



► **7.8.218 - Wasserstoff –
ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung
im Kontext der Energiewende (H2PRO)**

Forschungsprojekt: Zwischenbericht

Projektsprecher: Thomas Felkl, Dr. Gert Zinke

Zwischenbericht: Thomas Felkl, Angelika Calmez

**Sektoranalysen: Dr. Gert Zinke, Dr. Inga Schad-Dankwart,
Thomas Felkl, Barbara Hiller, Maximilian Schneider**

Laufzeit 10/21 bis 09/24

Bonn, 09/2023

Bundesinstitut für Berufsbildung
Friedrich-Ebert-Allee 114–116
5313 Bonn

Mehr Informationen unter:

www.bibb.de

Inhaltsverzeichnis

Das Wichtigste in Kürze	3
1 Problemstellung und Einordnung des Projekts H2PRO.....	4
1.1 Relevante Sektoren der Wasserstoffwirtschaft	5
1.2 Transformation und Qualifikationsbedarfe in der Wasserstoffwirtschaft.....	7
2 Projektziele und Forschungsfragen	9
3 Methodische Vorgehensweise	10
4 Ergebnisse.....	11
4.1 Sektoranalyse Erzeugung, Speicherung und Transport von Wasserstoff	11
4.2 Sektoranalyse Stahlindustrie	12
4.3 Sektoranalyse Chemie- und Raffinerieindustrie.....	12
4.4 Sektoranalyse Mobilität.....	12
4.5 Sektoranalyse Wärmeversorgung	13
5 Zielerreichung.....	13
5.1 Meilensteinplan.....	15
5.2 Projektplan	16
6 Ausblick und Transfer	16
7 Veröffentlichungen.....	17
7.1 Pressemitteilungen.....	17
7.2 Factsheets.....	17
7.3 BIBB-Diskussion Paper.....	17
7.4 Weitere Zeitschriftenartikel	18
7.5 Transfer in Praxis/Politik.....	18
8 Literaturverzeichnis	19

Das Wichtigste in Kürze

Das BMBF-geförderte Forschungsprojekt beschäftigt sich mit der Frage, welche Qualifizierungs- und Ordnungsbedarfe auf der mittleren Fachkräfteebene durch die Umstellung der deutschen Wirtschaft auf Wasserstofftechnologien entstehen. Die Wasserstoffnutzung ist ein zentrales Element des Deutschen Beitrags für die Erreichung der Pariser Klimaschutzziele, die europaweiten Treibhausgas-Emissionen bis 2030 um 55 Prozent gegenüber 1990 zu verringern (NATIONALER WASSERSTOFFRAT 2023, S. 8). Qualifizierte Fachkräfte sind dabei ein wesentlicher Faktor, um die gesteckten Ziele langfristig zu erreichen. Im Kontext der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) fördern die Bundesregierung und insbesondere das BMBF zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte (BUNDESREGIERUNG 2020; BMBF 2021). Unter ihnen füllt das vorliegende Projekt mit seiner Ausrichtung auf die berufliche Aus- und Weiterbildung eine Forschungslücke.

Im Projekt H2Pro wurden die fünf Sektoren Erzeugung/Speicherung/Transport von Wasserstoff, Mobilität, Stahlindustrie, Chemische Industrie/Raffinerie sowie Wärmeversorgung als Forschungsfelder abgesteckt und jeweils in gesonderten Sektoranalysen untersucht. Diese Sektoren wurden ausgewählt, weil sie als wichtigste Anwendungsbereiche von Wasserstoff gelten (HEBLING u. a. 2019; WASSERSTOFFRAT 2021). Hinzu kommt der Sektor Erzeugung/Speicherung/Transport, der als Voraussetzung für die anderen Sektoren von besonderem Interesse ist. Für alle Sektoren wurden umfassende Literaturrecherchen durchgeführt. Zudem wurden erste Kontakte ins Forschungsfeld aufgenommen. Die Ergebnisse wurden jeweils als BIBB Discussion Paper publiziert und sind auf der BIBB-Website öffentlich abrufbar. Ebenso wurden bereits drei von sechs im Projektverlauf vorgesehenen Factsheets zur Forschungsarbeit auf der BIBB-Website veröffentlicht.¹

In den einzelnen Sektoren wurden exemplarische Berufe identifiziert, bei denen Fachkräfte mit Wasserstoff in Berührung kommen und entsprechende Anforderungen sicher beherrschen müssen. Ausbildungs-, Weiterbildungs- und Umschulungspotentiale wurden sektorbezogen ausgelotet. Auf der Basis dieser ersten Annahmen und Zwischenergebnisse wurde sektorspezifisch über die Fortsetzung der Forschungsarbeit entschieden. Vorgesehen sind Experteninterviews und betriebliche Fallstudien.

Im vorliegenden Zwischenbericht werden die ersten Annahmen und vorläufigen Ergebnisse der Sektoranalysen dokumentiert. In Siegburg bei Bonn wurde unter dem Titel „Wasserstoff – Wer kann’s? - Fachkräftequalifizierung für den Schlüsselrohstoff der Zukunft“ im Februar 2023 die erste von insgesamt zwei geplanten Fachtagnungen durchgeführt. Hier wurden die

¹ https://www.bibb.de/dienst/dapro/de/index_dapro.php/detail/7.8.218

vorläufigen Projektergebnisse präsentiert, diskutiert und dokumentiert.² Das Interesse von Wissenschaft, Politik und beruflicher Praxis konnte damit für Fragen der Fachkräftequalifizierung im Kontext Wasserstoff weitergefördert werden.

1 Problemstellung und Einordnung des Projekts H2PRO

Seit seiner Gründung im Jahr 1988 berichtet der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) regelmäßig über die Erderwärmung. In seinem jüngsten Bericht (AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023) warnt der IPCC, dass die bisher getroffenen Maßnahmen nicht ausreichen werden, um den vom Menschen verursachten Klimawandel abzuwenden. Die zunehmende Erderwärmung intensiviert die negativen Auswirkungen auf etwa Wasserknappheit, Gesundheitsrisiken für den Menschen, die Veränderung der Ökosysteme und Hitzeextreme (IPCC 2023).

Gemäß IPCC hat sich zwischen den Zeiträumen 1850–1900 und 2011–2020³ die globale Oberflächentemperatur der Erde um 1,1 Grad Celsius erhöht (IPCC 2023). Für eine Begrenzung des Temperaturanstiegs auf die im internationalen Pariser Klimaübereinkommen vereinbarten Ziele von 1,5 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau (DEUTSCHER BUNDESTAG 2016) sind eine sofortige globale Trendwende und tiefgreifende Treibhausgas-Minderungen in allen Sektoren notwendig (UMWELTBUNDESAMT 2023a).

Mit dem 2019 in Kraft getretenen und 2021 verschärften Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) hat sich Deutschland verpflichtet, seine Treibhausgasemissionen bis 2030 um 65 Prozent gegenüber 1990 zu senken und bis 2045 treibhausgasneutral zu werden (BUNDESREGIERUNG 2021). Grüner Wasserstoff gilt als wichtiger Baustein zur Erreichung der Klimaziele, da seine energetische und stoffliche Nutzung teils alternativlose Wege zur CO₂-Vermeidung eröffnet und somit unverzichtbar für den vollständigen Ersatz von fossilen Energieträgern und Rohstoffen wie Erdgas, Erdöl und Kohle und die Erreichung der Klimaneutralität ist (DENA 2018; GERBERT u. a. 2018).

Die 2020 vorgestellte Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) bildet den politischen Rahmen, um den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft durch Förderung unterschiedlicher Handlungsfelder voranzubringen (BUNDESREGIERUNG 2020). Das Ausbauziel von 5 GW Elektrolysekapazität im Jahr 2030 wurde mit dem Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung auf 10 GW verdoppelt (SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, FDP 2021).

Mit der Fortschreibung der NWS im Jahr 2023 wurden Maßnahmen konkretisiert und nachgeschärft, um die Verdoppelung der Wasserstoffherzeugungskapazitäten zu

² <https://www.bibb.de/de/165617.php>

³ Erst die Abweichung vom langjährigen Mittelwert der global gemessenen Temperaturen verleiht den punktuellen Mittelwerten einzelner Messjahre Aussagekraft. Zur Bestimmung des langjährigen globalen Temperaturmittels werden üblicherweise Referenzzeiträume definiert (UMWELTBUNDESAMT 2023b).

gewährleisten. Ein beschleunigter Markthochlauf von Wasserstoff wird anvisiert. Hierzu gehört der Aufbau dezentraler Elektrolyseure zur besseren Verzahnung der Energiebereiche. Kurz- und mittelfristige Maßnahmen betreffen auch den dauerhaft benötigten Import von Wasserstoff (BUNDESREGIERUNG 2023).

Hinsichtlich der beruflichen Bildung sieht die Fortschreibung der NWS Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität wasserstoffnaher Berufe einschließlich einer Initiative für MINT-Fachkräfte, lang- und kurzfristige Umschulungs- und Weiterbildungsangebote sowie die Förderung von universitärer Ausbildung, Fachkräfteeinwanderung und einer internationalen Hochschulkooperation mit den ECOWAS-Staaten vor (BUNDESREGIERUNG 2023).

1.1 Relevante Sektoren der Wasserstoffwirtschaft

In der Transformation des Energiesystems bieten Wasserstoff und seine Folgeprodukte dort eine vielversprechende Perspektive, wo der Einsatz direkt- bzw. batterieelektrischer Systeme technisch nicht möglich oder wirtschaftlich unvorteilhaft ist. Wichtigste Anwendungsbereiche sind dabei die Chemieindustrie, die Stahlindustrie, der Mobilitätssektor sowie die Wärme- und die Energieversorgung (HEBLING u. a. 2019; WASSERSTOFFRAT 2021).

Insbesondere Verkehrssegmente wie der Langstreckentransport, die Schifffahrt oder der Flugverkehr können über die Rückverstromung in der Brennstoffzelle oder die Verbrennung synthetischer Kraftstoffe auf Wasserstoffbasis von fossilen Antriebslösungen entkoppelt werden (SHELL DEUTSCHLAND/WUPPERTAL INSTITUT 2017; FRAUNHOFER IPT 2021). Der Verkehrssektor verursachte 2021 mit rund 148 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten 20 Prozent der Gesamtemissionen in Deutschland. Damit liegen die Verkehrsemissionen rund 3 Mio. Tonnen über dem im Bundesklimaschutzgesetz für 2021 angesetzten Zielwert (UMWELTBUNDESAMT 2022a). Von den 148 Mio. Tonnen CO₂ entfallen rund 98 Prozent auf den Straßenverkehr (UMWELTBUNDESAMT 2022b).

Als industrieller Roh- und Hilfsstoff in der Stahlproduktion und Chemieindustrie sowie in den Raffinerien kann Wasserstoff entscheidend dazu beitragen, fossile Stoffe zu ersetzen und damit verbundene Emissionen zu vermeiden. In der Produktion von Primärstahl kann Wasserstoff beispielsweise als Reduktionsmittel im Direktreduktionsverfahren genutzt werden, um das Kohle-Koks, das in der Hochofenroute verwendet wird, zu ersetzen (AGORA ENERGIEWENDE/WUPPERTAL INSTITUT 2019). Die Stahlindustrie verursachte im Jahr 2018 rund ein Drittel der industriellen CO₂-Emissionen in Deutschland. Der CO₂-Ausstoß der Stahlindustrie lag im Jahr 2018 bei 58,4 Millionen Tonnen. Insgesamt betrachtet macht die Stahlproduktion ungefähr sechs Prozent der deutschlandweiten CO₂-Emissionen aus (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL 2020).

Die Potentiale der chemischen Industrie zur Reduktion der deutschlandweiten CO₂-Emissionen sind aus mehreren Gründen relevant. Zum einen ist sie mit 39,5 Mt CO₂ im Jahr

2019 (VCI 2021, S. 117) ein relevanter Emittent von CO₂. Zum anderen ist sie mit 12,5 Mrd. m³ Wasserstoff jährlich bisher der größte Verbraucher von Wasserstoff in der deutschen Wirtschaft (WEHL 2022). Der Wirtschaftszweig bzw. Produktionsbereich der „Kokerei und Mineralölverarbeitung“, dem die Raffinerien im Wesentlichen zuzuordnen sind, hatte im Jahr 2019 einen CO₂-Ausstoß von 26,89 Mt (STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND 2022). Somit gehören die Raffinerien neben der Chemie- und der Stahlindustrie zu den relevantesten industriellen Emittenten.

Im Wärmesektor wird Wasserstoff in einigen Energiewende-Szenarien lediglich als Ergänzungslösung betrachtet (MEYER/HERKEL/KOST 2021), andere stellen fest, dass er für die Klimaschutzziele des Gebäudesektors unabdingbar ist: „Transformationspfade müssen alle wesentlichen Technologien – sowohl Wärmepumpen (WP) [...] als auch H₂ basierte Strom- und Wärmeerzeuger – als mögliche Lösungsoption beinhalten“ (THOMSEN u. a. 2022, S. 7; vgl. auch WIETSCHEL/ZHENG 2021). Die Wärmeversorgung verbraucht über 50 Prozent der Endenergie in Deutschland (BMW i 2019, Grafik Nr.9) und trägt erheblich zur Emission von Treibhausgasen bei: Ein Drittel der gesamten Treibhausgasemissionen lassen sich auf die Wärmenutzung zurückführen. Dabei haben Haushalte einen Anteil von 11 Prozent, die Industrie einen Anteil von 16 Prozent und der Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) einen Anteil von 5 Prozent (QUASCHNING 2016, S. 10).

Durch seine flexiblen Herstellungs- und Speicheroptionen ermöglicht Wasserstoff eine effizientere Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem. Insbesondere in Zeiten mit hohem Wind- oder Sonnenstromüberschuss, wenn überschüssige Strommengen nicht ins Netz eingespeist werden können, kann Wasserstoff als Speichermedium genutzt werden (WIETSCHEL u. a. 2018). Insgesamt ermöglichen die Power-to-X-Technologien eine tiefere Verknüpfung der Infrastrukturen in den Bereichen Energie, Mobilität und Industrie (Sektorenkopplung) und tragen zur umfangreichen Versorgung mit erneuerbaren Energien bei (EPP/PFAFF 2019).

Entsprechend jeweiliger Annahmen in ihren Szenarien prognostizieren Studien einen Wasserstoffbedarf von etwa 50 bis 120 TWh im Jahr 2030 und von etwa 400 bis 700 TWh im Jahr 2045 (ARIADNE 2021; PROGNOSES/ÖKO-INSTITUT/WUPPERTAL-INSTITUT 2021; BUNDESREGIERUNG 2020). Der Nationale Wasserstoffrat geht von einem Bedarf von 616 TWh klimaneutral hergestelltem Wasserstoff und Wasserstoffderivaten von 2045 bis 2050 in der Chemieindustrie, den Raffinerien, der Stahlindustrie, dem Verkehrssektor, der Gebäudewärme und der Energieversorgung aus. Damit würden jährlich rund 170 Millionen Tonnen CO₂ vermieden, davon 55 Millionen Tonnen allein in der Stahlindustrie (NATIONALER WASSERSTOFFRAT 2023).

Mit dem politisch angestrebten Ziel von 10 GW Elektrolysekapazität bis 2030 könnten bis zu 28 TWh des Gesamtbedarfs an Wasserstoff aus inländischer Produktion gedeckt werden. Dies führt einerseits zu einem hohen Importbedarf und zur Notwendigkeit des Aufbaus

internationaler Infrastrukturen, Märkte und Partnerschaften (MÖNNING u. a. 2022; ACATECH/LEOPOLDINA/UNION DER DEUTSCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN 2022). Andererseits erfordert das Ziel einer umfangreichen inländischen Produktion einen erheblichen Ausbau erneuerbarer Energien (HOLZ u. a. 2022).

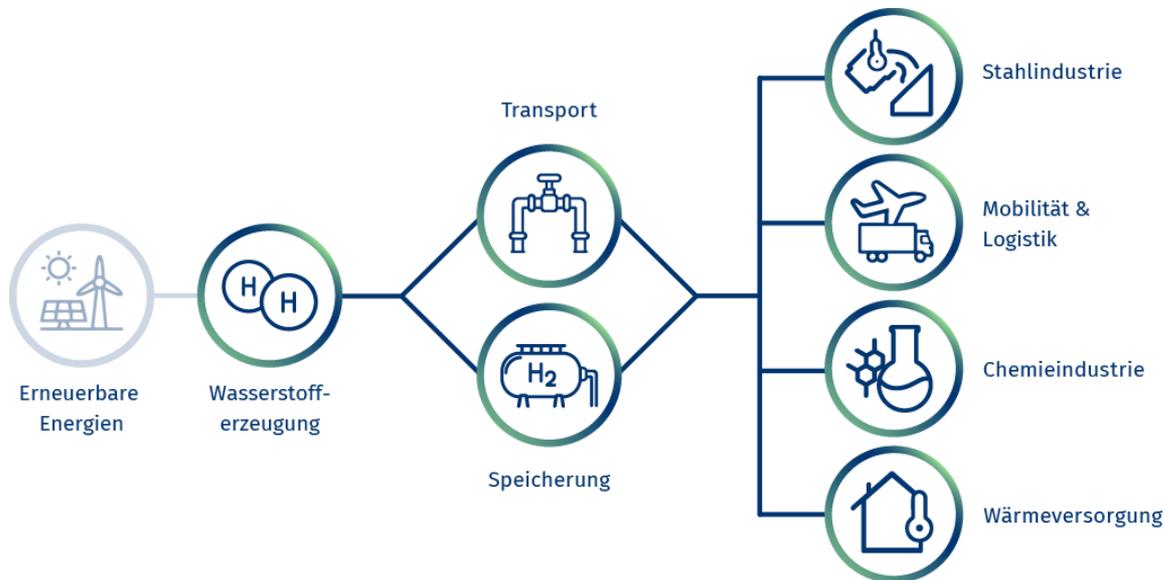


Abbildung 1: Die Wertschöpfungskette „Wasserstoff“ mit den im Projekt untersuchten Sektoren Wasserstoffherzeugung, Stahlindustrie, Mobilität, Chemieindustrie und Raffinerie sowie Wärmeversorgung

1.2 Transformation und Qualifikationsbedarfe in der Wasserstoffwirtschaft

Um den geplanten Umbau der Wirtschaft hin zu wasserstoffbasierten Technologien in den unterschiedlichen Sektoren zu bewältigen, sieht der Maßnahmenkatalog der Bundesregierung in der NWS unter anderem die Stärkung von Bildung und Ausbildung vor:

„Bildung und Ausbildung stärken – national und international: Mit der Unterstützung und Weiterentwicklung der beruflichen und wissenschaftlichen Aus- und Weiterbildung im Bereich der Wasserstofftechnologien ebnen wir den Weg für Arbeitende und Betriebe hin zu einer effizienten und sicheren Handhabung von Wasserstofftechnologien. Dies betrifft vor allem die Qualifizierung von Personal zur Produktion, Betrieb und Wartung in Bereichen, in denen Wasserstoff bisher nur eine untergeordnete Rolle gespielt hat...“

(BUNDESREGIERUNG 2020, S. 25)

Gut ausgebildete Fachkräfte auf allen Ebenen sind ein Schlüsselfaktor für den Aufbau und den Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft. Entlang der gesamten Wertschöpfungskette werden qualifizierte Fachkräfte benötigt, die die notwendigen Technologien herstellen, ihr tägliches Funktionieren sichern und wichtige Innovationsimpulse liefern (STEEG u. a. 2022).

Es wird erwartet, dass die Nachfrage nach Fachkräften für wasserstoffbezogene Tätigkeiten in den verschiedenen Branchen und Regionen je nach Marktreife der Technologien und dem Umfang der Wasserstoffaktivitäten zeitlich und regional unterschiedlich sein wird. Durch die

verbesserten Möglichkeiten der Sektorenkopplung durch Wasserstoff ist auch zu erwarten, dass die Nachfrage nicht nur nach spezifischen Wasserstoffkompetenzen, sondern auch nach Fachkräften für die Arbeit an vernetzten Energiesystemen und infrastrukturellen Schnittstellen insgesamt steigen wird (GRIMM/JANSER/STOPS 2021; FLECKENSTEIN 2022).

Eine Stellenanzeigenauswertung des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung zeigt, dass die Nachfrage nach wasserstoffbezogenen Kompetenzen eng mit den Phasen des Hochlaufs verbunden ist. Neben der Nachfrage nach Personen mit Qualifikationen oberhalb der dualen Berufsausbildung besteht bereits in frühen Phasen der Marktentwicklung ein konkreter Bedarf an Fachkräften in technischen Ausbildungsberufen. Die Nachfrage nach wasserstoffbezogenen Tätigkeiten entwickelt sich je nach Marktreife der Technologien und Umfang der Wasserstoffaktivitäten ungleichmäßig (GRIMM/JANSER/STOPS 2021).

Es gibt bereits Studien, die die Nachfrage nach wasserstoffbezogenen Kompetenzen quantitativ analysiert haben (ROLANDBERGER 2020; DWV 2018; NPM 2021; ZENK u. a. 2023). Dass die Einführung von Wasserstoffanwendungen und der Aufbau entsprechender Wertschöpfungsketten zu Veränderungen in verschiedenen Sektoren führen, ist zu erwarten. Allerdings ist noch wenig darüber bekannt, wie sich dies auf Arbeit, Beschäftigung und Qualifikationsbedarf auswirkt. Es gibt bisher keine umfassenden Untersuchungen zu den betroffenen Berufen auf mittlerer Ebene und den damit verbundenen Qualifikationsanforderungen (KRICHEWSKY-WEGENER/ABEL/BOVENSCHULTE 2020).

Eine regionale Bedarfsanalyse für Nord-Ost-Niedersachsen (H2SKILLS 2022) stützt den Eindruck, dass sich derzeit ein schnell wachsender Weiterbildungsmarkt formiert und die Nachfrage nach wasserstoffbezogenen Schulungs-/Qualifizierungsangeboten sowie entsprechenden Zertifikaten steigt. In der Auswertung der Expertengespräche wird die Notwendigkeit zur Qualifizierung von Dozierenden betont, da nur wenige Personen verfügbar sind „die bereits wichtige Hands-on-Erfahrung gesammelt haben und ihr Wissen auch [...] weitergeben können oder wollen“ (S.29). Zudem besteht in manchen Bereichen noch ein Mangel an technischen Normen und Regeln sowie an Orientierungshilfen, was konkrete Qualifikationsanforderungen für Fachkräfte anbelangt (ebd.).

Aus Sicht der Berufsbildung besteht ein Forschungsbedarf hinsichtlich neuer Qualifizierungsanforderungen in Berufen mit Relevanz für die Wasserstoffwirtschaft. Es muss untersucht werden, welche Auswirkungen sich auf die Aus- und Weiterbildung ergeben und ob ein Anpassungsbedarf hinsichtlich der Ordnungsmittel besteht.. Neben Qualifikationsinhalten sind auch Fragen zur Umsetzung von Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen relevant. Engpässe bei Fachkräften können den Ausbau klimafreundlicher Technologien behindern, wie es beispielsweise beim Ausbau von Wärmepumpen oder der Gebäudesanierung der Fall ist (RUNST/OHLENDORF 2015; ÖKO-INSTITUT/FRAUNHOFER ISE 2022). Daher ist es wichtig, frühzeitig Maßnahmen zur

Fachkräftequalifizierung in der Wasserstoffwirtschaft zu ergreifen, um ähnliche Hemmnisse zu vermeiden.

Unter den zahlreichen Projekten in Forschung und Entwicklung, die die Bundesregierung und insbesondere das BMBF im Kontext der NWS fördern (BMBF 2021; BUNDESREGIERUNG 2020), befassen sich nur wenige mit Fragen der Aus- und Weiterbildung auf der mittleren Fachkräfteebene oder adressieren gar spezifische ordnungsbezogenen Fragestellungen. Diese Lücke wird durch das vorliegende Projekt geschlossen.

2 Projektziele und Forschungsfragen

Das Ziel des Projekts ist es, im Sinne einer Früherkennung neue Kompetenzanforderungen und Qualifizierungsbedarfe entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette in Ausbildungsberufen, in exemplarischen Sektoren zu beschreiben und in Bezug auf neue Anforderungen für die berufliche Bildung zu analysieren.

Hierfür sind in den einzelnen Sektoren Verfahren, Prozesse, Arbeitsaufgaben, Werkzeuge sowie Tätigkeiten und die Arbeitsteilung in den unterschiedlichen Teilprozessen (in Bezug auf Berufe und Qualifizierungsniveaus) zu identifizieren sowie mögliche Leerstellen zu untersuchen. Des Weiteren werden Weiterbildungsstrategien und -angebote ermittelt und mit den bestehenden Ausbildungsordnungen der entsprechenden Branchen und Einsatzfelder abgeglichen.

Aus den identifizierten Lücken werden Empfehlungen für die Ordnungsarbeit und die Aus- und Weiterbildungspraxis abgeleitet. Hierbei werden ordnungsrelevante Fragen mit den Ordnungsakteuren der jeweiligen Diffusionsfelder diskutiert.

Auf Basis dieser Erkenntnisse sollen Handlungsempfehlungen für politische und praxisunterstützende Akteure der Berufsbildung abgeleitet werden. Die Ergebnisse des Projekts werden Fachtagungen für die Aus- und Weiterbildungspraxis vorgestellt und als Studie vorgelegt werden.

Auf Grundlage dieser Zielsetzungen ergeben sich folgende Forschungsfragen, die durch das Projekt H2PRO zu klären sind:

1. Welche Ausbildungsberufe und Weiterbildungsstrategien sind auf der mittleren Fachkräfteebene für die Umsetzung der Wasserstoffstrategie von besonderer Bedeutung?
2. Welche insbesondere qualitativen Qualifikationsbedarfe werden voraussichtlich zusätzlich entstehen?
3. Sind bereits im ausreichenden Maße die notwendigen Qualifizierungsinhalte in den

Ordnungsmitteln verankert?

4. Welche Empfehlungen für ordnungspolitische und praxisunterstützende Maßnahmen werden aus den identifizierten Qualifizierungsbedarfe abgeleitet?

3 Methodische Vorgehensweise

Grundlage für das methodische Vorgehen sind berufswissenschaftliche Arbeiten des Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat) (bspw. BECKER/SPÖTTL 2006; SPÖTTL/WINDELBAND 2006; SPÖTTL 2005) sowie jüngere Arbeiten aus dem Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) (bspw. ZINKE u. a. 2017; HACKEL/BLÖTZ/REYMERS 2015).

Das gesamte Forschungsdesign umfasst die drei Hauptschritte Sektoranalyse, leitfadengestützte Experteninterviews und arbeitsprozessorientierte Betriebsfallstudien. Eine Rückkopplung von Annahmen, Bestandsaufnahmen, Ergebnissen Handlungsempfehlungen mit Berufsbildungspraxis und Berufsbildungspolitik sollen zwei Fachtagungen, Validierungsworkshops sowie die Rückkopplung mit einem einberufenen Projektbeirat gewährleisten.



Abbildung 2: Methodisches Vorgehen bei H2PRO

Mit Hilfe der Sektoranalyse wird ein erster strukturierter Zugang zum Forschungsfeld eröffnet und inhaltlich wie auch methodisch die Grundlage für das weitere Vorgehen geschaffen.

Aufgrund des jungen Diffusionsstadiums von Wasserstofftechnologien sowie der hohen strukturellen Heterogenität der Anwendungskontexte kommt der Sektoranalyse eine besondere Bedeutung und eine weitläufige Stellung im Forschungsverlauf zu.

Sie fungiert als Wissensbasis, indem sektorspezifische Strukturen auf Produkt-, Produktions-, Markt- und Beschäftigungsebene mitsamt ihrer wasserstoffbezogenen Wandlungsdynamiken erörtert und auf „Dimensionen der Facharbeit“ (SPÖTTL 2005) hin beleuchtet werden.

Es werden erste Tätigkeits- und Aufgabenfelder beschrieben und berufsprofilbezogene Abgrenzungsfragen beantwortet. Zudem gilt es, charakteristische Strukturen der

Erstausbildung und Weiterbildung darzustellen, Qualifizierungsstrategien hervorzuheben und zukunftsorientierte Qualifizierungsangebote zu identifizieren.

Die in Kapitel 1.1 definierten Untersuchungsfelder entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette werden in diesem Zusammenhang weiter differenziert und abgegrenzt. Damit können Aufgabencluster und Einsatzfelder von Berufen besser unterschieden werden.

Da zum Zeitpunkt der Berichtslegung lediglich die Ergebnisse aus den Sektorenanalysen vorliegen, werden die weiteren Erhebungs- und Auswertungsschritte erst im Abschlussbericht erörtert werden.

Mit dem Abschluss der Stellenbesetzungen im Projekt wurde im 2. Quartal 2022 ein Projektbeirat mit 10 Mitgliedern einberufen, der während der Laufzeit des Projekts bis September 2024 beratend zur Seite stehen wird. Der Beirat setzt sich aus Vertreterinnen und Vertretern des BMBF, der Sozialpartner und Unternehmen der projektrelevanten Branchen sowie aus der Forschungscoordination für die öffentliche Hand zusammen. Eine erste Projektbeiratssitzung fand im Juni 2022 statt. Im Februar 2023 wurde eine weitere Sitzung in terminlicher Abstimmung zur 1. Fachtagung durchgeführt. Eine dritte Projektbeiratssitzung ist im letzten Projektjahr 2024 geplant.

4 Ergebnisse

Im Rahmen des Zwischenberichts können erste Ergebnisse und Annahmen auf Grundlage der Sektoranalysen vorgestellt werden. Diese Zwischenergebnisse werden im Folgenden in aller Kürze zusammengefasst.

Zudem sind die Sektoranalysen als BIBB Discussion Paper sowie halbjährlich publizierte Factsheets über die BIBB-Website frei zugänglich: →
https://www.bibb.de/dienst/dapro/de/index_dapro.php/detail/7.8.218

4.1 Sektoranalyse Erzeugung, Speicherung und Transport von Wasserstoff

Diese Sektoranalyse konzentriert sich auf die berufliche Aus- und Weiterbildung von Fachkräften auf mittlerer Ebene in Bezug auf die „grüne“ Wasserstoffherzeugung. Soweit notwendig wurden Wasserstoffspeicherung und Wasserstofftransport ebenfalls berücksichtigt. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die aktuell vorhandenen Ausbildungsberufe zu den erwarteten Anforderungen passen. Dies gilt bezogen auf sämtliche Arbeitsaufgaben, unabhängig davon, ob es sich um solche zum Planen, Errichten, Inbetriebnehmen, Überwachen, Betreiben oder Instandhalten von Wasserstoffherzeugungsanlagen, zugehöriger Speicher oder Transportsysteme handelt. Bei einer Reihe von Arbeitsaufgaben und den dazu eingesetzten Berufen wird nicht unmittelbar mit Wasserstoff umgegangen. Für diese Berufe sind keine größeren Veränderungen bei den

Qualifikationsbedarfen zu erwarten. Sicherheitsrelevante Anforderungen entstehen lediglich aus dem Gefährdungspotential „Druck, Explosion und Hochvolt“. Hierfür sind adressatengenaue Qualifikationsfeststellungen und -anpassungen notwendig, die in der Verantwortung der Arbeitgeber liegen und vornehmlich im Rahmen der Fortbildung zu erwerben sind.

4.2 Sektoranalyse Stahlindustrie

In der Stahlindustrie kann Wasserstoff als Reduktionsmittel Kohle ablösen und als zusätzliche Energiequelle Erdgas ersetzen. Nach aktuellem technologischem Stand gilt Wasserstoff daher als einzige Alternative zur klimafreundlichen Herstellung von Stahl. Die Sektoranalyse gibt einen Überblick über die Branche. Mögliche arbeitsplatzbezogene Veränderungen durch die technologische Umstellung auf Wasserstoff werden antizipiert. Ein Abgleich mit vorhandenen Ordnungsmitteln führt zu der Annahme, dass im Stahlsektor keine ordnungsrelevanten Anpassungen zu erwarten sind. Für Fachkräfte, die mit Wasserstoff in Berührung kommen, können jedoch Anpassungsmaßnahmen wie Sicherheitsschulungen notwendig werden. Weitere Forschungen sollen den Umfang und die Ebenen von Anpassungsbedarfen ermitteln.

4.3 Sektoranalyse Chemie- und Raffinerieindustrie

In der Chemie- und Raffinerieindustrie ist insbesondere innerhalb der Wertstoffketten von Dünger, Kunststoffen und Kraftstoffen eine Vielzahl von Aufgabenclustern und Teilprozessen von den technologischen Veränderungen im Zusammenhang mit Wasserstoff betroffen. Die Analyse fokussierte auf die technischen Prozesse und Aufgaben, da hier sicherheitsrelevante Tätigkeiten und Verantwortungsbereiche angelagert sind. Untersucht wurden Berufe, die mit der Planung, Errichtung, Überprüfung, Inbetriebnahme, Überwachung und Instandhaltung von Anlagen befasst sind. Insbesondere am Beispiel von Prozessen wie der Ammoniaksynthese und vorgelagerter Dampfreformierung von Erdgas zur Wasserstoffgewinnung wurde deutlich, dass der Umgang mit Wasserstoff in der Chemie- und Raffinerieindustrie bereits praktiziert wird. Die bestehenden Ausbildungsberufe im Sektor decken den Qualifikationsbedarf im Zusammenhang mit Wasserstoff bereits hinreichend ab. Ein Neuordnungsbedarf wird nicht gesehen. Daher sind keine weiteren Untersuchungen vorgesehen.

4.4 Sektoranalyse Mobilität

Nach ersten Bestandsaufnahmen im Verkehrssektor besitzen Wasserstofftechnologien das Potenzial, die Antriebswende entscheidend voranzubringen. Die Sektoranalyse beleuchtet wasserstoffbasierte Antriebslösungen und mögliche Anwendungsfelder und fokussiert auf Ausbildungsberufe im Kontext Betrieb, Wartung, Instandhaltung und notwendige Infrastruktur für Brennstoffzellen-Kraftfahrzeuge. Ein erster Blick auf mögliche Qualifizierungsbedarfe zeigt, dass neue Qualifizierungsinhalte sich in erster Linie auf das sichere Arbeiten am Gashochdrucksystem und entsprechende Stoff-, Gefahren- und

Systemkenntnisse beziehen. Zudem sind Hochvoltqualifizierungen Grundvoraussetzung für berufliches Handeln in der Wasserstoffmobilität. Untersuchungen der Bereiche Schienen-, Schiffs- und Flugverkehr werden im Projektverlauf folgen.

4.5 Sektoranalyse Wärmeversorgung

Die Untersuchung konzentriert sich auf Aufgaben und Tätigkeiten für Wasserstoff-Anwendungen jener Fachkräfte, die mit der Installation, Inbetriebnahme, Überwachung und Wartung von Wärmeerzeugern (Heizungen, Wärmepumpen, Gas- Druckregel- und Messanlagen u.a.) befasst sind. Betrachtet werden drei konkrete Anwendungsbeispiele der zentralen und dezentralen Wärmeversorgung von Gebäuden: Gasbeimischung von Wasserstoff ins Erdgasnetz, Wasserstoff als Medium für Stromspeicher für hybride Wärmesysteme auf Basis von regenerativen Energien und Wasserstoffeinsatz in Brennstoffzellenheizungen. Eine erste Bestandsaufnahme zeigt, dass die Notwendigkeit von Grundlagenschulungen zu Wasserstoff für Fachkräfte im Gebäudesektor allgemein anerkannt wird. Was den Bedarf an Weiterbildungen und deren Verankerung betrifft, so zeigen sich Unterschiede zwischen Industriebetrieben und dem Fachhandwerk. Gleiches scheint für und Weiterbildungsstrategien zu gelten. Die weiteren Untersuchungen haben die Präzisierung dieser Punkte zum Ziel.

5 Zielerreichung

Die Sektoranalysen der Sektoren Wasserstoffherzeugung, -speicherung und -transport, Stahlindustrie, Chemieindustrie und Raffinerien, Mobilität und Wärmeversorgung wurden abgeschlossen. Damit wurden wasserstoffrelevante wirtschaftliche Eckwerte sowie die technologischen Veränderungen von Produkten und Produktionsprozessen entlang der Wertschöpfungskette Wasserstoff erfasst. Relevante Ausbildungsberufe, mögliche Qualifizierungsbedarfe wurden identifiziert und bilden sektorbezogen eine wichtige Grundlage für das weitere Vorgehen.

Eine Vernetzung des Projekts mit Akteuren und Akteurinnen aus Politik und Praxis fand statt. Hierfür war die durch das Projekt am 07. Februar 2023 organisierte 1. Fachtagung mit dem Titel „Wasserstoff, wer kann's? – Fachkräftequalifizierung für den Schlüsselrohstoff der Zukunft“ relevant. Sie wurde von ca. 120 Teilnehmenden besucht. In den durch das Projektteam angebotenen Workshops zu den einzelnen Sektoren fand ein lebendiger Austausch statt. Damit konnte zusätzlich eine Rückkopplung des Projektes mit der Berufsbildungspraxis erzielt werden.

Die Tagungsdokumentation ist über die BIBB-Website frei zugänglich:

<https://www.bibb.de/de/165617.php>

Aufgrund von Verzögerungen bei der Stellenbesetzung wurde der Projektplan in Teilen angepasst. Demnach wurden die Sektoranalysen nicht wie geplant bis Juni 2022, sondern bis Dezember 2022 abgeschlossen. Entsprechende BIBB Discussion Paper wurden im Dezember 2022, im März 2023 und im September 2023 veröffentlicht. Die Experteninterviews und betrieblichen Fallstudien werden im dritten und vierten Quartal 2023 durchgeführt.

Das erste Factsheet wurde plangemäß im Juni 2022 veröffentlicht. Weitere Factsheets wurden im Dezember 2022 und im Juni 2023 veröffentlicht. Die Veröffentlichung von drei weiteren Factsheets ist im Quartalsturnus bis Juni 2024 geplant.

Aufgrund der Anpassung des Projektplans wurde die erste Fachtagung des Projekts nicht wie geplant im Dezember 2022, sondern im Februar 2023 durchgeführt. Alle weiteren Meilensteine werden voraussichtlich plangemäß erreicht.

5.1 Meilensteinplan

Table 1: Meilensteinplan des Projekts H2PRO

Nr.	Meilenstein (MS)	Termin
MS 1	Projektstart	01.10.2021
MS 2	Sektoranalyse abgeschlossen	06/2022
MS 3	1.Factsheet übermittelt danach fortlaufend im Projektverlauf	06/2022
MS 4	Experteninterviews geführt/Zwischenergebnisse veröffentlicht	12/2022
MS 5	Erste Fachtagung zum Zwischenstand durchgeführt	12/2022
MS 6	Fallstudien durchgeführt	09/2023
MS 7	Zwischenbericht	09/2023
MS 8	Validierungsworkshop hat stattgefunden	03/2024
MS 9	Handlungsempfehlungen erarbeitet	06/2024
MS 10	Artikel für Peer Review Verfahren eingereicht	06/2024
MS 11	Zweite Fachtagung für die Ausbildungspraxis durchgeführt	06/2024
MS 12	Projektabschluss/ Gesamtstudie und Abschlussbericht erstellt	09/2024

5.2 Projektplan

Tabelle 2: Projektplan H2PRO

Arbeitspakete/Arbeitsschritte	IV/ 2021	2022 (in Quartalen)				2023 (in Quartalen)				2024 (Quartal I-III)		
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3
Projektstart	M1											
Personalakquise												
Sektoranalysen			M2									
Dokumentation (Factsheets)			M3		M3		M3		M3		M3	
Experteninterviews					M4							
Fachtagung-Zwischenstand					M5							
Zwischenbericht								M6				
Fallstudien								M7				
Validierungs-WS										M8		
Handlungsempfehlungen											M9	
Artikel											M10	
Fachtagung-Abschluss											M11	
Abschlussbericht, Gesamtstudie und Projektende												M12

6 Ausblick und Transfer

In dem letzten Jahr des Projekts gilt es auf Grundlage der Sektoranalysen die Sektoren näher zu untersuchen. Hierfür sind Interviews mit Expertinnen und Experten sowie betriebliche Fallstudien vorgesehen.

Nach der Auswertung der Interviews ist im ersten Quartal 2024 jeweils ein sektorspezifischer Validierungsworkshop mit Vertreterinnen und Vertretern aus den relevanten Branchen vorgesehen. Eine zweite Fachtagung im zweiten Quartal 2024 ist geplant. Hier soll insbesondere für die Zielgruppe „Berufsbildungsverantwortliche“ ein Transfer der Projektergebnisse in die Praxis von Betrieblichen und Überbetrieblichen Bildungsstätten und von Berufsschulen geleistet werden.

7 Veröffentlichungen

7.1 Pressemitteilungen

Wasserstoff: Fachkräftequalifizierung für den Schlüsselrohstoff der Zukunft

BIBB-Präsident Esser: „Duale Berufsbildung gut gerüstet“

07/2023 | Bonn, 27.03.2023

https://www.bibb.de/de/pressemitteilung_173616.php

7.2 Factsheets

Factsheet 06/22: Das Projekt H2PRO (PDF, 308 KB)

Factsheet 06/22: The Project H2PRO (EN) (PDF, 442 KB)

Factsheet 12/22: Sektor Wasserstofferzeugung (PDF, 358 KB)

Factsheet 12/22: Hydrogen Production (EN) (PDF, 402 KB)

Factsheet 06/23: Chemie- und Raffinerieindustrie (PDF, 429 KB)

7.3 BIBB-Diskussion Paper

HILLER, Barbara: Wasserstoff für die Wärmeversorgung - erste Bestandsaufnahme zu wasserstoffbasierten Anwendungsfeldern und Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung : eine Sektoranalyse im Rahmen des Projekts „H2PRO: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“. Bonn 2023. URL: https://res.bibb.de/vet-repository_781324 (Stand: 16.08.2023)

SCHNEIDER, Maximilian: Sektoranalyse: Wasserstoff im Verkehrssektor: eine erste Bestandsaufnahme zu technologischen Veränderungen und neuen Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung. Bonn 2023. URL: https://res.bibb.de/vet-repository_781261 (Stand: 16.08.2023)

ZINKE, Gert: Sektoranalyse: Erzeugung, Speicherung und Transport von Wasserstoff. Eine Untersuchung im Rahmen des Projektes "H2Pro: Wasserstoff - ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende" 2022. URL: https://res.bibb.de/vet-repository_780890 (Stand: 24.01.2023)

FELKL, Thomas: Sektoranalyse der Chemie- und Raffinerieindustrie: Eine Untersuchung im Rahmen des Projekts „H2PRO: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“ 2022. URL: https://res.bibb.de/vet-repository_781297 (Stand: 15.08.2023)

SCHAD-DANKWART, Inga: Sektoranalyse: Wasserstoff in der Stahlindustrie – eine erste Bestandsaufnahme zu technologischen Veränderungen und neuen Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung im Rahmen des Projektes „H2Pro: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“ 2023. URL: https://res.bibb.de/vet-repository_781673 (Stand: 15.08.2023)

7.4 Weitere Zeitschriftenartikel

ZINKE, GERT: Wasserstoffherzeugung, wie ist die Berufsausbildung dazu aufgestellt?, Lernen und Lehren: Elektrotechnik, Informationstechnik, Metalltechnik, Fahrzeugtechnik / 38 (2023), H. 149

7.5 Transfer in Praxis/Politik

- 19. Juni 2023: Meet-Up Wasserstoffbildung - Gute Beispiele für die Aus- und Weiterbildung im Chemikum Marburg: Vortrag - Impuls: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung
- 14. Juni 2023: „H₂ –eine Herausforderung für die berufliche Aus- und Weiterbildung?“ TraSaar GmbH in Saarbrücken: Vortrag
- Mai 2023: DIN-Normungsroadmap Wasserstofftechnologien – Teilnahme AG-Sitzungen zu Weiterbildung
- 28. April 2023: Jahrestagung der Junior-Ingenieur-Akademie – Teilnahme Panel-Diskussion
- 25. April 2023: Jahrestagung BDEV Nord und DGVW Nord – Keynote
- 19. April 2023: Online-Sitzung des wirtschaftspolitischen Ausschusses des VAIS – Vortrag
- 9. März 2023: BAVC-Arbeitskreis Berufsbildung in Wiesbaden: Vortrag
- Februar 2023: BIBB-Fachtagung „Wasserstoff – wer kann´s?“
- 24. Oktober 2022: BMBF - Peer Learning Activity - Transition of VET towards Sustainability: Vortrag
- September 2022: Nationaler Wasserstoff Rat – NWR-AG 1 – Fachkräfte: Vortrag/Beratung?
- Juli 2022: Fachforum „Ausbildung der Zukunft im Mitteldeutschen Revier“: Vortrag
- 10. März 2022: BAVC-Arbeitskreis Berufsbildung in Wiesbaden: Impulsvortrag
- 4. März 2022: Midterm Conference SPIRE-SAIS: Vortrag

8 Literaturverzeichnis

- ACATECH (Hrsg.); LEOPOLDINA (Hrsg.); UNION DER DEUTSCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. München 2022. URL: <https://www.acatech.de/publikation/wasserstoff/#:~:text=Der%20Bedarf%20an%20Wasserstoff%20und,etwa%20400%E2%80%93700%20Terawattstunden%20liegen.> (Stand: 03.10.2022)
- AGORA ENERGIEWENDE/WUPPERTAL INSTITUT (Hrsg.): Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. Berlin 2019. URL: https://static.agora-energieverde.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung_Industrie/164_A-EW_Klimaneutrale-Industrie_Studie_WEB.pdf (Stand: 27.10.2021)
- ARIADNE (Hrsg.): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045. Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Potsdam 2021. URL: https://ariadneprojekt.de/media/2022/02/Ariadne_Szenarienreport_Oktober2021_corr0222.pdf (Stand: 04.10.2022)
- BECKER, Matthias; SPÖTTL, Georg: Berufswissenschaftliche Forschung und deren empirische Relevanz für die Curriculumentwicklung. In: bwp@ (2006) 11
- BMBF (Hrsg.): Nationale Wasserstoffstrategie 2021. URL: https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energieverde-und-nachhaltiges-wirtschaften/nationale-wasserstoffstrategie/nationale-wasserstoffstrategie_node (Stand: 18.08.2023)
- BMW (Hrsg.): Energiedaten 2019: Gesamtausgabe. Stand: Oktober 2019 2019. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/energiedaten-gesamt-pdf-grafiken.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Stand: 23.08.2023)
- BUNDESREGIERUNG (Hrsg.): Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) 2021. URL: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html>
- BUNDESREGIERUNG, Die: Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie. NWS 2023 2023. URL: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2023/230726-fortschreibung-nws.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Stand: 27.07.2023)
- BUNDESREGIERUNG, Die: Die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) 2020. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20
- DENA (Hrsg.): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende - Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050 Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen. Berlin 2018. URL: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf

DWV (Hrsg.): Grüne Wasserstoff-Industrie – Lösung für den Strukturwandel? 2018. URL: <https://www.dwv-info.de/wp-content/uploads/2015/06/20181128-Pos.-Papier-zu-Strukturwandel-final.pdf>

EPP, Julia; PFAFF, Theresa: Energiezukünfte für Power-to-X-Technologien. In: TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis 28 (2019) 3, S. 41-47

FLECKENSTEIN, Felix: Wasserstoff für eine klimaneutrale Niedersächsische Industrie. Impulspapier Nr. 02/2022. Hannover 2022. URL: https://www.aul-nds.de/fileadmin/user_upload/DGB-Reihe_Gerechter_Wandel-_Nr._2_2022_-_Wasserstoff_fu__r_klimaneutrale_niedersa__chsische_Industrie.pdf (Stand: 03.10.2022)

FRAUNHOFER IPT (Hrsg.): The Relevance of Fuel Cells for Mobility Applications. Discussion Paper. Aachen 2021. URL: <https://www.ipt.fraunhofer.de/en/publications/whitepaper-trendreports-studies/relevance-of-fuel-cells-for-mobility-applications.html> (Stand: 20.09.2022)

GERBERT, Philipp; HERHOLT, Patrick; BURCHARDT, Jens; SCHÖNBERGER, Stefan; RECHENMACHER, Florian; KIRCHNER, Almut; KEMMLER, Andreas; WÜNSCH, Marco: Klimapfade für Deutschland 2018. URL: <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/> (Stand: 24.01.2023)

Gesetz zu dem Übereinkommen von Paris vom 12. Dezember 2015 2016. URL: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl216s1082.pdf%27%5D__1691742586358

GRIMM, Veronika; JANSER, Markus; STOPS, Michael: Kompetenzen für die Wasserstofftechnologie sind schon jetzt gefragt. IAB-Kurzbericht 11/2021. Nürnberg 2021. URL: <https://doku.iab.de/kurzber/2021/kb2021-11.pdf> (Stand: 20.09.2022)

H2SKILLS (Hrsg.): Branchenübergreifende Bedarfsanalyse für Qualifizierungsangebote im Wasserstoff-Kontext in Nord-Ost-Niedersachsen. IHK Lüneburg-Wolfsburg; HWK Braunschweig-Lüneburg-Stade 2022. URL: <https://www.wasserstoff-niedersachsen.de/wp-content/uploads/2022/09/H2Skills-Bedarfsanalyse-Qualifizierung-Wasserstoff.pdf> (Stand: 10.11.2022)

HACKEL, Monika; BLÖTZ, Ulrich; REYMERS, Magret: Diffusion neuer Technologien. Veränderungen von Arbeitsaufgaben und Qualifikationsanforderungen im produzierenden Gewerbe (DifTech). Bonn 2015. URL: <https://www.bibb.de/dienst/veroeffentlichungen/de/publication/show/7884> (Stand: 11.05.2022)

HEBLING, Christopher; RAGWITZ, Mario; FLEITER, Tobias; GROOS, Ulf; HÄRLE, Dominik; HELD, Anne; JAHN, Matthias; MÜLLER, N.; PFEIFER, T.; PLÖTZ, P.: Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland. In: Fraunhofer Institut für System-und Innovationsforschung ISI (2019)

HOLZ, Franziska; ROTH, Alexander; SOGALLA, Robin; MEIßNER, Frank; ZACHMANN, Georg; MCWILLIAMS, Ben; KEMFERT, Claudia: Die Zukunft des europäischen Energiesystems: Die Zeichen stehen auf Strom. In: DIW Wochenbericht 89 (2022) 6, S. 76-82

IPCC (Hrsg.): AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023 — IPCC 2023. URL: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/> (Stand: 11.08.2023)

KRICHEWSKY-WEGENER, Lena; ABEL, Sebastian; BOVENSCHULTE, Marc: Skills Development for Hydrogen Economies – Damit aus einer Wasserstoffstrategie eine Wasserstoff- (weiter)bildungsstrategie wird. Working Paper of the Institute for Innovation and Technology. Berlin 2020. URL: https://www.iit-berlin.de/wp-content/uploads/2021/01/2020_11_iit-perspektive_Hydrogen-Economies.pdf (Stand: 25.01.2022)

MEYER, Robert; HERKEL, Sebastian; KOST, Christoph: Die Rolle von Wasserstoff im Gebäudesektor: Vergleich technischer Möglichkeiten und Kosten defossilisierter Optionen der Wärmeerzeugung. Potsdam 2021. URL: <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-wasserstoff-im-gebauedesektor/#zusammenfassung> (Stand: 03.08.2022)

MÖNNING, Anke; RONSIEK, Linus; BECKER, Lisa; STEEG, Stefanie: Wasserstoffbasierte Transformation und die Auswirkungen auf den Importbedarf Deutschlands. BIBB Discussion Paper. Bonn 2022. URL: https://res.bibb.de/vet-repository_780209 (Stand: 30.11.2022)

NATIONALER WASSERSTOFFRAT (Hrsg.): Treibhausgaseinsparungen und der damit verbundene Wasserstoffbedarf in Deutschland. Grundlagenpapier 2023. URL: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2023/2023-02-01_Grundlagenpapier_H2-Bedarfe_1.pdf (Stand: 28.03.2023)

NPM (Hrsg.): Quantifizierung von Beschäftigungseffekten durch Leistungselektronik und Brennstoffzellenfahrzeuge. AG4 - Zwischenbericht 2021. URL: https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/10/NPM_AG4_Leistungselektronik-1.pdf (Stand: 29.07.2022)

ÖKO-INSTITUT (Hrsg.); FRAUNHOFER ISE (Hrsg.): Durchbruch für die Wärmepumpe. Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. Freiburg 2022. URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-04_DE_Scaling_up_heat_pumps/A-EW_273_Waermepumpen_WEB.pdf (Stand: 10.03.2023)

PROGNOS (Hrsg.); ÖKO-INSTITUT (Hrsg.); WUPPERTAL-INSTITUT (Hrsg.): Klimaneutrales Deutschland 2045. Zusammenfassung 2021. URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf (Stand: 19.09.2022)

QUASCHNING, Volker: Sektorkopplung durch die Energiewende. Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung

der Sektorkopplung. Berlin 2016. URL: <https://www.volker-quaschning.de/publis/studien/sektorkopplung/Sektorkopplungsstudie.pdf> (Stand: 18.06.2022)

ROLANDBERGER (Hrsg.): Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie in Baden-Württemberg. Studie im Auftrag des Landesministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2020. URL: 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 (Stand: 20.09.2022)

RUNST, Petrik; OHLENDORF, Jana: Die Rolle des Handwerks auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand. Göttingen 2015. URL: <https://publications.goettingen-research-online.de/handle/2/92457> (Stand: 10.03.2023)

SHELL DEUTSCHLAND/WUPPERTAL INSTITUT (Hrsg.): Shell Wasserstoff-Studie - Energie der Zukunft? Hamburg 2017. URL: https://www.shell.de/about-us/newsroom/shell-hydrogen-study/_jcr_content/root/main/containersection-0/simple/call_to_action/links/item0.stream/1643541262215/1086fe80e1b5960848a92310091498ed5c3d8424/shell-wasserstoff-studie-2017.pdf (Stand: 14.06.2022)

SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, FDP (Hrsg.): Mehr Fortschritt wagen. Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021. URL: https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf (Stand: 10.08.2022)

SPÖTTL, Georg: Sektoranalysen. In: RAUNER, Felix (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. Bielefeld 2005, S. 112-118

SPÖTTL, Georg; WINDELBAND, Lars: Berufswissenschaftlicher Ansatz zur Früherkennung von Qualifikationsbedarf 39 (2006) 3, S. 72-91

STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND (Hrsg.): GENESIS-Online: Ergebnis 85111-0001 2022. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (Stand: 13.12.2022)

STEEG, St; HELMRICH, R.; MAIER, T.; SCHROER, Ph.; MÖNNING, A.; WOLTER, M.; SCHNEEMANN, Ch.; ZIKA, G.: Die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland: Folgen für Arbeitsmarkt und Bildungssystem. Eine erste Bestandsaufnahme. Bonn 2022. URL: <https://lit.bibb.de/vufind/Record/DS-779809> (Stand: 25.01.2022)

THOMSEN, Jessica; KOST, Christoph; WANAPINIT, Natapon; MEYER, Robert; ULFFERS, Jan; BAVIA BAMPI, Bruno; LOHMEIER, Daniel; PRADE, Erik; GORBACH, Gregor; SANINA, Natialia; ENGELMANN, Peter; HERKEL, Sebastian; BRAUN, Martin; LENZ, Matthias: Bottom-Up Studie zu Pfadoptionen einer effizienten und sozialverträglichen Dekarbonisierung des Wärmesektors. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Endbericht. Freiburg, Kassel 2022. URL: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/221222_Bottom_Up_Studie_final-1.pdf (Stand: 25.02.2023)

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): IPCC-Bericht: Sofortige globale Trendwende nötig 2023a. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/ipcc-bericht-sofortige-globale-trendwende-noetig> (Stand: 17.08.2023)

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Weltweite Temperaturen und Extremwetterereignisse seit 2010 2023b. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/weltweite-temperaturen-extremwetterereignisse-seit#Chronik> (Stand: 11.08.2023)

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Treibhausgasemissionen stiegen 2021 um 4,5 Prozent. Dessau-Roßlau 2022a. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-stiegen-2021-um-45-prozent> (Stand: 07.11.2022)

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Emissionsübersicht in den Sektoren. Excel-Tabelle zum Download. Dessau-Roßlau 2022b. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen> (Stand: 07.11.2022)

VCI (Hrsg.): Chemiewirtschaft In Zahlen. In: Nachrichten aus Chemie und Technik 8 (2021) 19-20, S. 296

WASSERSTOFFRAT, Nationaler: Wasserstoff Aktionsplan 2021-2025 (2021)

WEHL, Christina von der: VCI -POSITION KOMPAKT Wasserstoffstrategie 2022. URL: <https://www.vci.de/services/vci-positionen-kompakt/wasserstoffstrategie-vci-position-kompakt.jsp> (Stand: 21.06.2022)

WIETSCHEL, Martin; PLÖTZ, Patrick; KLOBASA, Marian; MÜLLER-KIRCHENBAUER, Joachim; KOCHS, Johannes; HERMANN, Lisa; GROSSE, Benjamin; NACKEN, Lukas; KÜSTER, Michael; NAUMANN, David; KOST, Christoph; FAHL, Ulrich; TIMMERMANN, Daniel; ALBERT, Denise: Sektorkopplung – Was ist darunter zu verstehen? In: Zeitschrift für Energiewirtschaft 43 (2018) 1, S. 1-10

WIETSCHEL, Martin; ZHENG, Lin: Metastudie Wasserstoff. – Auswertung von Energiesystemstudien. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Karlsruhe 2021. URL: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Metastudie_Wasserstoff.pdf (Stand: 16.05.2022)

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (Hrsg.): Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2020. URL: https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/WV-Stahl_Fakten-2020_rz_neu_Web1.pdf

ZENK, Johanna; MÖNNING, Anke; RONSIEK, Linus; SCHNEEMANN, Christian; SCHUR, Alexander Christian; STEEG, Stefanie: Erste Abschätzung möglicher Arbeitsmarkteffekte durch die Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie bis 2030. BIBB Discussion Paper 2023. URL: <https://lit.bibb.de/vufind/Record/DS-780958> (Stand: 08.03.2023)

ZINKE, Gert; RENGER, Peggy; FEIRER, Simona; PADUR, Torben: Berufsausbildung und Digitalisierung - Ein Beispiel aus der Automobilindustrie. Discussion Paper 2017. URL:

<https://www.bibb.de/dienst/veroeffentlichungen/de/publication/show/8329> (Stand:
13.05.2022)