



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

Abschlussbericht: Teilbericht für den Sektor
Wasserstoffherzeugung

Thomas Felkl, Gert Zinke (Projektleiter)

Barbara Hiller, Inga Schad-Dankwart,
Maximilian Schneider (bis April'24), Angelika
Calmez (bis April'24), Anja Schmickler (ab April'24),
Kubat Buyar (ab April'24), Ulrike Eckstein (ab
April'24)

Autoren des Berichts: Gert Zinke

Laufzeit 10/21 bis 09/24
Bonn, September 2025
Bundesinstitut für Berufsbildung
53113 Bonn

Telefon: 0228/107-2510
E-Mail: thomas.felkl@bibb.de

Mehr Informationen unter:
www.bibb.de

Zitiervorschlag

Zinke, Gert: 7.8.218 - Wasserstoff – ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende (H2PRO) : Abschlussbericht: Teilbericht für den Sektor Wasserstoffherzeugung. Bonn, 2025.
Online: https://res.bibb.de/vet-repository_783960.

© Bundesinstitut für Berufsbildung, 2025

Dieses Dokument gehört zu der VET Repository-Sammlung „BIBB Projektberichte“.

Version 1.0
September 2025

Herausgeber

Bundesinstitut für Berufsbildung
Friedrich-Ebert-Allee 114-116
53113 Bonn
Internet: www.vet-repository.info
E-Mail: repository@bibb.de

Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle übernimmt das BIBB keine Haftung für die Inhalte externer Links. Für den Inhalt der verlinkten Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich.

**CC Lizenz**

Der Inhalt dieses Werkes steht unter Creative-Commons-Lizenz (Lizenztyp: Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International).

Weitere Informationen finden sie im Internet auf unserer Creative-Commons-Infoseite

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Diese Netzpublikation wurde bei der Deutschen Nationalbibliothek angemeldet und archiviert.

Inhaltsverzeichnis

Das Wichtigste in Kürze	3
1 Problemdarstellung	3
1.1 Grüner Wasserstoff; Wirtschaftlichkeit und künftige Bedeutung	3
1.2 Wasserstofferzeugung als Beginn einer Wertschöpfungskette	4
1.3 Technologien zur Wasserstofferzeugung noch in der Entwicklung	5
1.4 Mittelfristige Industrialisierung der Wasserstofferzeugung erwartbar	6
1.5 Standortfragen und Anbindung der Wasserstofferzeugung an „Verbraucher“	8
1.6 Elektrolyseure als Backbone der Wasserstofferzeugung in der Entwicklung	9
1.7 Wasserstofftransport	10
1.8 Wasserstoffspeicherung	11
1.9 Erste Annahmen und Bezugfelder zum Fachkräftebedarf	11
2 Projektziele und Forschungsfragen	12
3 Methodische Vorgehensweise	13
4 Ergebnisse zu Qualifizierungsbedarf, Fachkräfteeinsatz und relevanten Ausbildungsberufen	14
4.1 Kurzer Ergebnisüberblick	14
4.2 Darstellung einzelner Arbeitsaufgaben und passende Ausbildungsberufe	16
4.2.1 Arbeitsaufgaben entlang der Prozesskette „Wasserstofferzeugung“	16
4.2.2 Identifizierte Ausbildungsberufe in Teilprozessen	17
5 Ergebnisse zu (zusätzlichen) Qualifikationsbedarfen eingesetzter Fachkräfte	31
5.1 Anlagenmerkmale und Qualifikationsbedarfe eingesetzter Fachkräfte	31
5.1.1 Explosionsgefährdungen	31
5.1.2 Druckanlagen	32
5.1.3 Kritische Infrastruktur	32
5.2 Übersicht geltender Gesetze und Regeln	32
5.3 Typische Rollen von Fachkräften und Qualifikationsbedarfe	34
6 Ergebnisse zu Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen	38
6.1 Zusatzqualifikationen im Rahmen der Ausbildung	38
6.2 Wasserstoff als Zukunftsthema „Energiewende“ in der Ausbildungsgestaltung	39
6.3 Weitere Schulungs- und Weiterbildungsangebote	39
7 Ergebnisse zu Ordnungsmitteln und Ordnungsbedarf	42
8 Empfehlungen für ordnungspolitische und praxisunterstützende Maßnahmen	43
9 Zielerreichung	44

10	Ausblick und Transfer	45
11	Veröffentlichungen	45
12	Literaturverzeichnis.....	46

Das Wichtigste in Kürze

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden die Arbeitsaufgaben der Fachkräfte auf mittlerer Qualifikationsebene im Untersuchungsfeld (Sektor) „Wasserstofferzeugung“ hinsichtlich sich ändernder Qualifikationsanforderungen und der Passung vorhandener Ausbildungsberufe überprüft.

Dafür wurden der Entwicklungsstand und die Prognosen für den Ausbau der „grünen“ Wasserstofferzeugung in Deutschland analysiert. Differenziert nach typischen Handlungsfeldern wurden künftige Arbeitsaufgaben projiziert, darauf aufbauend einschlägige, technische Ausbildungsberufe ermittelt und deren Passung geprüft. An Praxisbeispielen wurde exemplarisch überprüft, wie Fachkräfte bei der Erzeugung, Speicherung und dem Transport von Wasserstoff eingesetzt werden, welche Qualifikationsanforderungen daraus erwachsen und wie diese im Rahmen der Berufsbildung „bedient“ werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass alle notwendigen Arbeitsaufgaben mit bestehenden Ausbildungsberufen abgedeckt werden können. Hinweise auf neue, zu schaffende Ausbildungsberufe gibt es nicht. Zusätzliche Qualifikationen sind abhängig von der Funktion und den auszuübenden Arbeitsaufgaben der Fachkräfte insbesondere aufgrund sicherheitstechnischer Aspekte notwendig.

Die Hauptverantwortung für die Qualifizierung und den Einsatz der Fachkräfte liegt bei den Arbeitgebern und den Arbeitgeberinnen.

In der Berufsausbildung können an den Lernorten auf Grundlage der Mindestanforderungen der Ausbildungsordnungen und der Rahmenlehrpläne bedarfsorientiert und exemplarisch entsprechende Qualifikationen in Richtung Wasserstoff vermittelt werden.

1 Problemdarstellung

Im folgenden Abschnitt werden die wirtschaftlichen und technologischen Herausforderungen sowie der Stand der Umsetzung zur Nutzung Grünen Wasserstoffs dargestellt und die Wirkungen auf künftige Arbeitsaufgaben von Fachkräften abgeschätzt.

1.1 Grüner Wasserstoff; Wirtschaftlichkeit und künftige Bedeutung

Zur Erreichung der deutschen Klimaziele soll das Energiesystem auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden. Die Wasserstofftechnologien spielen dabei eine zentrale Rolle.

Wasserstoff, der bisher, z.B. in der chemischen Industrie, aus fossilen Energieträgern gewonnen wurde, soll künftig zunehmend aus erneuerbaren Energien durch Elektrolyse hergestellt werden.

Für die Zukunft wird der Einsatz als Reduktionsmittel bei der Stahlerzeugung, als Industrierohstoff bzw. -grundstoff, insbesondere als Ausgangsstoff zur Ammoniaksynthese und zur Herstellung von Düngemitteln in der Chemieindustrie sowie als Energiespeicher in der Energieversorgung angenommen.

Zunehmend gilt Wasserstoff auch als Ausgangsstoff zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen (Power to x). Allerdings ist hier der Wirkungsgrad bisher zu gering, um eine breite Nutzung voranzutreiben. Perspektivisch werden die Sektoren Verkehr/Mobilität und Wärme/Klima als potentielle Anwendungsbereiche gesehen (BUNDESREGIERUNG 2020).

Die Verwendung von Wasserstoff als reiner Energiespeicher oder als Energieträger ist allerdings für die meisten Anwendungen aktuell noch nicht ausreichend wirtschaftlich.

1.2 Wasserstofferzeugung als Beginn einer Wertschöpfungskette

Die Wasserstofferzeugung steht am Anfang einer Wertschöpfungskette (Abbildung 2). Unmittelbar verbunden mit der Herstellung sind zwei weitere Teilbereiche: die Speicherung und der Transport von Wasserstoff.

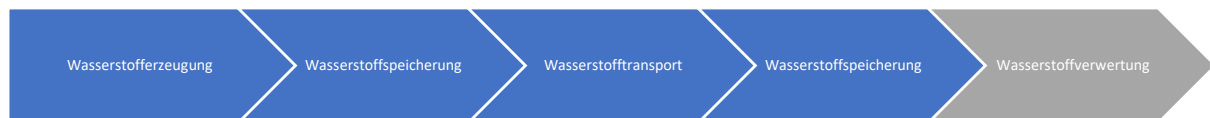


Abbildung 1: Wertschöpfungskette Wasserstoff (eigene Darstellung)

Über die Nationale Wasserstoffstrategie wurden unterstützt aus EU-Mitteln bisher 62 Wasserstoffgroßprojekte auf den Weg gebracht. Hier handelt es sich um „Important Projects of Common European Interest“ (IPCEI)¹. Die geförderten Projekte zeigen Konturen, Perspektiven und Schwerpunkte künftiger Wasserstoffanwendungen in Deutschland auf. Darüber hinaus hat die Einführung der Wasserstoffnutzung in der gesamten deutschen Wirtschaft und Gesellschaft eine hohe Dynamik. Dies gilt auch auf Länder-, regionaler und kommunaler Ebene. Hier entstehen weitere Netzwerke und Initiativen.

Nichtsdestotrotz ist dieser Prozess zum jetzigen Zeitpunkt, im Jahre 2024, noch durch Planungen, Entwicklungen und Genehmigungen geprägt. Bereits in Betrieb befindliche, größere Anlagen sind die Ausnahme (siehe Abbildung 3).

¹ Vgl. BMWK - IPCEI – gemeinsam, europäisch und hoch innovativ.

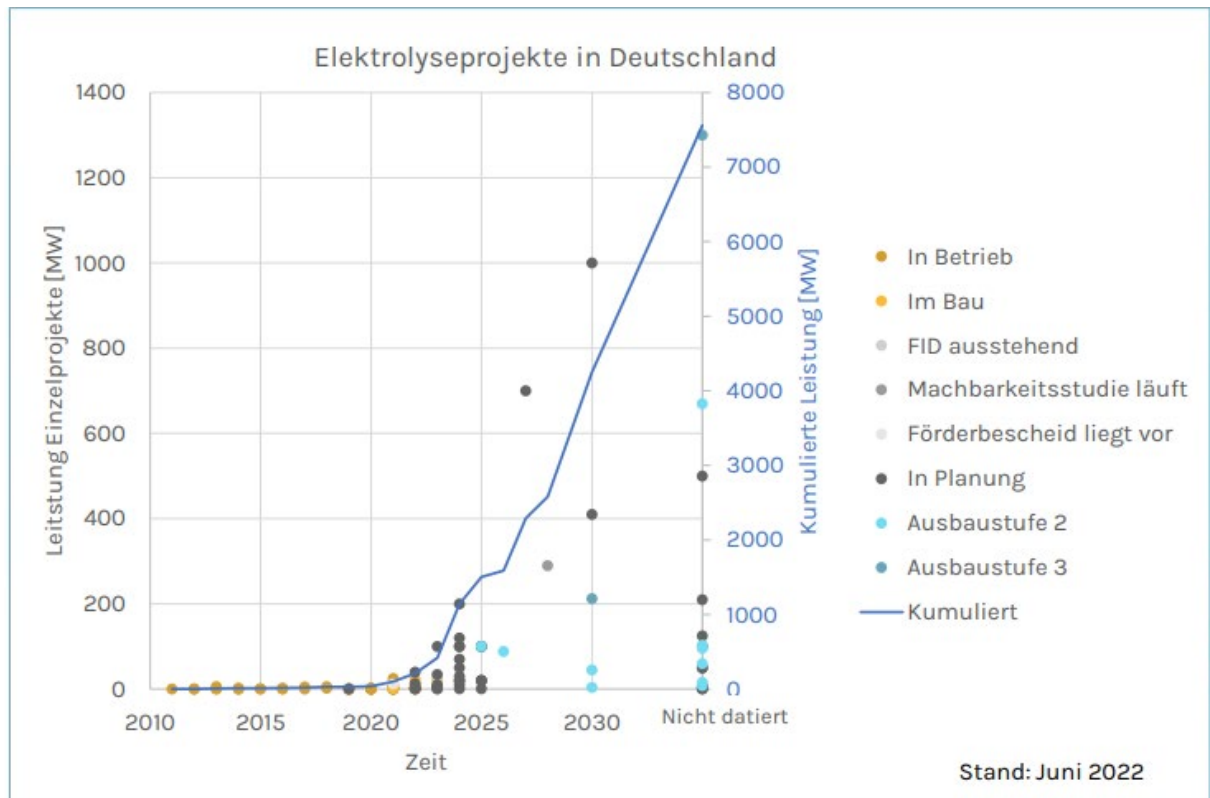


Abbildung 2: Elektrolyseprojekte nach (geplantem) Zeitpunkt der Inbetriebnahme und Leistung. Die kumulierte Leistung aller aufgenommenen Projekte ist als Linie dargestellt. Quelle: (Wasserstoffkompass 2022)

Vonseiten der Bundesregierung ist beabsichtigt, dass Wasserstoff sowohl in Deutschland hergestellt als auch – im verhältnismäßig größeren Anteil – importiert wird. Parallel entstehen deshalb mit deutscher Beteiligung internationale Projekte, zum Beispiel in Australien, Kanada, Marokko, Namibia und Neuseeland. Ziel ist der Import von Wasserstoff und Ammoniak.

Eine Metastudie kommt zu dem Ergebnis, dass der Bedarf in den Jahren 2040 und 2050 überwiegend aus ausländischen Quellen gedeckt wird. In den aktuelleren Studien ist dies teilweise auch schon im Jahr 2030 der Fall. Der Importanteil der Syntheseprodukte liegt in allen Studien höher als der Importanteil für reinen Wasserstoff (WIETSCHEL/ZHENG 2021).

Zusammengefasst heißt das: Die Wasserstofferzeugung innerhalb Deutschlands wird nur einen kleineren Teil des Wasserstoffgesamtbedarfs decken. Bisherige Anlagen haben überwiegend Pilotcharakter und dienen der Erprobung. Eine breitere industrielle Erzeugung kann mittelfristig erwartet werden.

1.3 Technologien zur Wasserstofferzeugung noch in der Entwicklung

Zur Wasserstofferzeugung sind mehrere Technologien verfügbar bzw. in Erprobung. Hier werden nur die „grünen“ Technologien thematisiert und kurz vorgestellt.

Bei der Elektrolyse, dem technologisch ausgereiftesten Verfahren, wird für die Erzeugung von grünem Wasserstoff zunächst elektrische Energie entweder aus Windenergie oder Sonnenenergie erzeugt, die dann für die Wasserstoffherstellung eingesetzt wird. Für die Erzeugung eines Kilogramms Wasserstoff benötigt man abhängig von der Effizienz zwischen 40 bis 60 kWh Strom.

Für die Herstellung eines Kilogramms Wasserstoff werden außerdem ca. 10 kg Wasser benötigt. Dabei handelt es sich um Reinstwasser, das aus Rohwasser hergestellt wird. Die benötigte Menge Rohwasser sind entweder bei Meerwasser 20 – 30 kg oder bei Oberflächenwasser 12kg (DVGW DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES E.V. 2023).

Aktuell werden vier Elektrolyse -Technologien unterschieden:

1. alkalische Elektrolyse (AEL),
2. Proton-Exchange-Membran Elektrolyse (PEM),
3. Anionenaustauschmembran-Elektrolyseur (AEM) und
4. Hochtemperaturelektrolyse (HTEL).

Experten sehen je nach technologischen Reifegrad vor dem Hintergrund der Dynamik der Technologieentwicklung weitere Forschungsbedarfe in Bezug auf die genannten Erzeugungsverfahren (PROJEKTTRÄGER JÜLICH 2023). Daran kann abgelesen werden, dass die Skalierung der Technologien bei Weitem noch nicht abgeschlossen ist.

1.4 Mittelfristige Industrialisierung der Wasserstoffherzeugung erwartbar

„Grüner“ Wasserstoff wird unter Verwendung erneuerbarer Energien wie Wind und Sonne erzeugt. Die nicht ausreichende Wirtschaftlichkeit und unzureichenden Flächen für die notwendige Stromerzeugung (in Deutschland) werden noch immer als die beiden größten Hindernisse gesehen (ACATECH 2022). Was den Zeitpunkt des Erreichens der Wirtschaftlichkeit der Herstellung von Grünem Wasserstoff betrifft, werden genaue Prognosen eher vermieden und auf die den Preis bestimmende Faktoren verwiesen. „Inwieweit grüner Wasserstoff eine wirtschaftlich attraktive Option ist, hängt neben den Energie- und CO₂-Preisen nicht zuletzt auch an den Wasserstoffpreisen. Gegenwärtig ist grüner Wasserstoff, bezogen auf den Energiegehalt, um ein Vielfaches teurer als andere genutzte Energieträger. Für die Wirtschaftlichkeit von grünem Wasserstoff wird dem CO₂-Preis eine wesentliche Bedeutung zukommen. Mit einer weiteren Skalierung der Produktion und Leistungsparameter von Elektrolyseuren ist perspektivisch von niedrigeren Investitionskosten für Elektrolyseure auszugehen. Damit ist die Erreichung der Konkurrenzfähigkeit grünen Wasserstoffs im Vergleich mit blauem Wasserstoff und anderen Energieträgern perspektivisch möglich. (BÜHLER/MÖST/SCHARF 2023)

Insgesamt zeichnet sich ab, dass die industrielle Nutzung unter wirtschaftlichen Bedingungen noch einiger Jahre bedarf. Entsprechend dem Stand von 2018 stellt die folgende Roadmap zur Industrialisierung der Wasserelektrolyse (SMOLINKA u. a. 2018) Bedingungen und notwendige Zeit für den Ausbau in ein Verhältnis. Das zeigt, dass erst mittelfristig ab dem Jahr 2030 die industrielle Nutzung in größerem Umfang möglich ist.

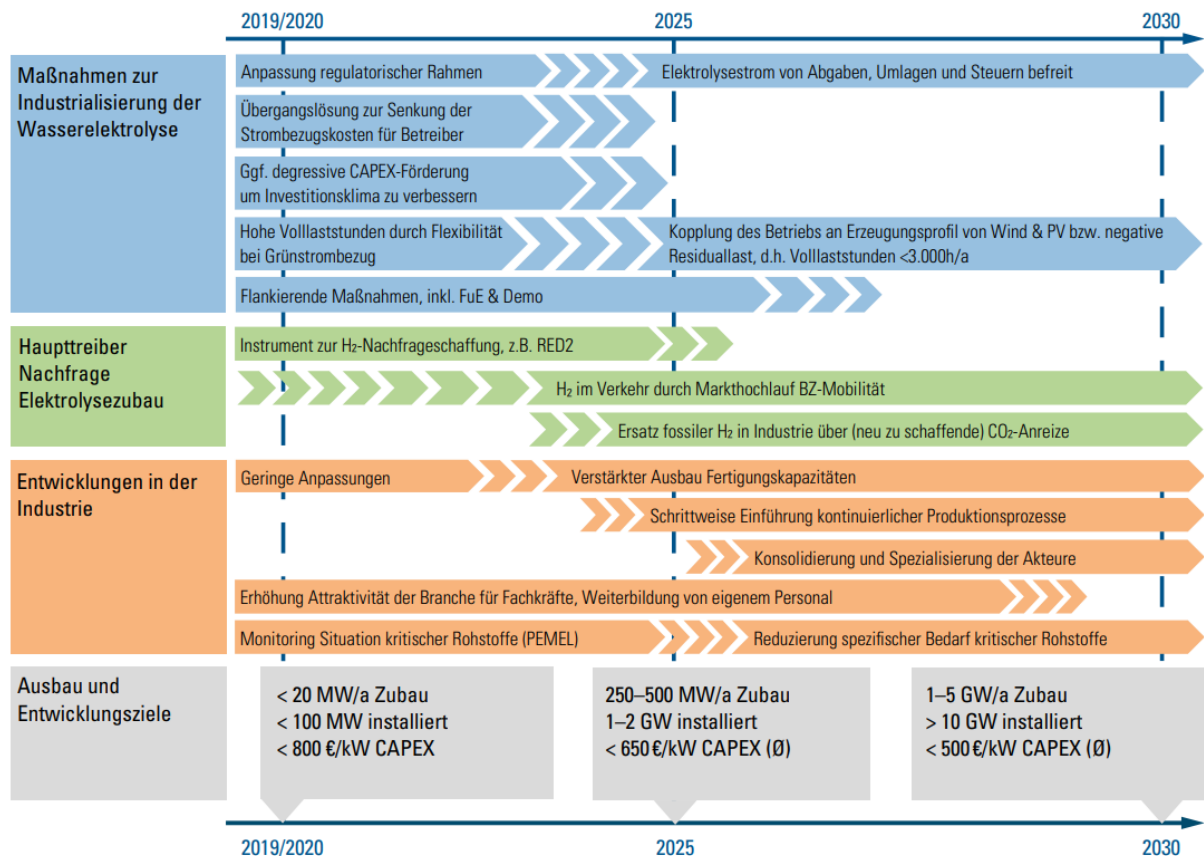


Abbildung 3: Roadmap zur Industrialisierung der Wasserelektrolyse. Quelle: (SMOLINKA u. a. 2018)

Das Bundeswirtschaftsministerium hat Anfang 2022, „...um den Markthochlauf von grünem Wasserstoff zu erreichen, ...das Ausbauziel für Elektrolyseure, bezogen auf ihre Elektrolyseleistung, bis 2030 gegenüber dem bisherigen Ziel (von 5 GW) auf 10 GW verdoppelt (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ 2022). Zum Vergleich:

- Im Jahr 2015 gab es zur Wasserstofferzeugung in Deutschland eine installierte Leistung von 21 MW (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT 2021).
- Das Braunkohlenkraftwerk Jämschwalde, das schrittweise stillgelegt wird, verfügt über eine Nennleistung von 3000 MW² (das sind 3 GW).
- Das Wasserkraftwerk Werrawerk in der Nähe von Hannoversch Münden hat eine Nennleistung von 2,6 MW.³

Wie, wo, wann in welchem Umfang und in welchen Größenordnungen „grüner“ Wasserstoff künftig in Deutschland erzeugt wird, ist noch nicht vollständig absehbar. Der künftige Bedarf an Wasserstoff liegt jedenfalls um ein Vielfaches höher, als es heutige Anlagen leisten können. „Studien kommen in ihren Zukunftsszenarien zu stark unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich eines potentiellen Bedarfes an Wasserstoff und Syntheseprodukten. ...Ab 2030 werden ... relevante Nachfragemengen für Deutschland gesehen. Die Bandbreite liegt dabei zwischen sehr geringer Nachfrage bis knapp 80 TWh. In vielen Studien ist der

² Kraftwerk Jämschwalde | LEAG.

³ https://www.statkraft.de/globalassets/old-contains-the-old-folder-structure/documents/de/kraftwerke-in-deutschland/broschure_werrawerk_tcm21-12488.pdf/.

Bedarf in 2030 jedoch kleiner als 50 TWh. Im Jahr 2050 liegt die Bandbreite des Bedarfs an Wasserstoff- und Syntheseprodukten in den Studien bei 400 bis knapp 800 TWh.“
(WIETSCHEL/ZHENG 2021)

1.5 Standortfragen und Anbindung der Wasserstoffherzeugung an „Verbraucher“

Für den in Deutschland künftig produzierten „grünen“ Wasserstoff kann der erneuerbare Strom beispielsweise mittels Offshore-, Onshore- sowie Photovoltaikanlagen (PV) bereitgestellt werden. Der Anteil der einzelnen Energiequellen wird unterschiedlich prognostiziert. Zum Beispiel wird das Verhältnis der erzeugten Energie durch PV zu der durch Wind (onshore) und Wind (offshore) 9 zu 5 zu 1 angenommen (SMOLINKA u. a. 2018). Dieses Verhältnis spiegelt sich ähnlich in den Prognosen (2039) der Bundesnetzagentur für den Ausbau der Leistung von Solarenergie (215 GW), Windenergieanlagen an Land (115 GW) und Windenergieanlagen auf See (30 GW) wieder (BUNDESNETZAGENTUR 2023). Daraus lassen sich Schlussfolgerungen für mögliche Standorte der Wasserstoffherzeugung und -weiterverarbeitung ziehen.

Für Onshore-Anlagen in Deutschland sind neben Großanlagen auch kleinere Leistungen anzunehmen und damit auch kleinere Elektrolyseanlagen.

Zwei wichtige Argumente für dezentrale kleinere Anlagen innerhalb Deutschlands sind, dass sie nah am Ort der Energieerzeugung „netzdienlich“ aufgestellt und unter Verwendung von Energieüberschüssen betrieben werden können.

Die Verwendung von Überschüssen bedeutet, dass bei Überkapazitäten bisher Strom abgeregelt werden muss, da er nicht speicherbar ist. Im Jahre 2020 geschah das in Deutschland in einem Umfang von 6.146 GWh (BUNDESNETZAGENTUR 2022), (Abbildung 3). Wenn man jedoch berücksichtigt, dass der Bruttojahresenergieverbrauch in Deutschland im Jahre 2020 bei 2.317 TWh lag (1 TWh = 1 000 GWh)⁴, relativiert sich allerdings der mögliche Nutzeffekt für die Gesamtwirtschaft. Diese Zahlenrelationen demonstrieren gleichzeitig die Gesamtherausforderung der Energiewende.

⁴ Quelle: AG Energiebilanzen, https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/04/awt_2020_d.pdf.

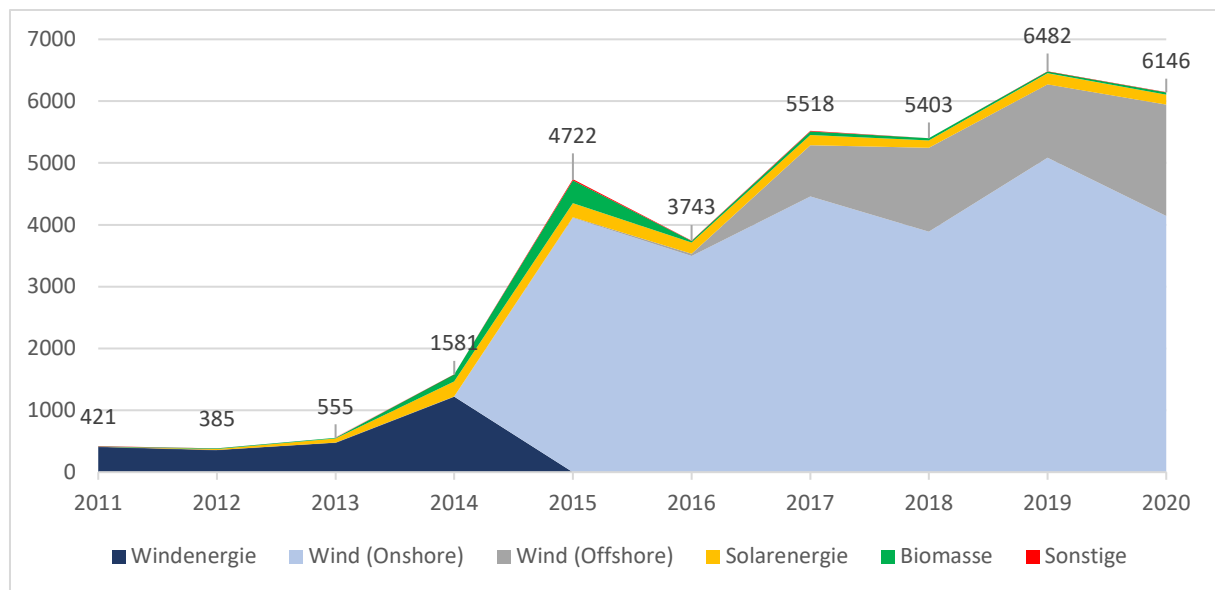


Abbildung 4: Elektrizität: Ausfallarbeit verursacht durch Einspeisemanagementmaßnahmen in GWh. Quelle: (BUNDESNETZAGENTUR 2022), eigene Darstellung

Netzdienlich heißt, dass durch die unmittelbare Wasserstofferzeugung am Ort der Energieerzeugung die Stromnetze entlastet bzw. keine zusätzlichen Stromtrassen notwendig werden.

Dieser Ansatz verlangt, dass die Anlagen unter variablen Lasten wirtschaftlich gefahren werden können. Auch dies ist ein notwendiges Leistungsmerkmal, das noch weiterer technologischer Optimierung bedarf. Aktuelle, in Betrieb befindliche Anlagen sind noch nicht netzrelevant, sondern dienen der Erprobung und Technologieoptimierung.

Einsatz könnte der so gewonnene Wasserstoff insbesondere im Mobilitätsbereich, bereitgestellt über Wasserstofftankstellen, finden (SCHALLING u. a. 2022).

Technisch möglich sind auf der Wasserstofftechnologie beruhende Anlagen für energieautarke Häuser und Wohngebiete ohne externen Stromanschluss. Energiequelle ist eine Solar- und/oder Windanlage, gekoppelt mit einem Elektrolyseur, einem Verdichter, einer Brennstoffzelle sowie einem Puffer/Speicher. Entsprechende Pilotanlagen existieren. Es wird erwartet, dass auf Grund von Skaleneffekten die Herstellungskosten sinken und eine Wirtschaftlichkeit wahrscheinlicher wird. (GEITMANN 2022b).

1.6 Elektrolyseure als Backbone der Wasserstofferzeugung in der Entwicklung

Die Herstellung mittels Elektrolyseuren bleibt mittelfristig die wahrscheinlichste Technologie für die Erzeugung von „grünem“ Wasserstoff.

Die Herstellungskosten bei allen o.g. Verfahren sind jedoch noch nicht im wirtschaftlichen Bereich. Elektrolyseure wurden bisher manuell und in Einzelfertigung oder kleinen Stückzahlen gefertigt. Für die künftig erforderlichen Leistungen gilt es, entsprechende Produktionstechnologien zu entwickeln – also die Herstellung solcher Anlagen zu automatisieren, sie in den industriellen Maßstab zu überführen und die Herstellungskosten zu senken (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT 2021).

Aktuell etabliert sich weltweit ein Anbietermarkt entsprechender Anlagen und Aggregate. Dazu gehören auch deutsche Hersteller, die bereits Elektrolyseure herstellen,

Produktionskapazitäten aufbauen oder planen. Angeboten werden Elektrolyseure verschiedener Leistungsklassen, die die o.g. Technologien nutzen. Aus der beginnenden Serienfertigung werden Skaleneffekte erwartet (GEITMANN 2022a). Zu welchen Anteilen künftig in Deutschland hergestellte und Elektrolyseure in Deutschland eingesetzt und international nachgefragt werden, ist zurzeit nicht vorhersehbar.

Zusammenfassend heißt das, dass für die Wasserstofferzeugung Elektrolyseure unterschiedlicher Bauart und Größe zum Einsatz kommen werden. Vieles spricht dafür, dass auch dezentrale, kleinere Anlagen einen wichtigen Stellenwert einnehmen werden. Wie, in welchem Umfang und wo sich die Herstellung von Elektrolyseuren etabliert, wie dabei deutsche Unternehmensstandorte beteiligt sein werden, so dass dort auch einheimische Fachkräfte zum Einsatz kommen – das sind noch offene Fragen.

1.7 Wasserstofftransport

Für den Transport von Wasserstoff kommen zwei grundsätzliche Systeme in Frage: erstens per Rohrleitungssystem und zweitens mobil, d.h. per Container bzw. Tank. Der Transport kann dann sowohl auf der Straße, per Schiene und/oder auf dem Wasserweg erfolgen.

Für den Containertransport bedarf es in erster Linie der Investition in bestimmte Container/Tanks. Die Deutsche Bahn sieht im Transport auf der Schiene keine Probleme, kommt aber zu der Einschätzung, dass der Schienentransport, obwohl ökologisch sinnvoller, als auf der Straße, aktuell kostenseitig (noch) nicht wettbewerbsfähig ist (DB NETZE 2020). Entsprechende Tanks sind technologisch und am Markt verfügbar.

Der Auf- und Ausbau von bundesweiten Wasserstoffleitungsnetzen befindet sich noch am Anfang. In Planung befindet sich dafür ein Wasserstoff-Kernnetz. Die Verfügbarkeit einer entsprechenden Netzinfrastruktur ist Grundvoraussetzung für alle weiteren Schritte der Wasserstoffnutzung. Dies gilt insbesondere, wenn es um große Mengen geht, wie sie in der Stahlindustrie, der Chemieindustrie und der Energiewirtschaft benötigt werden. Zuständig für die Planung und Genehmigung des Kernnetzes ist die Bundesnetzagentur. Den rechtlichen Rahmen bildet das Energiewirtschaftsgesetz (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ 2024).

Darüber hinaus geht es um eine europäische Vernetzung, weil angenommen wird, dass der überwiegende Teil des Wasserstoffs importiert werden wird (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ 2022)

Mit diesem künftigen Wasserstoff-Kernnetz sollen derzeit bekannte große Verbrauchs- und Erzeugungsregionen für Wasserstoff in Deutschland erreicht und so zentrale Wasserstoff-Standorte, beispielsweise große Industriezentren, Speicher, Kraftwerke und Importkorridore, angebunden werden. Das Kernnetz soll wichtige Wasserstoffinfrastrukturen beinhalten, die bis 2032 in Betrieb gehen sollen⁵. Ein weiterer Ausbau soll auch in den Folgejahren stattfinden.

Von potentiellen Betreibern wird eine Möglichkeit in der Nutzung bestehender Erdgasnetze gesehen: Über diese Netze kann in Zukunft Wasserstoff transportiert werden. Hier existieren bereits erste Anlagen kleinerer Größe bzw. befinden sich im Bau oder in Planung. Als ersten

⁵ Vgl. Bundesnetzagentur - Wasserstoff-Kernnetz

Teilabschnitt einer deutschlandweiten Wasserstoffinfrastruktur planen z.B. die Partner des Projektes GET H2 Nukleus die Umsetzung eines ersten Teilabschnittes mit einer Länge von 135 km von Lingen nach Gelsenkirchen. Kernelemente sind die Errichtung einer Elektrolyseanlage mit einer Leistung von 100 MW, die erneuerbaren Strom in grünen Wasserstoff umwandelt, der Transport des reinen Wasserstoffs in bestehenden umgestellten Erdgasleitungen sowie die Nutzung in Raffinerien und später auch in anderen Sektoren (NOWEGA 2021). Voraussetzung für den Transport ist, abhängig von der Art und Weise, die Verdichtung, Verflüssigung oder chemische Bindung des Wasserstoffs, was wiederum entsprechende Anlagen und Energieaufwand notwendig macht. Entsprechende Verdichter sind beispielsweise ein weiterer Anlagenbestandteil. Auch hier beginnt sich eine Zahl von Anbietern, ähnlich wie bei den Elektrolyseuren, zu etablieren.

1.8 Wasserstoffspeicherung

Für die Speicherung von Wasserstoff stehen prinzipiell mehrere Möglichkeiten bereit:

- Die Speicherung von verdichtetem und/oder verflüssigtem Wasserstoff (physikalische Druckspeicherung),
- die Absorptionsspeicherung,
- die Speicherung als chemisch gebundener Wasserstoff.

Zweck- und mengenabhängig hat jedes der Speicherprinzipien Vorteile. Für die Speicherung großer Mengen von Wasserstoff auch über längere Zeiträume, wie sie für die Rückverstromung notwendig wäre, ist die unterirdische Kavernenspeicherung in Form der Druckspeicherung insbesondere in Salzstöcken vorteilhaft (DIHK 2020). Ausreichende Speichermöglichkeiten sind letzten Endes eine Voraussetzung für den breiten Einsatz von Wasserstoff. Praktische Umsetzungen im großen Maßstab fehlen bisher.

Weitere Speichermöglichkeiten bestehen in der Weiterverarbeitung des Wasserstoffs zu Syntheseprodukten, insbesondere Ammoniak und synthetischem Kraftstoff.

Insgesamt ist die Nutzbarmachung von grünem Wasserstoff in Deutschland eine gewaltige Transformationsaufgabe. Dabei müssen für eine optimale Lösung Wasserstoffnachfrage und -angebot möglichst zeitgleich wachsen (KPMG 2023).

1.9 Erste Annahmen und Bezugfelder zum Fachkräftebedarf

Die künftig entlang der Prozesskette Wasserstoffherzeugung verwendeten Technologien, ihre technische Umsetzung und Größe sind, wie im vorangehenden Abschnitt beschrieben, noch nicht vollständig absehbar. Trotzdem liegen bereits erste Zwischenergebnisse und Studien zum Fachkräftebedarf vor, auf die hier hingewiesen sei:

Den qualitativen Fachkräftebedarf betreffend, wird von dritter Seite eingeschätzt, dass in Deutschland vorhandene Bildungsprogramme im Bereich der Erstausbildung (beruflich und hochschulisch) aufgrund ihrer Breite eine gute Basis für die Beschäftigung in der Wasserstoffbranche bieten. Der Qualifizierungsbedarf kann daher zunächst relativ kurzfristig mit Zusatzqualifikationen und Weiterbildungsangeboten abgedeckt werden (KRICHEWSKY-WEGENER/ABEL/BOVENSCHULTE 2020) Eine KPMG-Studie schätzt ein: „Die in Deutschland bestehende Berufsausbildung bietet gute Grundlagen. Viele bestehende technische Berufe verfügen bereits über breite Kompetenzprofile, die in der Wasserstoffwirtschaft dringend

benötigt werden.“ (KPMG 2023) Diese Einschätzung stimmt mit Zwischenergebnissen der hier vorliegenden Studie überein (ZINKE 2022).

Diese Annahmen galt es weiter zu überprüfen und zu schärfen.

Sowohl für das methodische Vorgehen als auch die weitere Ergebnisgenerierung erwies es sich als Problem, dass eine skalierte Erzeugung von Grünem Wasserstoff, sowie damit verbunden das Herstellen, Betreiben und Instandhalten entsprechender Anlagen nicht vorhanden sind und folglich einschlägige Arbeitsplätze für Qualifikationsbedarfsermittlungen nicht ohne weiteres untersucht werden können. Allerdings können Vergleiche und Bezüge aus vergleichbaren Anwendungen hergestellt werden: erstens zu bisheriger Erzeugung, Speicherung und Transport von Grauem Wasserstoff, zweitens zu Pilot- und Modellanwendungen im Kontext der Einführung grünen Wasserstoffs und drittens auch zum Anlagenbau vergleichbarer Systeme und Komponenten.

2 Projektziele und Forschungsfragen

Ziel der vorliegenden Teil-Studie war es, neue und veränderte Arbeitsaufgaben für Fachkräfte auf mittlerer Qualifikationsebene im Kontext von Wasserstoffherzeugung, -speicherung und -transport zu erfassen, auf veränderte Qualifikationsbedarfe zu prüfen und zu untersuchen, wie diese in vorhandenen Ordnungsmitteln bereits widerspiegelt sind, künftig aufgenommen werden sollten oder durch andere Maßnahmen in der Berufsausbildung „bedient“ werden.

Konkret geht es um folgende vier Fragestellungen:

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 auf Grundlage der identifizierten Qualifizierungsbedarfe abgeleitet?

Diese Teil-Studie ist auf die Erzeugung von grünem Wasserstoff in Deutschland fokussiert. Die Wasserstoffspeicherung und der Wasserstofftransport wird, soweit bei der Wasserstoffherzeugung unmittelbar notwendig, ebenfalls einbezogen.

Parallel erfolgen im Rahmen des Projekts weitere Studien bezogen auf die Stahlerzeugung, die Chemieindustrie, die Mobilität und den Wärmesektor (Abbildung 1).

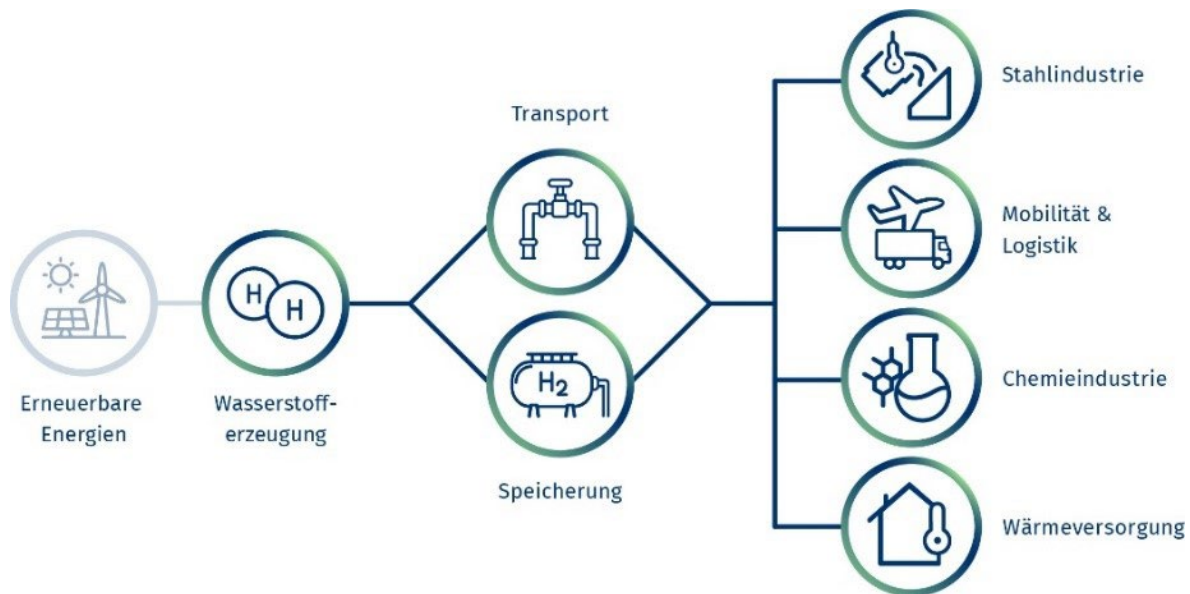


Abbildung 5: Sektoren innerhalb des H2Pro-BIBB-Projekts „Wasserstoff als Zukunftsthema für die berufliche Bildung“

Die Studie ist Teil des BIBB-Projekts „Wasserstoff als Zukunftsthema für die berufliche Bildung“, das auf Grundlage einer Verwaltungsvereinbarung mit dem BMBF im Zeitraum IV/2021 – III/2024 durchgeführt wird. Das Projekt ordnet sich in die Aktivitäten zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung ein (BMBF 2021, BUNDESREGIERUNG 2020).

Die Wasserstoffnutzung ist ein zentrales Element des deutschen Beitrages für die Erreichung der Pariser Klimaschutzziele, mit dem Ziel die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2030 um 55 Prozent zu verringern. Sie ist Teil der Energiewende und der Transformation der deutschen Wirtschaft.

Im Kontext der beabsichtigten Nutzung von grünem Wasserstoff, und hier insbesondere der Wasserstoffherzeugung in Deutschland, werden Qualifizierungs- und Ordnungsfragen bezogen auf Fachkräfte der mittleren Ebene als eine besondere Forschungslücke angesehen.

3 Methodische Vorgehensweise

Das gesamte Forschungsdesign umfasst die drei Hauptschritte Sektoranalyse einschließlich Literatur- und Datenanalyse (ZINKE 2022), leitfadengestützte Experteninterviews und arbeitsprozessorientierte Betriebsfallstudien.

Mit Hilfe der Sektoranalyse wurde 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, kam der Sektoranalyse eine besondere Relevanz 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. Darin werden erste Tätigkeits- und Aufgabenfelder beschrieben und berufsprofilbezogene Abgrenzungsfragen beantwortet. Zudem galt es, charakteristische Strukturen der Erstausbildung und Weiterbildung darzustellen, Qualifizierungsstrategien hervorzuheben und zukunftsorientierte Qualifizierungsangebote zu identifizieren. Das Untersuchungsfeld der Wasserstofferzeugung wurde in diesem Zusammenhang weiter differenziert und abgegrenzt. Damit können Aufgabencluster und Einsatzfelder von Berufen besser unterschieden werden.

In der Sektorstudie erarbeitete Annahmen und Zwischenergebnisse galt es im weiteren Projektverlauf zu überprüfen, zu ergänzen und zu validieren.

Dafür wurden Literaturstudien, Dokumentenanalysen und Internetrecherchen fortgesetzt. Insbesondere bezogen auf Elektrolyseurstandorte musste festgestellt werden, dass im Zeitraum der Untersuchung nur ein Elektrolyseur mit einem Leistungsbereich von mehr als 5 MW bereits im Betrieb war. Hier konnten leitfadengestützte Interviews und eine Betriebsfallstudie (Arbeitsplatzbeobachtungen) realisiert werden. Weitere drei leitfadengestützte Interviews wurden mit Ausbildungsverantwortlichen von Elektrolyseurherstellern geführt. Im Bereich Speicherung und Transport fanden gemeinsam mit anderen Projektmitarbeitenden drei Interviews statt. Eine wesentlich größere Zahl von potentiellen Interviewpartnern und Betriebsfällen wurden geprüft bzw. kontaktiert.

Vorträge, Publikationen (ZINKE 2023a; 2023b) und die Mitarbeit in der AG 5.3 Weiterbildung im Rahmen der [Normungsroadmap Wasserstofftechnologien](#) waren Gelegenheiten, Zwischenergebnisse zu diskutieren und informell validiert zu bekommen.

Einen besonderen Stellenwert nahmen zwei im Projektverlauf realisierte Fachtagungen ein. Dabei wurde sowohl die Sektorstudie, die als Discussion Paper publiziert wurde (ZINKE 2022), als auch die im Rahmen des Projekts publizierten [Factsheets](#) eingebracht und Aussagen überprüft.

Teilergebnisse der Sektoranalyse fließen deshalb validiert in die folgende Ergebnisdarstellung ein.

4 Ergebnisse zu Qualifizierungsbedarf, Fachkräfteeinsatz und relevanten Ausbildungsberufen

4.1 Kurzer Ergebnisüberblick

Die künftig entlang der Prozesskette Wasserstofferzeugung verwendeten Technologien, ihre technische Umsetzung und Größe sind, wie im vorangehenden Abschnitt beschrieben, noch nicht vollständig absehbar. Trotzdem liegen bereits erste Zwischenergebnisse und Studien zum Fachkräftebedarf vor, auf die hier hingewiesen sei:

Den qualitativen Fachkräftebedarf betreffend, wird von dritter Seite eingeschätzt, dass in Deutschland vorhandene Bildungsprogramme im Bereich der Erstausbildung (beruflich und hochschulisch) aufgrund ihrer Breite eine gute Basis für die Beschäftigung in der Wasserstoffbranche bieten. Der Qualifizierungsbedarf kann daher zunächst relativ kurzfristig mit Zusatzqualifikationen und Weiterbildungsangeboten abgedeckt werden (KRICHEWSKY-WEGENER/ABEL/BOVENSCHULTE 2020). Eine KPMG-Studie schätzt ein: „Die in Deutschland bestehende Berufsausbildung bietet gute Grundlagen. Viele bestehende technische Berufe

verfügen bereits über breite Kompetenzprofile, die in der Wasserstoffwirtschaft dringend benötigt werden.“ (KPMG 2023) Diese Einschätzung stimmt mit Zwischenergebnissen der hier vorliegenden Studie überein (ZINKE 2022).

Die Wasserstoffnutzung ist in der (deutschen) Chemieindustrie und petrochemischen Industrie seit mehr als 100 Jahren Alltag. Entsprechend wurden wesentliche Anforderungen zur Fachkräftequalifizierung, einschließlich den Ausbildungsordnungen, in die Berufsbildung integriert. Dies betrifft sowohl die stofflichen Eigenschaften von Wasserstoff und die damit verbundene Prozesskompetenz als auch die technische Ausführung der Anlagen und die dafür notwendigen Materialeigenschaften. Für die Beurteilung des Fachkräftebedarfs ist die konventionelle Herstellung und Nutzung von Wasserstoff deshalb ein wichtiges Bezugsfeld. Hier finden sich rund um die Erzeugung, Speicherung und den Transport von Wasserstoff Arbeitsplätze, die demonstrieren, welche Qualifikationen bei Verrichtung einschlägiger Arbeitsaufgaben notwendig sind, welche Ausbildungsberufe dabei vorzugsweise eingesetzt werden und wie viele Arbeitskräfte wofür notwendig sind. „Dementsprechend sind hier entsprechende Kompetenzen im Wasserstoffkontext in den relevanten Handlungsfeldern Anlagen planen und entwickeln, Anlagen errichten, Anlagen überprüfen und in Betrieb nehmen, Anlagen betreiben, Anlagen überwachen sowie Anlage instand halten vorhanden und die bestehenden Ausbildungsberufe decken den wasserstoffbezogenen Qualifikationsbedarf hinreichend ab.“ (FELKL 2023). Dies kommt auch in Aussagen von zwei Ausbildungsleitern zum Ausdruck:

„Verglichen mit den konventionellen Wasserstofferzeugern (partielle Verbrennung, Steamreforming), liefert so eine Anlage [zur Erzeugung von grünem Wasserstoff] eher kleinere Mengen an Wasserstoff. Ich hatte auch deutlich gemacht, dass das dann nur eine andere Quelle ist, die in das Leitungssystem einspeist. An den Beruflichkeiten ändert sich nichts.“ (Ausbildungsleiter, Chemie-01-01) „Es spiegelt ein wenig das Selbstverständnis in der Prozessindustrie wider, dass dort eh schon der Umgang mit Wasserstoff Alltagsgeschäft ist. Somit kommt dieses Thema im Teil der betrieblichen Ausbildung und nicht in den „vorgeschalteten“ Ausbildungszentren vor.“ (Ausbildungsleiter, Chemie-01-02)

Diese Informationen sind eine erste Basis für die hier zu beantwortenden Forschungsfragen zum qualitativen Fachkräftebedarf auf mittlerer Ebene. Andere Interviews außerhalb der Chemieindustrie zeigten aber auch, dass die Herstellung von grünem Wasserstoff, der zugehörige Anlagenbau und die Speicherung sowie der Transport für Unternehmen und Mitarbeitende eine neue Herausforderung darstellen.

Die Herausforderung für Unternehmen, die bisher nicht mit Wasserstoff arbeiteten, besteht also im Transfer, der Anwendung und Umsetzung ihrer Aus- und Weiterbildung. Dies beginnt mit Fragen nach den für die jeweiligen Arbeitsaufgaben passenden Ausbildungsberufen. In einem Fall wurde von einem Elektrolyseurhersteller anfangs ein neuer Ausbildungsberuf für notwendig gehalten. „Letztendlich hat sich in der Zusammenarbeit mit dem BIBB herausgestellt, dass vorhandene Berufe wie der Mechatroniker passen.“ (Projektleiter, Erzeugung-01-03)

Im Folgenden soll ein systematischer Analyseansatz entlang der Arbeitsprozesse rund um die Wasserstofferzeugung weitere Antworten liefern.

4.2 Darstellung einzelner Arbeitsaufgaben und passende Ausbildungsberufe

4.2.1 Arbeitsaufgaben entlang der Prozesskette „Wasserstoffherzeugung“

Auf Grundlage der „Grünen“ Wasserstoffwertschöpfungskette wurden potentielle Arbeitsplatzprofile und Berufsprofile (Ausbildungsberufe) identifiziert und auf ihre Passung hinsichtlich der verschiedenen zu erfüllenden Arbeitsaufgaben überprüft.

Die Prozesskette besteht bei näherer Betrachtung aus den Prozessschritten Wasserstoffherzeugung, -speicherung und -transport. Für alle drei Segmente gilt es, wie bereits in der Sektoranalyse demonstriert (ZINKE 2022), zwischen dem Errichten, dem Überprüfen, dem Betreiben, dem Überwachen und dem Instandhalten der Anlagen zu unterscheiden, wenn es um die Frage der eingesetzten Fachkräfte und die damit verbundenen Qualifikationen geht (Tabelle 3).

Tabelle 1: Handlungsfelder und Teilprozesse

	Wasserstoffherzeugung	Wasserstoffspeicherung	Wasserstofftransport
Planen und Entwickeln	Anlagen, nach Größe, Technologie und Standort	Druckgasspeicherung, Flüssiggasspeicherung (durch den Erzeuger, den Verbraucher, den Händler), Syntheseprodukte (Ammoniakherzeugung und -speicherung)	Netze (Rohrleitungen) und mobile Transportmittel
Errichten			
(technisches) Überprüfen und in Betrieb nehmen			
Betreiben			
Überwachen (Sicherheit gewährleisten, Störungen vermeiden, Havarien bewältigen)			
Instandhalten			

Es kann folgende Unterteilung der Akteure bei Wasserstoffherzeugung, -speicherung und -transport vorgenommen werden: Die Produktions-, Transport- und Speicheranlagen werden von „Anlagenbauern“, unterstützt durch Zulieferer, errichtet. Nach technischer Überprüfung erfolgt die erste Inbetriebnahme (einschließlich Betriebszulassung und regelmäßiger Überprüfung). An diesen Prozessen sind in der Regel mehrere Unternehmen beteiligt, wie zum Beispiel Zulieferer, Hersteller, Produzenten/Betreiber und Händler. Zur (technischen) Überwachung (einschließlich Schutz vor äußeren Störungen, Gewährleistung der Anlagensicherheit) sowie Wartung und Instandhaltung der Anlagen werden ggf. zusätzlich technische Dienstleister eingesetzt (Abbildung 4).



Abbildung 6: Akteure innerhalb der Prozesskette Wasserstoffherzeugung (eigene Darstellung)

Die Wasserstoffherzeugung erfolgt zweckabhängig in unterschiedlichen Kontexten. Die Arbeitsaufgaben und Arbeitsplätze der Fachkräfte, die als „Betreiber“ der Anlagen wirken, können abhängig von der Größe der Anlagen zur Wasserstoffherzeugung, deren Integration in Vor- und Nachfolgeprozesse unterschiedlich zugeschnitten sein werden.

4.2.2 Identifizierte Ausbildungsberufe in Teilprozessen

In den nachfolgenden Abschnitten sind den Teilschritten Ausbildungsberufe zugeordnet worden, die auf Grund ihrer Profilierung für die jeweiligen Arbeitsaufgaben in Frage kommen.

Geführte Interviews haben in diesem Zusammenhang bestätigt, dass fallweise für Arbeitsplätze bei vergleichbaren Arbeitsaufgaben unterschiedliche Ausbildungsberufe vertreten und geeignet sind.

Interviewte Fachkräfte nutzten folgerichtig eher Erwerbsberufsbezeichnungen wie Planer, Operator, Anlagenmechaniker. Zum Beispiel: „Der Operator, der durch die Anlage läuft, was er ein oder zwei Mal am Tag macht, der hört sich hier irgendwas Ungewöhnliches an, zischt irgendwas, rappelt eine Pumpe (?), das ist schon von Vorteil und sehr wichtig, dass das passiert... Maintenance: da haben wir eine Power Supply Truppe, die sich wirklich darum kümmert... Wir haben Anlagen-Elektroniker und Mechatroniker, die dementsprechend Vorbildungen gemacht haben, intern und extern, um diese Anlagen zu warten.“ (Projektleiter, Erzeugung-01-03)

Exemplarisch werden bezogen auf die zuordenbaren Ausbildungsberufe Auszüge aus Ausbildungsordnungen herangezogen, um die Eignung zu demonstrieren.

4.2.2.1 Anlagen planen und entwickeln

Für das Planen und Entwickeln von Wasserstoffherzeugungsanlagen eingesetzte Fachkräfte auf mittlerer Ebene kommen folgende Ausbildungsberufe in Betracht (Tabelle 4).

Tabelle 2: Typische, in Frage kommende Ausbildungsberufe für den Teilprozess Anlagen planen und Entwickeln

Teilprozess	Aufgabencluster	Typische, in Frage kommende Ausbildungsberufe
Anlagen planen und entwickeln	Planen und Projektieren	Technischer Systemplaner/Technische Systemplanerin - Fachrichtung Elektrotechnische Systeme (IH) Technischer Systemplaner/Technische Systemplanerin - Fachrichtung Stahl- und Metallbautechnik (IH)

		Technischer Systemplaner/Technische Systemplanerin - Fachrichtung Versorgungs- und Ausrüstungstechnik (IH) Technischer Produktdesigner/Technische Produktdesignerin - Fachrichtung Maschinen- und Anlagenkonstruktion (IH)
	Programmieren	Fachinformatiker/Fachinformatikerin - Fachrichtung Digitale Vernetzung (IH)

Die Ausbildungsordnungen der einschlägigen Berufe sind ausreichend technikoffen formuliert, so dass basierend auf der allgemeinen beruflichen Handlungsfähigkeit der Fachkräfte erwartet werden kann, dass gestellte Aufgaben grundsätzlich bewältigt werden können.

4.2.2.2 Anlagen errichten

Bei Anlagen zur Wasserstoffherzeugung, -speicherung und dem -transport handelt es sich um Stahl- und Rohrkonstruktionen zur Sicherung des Stoffflusses, verbunden mit elektrotechnischen Systemen zur Energieübertragung, entsprechenden Steuerungs- und Regelungseinrichtungen, sowie Sensorik und Aktorik zur Überwachung, gekoppelt mit Hard- und Software zum Informationsfluss. Baugruppen und Bauteile werden teils durch Zulieferer und Komponentenhersteller vorgefertigt.

Für den Anlagenbau werden breit aufgestellte Querschnittsberufe benötigt, die in vielen Wirtschaftsbereichen, sowohl im Handwerk als auch in der Industrie, ausgebildet und eingesetzt werden. Sie sind besonders technikoffen bezogen auf die zu vermittelnden Fähigkeiten, Kenntnisse und Fertigkeiten. Zusätzlich ist bezogen auf das Errichten der Anlagen und die Zuordnung der geeigneten Ausbildungsberufe eine Unterteilung nach Fertigung, Montage und Programmierung möglich (Tabelle 5)

Tabelle 3: Typische, in Frage kommende Ausbildungsberufe im Kontext des Errichtens der Anlagen

Teilprozess	Aufgabencluster	Typische, in Frage kommende Berufe
Anlagen errichten	Fertigung	Anlagenmechaniker/Anlagenmechanikerin (Industrie und Handel) Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik/Anlagenmechanikerin für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik (HW, IH) Behälter- und Apparatebauer/Behälter- und Apparatebauerin (HW) Industriemechaniker/Industriemechanikerin (Industrie und Handel) Zerspanungsmechaniker/Zerspanungsmechanikerin (Industrie und Handel) Mechatroniker/Mechatronikerin (Industrie und Handel)

		Elektroanlagenmonteur/Elektroanlagenmonteurin (Industrie und Handel) Elektroniker für Automatisierungstechnik/Elektronikerin für Automatisierungstechnik (Industrie und Handel) Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerin für Betriebstechnik (Industrie und Handel) Elektroniker für Gebäude- und Infrastruktursysteme/Elektronikerin für Gebäude- und Infrastruktursysteme (Industrie und Handel) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - FR Digitale Vernetzung (Industrie und Handel) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - FR Systemintegration (Industrie und Handel) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - FR Anwendungsentwicklung (Industrie und Handel)
	Montage	Anlagenmechaniker/Anlagenmechanikerin (IH) Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik/Anlagenmechanikerin für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik (HW, IH) Anlagenmechaniker/Anlagenmechanikerin (Industrie und Handel) Mechatroniker/Mechatronikerin (Industrie und Handel) Elektroanlagenmonteur/Elektroanlagenmonteurin (Industrie und Handel) Elektroniker für Automatisierungstechnik/Elektronikerin für Automatisierungstechnik (Industrie und Handel) Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerin für Betriebstechnik (Industrie und Handel) Elektroniker/Elektronikerin - Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik (Hw) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - FR Digitale Vernetzung (Industrie und Handel) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - FR Systemintegration (Industrie und Handel)
	Programmieren, Parametrieren	Elektroniker für Automatisierungstechnik/Elektronikerin für Automatisierungstechnik (Industrie und Handel)

		Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerin für Betriebstechnik (Industrie und Handel) Elektroniker für Gebäudesystemintegration/Elektronikerin für Gebäudesystemintegration (Hw) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - FR Digitale Vernetzung (Industrie und Handel) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - FR Systemintegration (Industrie und Handel) Mechatroniker/Mechatronikerin (Industrie und Handel)
--	--	---

Das Errichten von Anlagen zur Wasserstofferzeugung, -speicherung sowie dem -transport unterscheidet sich nicht grundsätzlich vom Bau anderer Anlagen, an denen mittlere Fachkräfte mit diesen Ausbildungsabschlüssen wirken.

Während des Errichtens sind die Anlagen noch nicht in Betrieb. Wasserstoff und damit Druck sowie Explosionsgefahr sind noch nicht im System.

Besonderheiten ergeben sich aus den Eigenschaften und Anforderungen der jeweiligen Stoffe (Fluide, Liquide, Granulate oder Gase), die in diesen Anlagen später hergestellt, transportiert und gespeichert werden. Dies betrifft auch Wasserstoff. Sie stellen besondere Anforderungen an die Werkstoffe sowie die Qualität der Komponenten und Systeme.

Die zu bewältigenden Arbeitsaufgaben stützen sich auf technische Vorgaben von Dritten. Die Ausbildungsordnungen der einschlägigen Berufe sind ausreichend technikoffen formuliert, so dass basierend auf der allgemeinen beruflichen Handlungsfähigkeit der Fachkräfte erwartet werden kann, dass gestellte Aufgaben grundsätzlich bewältigt werden.

Die in den jeweiligen Berufsprofilen und Rahmenlehrplänen ausgewiesenen Handlungsfelder sowie Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten decken den Qualifikationsbedarf für die zu erfüllenden Arbeitsaufgaben grundsätzlich ab. Mögliche Defizite können durch Lernen bei der Arbeit und ggf. durch Anpassungsfortbildung ausgeglichen werden (vgl. Ausbildungsverantwortliche, Erzeugung 01-02).

Das Ausbildungsberufsportfolio eines mittelständigen Elektrolyseurherstellers besteht z.B. aus den Ausbildungsberufen Mechatroniker/in, Medientechnologe/Medientechnologin (beginnend 2024), Fachkraft für Lagerlogistik und Produktdesigner/in. Die Ausbildung der Mechatroniker/innen erfolgt „wasserstoffunspezifisch“, teilweise im Rahmen einer Vertragsausbildung bei Bildungsdienstleistern. Unterweisungen zu Gesundheits- und Arbeitssicherheit erfolgen im Kontext der Arbeit und gemeinsam mit den Beschäftigten. Der Beruf Medientechnologe/Medientechnologin wird nach Aussage der Ausbildungsverantwortlichen als der am besten Passende zur Fertigung der Brennstoffzellenfertigung gesehen, und soll deshalb künftig zusätzlich ausgebildet werden. Für die Zukunft sind außerdem Ausbildungsprojekte geplant, die das Wasserstoffthema beinhalten und in erster Linie die Attraktivität und das Image der Ausbildung verbessern sollen. Eine inhaltliche Notwendigkeit zu einer besonderen, auf Wasserstoff ausgerichteten Ausbildung wird dagegen nicht unmittelbar gesehen. (vgl. Ausbildungsverantwortliche, Erzeugung 01-02)

Ein (Groß)Unternehmen, das eine neue Produktlinie zur Herstellung von Elektrolyseuren realisiert, bildet an einem deutschen Standort im Rahmen seiner betrieblichen Berufsausbildung traditionell mehrere Elektro- und Metallberufe sowie den Beruf Mechatroniker/in aus. Außerdem werden in dem Berufsfeld Duale Studiengänge angeboten. Die Berufsausbildung erfolgt nicht spezifisch auf die Elektrolyseurherstellung ausgerichtet. Die Übernahme der Auszubildenden auf künftige Arbeitsplätze erfolgt nach Ende der Ausbildung, die auf das gesamte Unternehmen ausgerichtet ist. Das Thema Wasserstoff wurde in die Ausbildung durch Projektarbeiten aufgenommen. In den letzten drei Jahren wurden dafür Modelle zur Elektrolyse und zur Rückverstromung aufgebaut, die demonstrieren, welche "Energieverluste" entstehen und dass der Umgang mit Wasserstoff nicht gefährlicher ist als der mit anderen Gasen. Gleichzeitig sollte die Ausbildung damit noch interessanter und attraktiver werden. Ziel war es hier, zu motivieren, auf neue Technologien und Prozesse zu orientieren und mögliche Vorurteile, die Eigenschaften von Wasserstoff betreffend, abzubauen. (Ausbilder, Erzeugung 01-07)

Schlussfolgerungen

1. Der Bau von Anlagen zur Wasserstofferzeugung, -speicherung sowie dem -transport unterscheidet sich nicht grundsätzlich vom Bau anderen Anlagen, so dass in den jeweiligen Berufsprofilen und Qualifikationsbedarfen keine Änderungen erwartet werden.
2. Besonderheiten ergeben sich aus
 - a. den Eigenschaften und Anforderungen der jeweiligen Stoffe (Fluide, Liquide oder Gase), die in diesen Anlagen später hergestellt, transportiert und gespeichert werden,
 - b. den zu beherrschenden physikalischen Größen (Temperatur, Druck, Explosionsgefahr), die allerdings erst nach Inbetriebnahme wirken.

4.2.2.3 Anlagen überprüfen und in Betrieb nehmen

Soweit es sich um Fachkräfte auf mittlerer Ebene handelt, kommen für das Überprüfen und Inbetriebnehmen insbesondere folgende „einschlägige“ Ausbildungsberufe in Frage (Tabelle 6).

Tabelle 4: Typische, in Frage kommende Ausbildungsberufe im Kontext der technischen Überprüfung und Inbetriebnahme

Teilprozess	Aufgabencluster	Typische, in Frage kommende Berufe
Anlagen überprüfen und in Betrieb nehmen	Überprüfen	Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik/Anlagenmechanikerin für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik (Hw, IH) Anlagenmechaniker/Anlagenmechanikerin (IH) Industriemechaniker/Industriemechanikerin (IH) Mechatroniker/Mechatronikerin (IH) Produktionstechnologe/Produktionstechnologin (IH) Elektroanlagenmonteur/Elektroanlagenmonteurin (IH)

		Elektroniker für Automatisierungstechnik/Elektronikerin für Automatisierungstechnik (IH) Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerin für Betriebstechnik (IH) Elektroniker für Gebäude- und Infrastruktursysteme/Elektronikerin für Gebäude- und Infrastruktursysteme (IH)
	Programmieren, Parametrieren und in Betrieb nehmen	Elektroniker für Automatisierungstechnik/Elektronikerin für Automatisierungstechnik (IH) Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerin für Betriebstechnik (IH) Elektroniker für Gebäude- und Infrastruktursysteme/Elektronikerin für Gebäude- und Infrastruktursysteme (IH) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - Fachrichtung Anwendungsentwicklung (IH) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - Fachrichtung Digitale Vernetzung (IH) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - Fachrichtung Systemintegration (IH) Mechatroniker/Mechatronikerin (IH)

Exemplarisch dafür, wie Inhaber einzelner Ausbildungsberufe für Teilaufgaben geeignet und die notwendigen Qualifikationen dafür in den Ausbildungsordnungen durch technikoffene Formulierungen verankert sind, wird diese nachfolgend an drei Ausbildungsberufen verdeutlicht (Tabelle 7, Tabelle 8, Tabelle 9).

Tabelle 5: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf

Produktionstechnologe/Produktionstechnologin (vgl. (BMW (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ) 2008; BMWi 2018b)

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
3.1	Ermitteln, Testen und Einstellen von Prozessparametern (§ 3 Abs. 2 Abschnitt A Nr. 3.1)	a) Produkte im Hinblick auf Produktionsprozesse analysieren b) Produktionsverfahren, Prozessschritte, Produktionsanlagen, Werkzeuge, Spannmittel, Vorrichtungen, Arbeitsstoffe und Fertigungsparameter auswählen c) Testreihen fahren, Prozessparameter anpassen, Ergebnisse dokumentieren sowie zur Erstellung und Optimierung von Prozessvorschriften nutzen

		d) Prüfverfahren und -mittel auswählen, Messungen und Prüfungen planen, Anweisungen zur Probennahme sowie Prüfpläne erstellen
--	--	---

Tabelle 6: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Mechatroniker/in (vgl. (BMWl 2018b))

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
20	Inbetriebnehmen und Bedienen mechatronischer Systeme (§ 3 Absatz 2 Nummer 20)	a) Schutz gegen direktes Berühren prüfen b) Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen, insbesondere Fehlerstromschutzeinrichtungen, prüfen, Isolations-, Erdungs- und Schleifenwiderstände messen c) mechanische und elektrische Sicherheitsvorrichtungen, insbesondere NOT-AUS-Schalter, sowie Meldesysteme auf ihre Wirksamkeit prüfen d) Hilfs- und Steuerstromkreise einschließlich zugehöriger Signal- und Befehlsgeber für Mess-, Steuer- und Überwachungseinrichtungen prüfen und in Betrieb nehmen e) Hauptstromkreise prüfen und schrittweise in Betrieb nehmen, Betriebswerte messen, Sollwerte einstellen f) Fluidikeinrichtungen in Betrieb nehmen g) Beweglichkeit, Dichtheit, Laufruhe, Umdrehungsfrequenz, Druck, Temperatur und Verfahrswege prüfen und einstellen h) Befestigung, Energieversorgung, Schmierung, Kühlung und Entsorgung prüfen und sicherstellen i) Programme und Daten laden und sichern, Programmablauf prüfen und anpassen j) Signalübertragungssysteme, insbesondere Feldbusse, prüfen und in Betrieb nehmen k) mechatronische Systeme in Betrieb nehmen, Funktionsprüfung durchführen l) Schutzmaßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit prüfen m) Systemparameter bei der Inbetriebnahme ermitteln, mit vorgegebenen Werten vergleichen und einstellen n) Maschinen und Systeme bedienen, Probelauf bei Nenn- und Grenzwerten durchführen

Tabelle 7: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Industriemechaniker/in (vgl. (BMW 2018d)

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
14	Sicherstellen der Betriebsfähigkeit von technischen Systemen (§ 11 Abs. 1 Nr. 14)	a) Störungen an Maschinen und Systemen unter Beachtung der Schnittstellen feststellen und Fehler eingrenzen b) Störungs- und Fehlerursachen feststellen, die Möglichkeiten ihrer Beseitigung beurteilen und die Instandsetzung oder Verbesserung durchführen oder veranlassen c) Anlagen und Systeme inspizieren, Betriebsbereitschaft sicherstellen d) Funktionsfähigkeit von Maschinen und Systemen durch Steuern, Regeln und Überwachen der Arbeitsbewegungen und deren Hilfsfunktionen sicherstellen oder verbessern e) Schutz- und Sicherheitseinrichtungen anwenden und deren Funktion prüfen

Die Beispiele demonstrieren, dass in den Ausbildungsordnungen technikkoffen die entsprechend notwendigen Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten beschrieben sind, die in der Ausbildung bezogen auf betriebliche Bedarfe zur Inbetriebnahme von Anlagen – vollständig oder auf Teilaspekte begrenzt – umgesetzt werden.

Die berufsfachlichen Anforderungen sind damit, im Sinne einer Vor-Voraussetzung, erfüllt.

Ein Elektrolyseurhersteller A mit derzeit ca. 600 Mitarbeitern fertigt vornehmlich Prototypen und greift dabei, die Fertigungstiefe betreffend, auf eine Reihe von Zulieferern zurück. Arbeitsplätze für Inbetriebnehmer, gemeint sind Mitarbeitende die die Elektrolyseure bei Kunden aufbauen und ggf. gemeinsam mit Dritten in Betrieb nehmen, werden durch Berufserfahrene besetzt und im Rahmen von Stellenanzeigen an insbesondere an Techniker/innen adressiert.

In der chemischen Industrie wird auf die Erfahrung aus der Nutzung von grauem Wasserstoff zurückgegriffen. Der Berufsbildungsverantwortliche erklärt dazu: „Verglichen mit den konventionellen Wasserstofferzeugern (partielle Verbrennung, Steamreforming) liefert so eine Anlage eher kleinere Mengen an Wasserstoff. Ich hatte auch deutlich gemacht, dass das dann nur eine andere Quelle ist, die in das Leitungssystem einspeist. An den Beruflichkeiten ändert sich nichts.“

Ein technisch verantwortlicher Mitarbeiter eines großen Chemieunternehmens illustriert mit folgender Aussage sowohl die quantitativen als auch die qualitativen Anforderungen: „Unsere Kollegen von XXX⁶ planen die Anlage und bauen diese bis zur Abnahme auf. Anlagenbau ist das Kerngeschäft von XXX. Danach wird die Anlage an die YYY übergeben und

⁶ Aus Datenschutzgründen wurde das Zitat hier anonymisiert.

von ihr betrieben. Einer unserer Elektriker vom Wasserstoff-Steamreformer hat gewechselt und die Anlage übernommen, wurde auf die Anlage eingewiesen und geschult. Mir ist nicht bekannt, dass wir spezielle Ausbildungsgänge für die Elektrolyseure haben. Wichtig sind Ausbildungen in Verfahrenstechnik und Elektrik und dann entsprechende Schulungen in den zu übernehmenden Bereichen.“

Abgeleitete Schlussfolgerungen:

1. Als Ausgangsberufe steht für das Überprüfen und Inbetriebnehmen von Wasserstofferzeugungsanlagen eine Reihe von Ausbildungsberufen zur Verfügung, die die Vor-Voraussetzungen für das Überprüfen und Inbetriebnehmen der Wasserstofferzeugungsanlagen erfüllen.
2. Die „einschlägigen“ Ausbildungsordnungen sind genügend aktuell und bedürfen keiner Änderung.
3. Neben Fertigkeiten, Kenntnissen und Fähigkeiten ist hier auch Berufserfahrung gefragt und wichtig.

4.2.2.4 Anlagen betreiben

Die Wasserstofferzeugung ist ein automatisierter kontinuierlicher, elektrochemischer Prozess, der von einem Leitstand aus bzw. über Distanz gefahren und überwacht wird. Dabei kommen unterschiedliche Technologien und Anlagen zum Einsatz, die teilweise unmittelbar mit der Weiterverarbeitung des gewonnenen Wasserstoffs zu z.B. Ammoniak gekoppelt sind. Es kann sich auch um kleine dezentrale Anlagen handeln, die ohne ständiges Personal vor Ort auskommen und im Remote-Modus gefahren werden. Der Personalaufwand ist eher gering.

Auszug aus einer Antwort-E-Mail zu einer Interviewanfrage: ...der Betrieb unserer Anlage soll i.W. vollautomatisch aus der Ferne ablaufen. Einfache Servicetätigkeiten werden von einem benachbarten Betrieb übernommen. Komplexe Servicetätigkeiten durch die jeweiligen Lieferanten. Die [Anlage] hat derzeit nur eine Geschäftsführung, kein weiteres eigenes Personal. Ein Betriebsleiter wäre in der Anfangsphase ggf. wünschenswert, dies wäre jedoch langfristig kein Vollzeitjob und vom Profil her ein Ingenieur (z.B. Elektrotechnik/Verfahrenstechnik) mit Betriebserfahrung. (RE-Personaleinsatz und Qualifizierung-04)

Allgemein müssen Fachkräfte bei Betreiben der Anlage entlang der Prozesskette Abläufe überwachen, steuern und dokumentieren. (Der Operator, der durch die Anlage läuft, was er ein- oder zweimal am Tag macht, der hört sich hier irgendwas Ungewöhnliches an, zischt irgendwas, rappelt eine Pumpe, (...)) das ist schon von Vorteil und sehr wichtig, dass das passiert. (Interview Erzeugung 01-03) Ausbildungsberufe, die dafür besonders geeignet sind, werden nachfolgend aufgeführt (Tabelle 10).

Tabelle 8: Ausbildungsberufe im Kontext Wasserstofferzeugung.

Teilprozess	Aufgabencluster	Berufe
Anlagen betreiben	Technische Prozessüberwachung, Prozesssteuerung und -regelung	Chemikant/Chemikantin (Industrie und Handel) Produktionsfachkraft Chemie (Industrie und Handel)

Grundsätzlich notwendige Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten sind als Ankerbegriffe in den Ausbildungsordnungen für den Ausbildungsberuf Chemikant/in (Tabelle 11) und Produktionsfachkraft Chemie enthalten, was folgende Auszüge exemplarisch aufzeigt.

Tabelle 9: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Chemikant/in (vgl. (BMWl 2009).

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
I 3.2 ⁷	Anlagensicherheit (§ 4 Absatz 2 Abschnitt I Nummer 3.2)	Exzonen, Zündschutzarten und Temperaturklassen beachten Einrichtungen zur Anlagensicherheit unterscheiden und beachten bei Störungen betriebsspezifische Maßnahmen einleiten
I.10	Betreiben von Produktionsanlagen (§ 4 Absatz 2 Abschnitt I Nummer 10)	Produktionsprozesse einschließlich der Ver- und Entsorgung und unter Berücksichtigung von Umweltschutzmaßnahmen beschreiben Anlagen oder Teilanlagen anfahren und abfahren und im Rahmen der Betriebsanweisung fahren
II.1	Produktionsverfahren (§ 4 Absatz 2 Abschnitt II Nummer 1)	bei der Planung von Produktionsprozessen mitwirken anorganische, organische, polymere oder bio- und gentechnische Produkte unter Berücksichtigung des Reaktionsverhaltens sowie gesetzlicher und betrieblicher Vorgaben herstellen Inprozess-Kontrolle durchführen Produkte prüfen
II.2	Verarbeitungstechnik (§ 4 Absatz 2 Abschnitt II Nummer 2)	bei der Planung von Verarbeitungsprozessen mitwirken Anlagen und Teilanlagen zur Verarbeitung von Stoffen in Betrieb nehmen und nach Betriebsanweisung fahren vorbeugende Wartung durchführen; bei Störungen Maßnahmen ergreifen Verarbeitungsprozesse dokumentieren und Qualitätskontrollen durchführen

Tabelle 10: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Produktionsfachkraft Chemie (vgl. (BMWA 2005)

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
----------	----------------------------------	--

⁷ Gleichlautend auch für den Beruf [Produktionsfachkraft Chemie \(Industrie und Handel\)](#).

10	Bedienen von Anlagen (§ 5 Nr. 10)	a) Einsatz- und Hilfsstoffe übernehmen und bereitstellen, Wareneingangskontrollen durchführen b) Betriebsbereitschaft von Anlagen sicherstellen c) Anlagen oder Teilanlagen an- und abfahren d) Anlagen oder Teilanlagen gemäß Betriebsanweisung bedienen und überwachen
----	-----------------------------------	---

Beispiel aus Interviews und Fallbeispielen: Betreiben von Elektrolyseuren und Wasserstofferzeugungsanlagen

Ein Elektrolyseurhersteller A mit derzeit ca. 600 Mitarbeitern fertigt vornehmlich Prototypen und greift dabei, die Fertigungstiefe betreffend, auf eine Reihe von Zulieferern zurück.

Abgeleitete Schlussfolgerungen:

1. Das Betreiben von Anlagen zur Wasserstofferzeugung, -speicherung sowie dem -transport kann grundsätzlich mit vorhandenen Ausbildungsberufen gesichert werden.
2. Aus den zu erfüllenden Arbeitsaufgaben werden nur begrenzte Änderungen im Hinblick auf Qualifikationsbedarfe, die sich aus den Anforderungen des Arbeitens als „fachkundige“ Person ergeben, erwartet.
3. Notwendigkeiten für die Anpassungen der Ausbildungsordnungen werden hier nicht erkannt.

4.2.2.5 Anlagen überwachen

Unabhängig von der Anlagengröße ist das Aufrechterhalten der Sicherheit und die Absicherung der Anlagen zur Wasserstofferzeugung, -speicherung und zum Wasserstofftransport vor äußeren Störungen und Gefährdungen zunächst eine Teilaufgabe aller an den Anlagen zur Wasserstofferzeugung arbeitenden Fachkräften.

Weiterführende Maßnahmen (Gefahrenabwehr, und Gefahrenvorbeugung) unterliegen speziell qualifizierten Fachkräften. Einerseits betrifft das die reale Gefährdung durch äußere Angriffe, andererseits die virtuelle Gefährdung, z.B. durch Cyberangriffe.

Drei Ausbildungsberufe sind hier von besonderer Bedeutung (Tabelle 13).

Tabelle 11: Ausbildungsberufe im Kontext der Überwachung der Anlagen

Teilprozess	Aufgabencluster	Berufe
Anlagen überwachen	Überwachen der Sicherheit der Anlagen im Rahmen des Regelbetriebs, Störungen und Havarien vermeiden, bei Störfällen handeln IT-Sicherheit und Cyberabwehr Gefahren abwehren und vorbeugen (vorbeugender Brandschutz)	Fachinformatiker/Fachinformatikerin - FR Digitale Vernetzung (Industrie und Handel) Fachkraft für Schutz und Sicherheit (IH) Werkfeuerwehrmann/Werkfeuerwehrfrau (Industrie und Handel)

	Sicherheit überwachen	
--	-----------------------	--

Bezogen auf deren Handeln im Umgang mit Anlagen zur Wasserstofferzeugung geben die Ausbildungsordnungen nur einen generellen Rahmen. Regelungen zu Spezialisierungen und Fortbildungen konnten hier nur sehr begrenzt identifiziert werden.

Für Werkfeuerwehrleute liegt ein Leitfaden im Umgang mit Wasserstoff vor (vgl. (AGBF 2008).

Der Verband der Sicherheitswirtschaft ist aktuell daran interessiert, Regulierungen für die Qualifizierung der Mitarbeiter der Sicherheitsdienste für das Arbeiten in sicherheitsrelevanten Bereichen wie der Wasserstofferzeugung zu schaffen, die dann im Rahmen der Fortbildung erworben werden.⁸ Als mögliche Blaupause werden Anforderungen an den Objektsicherungsdienst in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen verstanden (BMU 2008).

Der im Jahr 2020 neugeordnete Ausbildungsberuf Fachinformatiker/in, beinhaltet insbesondere in der Fachrichtung Digitale Vernetzung, das „Sicherstellen der Systemverfügbarkeit“ (Tabelle 14).

Tabelle 12: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Fachinformatiker/in Fachrichtung Digitale Vernetzung (vgl. (BMWl 2020)

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
3	Betreiben von vernetzten Systemen und Sicherstellung der Systemverfügbarkeit (§ 4 Absatz 6 Nummer 3)	a) Systemauslastung überwachen und Systemstatus dokumentieren b) Systemdaten erfassen und im Hinblick auf Vorgabeparameter auswerten und Systemstörungen feststellen und beheben c) Daten auswerten, um Wartungsintervalle und Prozessabläufe zu optimieren d) System-, Diagnose- und Prozessdaten auswerten, Schwachstellen identifizieren und Maßnahmen ableiten e) Angriffsszenarien in cyber-physischen Systemen unterscheiden und antizipieren f) Anomalien in vernetzten Systemen feststellen und Schutzmaßnahmen einleiten g) bereichsspezifische Sicherheitslösungen implementieren h) Systemaktualisierungen vornehmen und Optimierungen vorschlagen

Abgeleitete Schlussfolgerungen:

⁸ Telefonat mit dem Verband vom Sept. 2022 (Zinke).

1. Das Überwachen von Anlagen zur Wasserstofferzeugung, -speicherung sowie dem -transport kann grundsätzlich mit vorhandenen Berufsprofilen gesichert werden.
2. Aus den zu erfüllenden Arbeitsaufgaben werden keine grundsätzlichen Änderungen im Hinblick auf Qualifikationsbedarfe der Ausbildungsberufe erwartet.
3. Spezielle Fortbildungen für die Fachkräfte liegen in der Verantwortung der Arbeitgeber.

4.2.2.6 Anlagen instandhalten

Weitere Arbeitsaufgaben ergeben sich bei der regelmäßigen Revision, der Wartung, Instandhaltung und dem Ändern von Anlagen. Für den Einsatz dafür eignen sich folgende in der Tabelle enthaltenen Ausbildungsberufe, die (Teil)aufgaben übernehmen können (Tabelle 15).

Tabelle 13: Ausbildungsberufe im Kontext der Instandhaltung

Teilprozess	Aufgabencluster	Berufe
Anlagen instandhalten	Regelmäßige Revisionen durchführen, Parameter überprüfen, Störungen und Havarien beheben, Anlagen ändern und erweitern	Chemikant/Chemikantin (Industrie und Handel) Industriemechaniker/Industriemechanikerin (Industrie und Handel) Anlagenmechaniker/Anlagenmechanikerin (Industrie und Handel) Mechatroniker/Mechatronikerin (Industrie und Handel) Elektroanlagenmonteur/Elektroanlagenmonteurin (Industrie und Handel) Elektroniker für Automatisierungstechnik/Elektronikerin für Automatisierungstechnik (Industrie und Handel) Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerin für Betriebstechnik (Industrie und Handel) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - FR Digitale Vernetzung (Industrie und Handel)

Beispielgebend für technikoffen formulierte Inhalte in den Ausbildungsordnungen der Berufe zur Instandhaltung sind nachfolgend aufgeführte Auszüge aus den drei Ausbildungsordnungen der Berufe Anlagenmechaniker/in (Tabelle 16), Chemikant/in (Tabelle 17) und Mechatroniker/in (Tabelle 18).

Tabelle 14: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Anlagenmechaniker/in (vgl. (BMW 2018c))

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
16	Instandhaltung; Feststellen, Eingrenzen und Beheben von	a) Anlagen oder Anlagenteile inspizieren, Fehler, Beschädigungen und Störungen feststellen und eingrenzen

	Fehlern und Störungen (§ 7 Absatz 1 Nummer 16)	b) Vorbereitungsmaßnahmen zur Instandhaltung von Anlagenteilen unter Berücksichtigung verfahrens- und sicherheitstechnischer Vorschriften durchführen c) Bauteile auf Verschleiß und Beschädigungen sichten d) Anlagenteile oder Versorgungseinrichtungen unter Beachtung sicherheits- und verfahrenstechnischer Vorschriften außer Betrieb setzen e) Anlagen oder Anlagenteile warten f) Anlagen oder Anlagenteile instandsetzen g) Inspektionsbefunde und Instandhaltungsmaßnahmen dokumentieren
--	--	---

Tabelle 15: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Chemikant/in, die Instandhaltung betreffend (vgl. (BMWl 2009).

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
I.12	Instandhaltung von Produktionseinrichtungen (§ 4 Absatz 2 Abschnitt I Nummer 12)	a) Produktionseinrichtungen zur Reparatur und Wartung unter Beachtung sicherheitstechnischer Vorschriften und verfahrenstechnischer Bedingungen in und außer Betrieb nehmen b) Baugruppen und Bauteile unter Beachtung bauteilspezifischer Montagebedingungen austauschen c) Baugruppen und Bauteile sichern und transportieren d) vorbeugende Instandhaltung von Produktionseinrichtungen durchführen und dokumentieren

Tabelle 16: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Mechatroniker/in (vgl. (BMWl 2018a)

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
21	Instandhalten mechatronischer Systeme (§ 3 Absatz 2 Nummer 21)	a) mechatronische Systeme inspizieren, Funktionen von Sicherheitseinrichtungen prüfen sowie Prüfungen protokollieren b) mechatronische Systeme nach Wartungs- und Instandhaltungsplänen warten, Verschleißteile im Rahmen der vorbeugenden Instandhaltung austauschen c) Geräte und Baugruppen unter Beachtung ihrer Funktion ausbauen und Teile hinsichtlich Lage und Funktionszuordnung kennzeichnen d) Störungen durch Nacharbeiten und Austausch von Teilen und Baugruppen beseitigen

		e) Softwarefehler beheben f) Systemparameter mit vorgegebenen Werten vergleichen und einstellen g) mechatronische Systeme unter Beachtung der betrieblichen Abläufe instandsetzen h) mechatronische Systeme an geänderte Betriebsbedingungen anpassen i) Diagnose- und Wartungssysteme nutzen
--	--	---

Die drei Beispiele verdeutlichen, dass abhängig vom Ausbildungsberuf die Perspektive auf den Instandhaltungsprozess eine andere ist. Gleichwohl ist in allen Fällen die umfassende Grundbefähigung zu entsprechenden Aufgabenstellungen gegeben.

Abgeleitete Schlussfolgerungen:

1. Das Instandhalten von Anlagen zur Wasserstoffherzeugung, -speicherung sowie dem -transport kann grundsätzlich mit vorhandenen Berufsprofilen gesichert werden.
2. Aus den zu erfüllenden Arbeitsaufgaben werden keine grundsätzlichen Änderungen im Hinblick auf Qualifikationsbedarfe erwartet.
3. Besonderheiten ergeben sich aus
 - a. den Eigenschaften und Anforderungen der jeweiligen Stoffe (Fluide, Liquide, oder Gase), die in diesen Anlagen hergestellt, transportiert und gespeichert werden,
 - b. den zu beherrschenden physikalischen Größen (Temperatur, Druck).

5 Ergebnisse zu (zusätzlichen) Qualifikationsbedarfen eingesetzter Fachkräfte

5.1 Anlagenmerkmale und Qualifikationsbedarfe eingesetzter Fachkräfte

Anlagen zur Herstellung, Verwendung, Verarbeitung, der Speicherung und dem Transport von Wasserstoff sind überwachungsbedürftige Anlagen. ([Betriebssicherheitsverordnung \(BetrSichV\)](#), (DEUTSCHER BUNDESTAG 2015), Anhang 2 Abschnitte 3 und 4). Es handelt sich sowohl um Druckanlagen als auch um Anlagen mit Explosionsgefährdungen. Abhängig von Leistungsmerkmalen können Wasserstoffherzeugungsanlagen zur kritischen Infrastruktur (KRITIS) gehören.

5.1.1 Explosionsgefährdungen

Für Anlagen, die Explosionsgefährdungen implizieren, sind regelmäßige Prüfungen notwendig. Dies betrifft: Prüfungen von Arbeitsmitteln sowie Prüfungen der Maßnahmen in explosionsgefährdeten Bereichen nach § 2 Absatz 14 der Gefahrstoffverordnung (BUNDESTAG 2010). Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen sind vor Inbetriebnahme, nach prüfpflichtigen Änderungen und nach Instandsetzungen sowie mindestens alle sechs Jahre wiederkehrend durch zur Prüfung befähigte Personen zu überprüfen (DEUTSCHER BUNDESTAG 2015).

Die Prüfungen sind mit dem Ziel durchzuführen, den Schutz vor Gefährdungen durch Explosionen und Brände mindestens bis zur nächsten Prüfung sicherzustellen. Bei den Prüfungen sind auch die Eignung und die Funktionsfähigkeit der technischen Schutzmaßnahmen festzustellen, die nach dieser Verordnung und der Gefahrstoffverordnung getroffen wurden. Bei den Prüfungen nach diesem Abschnitt sollen gleichwertige Ergebnisse von Prüfungen nach anderen Rechtsvorschriften des Bundes und der Länder berücksichtigt werden (vgl. (DEUTSCHER BUNDESTAG 2015)).

5.1.2 Druckanlagen

Wasserstoffherzeugungsanlagen, sowie Anlagen zur Speicherung und dem Transport von Wasserstoff entsprechen gemäß der Betriebssicherheitsverordnung Druckanlagen. (DEUTSCHER BUNDESTAG 2015)). Sie gehören demnach zu überwachungsbedürftigen Anlagen. Druckanlagen und Anlagenteile müssen vor der erstmaligen Inbetriebnahme und nach prüfpflichtigen Änderungen sowie für wiederkehrende Prüfungen einer Prüfung unterzogen werden (vgl. (DEUTSCHER BUNDESTAG 2015)).

Für die technische Überprüfung von Druckanlagen liegt die Verantwortung beim Arbeitgeber, sofern es sich nicht um Energieanlagen handelt (vgl. (DEUTSCHER BUNDESTAG 2015)). Sie erfolgt bei Inbetriebnahme, bei Wiederinbetriebnahme nach prüfpflichtigen Änderungen (vgl. (DEUTSCHER BUNDESTAG 2015)) sowie als wiederkehrende Prüfung nach festgelegte Fristen entsprechend geltender Vorgaben durch zur Überprüfung befähigte Personen oder eine zugelassene Überwachungsstelle (DEUTSCHER BUNDESTAG 2015)).

5.1.3 Kritische Infrastruktur

Anlagen zur Wasserstoffherzeugung, -speicherung und dem Transport sind außerdem im weiteren Sinne Anlagen, die dem Energiesektor zugerechnet werden können. Sie dienen der Strom- und/oder Gasversorgung. Grundsätzlich gehören Energieanlagen ab einem bestimmten Schwellenwert zur kritischen Infrastruktur (KRITIS, (BUNDESTAG 2009)).

5.2 Übersicht geltender Gesetze und Regeln

Mit der folgenden Übersicht werden die wichtigsten Gesetze und Regeln nach Gültigkeitsbereich und Inhalt geordnet, dargestellt (Tabelle 19).

Tabelle 17: Übersicht geltender Gesetze und Regeln

Sammelbegriff	Charakter	Inhalt
Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) (DEUTSCHER BUNDESTAG 2015)	Bundesrecht	Regeln zur Sicherheit und den Schutz der Gesundheit von Beschäftigten bei der Verwendung von Arbeitsmitteln, insbesondere erreicht werden durch die Auswahl geeigneter Arbeitsmittel und deren sichere Verwendung, die für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignete Gestaltung von Arbeits- und Fertigungsverfahren sowie die Qualifikation und Unterweisung der Beschäftigten insbesondere, die (5) Fachkundig ist, wer zur Ausübung einer in dieser Verordnung bestimmten Aufgabe über die erforderlichen Fachkenntnisse verfügt. Die Anforderungen an die Fachkunde sind abhängig von der jeweiligen Art der Aufgabe. Zu den Anforderungen zählen eine entsprechende

Sammelbegriff	Charakter	Inhalt
		Berufsausbildung, Berufserfahrung oder eine zeitnah ausgeübte entsprechende berufliche Tätigkeit. Die Fachkenntnisse sind durch Teilnahme an Schulungen auf aktuellem Stand zu halten. (6) Zur Prüfung befähigte Person ist eine Person, die durch ihre Berufsausbildung, ihre Berufserfahrung und ihre zeitnahe berufliche Tätigkeit über die erforderlichen Kenntnisse zur Prüfung von Arbeitsmitteln verfügt; soweit hinsichtlich der Prüfung von Arbeitsmitteln in den Anhängen 2 und 3 weitergehende Anforderungen festgelegt sind, sind diese zu erfüllen. Rolle und Funktion zugelassener Überwachungsstellen (ZÜS) (vgl. Anlage 1, Abschnitt 1)
TRBS, (BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES 2018), Technische Regeln für Betriebssicherheit Gefährdungsbeurteilung	Bundesrecht; Bundesministerium für Arbeit und Soziales	Regeln zur Sicherheit und den Schutz der Gesundheit von Beschäftigten bei der Verwendung von Arbeitsmitteln sowie den Schutz anderer Personen im Gefahrenbereich überwachungsbedürftiger Anlagen
TRBS 1201 (BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES 2019a)	Bundesrecht; Bundesministerium für Arbeit und Soziales	konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs die Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung, u.a. und im Besonderen die Verfahrensweise zur Bestimmung der mit der Prüfung zu beauftragenden Person oder zugelassenen Überwachungsstelle (ZÜS)
TRBS 1203 (BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES 2019b)	Bundesrecht; Bundesministerium für Arbeit und Soziales	Anforderungen an die Befähigung einer zur Prüfung befähigten Person entsprechend § 2 Absatz 6 BetrSichV.
DGUV Vorschriften (BERUFGENOSSENSCHAFT HOLZ UND METALL 2022)	Autonomes Recht, Berufsgenossenschaften und Unfallkassen (Unfallversicherungsträger, UVT), rechtsverbindlich nach SGB VII	Schutzziele für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit sowie branchen- oder verfahrensspezifische Forderungen an die Sicherheit und den Gesundheitsschutz Unterscheiden DGUV-Regeln und Vorschriften
Unfallverhütungsvorschriften	Berufsgenossenschaften	Maßnahmen zur Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren oder für eine wirksame Erste Hilfe
Gefahrstoffverordnung	Bundesrecht	Menschen und die Umwelt vor stoffbedingten Schädigungen zu schützen durch

Sammelbegriff	Charakter	Inhalt
(BUNDESTAG 2010)		Regelungen zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung gefährlicher Stoffe und Gemische, Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten und anderer Personen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen und Beschränkungen für das Herstellen und Verwenden bestimmter gefährlicher Stoffe, Gemische und Erzeugnisse.
Gesetz über Überwachungsbedürftige Anlagen (DEUTSCHER BUNDESTAG 2021)	Bundesrecht/ Länderrecht	Bei Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten und anderer Personen gewährleisten, die sich im Gefahrenbereich einer solchen Anlage befinden Überwachungsstellen werden durch Zulassungsbehörden der Länder zugelassen (ZÜS). Anforderungen an die mit Prüfungen von überwachungsbedürftigen Anlagen beauftragten Personen
Gesetz über das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI-Gesetz - BSIG)	Bundesrecht	Definition Kritischer Infrastruktur (KRITIS) Schutzziele und Maßnahmen zur Abwehr

Von diesen Rechtsgrundlagen ausgehend, ergibt sich, dass für das Arbeiten an Wasserstoffherstellungsanlagen einschlägige Gesetze und Normen zu berücksichtigen sind. Sie legen fest, dass über eine in der Regel abgeschlossene, einschlägige Berufsausbildung hinaus weitere notwendige Anforderungen an die Qualifikation der Fachkräfte gelten. Erneut können dabei Anforderungsmerkmale an die Fachkräfte nach Teilprozessen unterschieden werden, wie das Überprüfen und Inbetriebnehmen, das Betreiben, das Überwachen und das Instandhalten der Anlagen.

5.3 Typische Rollen von Fachkräften und Qualifikationsbedarfe

Fachkräfte übernehmen entsprechend den o.g. Rechtsnormen beim Arbeiten an Anlagen zur Herstellung, Verwendung, Verarbeitung, Speicherung und dem Transport von Wasserstoff unterschiedliche Rollen:

Sie arbeiten als

1. fachkundige Personen,
2. fachkundig, unterwiesene und beauftragte Personen,
3. Sicherheitsfachkräfte,
4. zur Prüfung befähigte Personen,
5. zugelassene Überwachungsstellen (ZÜS) und die mit Prüfungen von überwachungsbedürftigen Anlagen beauftragte Personen.

Auf Grundlage der Betriebssicherheitsverordnung kann dies auf Teilprozesse fokussiert werden (Tabelle 20).

Tabelle 18: Teilprozesse und Funktionsaufgaben

Funktionen / Teilprozess	Fachkundige Personen	fachkundig, unterwiesene und beauftragte Personen	Sicherheits- fachkräfte	zur Prüfung befähigte Personen	Zugelassene Überwachungsstellen (ZÜS) und die mit Prüfungen von überwachungsbedürftigen Anlagen beauftragten Personen
Planen und Entwickeln					
Errichten			x		
(technisches) Überprüfen und Inbetriebnehmen			(x)	x	x
Betreiben	x		x		
Überwachen (Sicherheit gewährleisten, Störungen vermeiden, Havarien bewältigen)			x		
Instandhalten		x	x		

(Im Rahmen der Mitarbeit des Autors in der Normungsroadmap Wasserstoff in der Arbeitsgruppe 5.3 ([Arbeitskreise \(din.de\)](#)) wurden von den Mitgliedern übereinstimmend in dieser Rollenvielfalt Unschärfen in der Abgrenzung erkannt. Eingebracht wurde deshalb der Vorschlag „ein universelles Sicherheits-Curriculum „Wasserstoff“ zu entwickeln und auch international zu verankern.“ Angesichts der Gremien- und Zuständigkeitsvielfalt wird das kaum zu realisieren sein.)

Einer der fünf im Rahmen des Projekts publizierten Factsheets fasst die Ergebnisse zum Qualifikationsbedarf bei der Wasserstofferzeugung zusammen ([Factsheet 12/22: Sektor Wasserstofferzeugung](#)). In der ersten, im Projekt durchgeführten Fachtagung war dies Thema eines [Workshops](#), gemeinsam veranstaltet mit dem zuständigen Experten der Berufsgenossenschaft BGETEM (Energie, Textil, Elektro, Medienerzeugnisse).

Die folgende Übersicht beinhaltet die Qualifikationsanforderungen nach Funktion/Rolle.

Übersicht 1: Anforderungen an die Qualifikation der Fachkräfte nach Funktion/Rolle

Fachkundige Personen

Für das Betreiben von Anlagen zur Wasserstofferzeugung sind fachkundige Personen einzusetzen. Die Verantwortung dafür liegt beim Arbeitgeber.

„Fachkundig ist, wer zur Ausübung einer in dieser Verordnung bestimmten Aufgabe über die erforderlichen Fachkenntnisse verfügt. Die Anforderungen an die Fachkunde sind abhängig von der jeweiligen Art der Aufgabe. Zu den Anforderungen zählen eine entsprechende Berufsausbildung, Berufserfahrung oder eine zeitnah ausgeübte entsprechende berufliche Tätigkeit. Die Fachkenntnisse sind durch Teilnahme an Schulungen auf aktuellem Stand zu halten.“ (*Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)*, (*DEUTSCHER BUNDESTAG 2015*))

Fachkundige, beauftragte und unterwiesene Personen

Instandhaltungsmaßnahmen dürfen lt. *Betriebssicherheitsverordnung* nur von fachkundigen, beauftragten und unterwiesenen Beschäftigten oder von sonstigen für die Durchführung der Instandhaltungsarbeiten geeigneten Auftragnehmern mit vergleichbarer Qualifikation durchgeführt werden.

Die zusätzlichen Attribute „beauftragte und unterwiesene“ Person geben Hinweis darauf, dass Instandhaltungsmaßnahmen auf Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden. Der Arbeitgeber ist dafür in besonderer Weise verantwortlich, deshalb muss er fachkundige Personen für diese Aufgaben unterweisen und beauftragen (vgl. *Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)*, §10 Absatz 2 (*DEUTSCHER BUNDESTAG 2015*)).

Zur Prüfung befähigte Personen

Eine „zur Prüfung befähigte Person ist eine Person, die durch ihre Berufsausbildung, ihre Berufserfahrung und ihre zeitnahe berufliche Tätigkeit über die erforderlichen Kenntnisse zur Prüfung von Arbeitsmitteln verfügt“ (*Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)*, (*DEUTSCHER BUNDESTAG 2015*)).

Speziell für das Prüfen von Druckanlagen und explosionsgefährdeten Anlagen werden im *Betriebssicherheitsgesetz* konkretere Anforderungen festgelegt.

Zur Prüfung von Explosionsgefährdungen befähigte Personen

Eine zur Prüfung von Explosionsgefährdungen befähigte Person muss darüber hinaus

- a) über eine einschlägige technische Berufsausbildung oder eine andere für die vorgesehenen Prüfungsaufgaben ausreichende technische Qualifikation verfügen,
- b) über eine mindestens einjährige Erfahrung mit der Herstellung, dem Zusammenbau, dem Betrieb oder der Instandhaltung der zu prüfenden Anlagen oder Anlagenkomponenten im Sinne dieses Abschnitts verfügen und
- c) ihre Kenntnisse über Explosionsgefährdungen durch Teilnahme an Schulungen oder Unterweisungen auf aktuellem Stand halten (*Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)*, Anlage 2 Abschnitt 3 (*DEUTSCHER BUNDESTAG 2015*)).

Der Gesetzgeber schreibt in bestimmten Fällen vor, dass zur Prüfung von Explosionsgefährdungen befähigte Personen für die Durchführung von entsprechenden Prüfungen über eine behördliche Anerkennung verfügen müssen. Die Anerkennung ist zu erteilen, wenn die zur Prüfung befähigten Personen über die für die Prüfaufgabe erforderliche Qualifikation und Zuverlässigkeit sowie die notwendigen Prüfeinrichtungen verfügen.

Eine zur Prüfung befähigte Person muss

a) eine der folgenden Qualifikationen besitzen:

- ein einschlägiges Studium,
- eine einschlägige Berufsausbildung,
- eine vergleichbare technische Qualifikation oder
- eine andere technische Qualifikation mit langjähriger Erfahrung auf dem Gebiet der Sicherheitstechnik;

b) umfassende Kenntnisse des Explosionsschutzes einschließlich des zugehörigen Regelwerkes besitzen;

c) eine einschlägige Berufserfahrung aus einer zeitnahen Tätigkeit nachweisen können;

d) ihre Kenntnisse zum Explosionsschutz auf aktuellem Stand halten und

e) sich regelmäßig durch Teilnahme an einem einschlägigen Erfahrungsaustausch auf dem Gebiet des Explosionsschutzes fortbilden (vgl. [Betriebssicherheitsverordnung \(BetrSichV\)](#), Anlage 2 Abschnitt 3 (DEUTSCHER BUNDESTAG 2015)).

Zur Prüfung von Druckanlagen befähigte Person

Eine zur Prüfung von Druckanlagen befähigte Person muss, bezogen auf die jeweilige Prüfaufgabe, folgenden Anforderungen genügen:

- a) sie verfügt über eine einschlägige technische Berufsausbildung oder eine für die vorgesehenen Prüfungsaufgaben ausreichende technische Qualifikation,
- b) sie besitzt ausreichende Kenntnisse des zugehörigen Regelwerkes,
- c) sie verfügt über eine mindestens einjährige Erfahrung mit der Herstellung, dem Zusammenbau, dem Betrieb oder der Instandhaltung der zu prüfenden Druckanlagen oder Anlagenteile im Sinne dieses Abschnitts und
- d) sie hält ihre Kenntnisse über Druckgefährdungen durch Teilnahme an Schulungen oder Unterweisungen, insbesondere zu folgenden Themen, auf aktuellem Stand:
 - a. Konstruktions- und Herstellungsverfahren,
 - b. Ausrüstung und Absicherungskonzepte,
 - c. Montage, Installation (Aufstellung) und Betrieb beziehungsweise Verwendung, bestimmungsgemäßer Betrieb,
 - d. Gefährdungsbeurteilung,
 - e. Prüfungen, Prüffristen, Prüfverfahren einschließlich der Bewertung der Ergebnisse und
 - f. in der Praxis vorkommende, relevante Einflüsse und Schadensbilder. vgl. [Betriebssicherheitsverordnung \(BetrSichV\)](#), Abschnitt 4 (DEUTSCHER BUNDESTAG 2015).

Abhängig von der Anlagencharakteristik ist die Prüfzuständigkeit geregelt. Die Prüfung hat entweder intern durch befähigte Personen oder extern durch beauftragte, zugelassene Überwachungsstellen (ZÜS) zu erfolgen.

Zugelassene Überwachungsstellen für überwachungsbedürftige Anlagen

Zugelassene Überwachungsstellen kommen in bestimmten Fällen an Stelle der zur Überprüfung befähigten Personen zum Einsatz. Zusätzliche Vorschriften für überwachungsbedürftige Anlagen werden in der [Betriebssicherheitsverordnung \(BetrSichV\)](#), Abschnitt 3 geregelt:

„(3) Die Prüfungen nach Absatz 1 sind von einer zugelassenen Überwachungsstelle (ZÜS) nach Anhang 2 Abschnitt 1 durchzuführen. Sofern dies in Anhang 2 Abschnitt 2, 3 oder 4 vorgesehen ist, können die Prüfungen nach Satz 1 auch von einer zur Prüfung befähigten

Person durchgeführt werden. Darüber hinaus können alle Prüfungen nach prüfpflichtigen Änderungen, die nicht die Bauart oder die Betriebsweise einer überwachungsbedürftigen Anlage beeinflussen, von einer zur Prüfung befähigten Person durchgeführt werden. Bei überwachungsbedürftigen Anlagen, die für einen ortsveränderlichen Einsatz vorgesehen sind und nach der ersten Inbetriebnahme an einem neuen Standort aufgestellt werden, können die Prüfungen nach Absatz 1 durch eine zur Prüfung befähigte Person durchgeführt werden. Satz 4 gilt nicht für Dampfkesselanlagen nach § 18 Absatz 1 Satz 1 Nummer 1.“

Das Gesetz über überwachungsbedürftige Anlagen (**ÜAnlG**) legt in § 17 Anforderungen an die mit Prüfungen von überwachungsbedürftigen Anlagen beauftragten Personen fest:

„Die zugelassene Überwachungsstelle muss gewährleisten, dass die mit Prüfungen von überwachungsbedürftigen Anlagen beauftragten Personen

1. durch ihre Berufsausbildung, ihre Berufserfahrung und ihre Weiterbildung jederzeit über die für die Prüfungen erforderlichen Kenntnisse verfügen,
2. jederzeit über ausreichende Kenntnisse der Bauart und der Betriebsweise, der Prüfverfahren sowie des Standes der Technik der zu prüfenden überwachungsbedürftigen Anlagen verfügen,
3. jederzeit über ausreichende Kenntnisse der für die jeweiligen überwachungsbedürftigen Anlagen geltenden Rechtsvorschriften und Regeln verfügen,
4. jederzeit in der Lage sind, die vorgeschriebenen Prüfdokumente über die durchgeführten Prüfungen zu erstellen,
5. jederzeit berufliche Integrität besitzen,
6. jederzeit fachlich unabhängig sind und
7. in ihre jeweiligen Aufgaben eingearbeitet wurden.“ (DEUTSCHER BUNDESTAG 2021).

Damit gilt auch für diese Personengruppen, dass sie über eine „einschlägige technische Berufsausbildung“ verfügen sollen, auf der aufbauend eine spezielle Anpassungsfortbildung erfolgt. Die bestehenden Ausbildungsordnungen decken den „Anfangs“-Bedarf ab. Die Inhalte, die im Rahmen einer möglichen Qualifizierung zu vermitteln sind, können auf Grundlage der oben genannten Anforderungen bezogen auf die konkrete Arbeitsaufgabe ausdifferenziert werden.

6 Ergebnisse zu Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen

6.1 Zusatzqualifikationen im Rahmen der Ausbildung

Durch zuständige Stellen wurden in mehreren Fällen Zusatzqualifikationen definiert und gemäß § 9 in Verbindung mit § 79 Absatz 4 des Berufsbildungsgesetzes vom 4. Mai 2020 (BGBl. I S. 920), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1174), erlassen.

Tabelle 19: Beispiele für Zusatzqualifikationen

Zuständige Stelle	Titel der Zusatzqualifikation	Beschreibung
Industrie- und Handelskammer Suhl	Prüfungsordnung für die Durchführung der Prüfung der berufsübergreifenden Zusatzqualifikation „Grundlagen Wasserstoff“ für Auszubildende zum Mechatroniker,	Auf Wissen orientierte, ausschließlich schriftliche Prüfung zu Energie und Klimaschutz, Wasserstoffherstellung, Speicherung und Transport einschließlich ausgewählter Sicherheitsrichtlinien, sowie zur

	Elektroniker, Kfz-Mechatroniker bzw. Land- und Baumaschinenmechatroniker (INDUSTRIE- UND HANDELSKAMMER SÜDTHÜRINGEN 2022)	Wasserstoffnutzung im Bereich Mobilität und Wärme.
Niederrheinische Industrie- und Handelskammer Duisburg. Wesel, Kleve zu Duisburg	Besondere Rechtsvorschrift für die Durchführung der Prüfung „Zusatzqualifikation Wasserstoff“ (	An in einem anerkannten industriell-technischen Ausbildungsberuf Auszubildende gerichtet. Die Prüfung erfolgt schriftlich und dauert höchstens 90 min. Inhalte sind a) Grundlagen zum Thema Wasserstoff und gesellschaftspolitische Einordnung, (b) Wasserstofftechnologie, (c) Gefahren im Umgang mit Wasserstoff, (d) Schutzmaßnahmen und Arbeitssicherheit beim Umgang mit Wasserstoff, (e) Einsatz von Wasserstoff als Reduktionsmittel, (f) Spezifische Aspekte beim Einsatz von Wasserstoff, (g) Ökonomische und ökologische Aspekte.

6.2 Wasserstoff als Zukunftsthema „Energiewende“ in der Ausbildungsgestaltung

Durch Recherchen wurden mehrere betriebliche und schulische Beispiele identifiziert, bei denen am Beispiel der Wasserstofftechnologie technische-fachliche und wirtschaftliche Aspekte der Wasserstoffherzeugung thematisiert werden (vgl. z.B. Protokoll Betriebsbegehung 01-07). Einige Beispiele wurden im Rahmen der zweiten Fachtagung präsentiert und dokumentiert ([BIBB / Wasserstoff trifft Berufsbildungspraxis / Marktplatz](#)).

Die Beispiele zeigen, dass auf Grundlage bestehender Ausbildungsordnungen und Rahmenlehrpläne entsprechende Schwerpunkte inhaltlich und didaktisch in der Ausbildung umgesetzt werden können.

6.3 Weitere Schulungs- und Weiterbildungsangebote

Schulungen und Qualifizierungsangebote für Fachkräfte, die entsprechend ihrer Funktion als fachkundige Personen, fachkundig, unterwiesene und beauftragte Personen, Sicherheitsfachkräfte, zur Prüfung befähigte Personen sowie innerhalb von zugelassenen Überwachungsstellen (ZÜS) als mit Prüfungen von überwachungsbedürftigen Anlagen beauftragte Personen eingesetzt werden sollen, sind mindestens in der Chemieindustrie erprobt. Hier wird konventionell erzeugter Wasserstoff bereits seit Jahrzehnten genutzt. Diese Schulungen können auf die Erzeugung von grünem Wasserstoff weitgehend angewendet werden.

Mit der erwarteten sprunghaften Anwendung grüner Wasserstoffherzeugung und -nutzung wächst die Nachfrage nach Qualifizierung. Bildungsanbieter offerieren erste Angebote für die Qualifizierung von Fachkräften im Kontext der Wasserstoffnutzung. Die Angebote sind inhaltlich und quantitativ in ständiger Entwicklung. Hier kann nur eine erste neutrale Einschätzung wiedergegeben werden.

Einstiegs- und Sensibilisierungsmodule thematisieren in der Regel die chemischen Eigenschaften, die technologischen Kontexte und die volkswirtschaftliche Bedeutung. Sie richten sich an alle mit Wasserstoff in Berührung kommende Fachkräfte und dienen hauptsächlich der Kenntnisvermittlung, weniger der Befähigung.

Drei im Zuge der Recherche gefundene Beispiele für Schulungsangebote werden in der folgenden Tabelle kurz vorgestellt (Tabelle 21).

Tabelle 20: exemplarische Verweise auf Weiterbildungsangebote

Anbieter	Titel	Beschreibung
TÜV Süd	Modulare Ausbildung im Bereich Wasserstofftechnologie – industrielle Anwendung	Das vierstufige Ausbildungssystem für die industrielle Anwendung der Wasserstofftechnologie vermittelt die erforderlichen Kenntnisse - je nachdem, welche Tätigkeit im Umgang mit Wasserstoffsystemen auszuüben sind. Im ersten Modul grundlegende Kenntnisse zu Wasserstoff, um sicher mit wasserstoffführenden Systemen und Anlagen umgehen zu können. Modul 2 beinhaltet den Aufbau einer Wasserstoffanlage, notwendige Kenntnisse, um festgelegte Arbeiten an Wasserstoffanlagen sicher ausführen zu können. Modul 3 vermittelt Grundlagen, um sicher an Wasserstoffanlagen zu arbeiten und Sicherheitskonzepte umzusetzen. Modul 4 thematisiert Sicherheitskonzepte für die Wasserstoffinfrastruktur einschließlich dem Prüfen und Freigeben. (vgl. Infos zur modularen Ausbildung im Bereich Wasserstoff TÜV SÜD Akademie (tuvsud.com))
HWK Ulm	Fachkraft im Umgang mit Wasserstoff	Drei Module mit Praxistag: Modul 1 - Eigenschaften von Wasserstoff, Grundlagen, inkl. Prüfung; Modul 2 - Systeme mit Wasserstoff und sicherer Aufbau, inkl. Prüfung; Modul 3 - Regeln im Umgang mit Wasserstoff, inkl. Prüfung (vgl. 5-FW-H2-FREI - Handwerkskammer Ulm (hwk-ulm.de))
DIHK (Weiterbildungs-GmbH)	Fachkraft für Wasserstoffanwendungen (IHK)	„Der sich in Entwicklung befindliche bundeseinheitliche IHK-Zertifikatslehrgang „Fachkraft für Wasserstoffanwendungen (IHK) schafft grundlegendes Wissen über die Wasserstofftechnologie als zukunftsweisender, klimafreundlicher Energieträger. Im Fokus steht hierbei das Verständnis für die Potenziale und vielfältigen Einsatzmöglichkeiten entlang der gesamten Wertschöpfungskette.“ (Quelle: Fachkraft für

Kritisch beurteilt werden vom Autor Titel wie Fachkraft für Wasserstoff oder Wasserstofffachkraft. Sie könnten suggerieren, es läge hier eine Befähigung vor, die zum Ausführen bestimmter Arbeiten berechtigt. Dies ist z.B. verglichen mit der Elektrofachkraft insoweit der Fall, dass Personen, die einschlägige Berufe erlernt oder entsprechende Fortbildungen erfolgreich absolviert haben, wesentliche Voraussetzungen erfüllen, um von ihrem Arbeitgeber als Elektrofachkraft eingesetzt zu werden. Dabei steht die Qualifikation immer im Verhältnis zum erlernten Ausbildungsberuf und den auszuführenden Arbeitsaufgaben.

Die folgende Grafik soll die Ziele und Ausrichtung von wasserstoffrelevanten Fortbildungsangeboten ordnen und verdeutlichen (Abbildung 7).



Abbildung 7: Ziele und Ausrichtung wasserstoffrelevanter Fortbildungsangebote

Während es für einen größeren Personenkreis innerhalb von Unternehmen um die Wissensvermittlung im Sinne der Sensibilisierung für die Gefahren im Umgang mit Wasserstoff und die wirtschaftlichen Potentiale, weniger um Fertigkeiten und Fähigkeiten geht, richtet sich die technisch fachliche Befähigung an nur wenige zu spezialisierende Fachkräfte. Während es bei der Sensibilisierung um stoffbezogene Merkmale geht, orientiert sich die technisch-fachliche Befähigung an auszuführenden Arbeitsaufgaben, z.B. das Arbeiten an Druckanlagen oder bei Explosionsgefährdung. Gerade bei der Erzeugung von Wasserstoff kommen weitere Stoffe zum Einsatz, von denen Gefahren ausgehen können, wie z.B. Sauerstoff. Die Formate der Weiterbildung sind hier eher Unterweisungen am Arbeitsplatz, z.B. durch Anlagenhersteller, Überwachungseinrichtungen und Fachvorgesetzte.

Anlässe für die Schaffung bundeseinheitlicher Weiterbildungsregelungen werden nicht gesehen.

7 Ergebnisse zu Ordnungsmitteln und Ordnungsbedarf

Anlagen, die, stationär oder mobil, zur Herstellung, Verwendung, Verarbeitung, Speicherung und zum Transport von Wasserstoff dienen, sind allgemein sowohl Druckanlagen als auch Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen. Es kann erwartet werden, dass Anlagen ab bestimmten Leistungsmerkmalen als kritische Infrastruktur bewertet werden, was Konsequenzen für die Qualifizierung und den Einsatz der Fachkräfte haben wird.

Das Arbeiten an Anlagen zur Wasserstofferzeugung, -speicherung und zum Wasserstofftransport unterliegt auf Grund des Charakters der Anlagen grundsätzlich der Betriebssicherheitsverordnung und diesem Gesetz sich unterordnenden Rechtsgrundlagen. Diese bestehenden Gesetze und Normen sind voll auf die Herstellung, Verwendung, Verarbeitung, die Speicherung und den Transport von Wasserstoff anwendbar.

Bezogen auf die eingesetzten Fachkräfte, die an diesen Arbeiten tätig sind, sind sie zu unterscheiden in Fachkräfte, die an diesen Anlagen arbeiten, und Fachkräfte, die diese Anlagen prüfen. Erstere Gruppe setzt voraus, dass es sich um fachkundige Personen handelt. In einigen Fällen sind diese fachkundigen Personen durch den Arbeitgeber zu beauftragen und zu unterweisen. Bei der zweiten Gruppe handelt es sich um Fachkräfte, die zur Prüfung befähigt sind. In besonderen Fällen sind sie bei zulassungspflichtigen Überwachungsstellen beschäftigt.

Für alle genannten Gruppen gibt es vom Gesetzgeber definierte Mindestvoraussetzungen, die Qualifikation betreffend. Sofern sie Fachkräfte auf der mittleren Ebene betreffen, bauen sie auf eine „in der Regel erworbene Berufsausbildung in einem einschlägigen Beruf“ auf.

Die Qualifikationsinhalte für eine zur Prüfung befähigte Person entsprechender Anlagen sind grundsätzlich benannt und beziehen sich entweder auf Druckanlagen oder auf Explosionsgefährdungen. Adressaten- und fallbezogen können sie von Schulungsanbietern daraufhin angepasst werden.

Für den Fachkundenachweis können Betriebe wie Betreiber und Dienstleister Schulungen anbieten („Die Fachkenntnisse sind durch Teilnahme an Schulungen auf aktuellem Stand zu halten“). Die Teilnahme ist nicht zwingend, sondern erfolgt dann, wenn der Arbeitgeber dies für notwendig hält.

Sie bauen auf einschlägige Ausbildungsberufe auf. Einschlägige Ausbildungsberufe umfassen eine ganze Palette von gewerblich-technischen Berufen, die in den vorangegangenen Kapiteln bereits aufgeführt sind. Bezogen auf ausgewählte Arbeitsaufgaben werden für die Besetzung entsprechender Arbeitsplätze mehrere Ausbildungsberufe als geeignet gesehen.

Bezogen auf die Ausbildungsordnungen dieser Berufe wird aus der Untersuchung heraus kein Neuordnungsbedarf gesehen. Hinweise auf den Bedarf zusätzlicher, neuer Ausbildungsberufe gibt es nicht.

8 Empfehlungen für ordnungspolitische und praxisunterstützende Maßnahmen

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass es aus dem Teilgebiet Wasserstoffherzeugung keine Notwendigkeit für ordnungspolitische Maßnahmen auf Bundesebene gibt.

Praxisunterstützende Maßnahmen im Sinne von Förderprogrammen oder ähnlichem werden ebenfalls nicht für notwendig befunden.

Die Initiative und das Engagement von Ausbildern und Lehrern kann durch Wertschätzung oder durch Kleinprojekte auf regionaler Ebene gefördert werden.

Unterhalb einer formalen Förderung liegt es in der Hand der Akteure (Unternehmer, Ausbilder, Lehrer) die Aus- und Weiterbildungspraxis zu unterstützen, z.B. durch

Allgemeinwissen zur Energiewende durch Wasserstoffbezug stärken:

Das Thema Wasserstoff bietet sehr gute Anknüpfungspunkte, um technologische und gesellschaftliche Zusammenhänge der Energiewende zu behandeln. Besonders Berufsschulen können die Wasserstoffthematik schon frühzeitig aufnehmen. Diese Möglichkeit kann genutzt werden, um das Wissen der Schülerinnen und Schüler im Bereich Energiewende über den beruflichen Bezug hinaus zu stärken und weiterführende Diskussionen anzuregen.

Möglichkeiten für Lernortkooperationen und Partnerschaften nutzen:

Durch Lernortkooperation kann Auszubildenden ermöglicht werden, ihre Kenntnisse im Bereich Wasserstofftechnologien und Energiewende zu erweitern, wenn bestimmte Technologien im eigenen Ausbildungsbetrieb nicht angewandt werden oder entsprechende Labore in der Berufsschule nicht vorhanden sind. Hier bieten auch digitale Labore oder digitale Zwillinge gute Möglichkeiten zur Zusammenarbeit. Daher bietet es sich an Potenziale für Lernortkooperationen in den Wasserstoffregionen zu prüfen und entsprechende Initiativen zu stärken.

Überregionale Vernetzung von Leuchtturmprojekten:

In unterschiedlichen Regionen werden bereits Leuchtturmprojekte umgesetzt, in andernorts als Ideengeber oder Vorbild dienen können. Eine bessere überregionale Vernetzung der Akteure und Projekte kann dazu beitragen, den Kompetenzaufbau im Bereich Wasserstoff und Energiewende zu unterstützen.

Attraktivität von Energiewendeberufen in der Berufsorientierung:

In der Transformation hin zur Klimaneutralität kommt der dualen Berufsausbildung eine Schlüsselrolle zu. Durch Wasserstoff und andere grüne Technologien besitzen die beteiligten Ausbildungsberufe eine hohe Zukunftsrelevanz, die in der Berufsorientierung hervorgehoben werden sollte, um junge Menschen für eine Berufsausbildung in den entsprechenden Industrien und Gewerken zu gewinnen.

Berufsbildung in Wasserstoffstrategien:

Die Fachkräftequalifizierung wird in regionalen und überregionalen Wasserstoffstrategien teilweise nur oberflächlich erwähnt. Hier bietet es sich an, regionale Berufsbildungsakteure

in den Strategiefindungsprozess einzubeziehen, um Maßnahmen zur Bedarfserhebung und Qualifizierung frühzeitig erarbeiten und konkretisieren zu können.

Transparenz schaffen und Beratung anbieten:

In Betrieben, die in der Wasserstoffwirtschaft tätig werden wollen, bestehen teilweise noch Informationsdefizite und Unsicherheiten hinsichtlich der notwendigen Qualifizierungen und entsprechender Rechtsvorgaben. Hier können Beratungsangebote und mehr Transparenz seitens zuständiger Stellen, Verbänden oder Berufsgenossenschaften Abhilfe schaffen.

9 Zielerreichung

Die Fragestellungen konnten im Rahmen der Projektlaufzeit beantwortet werden.

10 Ausblick und Transfer

Je nach Arbeitsaufgabe, Gefährdungsart und Teilprozess geben die Rechtsgrundlagen (siehe Kap. 4.4 und 4.5) Hinweise auf die besondere Qualifikation der Fachkräfte und titulieren jeweils deren Funktion. Qualifikationsanforderungen, bezogen auf fachliche, juristische, organisationale und persönliche Kompetenzen, werden als grobe Rahmenvorgaben benannt. Die Aufgabe und Verantwortung des jeweiligen Arbeitgebers ist es, dies auf die konkrete Situation anzuwenden und dafür zu sorgen, dass die Fachkräfte, die mit bestimmten Arbeiten betraut sind, über die notwendigen Qualifikationen verfügen. Weitere Anhaltspunkte für den Qualifikationsbedarf liefert dem Arbeitgeber die durch ihn durchzuführende Gefährdungsbeurteilung.

Hilfestellungen für Arbeitgeber im Sinne von Checklisten o.ä. wie auch Beschreibungen typischer Arbeitsaufgaben, für die die Fachkräfte zu qualifizieren sind, wären weitere, hilfreiche Instrumente z.B. für die Ableitung von Qualifizierungsinhalten möglicher Fortbildungsangebote. Als Good-Practice-Beispiel wird hier auf eine [Handreichung](#) des Umweltministeriums Schleswig-Holstein verwiesen (MINISTERIUM FÜR ENERGIEWENDE 2021).

In den einschlägigen Ausbildungsordnungen der zugehörigen Berufe sind für diese Anpassungen und Vertiefungen die notwendigen Voraussetzungen ausreichend beinhaltet.

11 Veröffentlichungen

ZINKE, Gert: Energiewende am Beispiel Wasserstoff und Implikationen für berufsbildende Schulen. In: Bildung und Beruf 6. Jahrgang (2023a) Nov 2023, S. 12-16

ZINKE, Gert: Wasserstoffherzeugung – wie ist die Berufsausbildung dazu aufgestellt? In: lernen und lehren 38 (2023b) 149, S. 12-17

12 Literaturverzeichnis

ACATECH, DECHEMA: Auf dem Weg in die deutsche Wasserstoffwirtschaft. Resultate der Stakeholder*innen -Befragung 2022. URL: <https://www.acatech.de/publikation/auf-dem-weg-in-die-wasserstoffwirtschaft/download-pdf?lang=de> (Stand: 16.05.2022)

AGBF (Hrsg.): Wasserstoff und dessen Gefahren. Ein Leitfaden für Feuerwehren 2008. URL: https://www.fwvw.de/fileadmin/Downloads/Einsatz_Wasserstoffleitfaden.pdf (Stand: 06.09.2022)

Anforderungen an den Objektsicherungsdienst und an Objektsicherungsbeauftragte in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen. In: : Bek. d. BMU vom 4.7.2008

Bekanntmachung der Neufassung der Mechatroniker-Ausbildungsverordnung. In: : Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 23

Bekanntmachung der Neufassung der Mechatroniker-Ausbildungsverordnung 2018b. URL: https://www.bibb.de/dienst/berufesuche/de/index_berufesuche.php/regulation/neufassung_mechatroniker_2018.pdf

Bekanntmachung der Neufassung der Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Metallberufen. In: : Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 23

Bekanntmachung der Neufassung der Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Metallberufen. In: : Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 23

BERUFGENOSSENSCHAFT HOLZ UND METALL (Hrsg.): DGUV Vorschriften 2022. URL: <https://www.bghm.de/arbeitschueter/gesetze-und-vorschriften/dguv-vorschriften/>

BÜHLER, Lauritz; MÖST, Dominik; SCHARF, Hendrik: Grüner Wasserstoff: Wie steht es um die Wirtschaftlichkeit und welche Nachfrage lässt sich erwarten? In: ifo Dresden berichtet (2023) 4, S. 16-22

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ (Hrsg.): Eröffnungsbilanz Klimaschutz. Berlin 2022. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/220111_eroeffnungsbilanz_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=22 (Stand: 03.02.2022)

BUNDESNETZAGENTUR (Hrsg.): Monitoringbericht 2023. Marktbeobachtung. Bonn 2023. URL: <https://data.bundesnetzagentur.de/Bundesnetzagentur/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/MonitoringberichtEnergie2023.pdf> (Stand: 05.02.2024)

BUNDESNETZAGENTUR (Hrsg.): Monitoringbericht 2021. Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i.V.m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i.V.m. § 53 Abs. 3 GWB. Bonn 2022. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/Monitoringbericht_Energie2021.pdf;jsessionid=E4E2CFB8502CDA327920D642A613818C?__blob=publicationFile&v=7

BUNDESREGIERUNG (Hrsg.): Die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) 2020. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20

DB NETZE (Hrsg.): Potenzialbeschreibung Wasserstofftransport über das Schienennetz. Wiesbaden 2020. URL: <https://blog.lea-hessen.de/wp-content/uploads/2020/08/>

Potenzialbeschreibung-Wasserstofftransport-%C3%BCber-das-Schienenennetz.pdf (Stand: 12.01.2022)

DIHK (Hrsg.): Wasserstoff. DIHK Faktenpapier. Berlin 2020. URL: <https://www.dihk.de/resource/blob/24872/fd2c89df9484cf912199041a9587a3d6/dihk-faktenpapier-wasserstoff-data.pdf> (Stand: 19.01.2022)

DVGW DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES E.V. (Hrsg.): Genügend Wasser für die Elektrolyse. Wieviel Wasser wird für die Erzeugung von grünem Wasserstoff benötigt und gibt es ausreichende Ressourcen? Berlin 2023. URL: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/h2o-fuer-elektrolyse-dvgw-factsheet.pdf> (Stand: 14.04.2023)

FELKL, Thomas: Sektoranalyse der Chemie- und Raffinerieindustrie: Eine Untersuchung im Rahmen des Projekts „H2PRO: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“ 2023. URL: https://res.bibb.de/vet-repository_781297 (Stand: 15.08.2023)

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT (Hrsg.): Wie lässt sich ausreichend (grüner) Wasserstoff herstellen? 2021. URL: <https://www.fraunhofer.de/de/forschung/aktuelles-aus-der-forschung/wasserstoff-so-bleiben-wir-mobil/herstellung-gruener-wasserstoff.html> (Stand: 15.12.2021)

GEITMANN, Sven: Wirtschaftswunder Wasserstoff. Nachhaltiges Wachstum im Elektrolysektor. In: Hzwei Das magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen 22 (2022a) 1, S. 16-21

GEITMANN, Sven: Zunehmende Dezentralisierung. Autarke Kleinanlagen auf dem Vormarsch. In: Hzwei Das magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen 22 (2022b), S. 22-23

Gesetz über das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI-Gesetz - BSIg). In: : BGBl. I S. 1982

Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG). (EnWG) 2024. URL: https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/BJNR197010005.html

Gesetz über überwachungsbedürftige Anlagen. ÜAnlG 2021. URL: https://www.gesetze-im-internet.de/_anlg/BJNR316200021.html

KPMG (Hrsg.): Wasserstoff: Ein Schlüssel zur Energiewende. Die deutsche Wasserstoffstrategie und ihre Potenziale 2023. URL: <https://hub.kpmg.de/de/wasserstoff-ein-schluessel-zur-energiewende>

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)

MINISTERIUM FÜR ENERGIEWENDE, Landwirtschaft: Handlungshilfe für Genehmigungsverfahren und zur Überwachung von Anlagen zur Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser. Kiel 2021. URL: <https://www.bing.com/ck/a?!&p=961a54961a0ab67dJmItdHM9MTY2NjA1MTIwMCZpZ3VpZD0xZjBjNGI2Ni0zYTfkLTYY2UtMjE4Ny01OTViM2I4NDYzZDgmaW5zaWQ9NTE5OA&ptn=3&hsh=3&fclid=1f0c4b66-3a1d-62ce-2187-595b3b8463d8&psq=Handlungshilfe+f%C3%BCr+Genehmigungsverfahren+und+zur+%C3%9Cberwachung+von+Anl>

agen+zur+Herstellung+von+Wasserstoff+durch+Elektrolyse+von+Wasser%2b&u=a1aHR0cHM6Ly93YXNzZXJzdG9mZndpcnRzY2hhZnQuc2gvZmlsZS9oYW5kbHVuZ3NoaWxmZWVsZWt0cm9seXNlLnBkZg&ntb=1 (Stand: 19.10.2022)

NOWEGA (Hrsg.): GET H2 Nukleus 2021. URL: <https://www.get-h2.de/> (Stand: 10.01.2022)

PROJEKTTRÄGER JÜLICH (Hrsg.): EXPERTENEMPFEHLUNG 2023 FORSCHUNGSNETZWERK WASSERSTOFF. Jülich 2023. URL: https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/fnepublications/F779D6CE92E26829E0537E695E86F965/live/document/Expertenempfehlung_2023_FNEH2.pdf (Stand: 14.06.2023)

Prüfungsordnung für die Durchführung der Prüfung der berufsübergreifenden Zusatzqualifikation „Grundlagen Wasserstoff“ für Auszubildende zum Mechatroniker, Elektroniker, Kfz-Mechatroniker bzw. Land- und Baumaschinenmechatroniker 2022. URL: https://www.suhl.ihk.de/fileadmin/Redakteure/05_IHK_SUEDTHUERINGEN/Rechtsgrundlagen/Aus_und_Weiterbildung/20221121_PO_Pr%C3%BCfung_ZQ_Grundlagen_Wasserstoff_g ez.pdf

SCHALLING, Anne Schalling; ARNHOLD, Oliver; HELFENBEIN, Kilian; RÖPCKE, Tim; BACKHAUS, Andra: Netzdienliche Wasserstofferzeugung. Studie zum Nutzen kleiner, dezentraler Elektrolyseure. o.O. 2022. URL: https://green-planet-energy.de/fileadmin/gfx/publikationen/Studien/2022-02-22_RLI-Studie_Netzdienliche_Wasserstofferzeugung_final.pdf (Stand: 21.03.2022)

SMOLINKA, Tom; WIEBE, Nikolai; STERCHELE, Philip; PALZER, Andreas: Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme (2018)

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

Technische Regeln für Betriebssicherheit - Prüfungen und Kontrollen von Arbeitsmitteln und Überwachungsbedürftigen Anlagen. TRBS 1201 2019a

Technische Regeln für Betriebssicherheit - Struktur und Anwendung der Technischen Regeln für Betriebssicherheit. TRBS 1001 2018. URL: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBS/TRBS-1001.html>

Technische Regeln für Betriebssicherheit - Zur Prüfung befähigte Personen. TRBS 1203 2019b. URL: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBS/pdf/TRBS-1203.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Verordnung über die Berufsausbildung zum Chemikanten/zur Chemikantin*). In: : Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 33

Verordnung über die Berufsausbildung zum Fachinformatiker und zur Fachinformatikerin (Fachinformatikerausbildungsverordnung – FIAusbV)*. In: : Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil I Nr. 9

Verordnung über die Berufsausbildung zum Produktionstechnologen/zur Produktionstechnologin*) 2008

Verordnung über die Berufsausbildung zur Produktionsfachkraft Chemie*). In: : Bundesgesetzblatt Jahrgang 2005 Teil I Nr. 19

Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln. (Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV) 2015

Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen. Gefahrstoffverordnung - GefStoffV 2010. URL: https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv_2010/GefStoffV.pdf

WASSERSTOFFKOMPASS (Hrsg.): Elektrolyse in Deutschland. Leistungen, Zielsetzungen und Bedarfe bis 2030. Berlin 2022. URL: https://www.wasserstoff-kompass.de/fileadmin/user_upload/img/news-und-media/dokumente/Elektrolysekapazitaeten_.pdf (Stand: 31.08.2022)

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)

ZINKE, Gert: Energiewende am Beispiel Wasserstoff und Implikationen für berufsbildende Schulen. In: Bildung und Beruf 6. Jahrgang (2023a) Nov 2023, S. 12-16

ZINKE, Gert: Wasserstoffherzeugung – wie ist die Berufsausbildung dazu aufgestellt? In: lernen und lehren 38 (2023b) 149, S. 12-17

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)