Energieanlagen notwendig.

Auch der Import erneuerbarer Energie in Form von Wasserstoff wird langfristig notwendig sein, was jedoch vor dem Hintergrund der globalen Bedeutung des Themas nicht als Nachteil oder Schwachstelle empfunden werden sollte. Allerdings muss dieser Zusammenhang der Bevölkerung erklärt werden (siehe Handlungsempfehlung 13). Für Unternehmen muss eine CO_2-neutrale Produktion ermöglicht werden. Daran anknüpfend sollten auf Landes- und Bundesebene aus Unternehmenssicht wirtschaftliche Anreize für den Einsatz von Wasserstoff geschaffen werden (siehe Handlungsempfehlung 4).

Lukas Rohleder, Energy Saxony e. V.

„Insbesondere mit Blick auf das übergeordnete Ziel der Dekarbonisierung muss die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien deutlich ausgebaut werden. Für Unternehmen muss eine CO_2-neutrale Produktion möglich sein. Daran anknüpfend, aber eher auf Bundesebene angesiedelt, sollten entsprechende regulatorische Aspekte berücksichtigt werden, so dass sich der Einsatz von dezentralen brennstoffzellenbasierten Energieerzeugungsanlagen aus Unternehmenssicht lohnt."

Handlungsempfehlung 10:
Technologieoffenheit beim Markthochlauf

Übereinstimmend mit der europäischen und der nationalen Wasserstoffstrategie sollte beim Aufbau der Wasserstoffwirtschaft auch für Sachsen das oberste Ziel sein, dass diese auf grünem Wasserstoff beruht. Für einen frühen Markthochlauf für die in Sachsen gefertigten Systeme und Komponenten sollte die Wirtschaftlichkeit der Wasserstoffwirtschaft möglichst schnell gelingen. Um beim Markthochlauf nicht am Anspruch einer ausschließlich grünen Wasserstoffwirtschaft zu scheitern, sollte der Einsatz von sogenanntem „Clean Hydrogen" als Zwischenziel nicht ausgeschlossen werden.

Clean Hydrogen

Hydrogen Europe definiert Clean Hydrogen (dt. sauberer Wasserstoff) als Wasserstoff, der aus allen Technologien und Quellen stammen kann, solange dessen Einsatz mindestens zu einer Vermeidung von 90 % der Treibhausgasemissionen im Vergleich zu konventionellen Technologien führt. Dieser ist mit dem Europäischen Klimagesetz vereinbar und ermöglicht es, früh zu einer wirtschaftlichen Wasserstoffwirtschaft zu gelangen und dabei bereits in hohem Maße Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

Handlungsempfehlung 11:
Ausbau länderübergreifender Kooperationen

Durch die zentrale Lage Sachsens in Europa ergeben sich in Bezug auf die Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft Chancen zur Intensivierung der Zusammenarbeit mit anderen Ländern. Für Sachsen bietet sich eine Chance darin, selbst die Initiative zur länderübergreifenden Zusammenarbeit zu ergreifen und damit eine Führungsrolle zu übernehmen sowie Technologie-Know-how zu exportieren. Die Landesregierung sollte derartige Kooperationen fördern (z. B. gemeinsame Wasserstoff- und Brennstoffzellentage, gemeinsame Projekte, Wirtschaftsdelegationen).

Davon abgesehen sollte auch die vorhandene Industrie weiter gestärkt werden, indem Unterstützung bei der Erschließung neuer und insbesondere internationaler Märkte geleistet wird. Das bietet die Möglichkeit, sächsische Unternehmen und Produkte auch über die Bundesgrenzen hinaus bekannt zu machen und gleichzeitig von Kenntnissen und Kompetenzen anderer Länder hinsichtlich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie zu profitieren.

Dr. Susanne Kuhri, Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie NOW GmbH

„Die länderübergreifende Zusammenarbeit mit Nachbarbundesländern, aber auch über Bundesgrenzen hinaus sollte gestärkt werden (Technologieexport). Dafür sind politische Anreize notwendig. So könnte bspw. das Dreieck Leipzig - Dresden - Chemnitz, an dem sich die Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft konzentriert, in Richtung Bayern, Thüringen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg erweitert werden."

Dr. Carsten Pohlmann, FCP Fuel Cell Powertrain GmbH
„Es ist wichtig, dass Netzwerkkompetenzen und Verantwortlichkeiten gebündelt werden und in Sachsen kein Flickenteppich der Netzwerke und Interessenvertretern entsteht, die sich gegenseitig behindern und kannibalisieren. Mit Blick auf Sachsen ist die Stärkung der bestehenden sächsischen Netzwerke am zielführendsten. Von dort müssen dann die Perspektiven und Aktivitäten in bspw. Automotive-Cluster hineingetragen werden. Von Bedeutung ist auch, dass der Zugang zu den Netzwerken und deren Expertise vor dem Hintergrund enger Unternehmensbudgets kostenfrei erfolgen sollte."

Handlungsempfehlung 12: Netzwerk- und Transferarbeit stärken

Der Arbeit von Netzwerken kommt beim Aufbau einer Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft eine große Bedeutung zu. Der Zugang zu den Netzwerken und deren Kompetenzen sollte für Unternehmen leichter werden – was aber eine staatliche Grundfinanzierung entsprechender Basisleistungen der Netzwerkarbeit erfordert.

Zu den zentralen Aufgaben der Netzwerke gehören Wissens- und Technologietransfer, Verbandsarbeit sowie Öffentlichkeitsarbeit. Darüber hinaus wird eine wichtige Funktion der Netzwerke in der aktiven Unterstützung von Unternehmen im Rahmen der Fördermittelakquise und der Koordination von Projektausschreibungen gesehen. Der Zugang zu den Netzwerken und insbesondere deren Transferarbeit sollte stärker gefördert werden (vgl. Handlungsempfehlung 4).

Christian von Olshausen, Sunfire GmbH
„Wichtig ist, dass für die Unternehmen, die sich bereits heute mit den Themen Wasserstoff und Brennstoffzelle beschäftigen und Produkte anbieten, ein Markt entsteht. Hier ist neben einer Förderung auch politisches Engagement des Freistaats im Bund, aber auch in der EU notwendig."

Handlungsempfehlung 13: Aufklärungsarbeit in Gesellschaft, Wirtschaft und Politik

Ein zentrales Element zur Ausnutzung der Chancen stellt eine umfassende Aufklärung und Sensibilisierung der eher konservativ eingestellten Bevölkerung Sachsens, der Unternehmen aber auch der Politik dar. Dabei muss der Mehrwert von Wasserstoff und Brennstoffzellen gegenüber konventionellen Technologien und die Vorteile weiterer Anwendungsfelder herausgestellt und demonstriert werden. Insgesamt sind dazu breit angelegte und zielgruppenadäquat ausgerichtete Informations- und Kommunikationskampagnen, aber auch Workshops mit den entsprechenden Stakeholdern notwendig. Die Netzwerke, Wirtschaftsförderungen und Landesagenturen sind als Multiplikatoren dabei besonders wichtig, dabei sollten sich deren Formate gut ergänzen, in engem Austausch zueiander stehen und gleichermaßen unterstützt werden. Auch die bereits erwähnten Leuchtturmprojekte können die Aufklärungsarbeit in hohem Maße unterstützen (vgl. Handlungsempfehlung 1).

Insbesondere vor dem Hintergrund der notwendigen Akzeptanz sollte jedoch auch über die Nachteile und Gefahren des Themas Wasserstoff aufgeklärt werden. Wichtig ist weiterhin, dass die Bevölkerung umfassend über den Umbau der Energiewirtschaft bzw. die Energiewende informiert wird, um ein breites Verständnis für das Potenzial der Zukunftstechnologie Wasserstoff zu schaffen.

Mit Blick auf die Unternehmen steht eine fortlaufende Information zu technologischen und marktbezogenen Entwicklungen im Mittelpunkt, so dass diese in die Lage versetzt werden, die wirtschaftlichen Potenziale zu erkennen und eigene strategische Entscheidungen daran auszurichten.

Der Politik ist insbesondere das der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie innewohnende Potenzial zum Erhalt von Wertschöpfung und damit von Arbeitsplätzen in Sachsen, aber auch der Beitrag der Technologie zur Dekarbonisierung von Industrie und Mobilität zu kommunizieren, um das aktuelle Bekenntnis zum Wasserstoff und zur Brennstoffzelle parteiunabhängig zu verstetigen.

Handlungsempfehlung 14: Spitzentechnologiecluster zu Wasserstofftechnologien und Brennstoffzellen

Zur langfristigen Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen und zum Aufbau des Freistaat Sachsens als Spitzenstandort für Wasserstofftechnologien bedarf es verstärkter Forschung. Hierfür bestehen bei sächsischen Hochschulen bereits wissenschaftliche Kompetenzen von internationalem Format.

Ein Spitzentechnologiecluster zu Wasserstofftechnologien und Brennstoffzellen sollte Kompetenzen der sächsischen Hochschulen und Forschungseinrichtungen bündeln und durch gemeinsame interdisziplinäre Forschung langfristig Grundsteine für eine sehr gute Wettbewerbsposition Sachsens legen. Die gewonnenen Erkenntnisse sind darüber hinaus Basis für mittel- bis langfristigen Technologietransfer und für die Ausbildung von Fachkräften. Das sehr erfolgreiche Programm „Spitzentechnologiecluster" sei hier als Vorbild genannt.

Exzellente Forschung ist zudem ein Magnet für neue Ansiedlungen.

Literaturverzeichnis

[1] Hydrogen Council (2017): Hydrogen scaling up. A sustainable pathway for the global energy transition; https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-scaling-up-Hydrogen-Council.pdf (abgerufen am 19.01.2021).

[2] Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) (2019): Hydrogen Roadmap Europe. A sustainable pathway for the European energy transition; https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf (abgerufen am 19.01.2021).

[3] Kurzweil, P. (2013): Brennstoffzellentechnik. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen; 2. Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg.

[4] O'Havre, R.; Cha, S.-W.; Colella, W. G.; Prinz, F. B. (2016): Fuel Cell Fundamentals; 3. Auflage, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

[5] Dicks, A. L.; Rand, D. A. J. (2018): Fuel Cell Systems Explained; Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

[6] Barbir, F. (2013): PEM fuel cells. Theory and practice; 2. Auflage, Amsterdam, Boston: Academic press.

[7] Töpler, J.; Lehmann, J. (2017): Wasserstoff und Brennstoffzelle. Technologien und Marktperspektiven; 2. Auflage, Berlin: Springer Vieweg.

[8] Klell, M.; Eichlseder, H.; Trattner, A. (2018): Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik; Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

[9] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): Wasserstoff transportieren, speichern und verteilen; https://www.dlr.de/content/de/artikel/dossier/wasserstoff/wasserstoff-transportieren-speichern-und-verteilen.html (abgerufen am 11.02.2021).

[10] Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B) (2020): Positionspapier des Wasserstoffbündnis Bayern zur bayerischen Wasserstoffwirtschaft; https://h2.bayern/wp-content/uploads/2020/05/Positionspapier_Wasserstoffbuendnis_Bayern_052020_web.pdf (abgerufen am 10.03.2021).

[11] International Energy Agency (IEA) (2019): The Future of Hydrogen. Seizing today's opportunities; https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen (abgerufen am 11.02.2021).

[12] Roland Berger GmbH (2019): Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg; https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/Wasserstoff/200724-Potentialstudie-H2-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf (abgerufen am 19.01.2021).

[13] United Nations (2015): Paris Agreement; https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf (abgerufen am 10.03.2021).

[14] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2016): Klimaschutzplan2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung; https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf (abgerufen am 10.03.2021).

[15] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019): Dialogprozess Gas 2030. Erste Bilanz; https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/C-D/dialogprozess-gas-2030-erste-bilanz.pdf (abgerufen am 10.03.2021).

[16] Institut der deutschen Wirtschaft (iwd) (2019): Energie aus Wasserstoff – eine Chance für das Klima; https://www.iwd.de/artikel/energie-aus-wasserstoff-eine-chance-fuer-das-klima-446387/ (abgerufen am 11.02.2021).

[17] Fraunhofer ISI und Fraunhofer ISE (2019): Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland; https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/ueber-fraunhofer/wissenschaftspolitik/Positionen/Fraunhofer-Wasserstoff-Roadmap.pdf (abgerufen am 19.01.2021).

[18] Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA) (2019): VDMA Fuel Cells Survey 2019-Industry in transition; https://bz.vdma.org/documents/266669/30751173/VDMA%20AG%20BZ_Fuel%20Cells-Survey%20PM%202019-04-03%20final%20EN_1554202818610.pdf/daa009f4-9f0f-d7e5-d176-1026ecc69d07 (abgerufen am 11.02.2021).

[19] Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband (DWV) (2018): „Grüne Wasserstoff-Industrie – Lösung für den Strukturwandel?“; https://www.dwv-info.de/wp-content/uploads/2015/06/20181128-Pos.-Papier-zu-Strukturwandel-final.pdf (abgerufen am 11.02.2021).

[20] Statistisches Bundesamt (2017): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung des Bundes; Tabellen 42271-002 und 42271-0011.

[21] Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH (2020): Kompetenzatlas „Energieinnovationen aus Sachsen“; https://standort-sachsen.de/sixcms/media.php/78/Energieinnovationen_in_Sachsen_2020.33377.pdf (abgerufen am 10.03.2021).

[22] Eurostat (2017): Detaillierte jährliche Unternehmensstatistiken für die Industrie (NACE Rev. 2, B-E); https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/products-datasets/-/SBS_NA_IND_R2 (abgerufen am 10.03.2021).

[23] Sächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (2017): Mittelstandsbericht 2015 bis 2017 des Freistaats Sachsen; https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/33600 (abgerufen am 19.03.2021).

[24] Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH: Das „Autoland Sachsen“ im Überblick; https://standort-sachsen.de/de/branchen/automobilindustrie (abgerufen am 19.03.2021).

[25] Macharzina, K.; Wolf, J. (2018): Unternehmensführung. Das internationale Managementwissen: Konzepte – Methoden – Praxis; 10. Auflage, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

[26] Welge, M. K.; Al.Laham, A. (2017): Strategisches Management. Grundlagen – Prozess – Implementierung; 7. Auflage, Wiesbaden: Springer Gabler.

[27] Götze, U.; Mikus, B. (1999): Strategisches Management; Chemnitz: Gesellschaft für Unternehmens-rechnung und Controlling (GUC).

Anhang 1

Auszug aus dem Onlinefragebogen

Auf die Abbildung der Gesamtstruktur der Zuordnung, (z. B. der einzelnen Branchen) wurde hier aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Der gesamte Onlinefragebogen ist bei Interesse einsehbar. Anfrage unter *info@hzwo.eu*

Themenkomplex 1

- Name des Unternehmens/Institution, Anschrift, Ansprechpartner
- Mitarbeiteranzahl bezogen auf Gesamtunternehmen
- Gesamtumsatz in € pro Jahr 2019
- Mitarbeiteranzahl, davon in Sachsen
- Gesamtumsatz, davon in Sachsen
- Welche Relevanz kommt dem Standort Sachsen für Ihr Unternehmen zu?
  - Hauptsitz
  - Kooperationen mit Unternehmen aus der Region
  - Forschungs- und Entwicklungsstandort
  - Produktionsstandort
  - Absatzmarkt
  - Ausbildungsstandort

Themenkomplex 2

- Beobachtet Ihr Unternehmen den Markt für Wasserstoff- bzw. BSZ-Technologien durch z. B. Mitgliedschaft/Tätigkeit in Netzwerken?
- Ist Ihr Unternehmen in Forschungs-/Entwicklungs- und/oder Pilot-Projekten zu Wasserstoff- bzw. BSZ-Technologien aktiv?
- Generiert Ihr Unternehmen bereits Umsätze durch Produkte für das Wasserstoff- bzw. BSZ-Segment?
- Wann erwarten Sie für Ihr Unternehmen erste Umsätze durch Produkte für das Wasserstoff- bzw. BSZ-Segment?

Themenkomplex 3

- Wie sehen Sie die Entwicklung der Wasserstoff- und BSZ-Industrie?
- Wie schätzen Sie die Attraktivität des Wasserstoff- und BSZ-Marktes hinsichtlich Ihres Unternehmensumsatzes ein?
- Erwarten Sie, in den nächsten 10 Jahren Investitionen in Wasserstoff- bzw. BSZ-Technologien und/oder Infrastruktur zu tätigen?
- Welchen Zielmarkt sehen Sie für Ihr Unternehmen im Bereich der Wasserstoff- bzw. BSZ-Technologien am relevantesten in den nächsten 10 Jahren?
- Erwarten Sie für Ihr Unternehmen eine Zunahme bzw. Abnahme von Arbeitsplätzen durch den Wasserstoff- bzw. BSZ-Markt (unter Berücksichtigung von Substitutionseffekten)?
- Kooperiert Ihr Unternehmen mit für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien wichtigen Zulieferer- und/oder Abnehmerbetrieben aus Sachsen?
- Wie schätzen Sie die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Sachsen im nationalen/internationalen Vergleich ein?

Anhang 2

Teilnehmer der Onlinebefragung

- µ-Tec GmbH
- 3-5 Power Electronics GmbH
- A. Schmutzler Schnitt- und Stanzwerkzeuge
- ACTech GmbH
- AMITRONICS Angewandte Mikromechatronik GmbH
- Auerhammer Metallwerk GmbH
- Beldrive Engineering GmbH
- BORSIG ZM Compression GmbH
- Bräuer Systemtechnik GmbH
- Bruno Wagner & Söhne Metallwarenfabrik GmbH
- car systems Scheil GmbH & Co. KG
- Chromasens GmbH
- Clean Logistics GmbH
- C-marx GmbH
- Context-Engineering Freiberuflicher Wirtschaftsing.
- DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH
- Döbeln Elektrowärme GmbH
- EDC Electronic Design Chemnitz GmbH
- Eisenwerk Wittigtshal GmbH
- Energy Saxony e.V.
- ESKA Automotive GmbH
- Exoy Green Systems GmbH Büro Leipzig
- FAE Elektrotechnik GmbH & Co. KG
- FCP Fuel Cell Powertrain GmbH
- FES GmbH Fahrzeug-Entwicklung Sachsen
- FI Freiberg Institut GmbH
- Fraunhofer ENAS
- Fraunhofer IWU
- FREYLER Industriebau GmbH
- FusionSystems GmbH
- H&T ProduktionsTechnologie GmbH
- Hoermann Vehicle GmbH
- Hörmann Vehicle Engineering GmbH
- HPV GmbH
- ICM- Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e. V.
- IDT Industrie- und Dichtungstechnik Werk Kupferring GmbH
- IHK Chemnitz
- IHK Cottbus
- Ingenieurbüro Trenkmann GbR
- Kist + Escherich GmbH
- Kunststofftechnik Weißbach GmbH
- Laserinstitut Hochschule Mittweida
- LASERVORM GmbH
- Linde Engineering GmbH
- Litens Automotive GmbH & Co KG
- LSE GmbH
- Independent Consulting, Management & Project Support
- MRK Management Consultants GmbH
- Niles-Simmnons Industrieanlagen GmbH
- NOVAJET GmbH
- Omron B. V.
- PENTACON GmbH
- Raussendorf M&G GmbH
- Roth Composite Machinery GmbH
- SachsenNetze GmbH
- SCHERDEL Marienberg GmbH
- Sensor-Technik Wiedemann GmbH
- SimPlan AG
- SisTeam GmbH
- SITEC Industrietechnologie GmbH
- SURAGUS GmbH
- TGZ Bautzen GmbH
- Tisora Sondermaschinen GmbH
- TU Bergakademie Freiberg
- TU Chemnitz- Institut Automobilforschung
- TU Chemnitz/SLK
- Ulrich Fickel
- Voith Turbo Verdichtersysteme GmbH & Co. KG
- Volkswagen Sachsen- Die Gläserne Manufaktur
- VON ARDENNE GmbH
- WätaS Wärmetauscher Sachsen GmbH
- WESKO GmbH
- XENON Automatisierungstechnik GmbH

Anhang 3

Liste der betrachteten sächsischen Institutionen

Unternehmen

- µ-Tec GmbH
- 3-5 Power Electronics GmbH
- a.i.m. alles in metall
- ACTech GmbH
- Adapted Solutions GmbH
- Adensis GmbH
- Agraset Agrargenossenschaft eG Naundorf bei Rochlitz
- AIR LIQUIDE Deutschland GmbH
- AIS Automation Dresden GmbH
- AKON Konstruktionsbüro GmbH & Co. KG
- Aktrion Automotive GmbH
- Albert Polenz GmbH & Co.KG Döbeln
- Albert Schmutzler GbR
- AM Metals GmbH
- AMC Analytik und Messtechnik GmbH
- AMITRONICS Angewandte Mikromechatronik GmbH
- AMR-Hydraulik Chemnitz GmbH
- Amtech GmbH Chemnitz
- ANDAV Electronics GmbH
- Argomotive GmbH
- Auerhammer Metallwerk GmbH
- Aumann Limbach-Oberfrohna GmbH
- Auto-Entwicklungsring Sachsen GmbH
- AXON Innovations UG
- BALANCE Erneuerbare Energien GmbH
- Bäringhaus & Hunger GmbH
- BayWa r.e. Clean Energy Sourcing GmbH
- Beck//Markt/Strategie/Technik
- Beldrive Engineering GmbH
- Belectric GmbH
- Benseler Sachsen GmbH & Co. KG
- Bergi-Plast GmbH
- BERND FLACH Präzisionstechnik GmbH & Co.KG
- BE-terna Industry Solutions GmbH
- BITSz electronics GmbH
- BMW AG/ Werk Leipzig
- BORSIG ZM Compression GmbH
- BRAINWARE Solutions GmbH
- Bräuer Systemtechnik GmbH
- Bruno Wagner & Söhne Metallwarenfabrik GmbH
- BTS Bahntechnik Sachsen e.V
- Capron GmbH
- car systems Scheil GmbH & Co. KG
- Carl Beutlhauser Hebe- und Fördertechnik GmbH
- CARNET GmbH
- CEFEG GmbH Federn- und Verbindungstechnik
- Cetex Institut gGmbH
- CeWOTec gGmbH
- Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH
- CICON Großmann Ingenieur Consult GmbH
- CE cideon engineering GmbH & Co. KG
- CLAVEY Automobil Dienstleistungs GmbH & Co. KG
- Clean Logistics GmbH
- CLOUD & HEAT Technologies GmbH
- C-marx GmbH
- CNC Fräsen Volker Slany
- Consulting4Drive GmbH
- Context-Engineering Freiberuflicher Wirtschaftsing.
- Cotesa GmbH
- D&S Strahltechnik GmbH & Co. KG
- Danzer Deutschland GmbH
- DAVOSCAN GmbH
- DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH
- DEKRA Automobil GmbH Automobil Test Center
- DGH Heidenau GmbH & Co. KG
- Digades GmbH
- Digitronic Computersysteme GmbH
- DMB Metallverarbeitung GmbH
- DNV GL – Energy Advisory GmbH
- Döbeln Elektrowärme GmbH
- Dreischtrom GmbH
- DUALIS GmbH IT Solution
- DURAMENTUM GmbH & Co. KG
- EA Systems Dresden GmbH
- EAST-4D GmbH Lightweight Structures
- EBZ Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft Brennstoffzelle mbH
- EDAG Production Solutions GmbH & Co. KG
- EDC Electronic Design Chemnitz GmbH
- EDL Anlagenbau Gesellschaft mbH
- Eisenwerk Erzgebirge 1566 GmbH
- Eisenwerk Wittigtshal GmbH
- EK Design GmbH
- ELDEV UG
- ELFIN Engineering GmbH
- Energieanlagen Frank Bündig GmbH
- enesty GmbH
- EQM Lehmann GmbH & Co. KG Engineering Qualitiy Management
- ESA2 GmbH – Energy Systems Analysis Associates
- ESK GmbH
- ESKA Automotive GmbH
- EuroQ GmbH Quality Center of Excellence
- Exoy Green Systems GmbH Büro Leipzig
- EXXETA AG
- F&S Prozessautomation GmbH
- fabrik-ID GmbH
- FAE Elektrotechnik GmbH & Co. KG
- Falz & Kannenberg GmbH & Co. KG
- Fäth GmbH
- FAUN Viatec GmbH
- FCP Fuel Cell Powertrain GmbH
- FDTech GmbH
- FEP Fahrzeugelektrik Pirna GmbH & Co. KG
- FERCHAU GmbH Niederlassung Chemnitz
- FES GmbH Fahrzeug-Entwicklung Sachsen
- FI Freiberg Institut GmbH
- Finzel Hydraulik Chemnitz OHG
- First Sensor Mobility GmbH
- Fischer Werkzeugbau GmbH
- FLEXIVA GmbH automation & Robotik
- FMT Flexible Montagetechnik GmbH
- Formel D GmbH
- Frauenthal Automotive Service GmbH
- FREYLER Industriebau GmbH
- FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH
- FTL Fertigungstechnik Lorenz GmbH
- FusionSystems GmbH
- Gebr. Ficker GmbH Formen- und Werkzeugbau
- Gebr. Leonhardt GmbH & Co. KG; Blema Kircheis
- GEDES e. V.
- gehmeyr GmbH & Co. KG Niederlassung Nord/Ost
- GETEC heat & power GmbH
- GfE Fremat GmbH
- Günsel Fördertechnik und Fahrzeugbau GmbH
- H&T ProduktionsTechnologie GmbH
- Halang GmbH & Co. KG
- Handtmann Leichtmetallgießerei Annaberg GmbH
- HAVLAT Präzisionstechnik GmbH
- HeiterBlick GmbH
- HEYDE Maschinen-Service GmbH
- Hoermann Vehicle GmbH
- hofer powertrain GmbH
- Hoppecke Industriedienstleistungen GmbH & Co. KG
- Hörmann Vehicle Engineering GmbH
- hpulcas GmbH
- HPV GmbH
- HQM Induserv GmbH
- IAV GmbH Automotive Engineering
- ICM GmbH Innovation + Cooperation für den Maschinenbau
- IDH Anlagenbau und Montage GmbH
- IDT Industrie- und Dichtungs- technik Werk Kupferring GmbH
- iFD GmbH
- imk automotive GmbH
- Independent Consulting, Management & Project Support
- IndiKar Individual Karosseriebau GmbH
- Industrie-Hydraulik Vogel und Partner GmbH
- InfraRes GmbH
- Ingenieurbüro Trenkmann GbR

- Innomotive Systems Hainichen GmbH
- Innotas Produktions GmbH; Norber Müller
- Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH
- INTILION GmbH
- IOM Leibnitz Institut für Oberflächenmodifizierung e. V.
- Isodetect GmbH
- J.M. Voith SE & Co. KG
- JC Eckardt GmbH
- John Brown Voest GmbH
- KEW Kunststofferzeugnisse GmbH Wilthen
- Kiepe Electric Gmbh
- KIESELSTEIN International GmbH
- Kist + Escherich GmbH
- Kläger Plastik GmbH
- KOKI Technik Transmission Systems GmbH
- KOMITEC electronics GmbH
- KPS Kunststofftechnik Scheibenberg GmbH
- Kraftwerk Tubes GmbH
- Kunststofftechnik KRUG GmbH
- Kunststofftechnik Weißbach GmbH
- Kunststoffzentrum Oberlausitz
- Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik Meinsberg e. V.
- Lakowa GmbH
- Laserinstitut Hochschule Mittweida
- LASERVORM GmbH
- Linamar GmbH Machining & Assembly Europe Group
- Linde Engineering GmbH
- Linguwerk GmbH
- Litens Automotive GmbH & Co KG
- LOGSOL GmbH
- LSA GmbH
- LSE Lightweight Structures Engineering GmbH
- LTS Affalter GmbH
- LZS GmbH
- M&P Motion Control and Power Electronics GmbH
- Maschinenbau-Service-Automatisierungstechnik Chemnitz GmbH
- MAXKON Engineering GmbH
- memsfab GmbH
- Methauer Agro Ag
- Metirionic GmbH
- MEYER Drehtechnik GmbH
- MFT Motoren und Fahrzeugtechnik GmbH
- miTec – Microtechnologie GmbH
- MITRAS COMPOSITES SYSTEMS GmbH
- Mitsubishi Chemical Advanced Materials Composites GmbH
- Miunske GmbH
- Modellbau Fickel GmbH & Co.KG
- Modellbau Roth GmbH & Co. KG
- Modis GmbH Büro Chemnitz
- Monark Automotive GmbH
- MoviaTec GmbH
- MPT Präzisionsteile GmbH Mittweida
- MRK Management Consultants GmbH
- MS PowerTec GmbH
- MSM Hänel GmbH Metallwaren Stanzerei
- NAVENTIK GmbH
- NAWARO BioEnergie AG
- Neue ZWL Zahnradwerk Leipzig GmbH
- Neyer-Solutions
- Niles-Simmnons Industrieanlagen GmbH
- Norafin Industries (Germany) GmbH
- NOVAJET GmbH
- NOVUM engineerING GmbH
- NRU GmbH
- Ökotec Anlagenbau GmbH
- Omron B.V.
- ONTRAS Gastransport GmbH
- P.U.S. Produktions- und Umweltservice GmbH, Lauta
- PCM.de GmbH
- PENTACON GmbH- PENTACON GmbH Foto- und Feinwerktechnik
- PESTEL PUR-Kunststofftechnik GmbH & Co. KG
- Pierburg Pump Technology Gmbh
- Plasmanitriertechnik Dr. Böhm GmbH
- PM Automotive GmbH
- Polartherm-Flachglas GmbH
- pro-beam systems GmbH
- PURTEC Engineering GmbH
- Rapidobject GmbH
- Raussendorf M&G GmbH
- RedAnts CarSystems GmbH
- RSP GmbH
- Sander Fördertechnik GmbH
- schambeck automotive GmbH
- Schaumaplast Nossen GmbH
- SCHERDEL Marienberg GmbH
- Schnellecke Logistics Sachsen GmbH
- Sciospec Scientific Instruments GmbH
- Sedenius Engineering GmbH
- Senertec Center Sachsen e.K.
- Sensor-Technik Wiedemann GmbH
- Siemens AG- Siemens Industriedampfturbinen
- SIGMA Chemnitz GmbH
- SimPlan AG Niederlassung Dresden
- SisTeam GmbH
- SITEC Industrietechnologie GmbH
- Skeleton Technologies GmbH
- SLG Prüf- und Zertifizierungs GmbH
- SMK Röhrsdorf GmbH Sonderfertigung Metall- und Kunststofftechnik
- SMP Deutschland GmbH
- soft trim seating sts GmbH
- Stemke Kunststofftechnik GmbH
- Strobelt CAD/CAM Service
- Support Q GmbH
- SURAGUS GmbH
- SWJ Engineering GmbH
- Synteks Umformtechnik GmbH
- Tenneco Zwickau GmbH
- Terrawatt Planungsgesellschaft GmbH
- TGZ Bautzen GmbH
- ThyssenKrupp Presta Chemnitz GmbH
- TIQ Solutions GmbH Total Information Quality
- Tisora Sondermaschinen GmbH
- Tracetronic GmbH
- TROMPETTER GUSS CHEMNITZ GmbH
- Turck duotec GmbH
- TWW GmbH, Büro Hartmannsdorf
- UFT Produktion GmbH
- UKA Umweltgerechte Kraftanlagen GmbH & Co. KG
- Unicontrol Systemtechnik GmbH
- UVR-FIA GmbH
- Vacuheat GmbH
- VCI Verkehrsconsults
- Veenker GmbH
- Viessmann Deutschland GmbH
- Virtence GmbH
- Vitesco Technologies GmbH
- VNG AG
- Voith Turbo Verdichtersysteme GmbH & Co. KG
- Volkswagen Sachsen- Die Gläserne Manufaktur
- VON ARDENNE GmbH
- Vowalon Beschichtung GmbH
- WätaS Wärmetauscher Sachsen GmbH
- Werdauer Fahrzeug- und Metallkomponenten GmbH
- Werkzeugbau Trentzsch GmbH
- WESKO GmbH
- WESOBA Werkzeug- und Sondermaschinenbau GmbH
- Westring Dichtungstechnik GmbH
- Wolfswerke Sachsen GmbH
- WSZE Werkzeugschleifzentrum Erzgebirge
- XENON Automatisierungstechnik GmbH
- YXLON International GmbH
- ZEIBINA Kunststoff-Technik GmbH

Forschungseinrichtungen

- Blockchain Competence Center der Hochschule Mittweida
- DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
- Deutsche Gesellschaft für Galvano und Oberflächentechnik e. V.
- Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP
- Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS
- Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
- Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS
- Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP
- Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI
- Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS
- Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
- Freiberg Institut für vernetzte Energieautarkie
- Geokompetenzzentrum Freiberg e. V.
- Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf- Institut für Fluiddynamik
- Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur
- Leipzig (HTWK)

- Hochschule Görlitz/Zittau
- ICM- Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e. V.
- ILK Dresden – Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH
- IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH
- ISE / Institut für Strukturleichtbau und Energieeffizienz gGmbH
- Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden e. V.
- Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V. (IPF)
- Sächsisches Textilforschungsinstitut e. V. (STFI)
- Steinbeis-Innovationszentrum Fügetechnik
- STFI Sächsisches Textilforschungsinstitut
- Technische Universität Bergakademie Freiberg
- Technische Universität Chemnitz
- Technische Universität Dresden
- UFZ Halle/Leipzig Helmholtz Zentrum für Umweltforschung
- Universität Leipzig- Virtual Institute for Energy Research (VIER)
- Westsächsische Hochschule Zwickau

Cluster/ Netzwerke/ Verbünde

- Automotive Cluster Ostdeutschland
- AMZ Netzwerk Automobilzulieferer Sachsen
- COMPOSITES UNITED e. V.
- Energy Saxony e. V.
- Europastadt GörlitzZgorzelec GmbH
- GRAVOmer Innovationsnetzwerk für funktionale Oberflächentechnologien
- HYPOS- Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e. V.
- HZwo e. V.
- Industrieverein Sachsen 1828 e. V.
- VDE Bezirksverein Chemnitz e. V.
- VEMASinnovativ
- Wasserstoffnetzwerk Lausitz
- Wasserstoffregion Lausitz c/o Fraunhofer IWU

Wirtschaftsförderungen und Verbände

- Chemnitzer Wirtschaftsförderungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH
- IG Bergbau, Chemie, Energie
- IHK Chemnitz Regionalkammer Zwickau
- IHK Cottbus
- IHK Dresden
- Metropolregion Mitteldeutschland
- Wirtschaftsförderung Erzgebirge GmbH
- Wirtschaftsförderung Sachsen

Verkehrsunternehmen und Energieversorger

- Aerologic
- CargoLogic Germany
- Chemnitzer Verkehrs-Aktiengesellschaft
- City-Bahn Chemnitz
- DB Regio Südost
- DB RegioNetz Verkehrs GmbH Erzgebirgsbahn
- DHL Hub Leipzig
- Die Länderbahn GmbH (DLB)
- DVB Dresdner Verkehrsbetriebe AG
- DVGW
- ECOEnergy Gesellschaft für Energie- und Umwelttechnik mbH
- EGR Energiegesellschaft Riesa GmbH
- Eins Energie in Sachsen GmbH & Co. KG
- Energiequelle GmbH
- Energieversorgung Marienberg GmbH
- Energieversorgung Schwarze Elster GmbH
- Energy2market GmbH
- ENSO Energie Sachsen Ost
- Envia Mitteldeutsche Energie AG
- Erfurter Bahn
- European Air Transport Leipzig
- ewag kamenz Energie und Wasserversorgung Aktiengesellschaft Kamenz
- Fernwärmeversorgung Zwönitz GmbH (FVZ)
- Freiberger Eisenbahn GmbH
- Görlitzer Verkehrsbetriebe
- Hochlandexpress
- ITL Eisenbahngesellschaft
- Kraftverkehrsgesellschaft Dreiländereck
- Kreisverkehrsgesellschaft Meißen
- Kraftverkehrsgesellschaft Zittau
- LEAG Lausitz Energie Kraftwerke AG
- Leipziger Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft
- LIFT Holding GmbH
- Meißener Stadtwerke GmbH
- Mitteldeutsche Flughafen AG
- Mitteldeutsche Netzgesellschaft Gas mbH
- Mitteldeutsche Regiobahn
- Mittelsächsische Bürgerenergiegenossenschaft
- Netz Leipzig GmbH, Leipzig, Sachsen
- Niederschlesische Verkehrsgesellschaft
- Oberelbische Verkehrsgesellschaft Pirna-Sebnitz
- Omnibus-Verkehrsgesellschaft Heideland
- Ostdeutsche Eisenbahn GmbH (ODEG)
- Plauener Omnibusbetrieb GmbH
- Plauener Straßenbahn GmbH
- Regiobus Mittelsachsen
- Regionalbus Leipzig
- Regionalbus Oberlausitz
- Regionalverkehr Dresden
- Regionalverkehr Erzgebirge
- Regionalverkehr Sächsische Schweiz-Osterzgebirge
- Regionalverkehr Westsachsen
- Sachsen Energie AG
- SachsenNetze GmbH
- Sächsische Dampfschiffahrt
- Sächsische Energieagentur- SAENA GmbH
- Stadtentwässerung Dresden GmbH
- Städtische Verkehrsbetriebe Zwickau GmbH (SVZ)
- Städtische Werke Borna GmbH
- Stadtwerke- Strom Plauen GmbH & Co. KG
- Stadtwerke Annaberg-Buchholz Energie AG
- Stadtwerke Aue- Bad Schlema GmbH
- Stadtwerke Delitzsch GmbH
- Stadtwerke Döbeln
- Stadtwerke Eilenburg GmbH
- Stadtwerke Freiberg AG
- Stadtwerke Glauchau Dienstleistungsgesellschaft mbH
- Stadtwerke Görlitz
- Stadtwerke Löbau GmbH
- Stadtwerke Meerane GmbH
- Stadtwerke Niesky GmbH
- Stadtwerke OELSNITZ/V. GmbH
- Stadtwerke Olbernhau GmbH
- Stadtwerke Pirna GmbH
- Stadtwerke Reichenbach/Vogtland GmbH
- Stadtwerke Riesa GmbH
- Stadtwerke Rothenburg
- Stadtwerke Schkeuditz GmbH
- Stadtwerke Schneeberg GmbH
- Stadtwerke Schwarzenberg GmbH
- Stadtwerke Torgau GmbH
- Stadtwerke Weißwasser
- Stadtwerke Werdau
- Stadtwerke Zittau GmbH
- THÜSAC Personennahverkehrsgesellschaft
- Ver- und Entsorgungswerke Bad Muskau GmbH
- Verkehrsbetriebe Kreis Freiberg
- Verkehrsgesellschaft Döbeln
- Verkehrsgesellschaft Hoyerswerda
- Verkehrsgesellschaft Meißen
- Verkehrsgesellschaft Spree-Elster
- Verkehrsgesellschaft Vogtland (VGV)
- Versorgungsbetriebe Hoyerswerda GmbH

Städte und Kommunen: Vollständige Liste abrufbar unter *https://www.statistik.sachsen.de/html/karten-regionaldaten.html*

Anhang 4

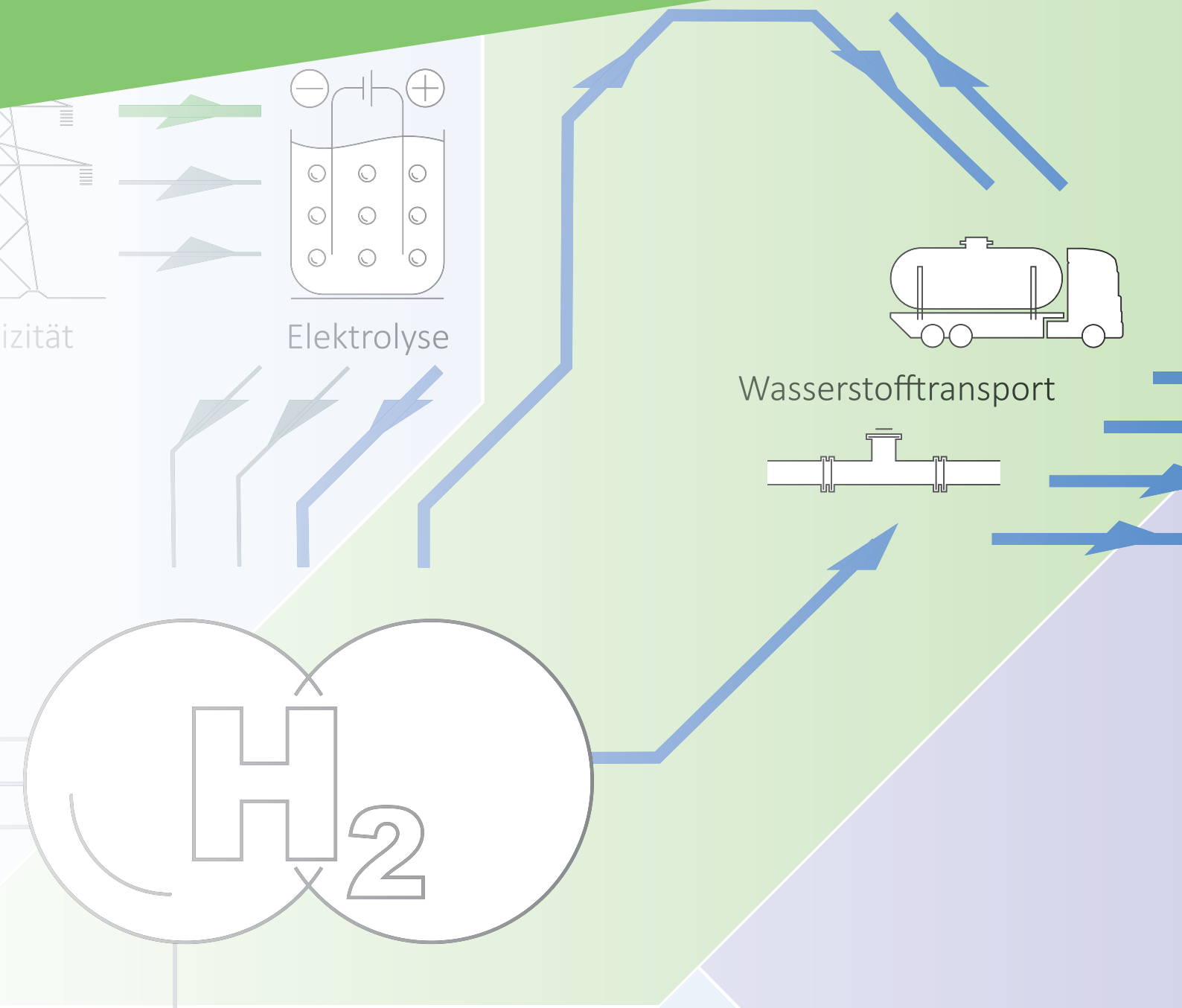
Experteninterviews

Die Experteninterviews fanden im Zeitraum vom 12. Februar bis 4. März 2021 online per Videokonferenz statt. Die Interviewdauer lag bei 40 bis 55 Minuten. Die Auswahl der Experten folgte dem Grundsatz, eine möglichst große Bandbreite an Akteuren, die sich bereits intensiv mit dem Thema Wasserstoff und Brennstoffzelle auseinandergesetzt haben, und damit an entsprechenden Wissens- und Erfahrungsquellen einzubeziehen. So umfasst die Gruppe der Experten Vertreter aus

- der Wirtschaft und zwar von Unternehmen (Vitesco, Sunfire, FCP, eins), die bereits in unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen der Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft aktiv sind,
- der Forschung (TU Chemnitz, Fraunhofer IWU),
- Branchennetzwerken (AMZ, VEMAS, Energy Saxony),
- unternehmens- und branchenübergreifenden Einrichtungen (Wirtschaftsförderung Sachsen und NOW GmbH).

Als Basis für die Interviews wurde ein Leitfaden erstellt, der insgesamt 15 Leitfragen in zwei Schwerpunktbereichen (Sächsische Wasserstoff- und Brennstoffzellenwirtschaft allgemein; einzelne Stufen der energetischen Wasserstoffwertschöpfungskette und der Produktwertschöpfungskette) vorsah. Alle Interviews wurden aufgezeichnet. Auf Basis der Aufzeichnungen wurden die Experteneinschätzungen in einem ersten Schritt personenbezogen verschriftlicht. In einem zweiten Schritt entstand eine konsolidierte Fassung, indem die Experteneinschätzungen zu Themenbereichen geclustert wurden. Im Zuge dieser Verdichtung wurde auch die personenbezogene Zuordnung von Aussagen entfernt. Die Clusterung bildete die Grundlage für die Formulierung von Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken.

www.hzwo.eu
info@hzwo.eu



Herstellung synthetischer
Brenn- und Kraftstoffe (H_2-to-X)

Methanisierung,
Methanolsynthese etc.

Transport
und Speicherung