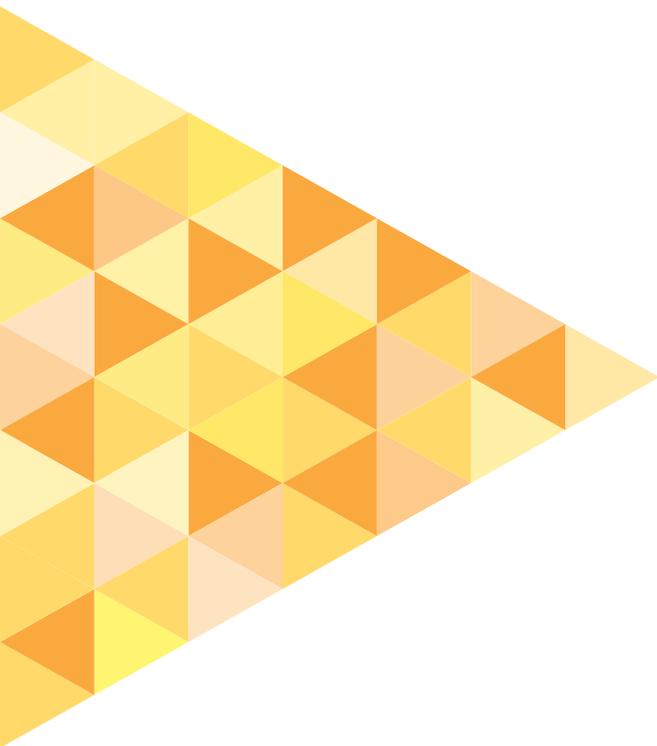


Gert Zinke

Sektoranalyse: Erzeugung, Speicherung und Transport von Wasserstoff

Eine Untersuchung im Rahmen des Projekts „H2PRO: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“



BIBB Discussion Paper

Zitiervorschlag:

Zinke, Gert: Sektoranalyse : Erzeugung, Speicherung und Transport von Wasserstoff ; eine Untersuchung im Rahmen des Projekts „H2PRO: Wasserstoff – ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“.

Online: https://res.bibb.de/vet-repository_780890



© Bundesinstitut für Berufsbildung, 2022

Version 1.0
Dezember 2022

Herausgeber

Bundesinstitut für Berufsbildung
Robert-Schuman-Platz 3
53175 Bonn
Internet: www.vet-repository.info
E-Mail: repository@bibb.de

CC Lizenz

Der Inhalt dieses Werkes steht unter Creative-Commons-Lizenz (Lizentyp: Namensnennung – Keine kommerzielle Nutzung – Keine Bearbeitung – 4.0 International).

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

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

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Diese Netzpublikation wurde bei der Deutschen Nationalbibliothek angemeldet und archiviert:

urn:nbn:de:0035-vetrepository-780890-1

Sektoranalyse: Erzeugung, Speicherung und Transport von Wasserstoff; eine Untersuchung im Rahmen des Projekts „H2PRO: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“

Gert Zinke

Abstract:

Die vorliegende Sektoranalyse überprüft die Arbeitsaufgaben der Fachkräfte auf mittlerer Qualifikationsebene im Untersuchungsfeld (Sektor) „Wasserstofferzeugung“ hinsichtlich sich ändernder Qualifikationsanforderungen und der Passung vorhandener Ausbildungsberufe.

Dafür werden der Entwicklungsstand und die Prognosen für den Ausbau der „grünen“ Wasserstofferzeugung in Deutschland analysiert. Differenziert nach typischen Handlungsfeldern werden künftige Arbeitsaufgaben projiziert, darauf aufbauend einschlägige, technische Ausbildungsberufe ermittelt und deren Passung geprüft.

Die Sektoranalyse zeigt, 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

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sektoren innerhalb des H2Pro-BIBB-Projekts „Wasserstoff als Zukunftsthema für die berufliche Bildung“	10
Abbildung 2: Wertschöpfungskette Wasserstoff (eigene Darstellung).....	15
Abbildung 3: Roadmap zur Industrialisierung der Wasserelektrolyse (Smolinka et al. 2018)	18
Abbildung 4: Elektrizität: Ausfallarbeit verursacht durch Einspeisemanagementmaßnahmen in GWh (Quelle: (Bundesnetzagentur 2022), eigene Darstellung)	20
Abbildung 5: Akteure innerhalb der Prozesskette Wasserstofferzeugung (eigene Darstellung).....	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Handlungsfelder und Teilprozesse	7
Tabelle 2: Handlungsfelder und Funktionen	8
Tabelle 3: Handlungsfelder und Teilprozesse	26
Tabelle 4: Typische, in Frage kommende Ausbildungsberufe für den Teilprozess Anlagen planen und Entwickeln	28
Tabelle 5: Typische, in Frage kommende Ausbildungsberufe im Kontext des Errichtens der Anlagen	28
Tabelle 6: Typische, in Frage kommende Ausbildungsberufe im Kontext der technischen Überprüfung und Inbetriebnahme	31
Tabelle 7: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Produktionstechnologe/Produktionstechnologin (vgl. BMWi 16.06.2008; BMWi Juni 2018).....	32
Tabelle 8: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Mechatroniker/in (vgl. (BMWi Juni 2018) ...	32
Tabelle 9: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Industriemechaniker/in (vgl. (BMWi 28.06.2018b)	33
Tabelle 10: Ausbildungsberufe im Kontext Wasserstofferzeugung	35
Tabelle 11: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Chemikant/in (vgl. BMWi 10.06.2009).....	35

Tabelle 12: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Produktionsfachkraft Chemie (vgl. (BMW A 23.03.2005)	36
Tabelle 13: Ausbildungsberufe im Kontext der Überwachung der Anlagen	37
Tabelle 14: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Fachinformatiker/in Fachrichtung Digitale Vernetzung (vgl. BMWi 28.02.2020)	37
Tabelle 15: Ausbildungsberufe im Kontext der Instandhaltung.....	38
Tabelle 16: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Anlagenmechaniker/in (vgl. BMWi 28.06.2018c)	39
Tabelle 17: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Chemikant/in, die Instandhaltung betreffend (vgl. BMWi 10.06.2009).	39
Tabelle 18: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Mechatroniker/in (vgl. (BMW i 28.06.2018a)	40
Tabelle 19: Übersicht geltender Gesetze und Regeln	42
Tabelle 20: Teilprozesse und Funktionsaufgaben	45
Tabelle 21: exemplarische Verweise auf Weiterbildungsangebote.....	50

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	2
Tabellenverzeichnis.....	2
1 Das Wichtigste in Kürze.....	6
2 Zielstellung der Sektoranalyse und Einordnung innerhalb des H2Pro-Projekts	10
3 Vorgehen bei der Sektoranalyse	11
4 Gesellschaftliche, wirtschaftliche und technische Einordnung der Wasserstoffnutzung.....	12
4.1 Dekarbonisierung der Wirtschaft – Vorteilhafte Eigenschaften von Wasserstoff als Energieträger, Reduktionsmittel und Industrierohstoff	12
4.1.1 Energieträger.....	12
4.1.2 Reduktionsmittel.....	14
4.1.3 Industrierohstoff	14
5 Bedeutung und Struktur des Sektors – Wasserstofferzeugung als Beginn einer Wertschöpfungskette.....	15
5.1 Technologien zur Wasserstofferzeugung.....	16
5.2 Industrialisierung der Wasserstofferzeugung.....	17
5.3 Potentielle Standorte und Anbindung der Wasserstofferzeugung an „Verbraucher“	19
5.4 Elektrolyseure als Backbone der Wasserstofferzeugung.....	21
6 Wasserstofftransport und -speicherung	22
6.1 Wasserstofftransport	22
6.2 Wasserstoffspeicherung.....	24
7 Teilprozesse, Arbeitsaufgabencluster und erwarteter qualitativer Fachkräftebedarf im Sektor Wasserstofferzeugung	24
7.1 Vorliegende Prognosen.....	24
7.2 Weitere Abgrenzung und Differenzierung des Untersuchungsfeldes.....	25
8 Identifizierung einschlägiger Ausbildungsberufe in Teilprozessen	27
8.1 Anlagen planen und entwickeln.....	27
8.2 Anlagen errichten.....	28

8.3	Anlagen überprüfen und in Betrieb nehmen	31
8.4	Anlagen betreiben.....	34
8.5	Anlagen überwachen.....	36
8.6	Anlagen instandhalten	38
9	Geltende Rechtsgrundlagen zur Arbeit an Anlagen zur Erzeugung, Speicherung und dem Transport von Wasserstoff und Konsequenzen für die Qualifikation der eingesetzten Fachkräfte	41
9.1	Anlagencharakteristik als Ausgangspunkt.....	41
9.1.1	Explosionsgefährdungen	41
9.1.2	Druckanlagen.....	42
9.1.3	Kritische Infrastruktur	42
9.2	Übersicht geltender Gesetze und Regeln.....	42
9.3	Typische Funktionen von Fachkräften bei Arbeiten an Anlagen zur Herstellung, Verwendung, Verarbeitung, Speicherung und dem Transport von Wasserstoff	45
9.4	Anforderungen an die Qualifikation der Fachkräfte nach Funktion	46
9.4.1	Fachkundige Personen	46
9.4.2	Fachkundige, beauftragte und unterwiesene Personen	46
9.4.3	Zur Prüfung befähigte Personen	46
9.5	Zugelassene Überwachungsstellen für überwachungsbedürftige Anlagen.....	48
9.6	Zwischenbilanz	49
10	Schulungs- und Weiterbildungsangebote als Indikatoren für Qualifikationsbedarfe.....	50
11	Erste Schlussfolgerungen zur Einschätzung der Notwendigkeit möglicher ordnungsrelevanter Qualifikationsbedarfe.....	51
12	Literaturverzeichnis.....	54

1 Das Wichtigste in Kürze

Die vorliegende Sektoranalyse ist Teil des BIBB-Projekts „Wasserstoff als Zukunftsthema für die berufliche Bildung“, das auf Grundlage einer Verwaltungsvereinbarung mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Zeitraum IV/2021 – III/2024 durchgeführt wird und ordnet sich damit in die Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung ein (BMBF 2021, BUNDESREGIERUNG 2020).

Ziel der vorliegenden Sektoranalyse „Wasserstofferzeugung“ ist es, eine erste kontextbezogene Annäherung an „den Aufgabenwandel und die Inhalte von Arbeitsaufgaben“ (Spöttl 2005) im Untersuchungsfeld (Sektor) zu erfassen. Geprüft wird, inwieweit vorhandene Ausbildungsberufe auf die Arbeitsaufgaben passen.

Auf Grundlage der Sektoranalyse werden differenzierte Annahmen erarbeitet, die es im weiteren Forschungsverlauf zu überprüfen und zu vertiefen gilt. Insofern haben die nachfolgenden Ausführungen nicht den Charakter abgeschlossener Ergebnisse, sondern sind vielmehr ein Zwischenschritt.

Die Erzeugung „grünen“ Wasserstoffs innerhalb Deutschlands, die hier Gegenstand der Untersuchung ist, wird nur einen kleineren Teil des bundesweiten Wasserstoffgesamtbedarfs decken. Bisherige Anlagen haben Pilotcharakter und dienen der Erprobung. Eine breitere industrielle Erzeugung kann mittelfristig erwartet werden.

Für die Wasserstofferzeugung werden Elektrolyseure unterschiedlicher Bauart und Größe zum Einsatz kommen. 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.

Die Wasserstofferzeugung besteht bei näherer Betrachtung aus den Prozessschritten Wasserstofferzeugung, -speicherung und -transport. Für alle drei Segmente gilt es, zwischen dem Errichten, dem Überprüfen und Inbetriebnehmen, dem Betreiben, dem Überwachen und dem Instandhalten der Anlagen zu unterscheiden, wenn es um die Frage der eingesetzten Fachkräfte und die damit verbundenen, notwendigen Qualifikationen geht (Tabelle 1).

Tabelle 1: Handlungsfelder und Teilprozesse

	Wasserstofferzeugung	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 Inbetriebnehmen			
Betreiben			
Überwachen (Sicherheit gewährleisten, Störungen vermeiden, Havarien bewältigen)			
Instandhalten			

Für die Handlungsfelder wurden im Rahmen der Sektoranalyse in Frage kommende „einschlägige, technische Ausbildungsberufe“¹ ermittelt und im Sinne von Annahmen benannt.

Es wird eingeschätzt, dass alle anstehenden Aufgaben mit bestehenden Ausbildungsberufen abgedeckt werden können. Hinweise auf eine Notwendigkeit von neu zu schaffenden Ausbildungsberufen gibt es nicht.

Anlagen zur Herstellung, Verwendung, Verarbeitung, Speicherung und Transport von „grünem“ Wasserstoff sind überwachungsbedürftige Anlagen. ([Betriebssicherheitsverordnung \(BetrSichV\)](#), (Deutscher Bundestag 01.06.2015), Anhang 2 Abschnitte 3 und 4). Es handelt sich sowohl um Druckanlagen als auch um Anlagen mit Explosionsgefährdungen. Ab einer bestimmten Baugröße kann davon ausgegangen werden, dass sie künftig zur kritischen Infrastruktur gehören.

Daraus ergibt sich, dass hier geltende Gesetze und Normen für das Arbeiten an diesen Anlagen zu berücksichtigen sind. Das heißt, dass über eine in der Regel abgeschlossene, einschlägige

¹ Dieser Terminus wird in der Betriebssicherheitsverordnung entsprechend verwendet (Deutscher Bundestag 01.06.2015).

Berufsausbildung hinaus weitere notwendige Anforderungen an die Qualifikation der Fachkräfte gefordert sind.

Es gilt zu unterscheiden, dass Fachkräfte beim Arbeiten an Anlagen zur Herstellung, Verwendung, Verarbeitung, Speicherung und Transport von Wasserstoff entsprechend den geltenden Rechtsnormen allgemein fünf unterschiedliche Funktionen innehaben können:

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 beauftragten Personen.

Auf Grundlage der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) kann dies auf Handlungsfelder fokussiert werden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Handlungsfelder und Funktionen

Funktionen / Handlungsfelder	Fachkundige Personen	fachkundig, unterwiesene und beauftragte Personen	Sicherheitsfachkräfte	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	x	
Instandhalten		x	x		

Für alle fünf Gruppen gibt es vom Gesetzgeber definierte Mindestvoraussetzungen in Bezug auf deren Qualifikation. Sofern sie Fachkräfte auf der mittleren Ebene betreffen, bauen sie mit Ausnahme der Sicherheitsfachkräfte 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.

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.

Für die Organisation und den Inhalt der Qualifizierung der Sicherheitsfachkräfte liegt die Verantwortung bei den Unfallversicherungsträgern.

Die bestehenden Rechtsverordnungen stellen sicher, dass weiterführende, sicherheitsrelevante Qualifizierungsinhalte, die das Arbeiten an Wasserstoffherstellungsanlagen betreffen, bedarfsorientiert durch Schulungen und Unterweisungen im Rahmen der Anpassungsfortbildung vermittelt werden. Sie bauen auf einschlägige Ausbildungsberufe auf. Zukünftigen Auszubildenden in wasserstoffherstellenden Unternehmen, können so bedarfsorientiert entsprechende Vertiefungen in Richtung Wasserstoff vermittelt werden.

Das heißt, dass diese Inhalte nicht in die Ausbildungsordnungen aufgenommen werden müssen.

Insofern wird angenommen, dass für die Sicherung des Fachkräftebedarfs Änderungen an den Ausbildungsordnungen nicht unmittelbar notwendig sind und auch keine neuen Ausbildungsberufe erforderlich sind.

Für eine weitere Validierung und Schärfung der vorliegenden Zwischenergebnisse soll die Wasserstoffherzeugung und damit verbundene Arbeitsaufgaben in den Kontext der erweiterten Prozesskette gestellt werden. Es wird erwartet, dass durch die Sektorenkopplung im Sinne der Prozesse und Technologien auch Arbeitsaufgaben komplexer sein werden, als dass sie nur auf die Erzeugung ausgerichtet sind.

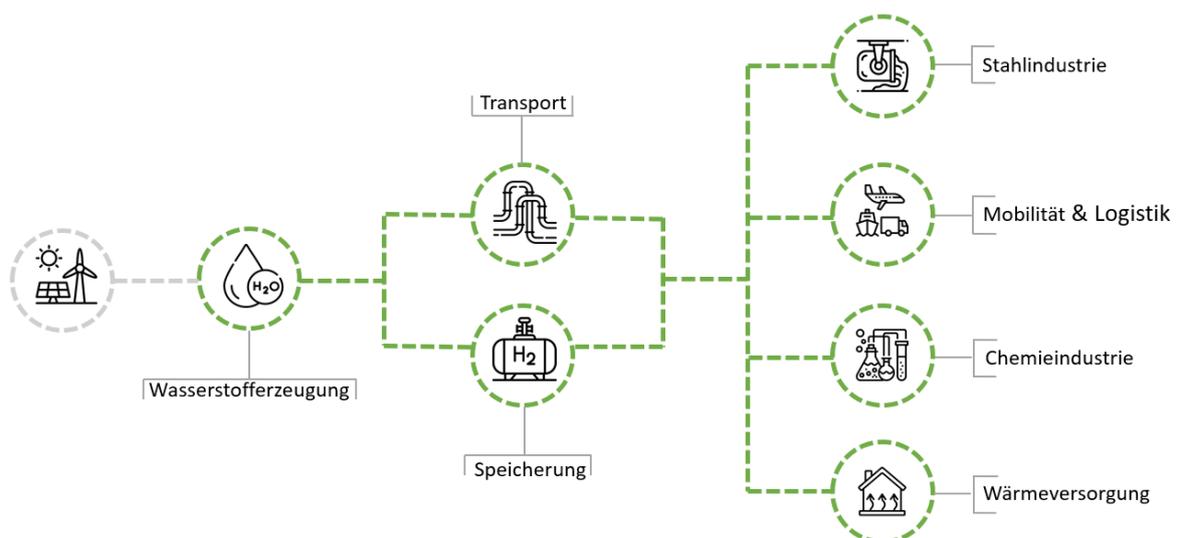
2 Zielstellung der Sektoranalyse und Einordnung innerhalb des H2Pro-Projekts

Ziel der Sektoranalyse ist es, eine erste kontextbezogene Annäherung an „den Aufgabenwandel und die Inhalte von Arbeitsaufgaben“ (Spöttl 2005) im Untersuchungsfeld (Sektor) zu erfassen. Sie dient der Positionierung und Erschließung des Untersuchungsfeldes. Auf Grundlage der Sektoranalyse werden zum einen differenzierte Annahmen erarbeitet, die es im weiteren Forschungsverlauf zu überprüfen und zu vertiefen gilt. Zum anderen trägt sie dazu bei, die weiteren Forschungsinstrumente zu präzisieren und Zugänge für Fallstudien zu erhalten (Spöttl 2005; Spöttl und Windelband 2006). Die Zwischenergebnisse der Sektoranalyse basieren in erster Linie auf intensiven Literaturstudien, Gesprächen mit Expert/innen aus Verbänden, Wissenschaft und Unternehmen sowie vereinzelt Betriebsbesichtigungen.

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

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

Abbildung 1: Sektoren innerhalb des H2Pro-BIBB-Projekts „Wasserstoff als Zukunftsthema für die berufliche Bildung“



Die Sektoranalyse 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 und ordnet sich damit in die 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.

Im Hinblick auf die berufliche Aus- und Weiterbildung von Fachkräften auf mittlerer Ebene werden Qualifizierungs- und Ordnungsfragen als eine besondere Forschungslücke angesehen. Qualifizierte Fachkräfte sind eine Grundvoraussetzung, um die gesteckten Ziele langfristig in die Umsetzungspraxis zu führen.

Das Projekt soll daher, unterstützt durch die Sektoranalysen, folgende Fragen klären:

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?

3 Vorgehen bei der Sektoranalyse

Grundlage für das methodische Vorgehen sind berufswissenschaftliche Arbeiten des Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat) (bspw. Becker und Spöttl 2006; Spöttl und Windelband 2006; Spöttl 2005) sowie jüngere Arbeiten aus dem Bundesinstitut für Berufsbildung (BiBB) (bspw. Zinke et al. 2017; Hackel et al. 2015).

Das gesamte Forschungsdesign umfasst die drei Hauptschritte Sektoranalyse, leitfadengestützte Experteninterviews und arbeitsprozessorientierte Betriebsfallstudien.

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

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

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

Es werden erste Tätigkeits- und Aufgabenfelder beschrieben und berufsprofilbezogene Abgrenzungsfragen beantwortet. Zudem gilt es, charakteristische Strukturen der Erstausbildung und Weiterbildung darzustellen, Qualifizierungsstrategien hervorzuheben und zukunftsorientierte Qualifizierungsangebote zu identifizieren.

Das Untersuchungsfeld der Wasserstofferzeugung wird in diesem Zusammenhang weiter differenziert und abgegrenzt. Damit können Aufgabencluster und Einsatzfelder von Berufen besser unterschieden werden.

4 Gesellschaftliche, wirtschaftliche und technische Einordnung der Wasserstoffnutzung

4.1 Dekarbonisierung der Wirtschaft – Vorteilhafte Eigenschaften von Wasserstoff als Energieträger, Reduktionsmittel und Industrierohstoff

Wasserstoff ist auf Grund seiner Eigenschaften für die Dekarbonisierung der Wirtschaft in dreierlei Hinsicht von Bedeutung: Als Energieträger (Energiewirtschaft, Wärme/Klima, Verkehr/Mobilität), als Reduktionsmittel (Stahlindustrie) und als Rohstoff (Chemische Industrie).

4.1.1 Energieträger

Zur Erreichung der deutschen Klimaziele soll das Energiesystem auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden. Der Fokus liegt dabei auf der Elektrifizierung von Endanwendungen und der Dekarbonisierung der Stromerzeugung durch den Ausbau der Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie. Da diese abhängig von Sonneneinstrahlung bzw. Windverhältnissen sind – Stromerzeugung und -Verbrauch jedoch zu jedem Zeitpunkt ausgeglichen sein müssen – sind zusätzliche flexible Verbraucher und/oder Stromerzeuger notwendig, um beides auszubalancieren.

Großes Potenzial wird dabei in Wasserstoff als Energieträger gesehen. Dieser kann mittels Elektrolyse unter Einsatz von Strom aus Wasser hergestellt werden. Wasserstoffelektrolyseure können

Wasserstoff dann erzeugen, wenn erneuerbarer Strom verfügbar ist. Da Wasserstoff vergleichsweise gut gespeichert sowie transportiert werden kann, bietet sich Wasserstoff als Energieträger und -Speicher an. Die Rückverstromung mittels Wasserstoffturbinen erlaubt darüber hinaus Strom zu produzieren, wenn weder Sonne noch Wind verfügbar sind.

Viele Eigenschaften des Wasserstoffs bieten gute Voraussetzungen. Wasserstoff – das leichteste aller Elemente – ist 14-mal leichter als Luft und hat aber den höchsten Energiegehalt pro Masseinheit. Im Vergleich:

- Wasserstoff: 33,33 kWh/kg
- Methan: 13,9 kWh/kg
- Benzin: 12,0 kWh/kg
- Diesel: 11,9 kWh/kg
- Rohöl: 11,6 kWh/kg

Wasserstoff hat jedoch eine geringe volumenbezogene Energiedichte von $3,00 \text{ kWh/Nm}^3$ und muss deshalb für die Nutzung und den Transport mehr noch als andere Gase verdichtet werden. Wasserstoff ist darüber hinaus das einfachste, kleinste und leichteste Element. Außerdem ist es enorm flüchtig und sein Transport und seine Speicherung auch mit Problemen behaftet, denn dafür sind hochdichte Systeme erforderlich.

Wasserstoff ist in der Regel chemisch gebunden und muss erst in Reinform gewonnen werden. Beim Erzeugungsprozess wird die Energie gebunden, die später beim „Verbrauch“ (bspw. Rückverstromung) wieder freigesetzt wird. Wasserstoff kann mittels Elektrolyse aus Wasser oder mittels Dampfreformierung aus kohlenstoffhaltigen Energieträgern wie Erdgas oder Kohle erzeugt werden. Wasserstoff, der aus fossilen Energieträgern gewonnen wird, wird gemeinhin als „grau“ bezeichnet. Wird das im Herstellungsprozess freigesetzte CO_2 abgeschieden und gebunden bzw. gespeichert bezeichnet man den Wasserstoff als „blau“. Wird im Elektrolyseverfahren ausschließlich erneuerbar erzeugter Strom verwendet, bezeichnet man den Wasserstoff als „grün“.

Bei der „Erzeugung“ von Wasserstoff durch Elektrolyse wird Wasser prinzipiell durch elektrischen Strom über Anode und Katode zu Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Wasserstoff nimmt dabei Energie auf.

Der weitere Vorteil beim „Verbrauch“ von Wasserstoff ist, dass keine direkten, lokalen CO_2 -Emissionen entstehen, sondern nur Wasser(dampf). Die Energie wird freigesetzt.

Jeder Teilprozess verursacht allerdings auch Energieverluste, so dass der „Roundtrip“-Wirkungsgrad (Strom zu Wasserstoff zu Strom) allgemein aktuell noch bei unter 50 Prozent liegt. Deshalb ist die Verwendung von Wasserstoff als reiner Energiespeicher oder als Energieträger für die meisten Anwendungen noch nicht ausreichend wirtschaftlich. Perspektivisch werden die Sektoren Verkehr/Mobilität und Wärme/Klima als potentielle Anwendungsbereiche gesehen (Bundesregierung 2020). Zwei weitere Anwendungen sind umso mehr von Interesse: als Reduktionsmittel bei der Stahlerzeugung und als Industrierohstoff bzw. -grundstoff, insbesondere als Ausgangsstoff zur Ammoniaksynthese und zur Herstellung von Düngemitteln.

4.1.2 Reduktionsmittel

Bei der Stahlerzeugung kann Wasserstoff an Stelle von Kohlenstoff (Koks) als klimaneutrales Reduktionsmittel eingesetzt werden. Hier besteht noch einmal zusätzliches Potential für die CO₂-Einsparung und die Dekarbonisierung. Eisenerz (z.B. Fe₂O₃) wird in Eisen und Sauerstoff zerlegt. Der zugeführte Wasserstoff bindet den Sauerstoff. Es entsteht Wasser. Dafür sollen künftig Direktreduktionsanlagen errichtet werden, die die bisher verwendeten Hochöfen ersetzen. Bisher sind nur prototypische Anwendungen im Einsatz.

4.1.3 Industrierohstoff

Wasserstoff ist als Industrierohstoff insbesondere in der Chemischen Industrie von Bedeutung. Der größte Anteil entfällt auf die Ammoniaksynthese und hier als Ausgangsstoff für die Düngemittelherstellung. 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. In großem Umfang wird Wasserstoff außerdem in großem Umfang in Raffinerien eingesetzt – bisher „grau“, also aus fossilen Energieträgern gewonnen.

Bei der Ammoniaksynthese wird aus Wasserstoff und Stickstoff Ammoniak (NH₃) gewonnen.

Wasserstoff hat weitere vorteilhafte, chemische und physikalische Eigenschaften. Er ist z.B.

- farb- und geruchlos,
- nicht explosiv im Freien,
- nicht selbstentzündlich,
- nicht oxidierend und nicht brandfördernd,
- nicht giftig,
- nicht ätzend,
- nicht wassergefährdend,
- nicht radioaktiv,
- nicht krebserzeugend.

Wichtig, auch für die Fachkräfte, die mit Wasserstoff umgehen, ist: Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Wasserstoffs verursachen bei entsprechenden sicherheitstechnischen Maßnahmen kein höheres Gefahrenpotential als andere Energieträger. Ein spezielles Risiko besteht allerdings in der Entstehung von Knallgas und der damit verbundenen Explosionsgefahr.

5 Bedeutung und Struktur des Sektors – 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. Auf alle drei Teilprozesse wird nachfolgend eingegangen. Die Wasserstoffverwertung erfolgt in anderen Sektoren wie z.B. in der Stahlindustrie, der chemischen Industrie, der Wärme- und Energiewirtschaft sowie dem Logistik- und Mobilitätssektor. Auch im Kontext der Wasserstoffverwertung sind Speicherung und Transport relevant.

Abbildung 2: Wertschöpfungskette Wasserstoff (eigene Darstellung)



Impliziert mit der Erzeugung und dem Einsatz von Wasserstoff ist die Veränderung und Ablösung bisheriger Wertschöpfungsketten. Wasserstoff wird als Energieträger, Reduktionsmittel und Industrierohstoff in ganz vielen Anwendungsfällen ein Substitut sein, das anstelle anderer Produkte tritt und damit Wertschöpfungsketten grundsätzlich verändert.

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)². 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

² Vgl. [BMWK - IPCEI – gemeinsam, europäisch und hoch innovativ](#).

Netzwerke und Initiativen. Unternehmen bieten begonnen bei Forschung und Entwicklung zunehmend mehr neue Produkte und Dienstleistungen an, die sich in die o.g. Prozesskette einreihen lassen.

Parallel entstehen mit deutscher Beteiligung internationale Projekte, zum Beispiel in Australien, Kanada, Marokko, Namibia und Neuseeland. Ziel ist der Import von Wasserstoff und Ammoniak.

Vonseiten der Bundesregierung ist beabsichtigt, dass Wasserstoff sowohl in Deutschland hergestellt als auch – im verhältnismäßig größeren Anteil – importiert wird. 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 und 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.

5.1 Technologien zur Wasserstofferzeugung

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.

Dabei werden vier Elektrolyse -Technologien unterschieden:

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

Die alkalische Elektrolyse (AEL) ist bereits seit über einem Jahrhundert bekannt und kommerziell nutzbar. Nachteil ist der benötigte Platzbedarf sowie Leistungsgrenzen.

Die PEM-Elektrolyse stellt eine deutlich jüngere Technologie dar, die ebenfalls kommerziell einsatzbereit ist. Gegenüber der AEL bietet diese Technologie noch viel Potenzial für technische

Entwicklungen und Kosteneinsparungen. Aktuell sind die relativ geringe Lebensdauer und der Bedarf an teuren Rohstoffen für die wirtschaftliche Herstellung und Nutzung noch hinderlich.

Die HTEL befindet sich noch in der Pilotphase und wird für die Zukunft eine zunehmende Bedeutung zugerechnet. Vorteile für die Zukunft sind, dass die Anlagen mit einem sehr hohen Wirkungsgrad betrieben werden können und reversibel anwendbar sind. Sie können also auch als Brennstoffzellen eingesetzt werden (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (Sauer, Alexander, 2022)).

Eine weitere Option ist bei Nutzung der Sonnenenergie in eher ferner Zukunft möglicherweise die „künstliche“ Photosynthese. Während es bei der Elektrolyseanwendung in erster Linie um die Wirtschaftlichkeit bei der Nutzung eines bereits technologisch erprobten Verfahrens geht, ist aber bei ihr die notwendige technologische Reife noch lange nicht erreicht. „Die Fortschritte der letzten Jahre rücken (jedoch) eine großtechnische Produktion in den Bereich des Machbaren.“ (acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften Leopoldina, Union der deutschen Akademie der Wissenschaften (Hrsg.) 2018)

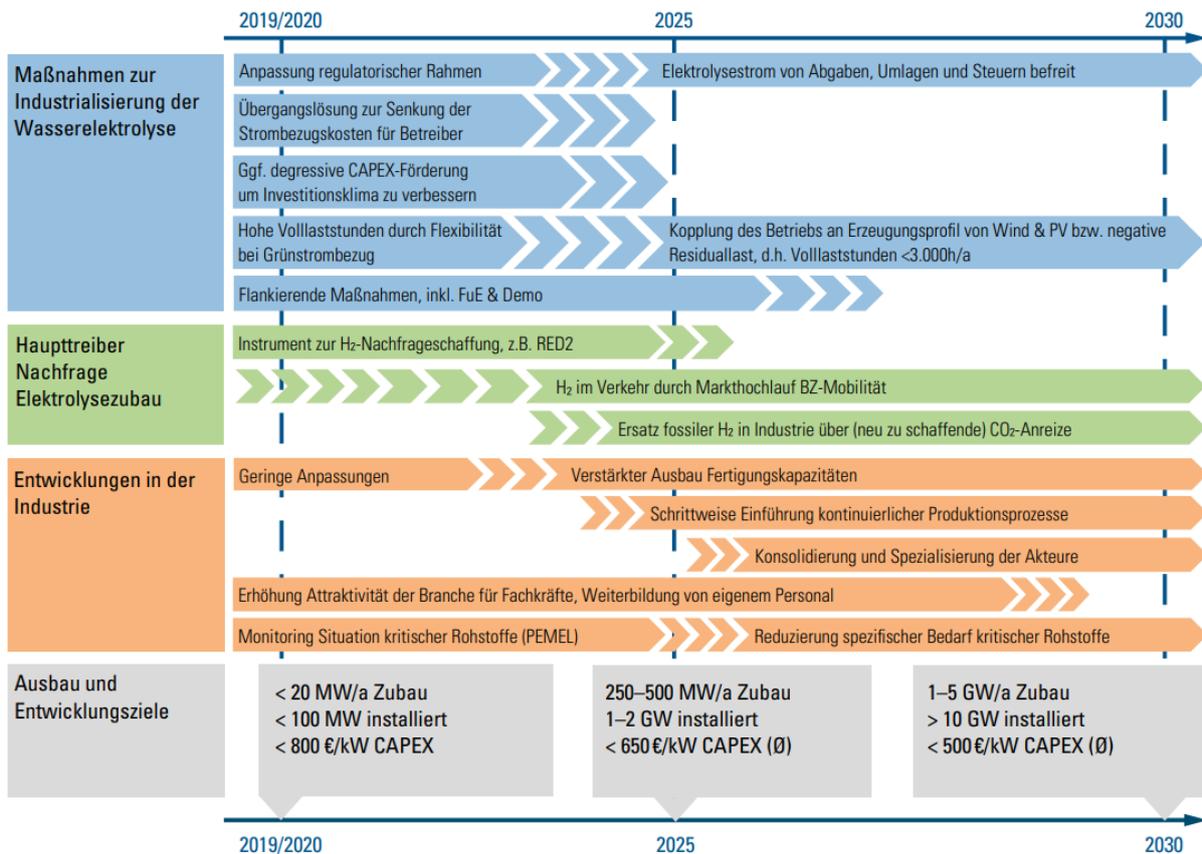
Zur Herstellung von dekarbonisiertem Wasserstoff befinden sich noch weitere Verfahren in der Entwicklung und Anwendung. Insbesondere die Pyrolyse von Erdgas, also die Dekarbonisierung durch Aufspaltung von Methan in Wasserstoff und festen Kohlenstoff (Karbonpulver), bietet ein großes Entwicklungspotenzial. Durch sie könnte perspektivisch Wasserstoff in großem Maßstab und zu Kosten für die Nutzer, die unterhalb des Elektrolyse-Wasserstoffs liegen, bereitgestellt werden. Angesichts der aktuellen „Ukraine-Krise“ dürfte diese Technologie auf Grund der Lieferengpässe an Attraktivität verlieren. Der so gewonnene Wasserstoff ist dann auch kein „grüner“ Wasserstoff.

5.2 Industrialisierung der Wasserstofferzeugung

„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).

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 et al. 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 (Smolinka et al. 2018)



Ein Szenario, das im Rahmen der dena-Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“ entwickelt wurde, verdeutlicht, wie das Ziel der Klimaneutralität in Deutschland bis zum Jahr 2045 erreicht werden könnte und Wasserstoff dabei eine wesentliche Rolle spielt. Im Jahr 2030 werden demnach 66 TWh klimafreundlicher Wasserstoff eingesetzt, was etwa 3 Prozent der deutschen Endenergienachfrage entspricht. Davon werden ca. 10 TWh grüner Wasserstoff in Deutschland produziert, der Rest – die eigentlich größere Menge – wird als blauer oder grüner Wasserstoff aus dem europäischen Ausland importiert. Bis 2045 wächst demnach der Wasserstoffmarkt um 10 bis 15 Prozent pro Jahr (Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln 2021).

Die nationale Wasserstoffstrategie ging bis zum Jahr 2030 von einem Wasserstoffbedarf von ca. 90 bis 110 TWh aus (BMWi 2020). Das Bundeswirtschaftsministerium hat Anfang 2022, „...um den Markthochlauf von grünem Wasserstoff zu erreichen, ...das Ausbauziel für Elektrolyseure 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 MW³.
- Das Wasserkraftwerk Werrawerk in der Nähe von Hannoversch Münden hat eine Nennleistung von 2,6 MW.⁴

Wie, wo, 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 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 und Zheng 2021)

Im Rahmen einer Befragung von Stakeholdern/Stakeholderinnen nach dem frühesten Zeitpunkt für einen großflächigen Zeitpunkt des Einsatzes von „CO₂-arm erzeugtem Wasserstoff“ befragt, wird deutlich, dass dies in keinem Anwendungsfall vor dem Jahr 2030 gesehen wird. Die meisten Nennungen für „bereits 2030“ werden für die Eisen- und Stahl-, Chemie-, Zement- und Betonbranche sowie für schwere Nutzfahrzeuge gesehen. Für die Bereiche PKW und Gebäudeheizung wird von den meisten Befragten „kein früher großflächiger“ Einsatz erwartet (acatech 2022).

5.3 Potentielle Standorte 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 et al. 2018). Daraus lassen sich Schlussfolgerungen für mögliche Standorte der Wasserstoffherzeugung und -weiterverarbeitung ziehen.

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

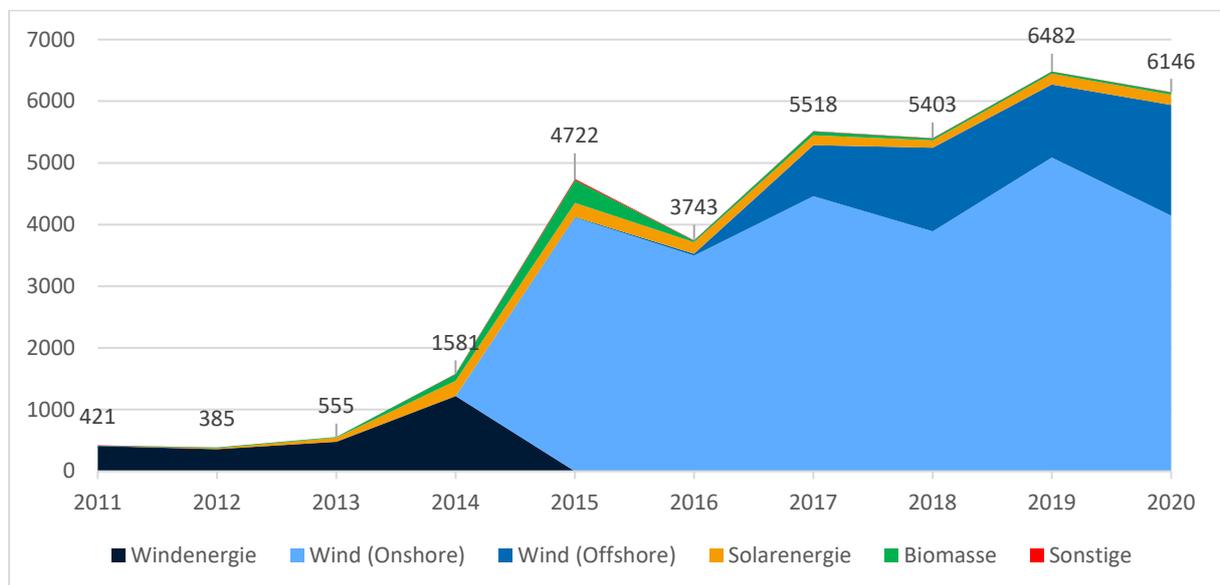
³ [Kraftwerk Jämschwalde | LEAG.](#)

⁴ [https://www.statkraft.de/globalassets/old-contains-the-old-folder-structure/documents/de/kraftwerke-in-deutschland/broschure_werrawerk_tcm21-12488.pdf/.](https://www.statkraft.de/globalassets/old-contains-the-old-folder-structure/documents/de/kraftwerke-in-deutschland/broschure_werrawerk_tcm21-12488.pdf/)

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 Bruttojahresenergieendverbrauch in Deutschland im Jahre 2020 bei 2.317 TWh lag (1 TWh = 1 000 GWh)⁵, relativiert sich allerdings der mögliche Nutzeffekt für die Gesamtwirtschaft. Diese Zahlenrelationen demonstrieren gleichzeitig die Gesamtherausforderung der Energiewende.

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



Netzdienlich heißt, dass durch die unmittelbare Wasserstoffherzeugung 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.

⁵ Quelle: AG Energiebilanzen, https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/04/awt_2020_d.pdf.

Einsatz könnte der so gewonnene Wasserstoff insbesondere im Mobilitätsbereich, bereitgestellt über Wasserstofftankstellen, finden (Schalling et al. 2022). Ein besonderes Beispiel, was „dezentral“ heißen kann, ist die angestrebte Erzeugung auf See, also offshore, in Nähe der Offshore-Windparks. (Fortschrittsbericht NWS 2022, unveröffentlichter Entwurf).

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).

5.4 Elektrolyseure als Backbone der Wasserstoffherzeugung

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 sowie Hersteller, die 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 Elektrolyseure in Deutschland eingesetzt und international nachgefragt werden, ist zurzeit nicht vorhersehbar.

Zu den Unternehmen, die in Deutschland an der Herstellung von Elektrolyseuren arbeiten, gehören eine Reihe Automobilhersteller, Zulieferer sowie Start-ups, die Startkapital von entsprechenden Firmen erhalten (Geitmann 2022a). Ein großes deutsches Unternehmen, das u.a. als Automobilzulieferer agiert, plant z.B. auf Grundlage der PEM-Technologie in den Bau entsprechender Anlagen einzusteigen und sogenannte Stacks zu entwickeln und zu fertigen. Die Stacks werden sich nach Angaben des Unternehmens als Smart Module je nach Bedarf parallelschalten lassen und

Leistungen im Bereich von 10 Megawatt bis in den Giga-Watt-Bereich erlauben (Bosch: Zukunft braucht Brennstoffzelle; Enkhardt 2022).

Diese Beispiele zeigen auf, dass die Herstellung von Komponenten für die Wasserstofferzeugung und die damit verbundene Frage nach dem Fachkräftebedarf eine weitere Dimension hat: Wenn es deutschen Unternehmen gelingt, hier Technologieführer zu sein und diese Anlagen auf dem Weltmarkt erfolgreich platzieren können, hat dies weiterreichende Konsequenzen auch für den Fachkräftebedarf, den Arbeitsmarkt und den Strukturwandel in Deutschland. Anlagen zur Wasserstofferzeugung, z.B. Elektrolyseure, könnten im größeren Umfang exportiert werden, was ein wichtiges Feld für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau sein wird.

Insgesamt lässt sich einschätzen, dass angesichts der beschriebenen möglichen Szenarien zum Einsatz der Elektrolyseure ähnlich wie bei der Herstellung von Elektromotoren ein von verschiedenen Technologien, Baugrößen, Leistungsmerkmalen und Verwendungen geprägte breite Produktpalette erwartet werden kann.

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.

6 Wasserstofftransport und -speicherung

6.1 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 absoluten Anfang. Zuständig für die Planung und Genehmigung ist die Bundesnetzagentur. 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.)

„Die Ausgestaltung einer künftigen Netzentwicklungsplanung Wasserstoff und die Frage, ob eine gemeinsame Netzentwicklungsplanung Gas und Wasserstoff oder eine getrennte Planung vorgenommen wird, gilt es mit Beteiligung aller Stakeholder zu diskutieren und zu entscheiden. Die EnWG-Novelle nimmt diese wichtigen Diskussionen nicht vorweg, sondern sieht in § 28q EnWG vor, dass der Bundesnetzagentur von den Fernleitungsnetzbetreibern und Wasserstoffnetzbetreibern, die der Regulierung unterfallen, im Jahr 2022 (spätestens zum 01. September) einen Bericht zum aktuellen Stand des Wasserstoffnetzes und zur Entwicklung einer zukünftigen Netzplanung Wasserstoff mit dem Zieljahr 2035 vorgelegt wird.“ (Bericht zu erstmaliger Erstellung des Netzentwicklungsplans Wasserstoff).

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 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). Eine dazu thematisch passende Studie verdeutlicht, dass die Umwidmung bestehender Leitungen zu einer enormen Kosten- und Zeiteinsparung gegenüber dem Neubau führen würde (Siemens Energy 2020). Zeitintensive Genehmigungs- und Planungsverfahren würden sich verkürzen. Anstelle des Neubaus müssten bestehende technische Anlagen jedoch angepasst werden.

Voraussetzung für den Transport ist, abhängig von der Art und Weise, die Verdichtung des Wasserstoffs, was wiederum entsprechende Anlagen und Energieaufwand notwendig macht.

Entsprechende Verdichter sind ein weiterer Anlagenbestandteil, der herzustellen ist. Auch hier beginnt sich eine Zahl von Anbietern, ähnlich wie bei den Elektrolyseuren, zu etablieren.

6.2 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, 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.

7 Teilprozesse, Arbeitsaufgabencluster und erwarteter qualitativer Fachkräftebedarf im Sektor Wasserstoffherzeugung

7.1 Vorliegende Prognosen

Die künftig entlang der Prozesskette Wasserstoffherzeugung (Sektor) 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 et al. 2020.)

Im Rahmen einer durchgeführten Befragung von Stakeholdern/Stakeholderinnen sollten u.a. die Auswirkungen auf den Netto-Arbeitsplatzbedarf abgeschätzt werden. Insgesamt kamen die Befragten zu dem Ergebnis, dass die Veränderungen nur gering sind. Mehr als drei Viertel sahen den Bedarf bei weniger als 200.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen, dazu gehört mehr als ein Viertel, das sogar keine/bzw. kaum Veränderung sah (acatech 2022). Bezogen auf den Zeitpunkt der Aus- und Weiterbildung sahen die Befragten in der Gegenwart bzw. sehr nahen Zukunft (bis 2025). Daran kann abgelesen

werden, dass die Befragten durch die sehr offen formulierte Fragestellung und ihre eigene Perspektive beide Fragen, bezogen auf den Bedarf an Ingenieuren und damit verbunden auf das Konstruieren, Planen und Entwickeln der Anlagen beantwortet haben. Bezogen auf die mittlere Fachkräfteebene sind diese Fragen neu zu beantworten.

Im Hinblick auf die quantitativen Fachkräftebedarfe sind die Einschätzungen auch von anderen noch sehr offen und problemorientiert formuliert. Demnach sind die im möglicherweise neu entstehenden Arbeits- und Technologiefeld „Wasserstoff“ künftigen Berufsstrukturen bisher noch nicht näher bekannt. Beim Aufbau der Infrastruktur werden insbesondere das Baugewerbe und ihm vorgelagerte Branchen Beschäftigungszuwächse vornehmlich auf Fachkraft- und Expertenniveau verzeichnen können (Hoch- und Tiefbau, Ingenieurwesen). Aber angesichts der bereits hohen Auslastung des Baugewerbes, sind laut der Studie verschärfte berufliche Engpässe zu erwarten (Steeg et al. 2022.)

Daraus entstehen weiterführende Fragen zum qualitativen Fachkräftebedarf: Welche Ausbildungsberufe kommen für den Einsatz in Frage und wie vollständig passt deren Qualifikationsprofil auf die künftigen Arbeitsaufgaben? Wo sind Einsatzgrenzen hin zu akademischen Abschlüssen?

7.2 Weitere Abgrenzung und Differenzierung des Untersuchungsfeldes

Um sich Antworten zu nähern, wird die Wertschöpfungskette nochmals differenziert. Auf dieser Grundlage können mögliche Berufsprofile (Ausbildungsberufe) identifiziert und - zunächst vorläufig - zugeordnet werden. Im Rahmen des methodischen Vorgehens soll weiterhin abschließend geklärt werden, ob

- diese Auswahl zutreffend und geeignet ist,
- andere/weitere Ausbildungsberufe in Frage kommen oder die Aufgaben entweder durch angelernte oder durch akademisch qualifizierte Fachkräfte erfüllt werden,
- die heutigen Berufsprofile die Qualifikationsanforderungen innerhalb der zu erfüllenden Arbeitsaufgaben ausreichend erfüllen,
- zusätzliche Qualifikationsbedarfe erkennbar werden und auf welchem Wege sie vermittelt werden können.

Die Wasserstofferzeugung besteht bei näherer Betrachtung aus den Prozessschritten Wasserstofferzeugung, -speicherung und -transport. Für alle drei Segmente gilt es 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 3: 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 und Inbetriebnahme (einschließlich Betriebszulassung und regelmäßiger Überprüfung) sind an diesen Prozessen verschiedene Unternehmen beteiligt, die in Produzenten/Betreiber, Händler und Verbraucher kategorisiert werden können. Dies schließt nicht aus, dass der Verbraucher auch der Betreiber ist und ein Händler in dieser Prozesskette nicht auftritt. Zur Überwachung (einschließlich Schutz vor äußeren Störungen, Gewährleistung der Anlagensicherheit) sowie Wartung und Instandhaltung der Anlagen werden ggf. zusätzlich technische Dienstleister eingesetzt (Abbildung 4).

Abbildung 5: Akteure innerhalb der Prozesskette Wasserstoffherzeugung (eigene Darstellung)



Abhängig von der Größe der Anlagen zur Wasserstoffherzeugung, ihrer Integration in Vor- und Nachfolgeprozesse sowie ihrer Verortung bei einem der „Akteure“, ist zu erwarten, dass die Aufgabenprofile der beschäftigten mittleren Fachkräfte insbesondere in Bezug auf das Betreiben, Überprüfen, Überwachen und Instandhalten der Anlagen unterschiedlich zugeschnitten sein werden.

In diesem Zusammenhang gilt „...die Wasserstoffwirtschaft ... als Schlüssel zur Sektorenkopplung. Denn Wasserstoff kann Gasturbinen direkt antreiben oder in Brennstoffzellen eingesetzt werden. Außerdem kann es weiterverarbeitet in Form von Methanol, Ammoniak oder als synthetischer Treibstoff in der Mobilität, als Dünger oder Ausgangsstoff für die Chemieindustrie zum Einsatz kommen. Zur Dekarbonisierung ist natürlich grüner Wasserstoff notwendig, der typischerweise durch Elektrolyse von Wasser gewonnen wird – gespeist mit Strom aus erneuerbaren Energien.“ (Schnettler 2020)

In weiteren, an die hier durchgeführte Sektoranalyse anschließenden Untersuchungen soll deshalb den Folgen möglicher Sektorenkopplungen für den Arbeitskräfteinsatz, die Aufgabenprofile und sich daraus ergebende Qualifikationen verstärkt nachgegangen werden.

8 Identifizierung einschlägiger Ausbildungsberufe in Teilprozessen

In den nachfolgenden Abschnitten werden den Teilschritten Ausbildungsberufe zugeordnet, die auf Grund ihrer Profilierung für die jeweiligen Arbeitsaufgaben in Frage kommen. Exemplarisch werden dazu in den Abschnitten Auszüge aus den Ausbildungsordnungen benannt, um die Eignung zu demonstrieren.

8.1 Anlagen planen und entwickeln

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

Tabelle 4: 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.

8.2 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 5: 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)

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

	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.

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.

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. Diese Einschätzung 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 gleichzeitig ausreichend technikoffen formuliert, so dass basierend auf der allgemeinen beruflichen Handlungsfähigkeit der Fachkräfte erwartet werden kann, dass gestellte Aufgaben grundsätzlich bewältigt werden.

Abgeleitete Annahmen

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.

8.3 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 6: 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) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - Fachrichtung Anwendungsentwicklung (IH) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - Fachrichtung Digitale Vernetzung (IH) Fachinformatiker/Fachinformatikerin - Fachrichtung Systemintegration (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 7: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf

Produktionstechnologe/Produktionstechnologin (vgl. BMWi 16.06.2008; BMWi Juni 2018)

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)	<ul style="list-style-type: none"> 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 8: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Mechatroniker/in (vgl. (BMWi Juni 2018)

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)	<ul style="list-style-type: none"> 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

		<ul style="list-style-type: none"> 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 Verfahwege 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 9: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Industriemechaniker/in (vgl. (BMWi 28.06.2018b)

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)	<ul style="list-style-type: none"> 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 technischer Berufe 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.

Abgeleitete Annahmen bzw. 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.

8.4 Anlagen betreiben

Die Wasserstofferzeugung ist ein automatisierter kontinuierlicher, elektrochemischer Prozess, der – so wird erwartet – 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. Der Personalaufwand ist hier eher gering.

Ein O-Ton aus einem E-Mail-Verkehr mit einem Betreiber illustriert hier 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 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.“

⁶ Aus Datenschutzgründen wurde das Zitat hier anonymisiert.

Ausbildungsberufe, die dafür besonders geeignet sind, werden nachfolgend aufgeführt (Tabelle 10).

Tabelle 10: Ausbildungsberufe im Kontext Wasserstoffherzeugung.

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

Die Fachkräfte müssen bei Betreiben der Anlage entlang der Prozesskette Abläufe überwachen, steuern und dokumentieren.

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 11: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Chemikant/in (vgl. BMWi 10.06.2009).

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

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

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 12: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Produktionsfachkraft Chemie (vgl. (BMWA 23.03.2005)

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

Abgeleitete Annahmen:

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.

8.5 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 13: 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) Sicherheit überwachen	Fachinformatiker/Fachinformatikerin - FR Digitale Vernetzung (Industrie und Handel) Fachkraft für Schutz und Sicherheit (IH) Werkfeuerwehrmann/Werkfeuerwehfrau (Industrie und Handel)

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 Werkfeuerwehrlaute 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 07.05.2008).

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

Tabelle 14: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Fachinformatiker/in Fachrichtung Digitale Vernetzung (vgl. BMWi 28.02.2020)

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

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

3	Betreiben von vernetzten Systemen und Sicherstellung der Systemverfügbarkeit (§ 4 Absatz 6 Nummer 3)	<ul style="list-style-type: none"> 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 Annahmen:

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.

8.6 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 15: 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 16: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Anlagenmechaniker/in (vgl. BMWi 28.06.2018c)

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 Fehlern und Störungen (§ 7 Absatz 1 Nummer 16)	<ul style="list-style-type: none"> a) Anlagen oder Anlagenteile inspizieren, Fehler, Beschädigungen und Störungen feststellen und eingrenzen b) Vorbereitungsmaßnahmen zur Instandhaltung von Anlagenteilen unter Berücksichtigung verfahrens- und sicherheitstechnischer Vorschriften durchführen c) Bauteile auf Verschleiß und Beschädigungen sichtprüfen 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 17: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Chemikant/in, die Instandhaltung betreffend (vgl. BMWi 10.06.2009).

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)	<ul style="list-style-type: none"> a) Produktionseinrichtungen zur Reparatur und Wartung unter Beachtung sicherheitstechnischer Vorschriften und verfahrenstechnischer Bedingungen in und außer Betrieb nehmen

		<ul style="list-style-type: none"> 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 18: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Mechatroniker/in (vgl. (BMW 28.06.2018a)

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)	<ul style="list-style-type: none"> 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 Annahmen:

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).

9 Geltende Rechtsgrundlagen zur Arbeit an Anlagen zur Erzeugung, Speicherung und dem Transport von Wasserstoff und Konsequenzen für die Qualifikation der eingesetzten Fachkräfte

9.1 Anlagencharakteristik als Ausgangspunkt

Anlagen zur Herstellung, Verwendung, Verarbeitung, der Speicherung und dem Transport von Wasserstoff sind überwachungsbedürftige Anlagen. ([Betriebssicherheitsverordnung \(BetrSichV\)](#), (Deutscher Bundestag 01.06.2015), Anhang 2 Abschnitte 3 und 4). Es handelt sich sowohl um Druckanlagen als auch um Anlagen mit Explosionsgefährdungen. Abhängig von Leistungsmerkmalen können Wasserstofferzeugungsanlagen zur kritischen Infrastruktur (KRITIS) gehören.

Für das Arbeiten an Wasserstoffleitungen oder -anlagen sowie für den Betrieb der Anlagen muss der Unternehmer und die Unternehmerin für die Beschäftigten im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung geeignete Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung der speziellen Eigenschaften von Wasserstoff festlegen. Entsprechende Handlungsempfehlungen werden aktuell von der DGUV erarbeitet (vgl. (Seemann 2022)). Diese Gefährdungsbeurteilung liefert dem Arbeitgeber erste, wichtige Informationen zu möglichen Qualifikationsanforderungen an die eingesetzten Fachkräfte.

9.1.1 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 01.12.2010). 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 01.06.2015).

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 01.06.2015).

9.1.2 Druckanlagen

Wasserstofferzeugungsanlagen, sowie Anlagen zur Speicherung und dem Transport von Wasserstoff entsprechen gemäß der Betriebssicherheitsverordnung Druckanlagen. (Deutscher Bundestag 01.06.2015)). 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 01.06.2015).

Für die technische Überprüfung von Druckanlagen liegt die Verantwortung beim Arbeitgeber, sofern es sich nicht um Energieanlagen handelt (vgl. Deutscher Bundestag 01.06.2015). Sie erfolgt bei Inbetriebnahme, bei Wiederinbetriebnahme nach prüfpflichtigen Änderungen (vgl. Deutscher Bundestag 01.06.2015) sowie als wiederkehrende Prüfung nach festgelegte Fristen entsprechend geltender Vorgaben durch zur Überprüfung befähigte Personen oder eine zugelassene Überwachungsstelle (Deutscher Bundestag 01.06.2015).

9.1.3 Kritische Infrastruktur

Anlagen zur Wasserstofferzeugung, -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 14.08.2009).

Mit den folgenden Ausführungen sollen die wichtigsten Gesetze und Regeln eingeordnet werden, was ihren Gültigkeitsbereich und Inhalt betreffen.

9.2 Übersicht geltender Gesetze und Regeln

Ausgangspunkt der Analyse ist, welche wichtigsten Rechtsgrundlagen das Arbeiten an entsprechenden Anlagen zur Herstellung, Verwendung, Verarbeitung, Speicherung und dem Transport von Wasserstoff regeln, wie verbindlich und worauf sie anwendbar sind (Tabelle 19).

Tabelle 19: Übersicht geltender Gesetze und Regeln

Sammelbegriff	Charakter	Inhalt
Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)	Bundesrecht	Regeln zur Sicherheit und den Schutz der Gesundheit von Beschäftigten bei der Verwendung von Arbeitsmitteln, insbesondere erreicht werden durch

Sammelbegriff	Charakter	Inhalt
(Deutscher Bundestag 01.06.2015)		<p>die Auswahl geeigneter Arbeitsmittel und deren sichere Verwendung, die für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignete Gestaltung von Arbeits- und Fertigungsverfahren sowie</p> <p>die Qualifikation und Unterweisung der Beschäftigten insbesondere, die</p> <p>(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 Berufsausbildung, Berufserfahrung oder eine zeitnah ausgeübte entsprechende berufliche Tätigkeit. Die Fachkenntnisse sind durch Teilnahme an Schulungen auf aktuellem Stand zu halten.</p> <p>(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.</p> <p>Rolle und Funktion zugelassener Überwachungsstellen (ZÜS) (vgl. Anlage 1, Abschnitt 1)</p>
TRBS, (Bundesministerium für Arbeit und Soziales März 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 23.05.2019)	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 März 2019)	Bundesrecht; Bundesministerium für Arbeit und Soziales	Anforderungen an die Befähigung einer zur Prüfung befähigten Person entsprechend § 2 Absatz 6 BetrSichV.
DGUV Vorschriften (Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM) 2022)	Autonomes Recht, Berufsgenossenschaften und Unfallkassen (Unfallversicherungsträger, UVT),	Schutzziele für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit sowie branchen- oder verfahrensspezifische Forderungen an die Sicherheit und den Gesundheitsschutz Unterscheiden DGUV-Regeln und Vorschriften

Sammelbegriff	Charakter	Inhalt
	rechtsverbindlich nach SGB VII	
Unfallverhütungsvorschriften	Berufsgenossenschaften	Maßnahmen zur Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren oder für eine wirksame Erste Hilfe
Gefahrstoffverordnung (Bundestag 01.12.2010)	Bundesrecht	Menschen und die Umwelt vor stoffbedingten Schädigungen zu schützen durch 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 16.07.2021)	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, die über eine in der Regel abgeschlossene, einschlägige Berufsausbildung hinaus weitere notwendige Anforderungen an die Qualifikation der Fachkräfte und deren Einsatz festlegen. 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.

9.3 Typische Funktionen von Fachkräften bei Arbeiten an Anlagen zur Herstellung, Verwendung, Verarbeitung, Speicherung und dem Transport von Wasserstoff

Fachkräfte übernehmen beim Arbeiten an Anlagen zur Herstellung, Verwendung, Verarbeitung, Speicherung und dem Transport von Wasserstoff entsprechend den Rechtsnormen allgemein fünf unterschiedliche Funktionen:

Sie arbeiten als

6. fachkundige Personen,
7. fachkundig, unterwiesene und beauftragte Personen,
8. Sicherheitsfachkräfte,
9. zur Prüfung befähigte Personen,
10. 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 20: 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		

9.4 Anforderungen an die Qualifikation der Fachkräfte nach Funktion

9.4.1 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 01.06.2015](#)))

9.4.2 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 \(Deutscher Bundestag 01.06.2015\)](#)).

9.4.3 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 01.06.2015](#))).

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

9.4.3.1 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 \(Deutscher Bundestag 01.06.2015\)](#)).

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 \(Deutscher Bundestag 01.06.2015\)](#)).

9.4.3.2 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 \(Deutscher Bundestag 01.06.2015\)](#).

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.

9.5 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 16.07.2021).

Damit gilt auch für diese Personengruppe, dass sie über eine „einschlägige technische Berufsausbildung“ verfügen soll, 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.

9.6 Zwischenbilanz

Je nach Arbeitsaufgabe, Gefährdungsart und Teilprozess geben die Rechtsgrundlagen 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. Es gibt keine Rechtsgrundlagen, die eine Schulung, ein Zertifikat oder eine Prüfung für das Arbeiten an Wasserstofferzeugungsanlagen verlangen.

10 Schulungs- und Weiterbildungsangebote als Indikatoren für Qualifikationsbedarfe

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 Wasserstofferzeugung 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.

Angebote, die sich am Bedarf tatsächlicher Arbeitsaufgaben und an den o.g. Funktionen der Fachkräfte orientieren, sind eher rar.

Transparenz und Aufklärung, z.B. im Sinne einer Checkliste könn(t)en hier hilfreich sein.

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

Tabelle 21: 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

		<p>wasserstoffführenden Systemen und Anlagen umgehen zu können.</p> <p>Modul 2 beinhaltet den Aufbau einer Wasserstoffanlage, notwendige Kenntnisse, um festgelegte Arbeiten an Wasserstoffanlagen sicher ausführen zu können.</p> <p>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))</p>
HWK Ulm	Fachkraft im Umgang mit Wasserstoff	<p>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))</p>
DIHK (Weiterbildungs-GmbH)	Fachkraft für Wasserstoffanwendungen (IHK)	<p>„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 Wasserstoffanwendungen (IHK) Weiterbildung (ihk-kompetenz.plus))</p>

11 Erste Schlussfolgerungen zur Einschätzung der Notwendigkeit möglicher ordnungsrelevanter Qualifikationsbedarfe

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.

Zusammenfassend heißt das, dass die bestehenden Rechtsverordnungen sicherstellen, dass weiterführende, sicherheitsrelevante Qualifizierungsinhalte, die das Arbeiten an Wasserstofferzeugungsanlagen betreffen, bedarfsorientiert durch Schulungen und Unterweisungen im Rahmen der Anpassungsfortbildung vermittelt werden. Sie bauen auf einschlägige Ausbildungsberufe auf.

Das heißt, dass diese Inhalte nicht in die Ausbildungsordnungen aufgenommen werden müssen.

Für Betriebe, die Wasserstoff erzeugen und für entsprechende Aufgaben ausbilden, besteht die Möglichkeit auf Grundlage der jeweiligen Ausbildungsordnung bereits ihre betriebliche Ausbildung

entsprechend zu vertiefen, z.B. durch zusätzliche Schulungen, Zusatzqualifikationen, Unterweisungen usw.

Insofern wird abschließend angenommen, dass für die Sicherung des Fachkräftebedarfs Änderungen an den Ausbildungsordnungen nicht unmittelbar notwendig sind. Hinweise auf den Bedarf zusätzlicher, neuer Ausbildungsberufe gibt es nicht.

Für eine weitere Validierung und Schärfung der vorliegenden Zwischenergebnisse soll die Wasserstoffherzeugung und damit verbundene Arbeitsaufgaben in den Kontext der erweiterten Prozesskette gestellt werden. Es wird erwartet, dass durch die Sektorenkopplung im Sinne der Prozesse und Technologien auch Arbeitsaufgaben komplexer sein werden, als dass sie nur auf die Erzeugung ausgerichtet sind.

12 Literaturverzeichnis

acatech, DECHEMA (Hg.) (2022): Auf dem Weg in die deutsche Wasserstoffwirtschaft. Resultate der Stakeholder*innen -Befragung. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/auf-dem-weg-in-die-wasserstoffwirtschaft/download-pdf?lang=de>, zuletzt geprüft am 16.05.2022.

acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften Leopoldina, Union der deutschen Akademie der Wissenschaften (Hrsg.) (2018): Künstliche Photosynthese, Forschungsstand, wissenschaftliche Herausforderungen und Perspektiven. Hg. v. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften Leopoldina, Union der deutschen Akademie der Wissenschaften (Hrsg.). München. Online verfügbar unter https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/05/Ku%CC%88nstliche_Photosynthese_2018_web_final.pdf, zuletzt geprüft am 14.12.2021.

AGBF (2008): Wasserstoff und dessen Gefahren. Ein Leitfaden für Feuerwehren. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren. Online verfügbar unter https://www.fwvbw.de/fileadmin/Downloads/Einsatz_Wasserstoffleitfaden.pdf, zuletzt geprüft am 06.09.2022.

Becker, Matthias; Spöttl, Georg (2006): Berufswissenschaftliche Forschung und deren empirische Relevanz für die Curriculumentwicklung. In: *BWP* (11).

Bericht zu erstmaliger Erstellung des Netzentwicklungsplans Wasserstoff. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Wasserstoff/Ausblick/start.html, zuletzt geprüft am 10.01.2022.

Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM) (Hg.) (2022): DGUV Vorschriften. Online verfügbar unter <https://www.bghm.de/arbeitschuetzer/gesetze-und-vorschriften/dguv-vorschriften/>.

BIBB (17.11.2020): Empfehlung des Hauptausschusses des Bundesinstituts für Berufsbildung vom 17. November 2020 zur „Anwendung der Standardberufsbildpositionen in der Ausbildungspraxis“. In: BAnz AT 22.12.2020 S4. Online verfügbar unter <https://www.bibb.de/dokumente/pdf/HA172.pdf>, zuletzt geprüft am 06.09.2022.

BMU (07.05.2008): Anforderungen an den Objektsicherungsdienst und an Objektsicherungsbeauftragte in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen. In: Bek. d. BMU vom 4.7.2008. Online verfügbar unter https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwbund_04072008_RSI613151617.htm.

BMWA (23.03.2005): Verordnung über die Berufsausbildung zur Produktionsfachkraft Chemie*). In: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2005 Teil I Nr. 19. Online verfügbar unter https://www.bibb.de/dienst/berufesuche/de/index_berufesuche.php/regulation/produktfachkraft_chemie.pdf, zuletzt geprüft am 07.09.2022.

BMW i (10.06.2009): Verordnung über die Berufsausbildung zum Chemikanten/zur Chemikantin*). In: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 33. Online verfügbar unter https://www.bibb.de/dienst/berufesuche/de/index_berufesuche.php/regulation/Chemikant2009.pdf.

BMW i (Juni 2018): Bekanntmachung der Neufassung der Mechatroniker-Ausbildungsverordnung, vom 28.06.2018. Fundstelle: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 23. Online verfügbar unter https://www.bibb.de/dienst/berufesuche/de/index_berufesuche.php/regulation/neufassung_mechatroniker_2018.pdf.

BMW i (28.06.2018a): Bekanntmachung der Neufassung der Mechatroniker-Ausbildungsverordnung. In: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 23. Online verfügbar unter https://www.bibb.de/dienst/berufesuche/de/index_berufesuche.php/regulation/neufassung_mechatroniker_2018.pdf, zuletzt geprüft am 06.09.2022.

BMW i (28.06.2018b): Bekanntmachung der Neufassung der Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Metallberufen. In: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 23. Online verfügbar unter https://www.bibb.de/dienst/berufesuche/de/index_berufesuche.php/regulation/neufassung_metalberufe_2018.pdf.

BMW i (28.06.2018c): Bekanntmachung der Neufassung der Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Metallberufen. In: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 23. Online verfügbar unter https://www.bibb.de/dienst/berufesuche/de/index_berufesuche.php/regulation/neufassung_metalberufe_2018.pdf, zuletzt geprüft am 06.09.2022.

BMW i (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 29.04.2022.

BMW i (28.02.2020): Verordnung über die Berufsausbildung zum Fachinformatiker und zur Fachinformatikerin (Fachinformatikerausbildungsverordnung – FIAusbV)*. In: Bundesgesetzblatt

Jahrgang 2020 Teil I Nr. 9. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/themen/berufliche-schulen/duale-berufsausbildung/downloadbereich-rahmenlehrplaene.html?type=150&tx_feddownloads_pi1%5Bdownload%5D=45009&tx_feddownloads_pi1%5Baction%5D=forceDownload&tx_feddownloads_pi1%5Bcontroller%5D=Downloads&cHash=5a9d0c89c3f5b1ae049ff2fb2ecd4b89.

BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz) (16.06.2008): Verordnung über die Berufsausbildung zum Produktionstechnologen/zur Produktionstechnologin*).

Fundstelle: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 25.

Bosch: Zukunft braucht Brennstoffzelle. Online verfügbar unter <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/bosch-die-mobilitaet-der-zukunft-braucht-die-brennstoffzelle-218112.html>.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (März 2018): Technische Regeln für Betriebssicherheit - Struktur und Anwendung der Technischen Regeln für Betriebssicherheit. TRBS 1001.

Fundstelle: GMBI 2018 S. 398 [Nr. 22]. Online verfügbar unter <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBS/TRBS-1001.html>.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (März 2019): Technische Regeln für Betriebssicherheit - Zur Prüfung befähigte Personen. TRBS 1203, vom GMBI 2022 S. 16 [Nr. 1] (v. 14.01.2022).

Fundstelle: GMBI 2019 S. 262 [Nr. 13–16] (v. 23.05.2019). Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBS/pdf/TRBS-1203.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (23.05.2019): Technische Regeln für Betriebssicherheit - Prüfungen und Kontrollen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen. TRBS 1201.

Fundstelle: GMBI 2019 S. 229 [Nr. 13–16].

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): Eröffnungsbilanz Klimaschutz. Berlin.

Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/220111_eroeffnungsbilanz_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=22, zuletzt geprüft am 03.02.2022.

Bundesnetzagentur (2022): Monitoringbericht 2021. Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i.V.m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i.V.m. § 53 Abs. 3 GWB. Hg. v. Bundesnetzagentur. Bonn. Online verfügbar unter

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/Monitoringbericht__Energie2021.pdf;jsessionid=E4E2CFB8502CDA327920D642A613818C?__blob=publicationFile&v=7.

Bundesregierung, Die (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS). Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20.

Bundestag (12.12.1973): Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit, vom 20.04.2013. In: BGBl. I S. 1885. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/asig/ASiG.pdf>.

Bundestag (07.08.1996): Siebtes Buch Sozialgesetzbuch - Gesetzliche Unfallversicherung - (Artikel 1 des Gesetzes vom 7. August 1996, BGBl. I S. 1254). In: (BGBl. I S. 1254. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/sgb_7/SGB_7.pdf, zuletzt geprüft am 06.09.2022.

Bundestag (14.08.2009): Gesetz über das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI-Gesetz - BSIG). In: BGBl. I S. 1982, zuletzt geprüft am 07.09.2022.

Bundestag (01.12.2010): Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen. Gefahrstoffverordnung - GefStoffV, vom 21.07.2021. Fundstelle: BGBl. I S. 3115. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv_2010/GefStoffV.pdf.

DB Netze (2020): Potenzialbeschreibung Wasserstofftransport über das Schienennetz. Hg. v. LandesEnergieAgentur Hessen. Wiesbaden. Online verfügbar unter <https://blog.lea-hessen.de/wp-content/uploads/2020/08/Potenzialbeschreibung-Wasserstofftransport-%C3%BCber-das-Schienennetz.pdf>, zuletzt geprüft am 12.01.2022.

Deutscher Bundestag (01.06.2015): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln. (Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV), vom 27.07.2021 (BGBl. I S. 3146). Fundstelle: BGBl. I S. 3146.

Deutscher Bundestag (16.07.2021): Gesetz über überwachungsbedürftige Anlagen. ÜAnlG. Fundstelle: BGBl. I S. 3146, 3162. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/_anlg/BJNR316200021.html.

DIHK (2020): Wasserstoff. DIHK Faktenpapier. Hg. v. DIHK. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.dihk.de/resource/blob/24872/fd2c89df9484cf912199041a9587a3d6/dihk-faktenpapier-wasserstoff-data.pdf>, zuletzt geprüft am 19.01.2022.

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 - Transformation der Verbrauchssektoren und des

Energiesystems. Hg. v. Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena). Köln. Online verfügbar unter https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2021/10/211005_EWI-Gutachterbericht_dena-Leitstudie-Aufbruch-Klimaneutralitaet.pdf, zuletzt geprüft am 02.02.2022.

Enkhardt, Sandra (2022): Bosch investiert 500 Millionen Euro in die Entwicklung von Wasserstoff-Elektrolyseure. In: *PV Magazine* 2022, 04.05.2022. Online verfügbar unter <https://www.pv-magazine.de/2022/05/04/bosch-investiert-500-millionen-euro-in-die-entwicklung-von-wasserstoff-elektrolyseure/>, zuletzt geprüft am 10.05.2022.

Fraunhofer-Gesellschaft (2021): Wie lässt sich ausreichend (grüner) Wasserstoff herstellen? Online verfügbar unter <https://www.fraunhofer.de/de/forschung/aktuelles-aus-der-forschung/wasserstoff-so-bleiben-wir-mobil/herstellung-gruener-wasserstoff.html>, zuletzt geprüft am 15.12.2021.

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (Sauer, Alexander) (Hg.) (2022): I-H2-Hub-BW. Voruntersuchung: Dezentrale Wasserstoffherzeugung und -nutzung im industriellen Umfeld Baden-Württembergs Baden-Württembergs. Stuttgart. Online verfügbar unter <https://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-6446437.html>.

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

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

Hackel, Monika; Blötz, Ulrich; Reymers, Magret (2015): Diffusion neuer Technologien. Veränderungen von Arbeitsaufgaben und Qualifikationsanforderungen im produzierenden Gewerbe (DifTech). Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB). Bonn. Online verfügbar unter <https://www.bibb.de/dienst/veroeffentlichungen/de/publication/show/7884>, zuletzt geprüft am 11.05.2022.

Krichewsky-Wegener, Lena; Abel, Sebastian; Bovenschulte, Marc (2020): Skills Development for Hydrogen Economies – Damit aus einer Wasserstoffstrategie eine Wasserstoff-(weiter)bildungsstrategie wird. Working Paper of the Institute for Innovation and Technology. Berlin (55). Online verfügbar unter https://www.iit-berlin.de/wp-content/uploads/2021/01/2020_11_iit-perspektive_Hydrogen-Economies.pdf, zuletzt geprüft am 25.01.2022.

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft (Hg.) (2021): Handlungshilfe für Genehmigungsverfahren und zur Überwachung von Anlagen zur Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser. Online verfügbar unter

<https://www.bing.com/ck/a?!&&p=961a54961a0ab67dJmItdHM9MTY2NjA1MTIwMCZpZ3VpZD0xZjBjNGI2Ni0zYTFkLTYyY2UtMjE4Ny01OTViM2I4NDYzZDgmaW5zaWQ9NTE5OA&ptn=3&hsh=3&fclid=1f0c4b66-3a1d-62ce-2187->

595b3b8463d8&psq=Handlungshilfe+f%3%bcr+Genehmigungsverfahren+und+zur+%c3%9cberwachung+von+Anlagen+zur+Herstellung+von+Wasserstoff+durch+Elektrolyse+von+Wasser%2b&u=a1aHR0cHM6Ly93YXNzZXJzdG9mZndpcnRzY2hhZnQuc2gvZmlsZS9oYW5kbHVuZ3NoaWxmZWVsZWt0cm9s eXNlLnBkZg&ntb=1, zuletzt geprüft am 19.10.2022.

Nowega (Hg.) (2021): GET H2 Nukleus. Online verfügbar unter <https://www.get-h2.de/>, zuletzt geprüft am 10.01.2022.

Schalling, Anne Schalling; Arnhold, Oliver; Helfenbein, Kilian; Röpcke, Tim; Backhaus, Andra (2022): Netzdienliche Wasserstofferzeugung. Studie zum Nutzen kleiner, dezentraler Elektrolyseure. Hg. v. Green Planet energy. o.O. Online verfügbar unter https://green-planet-energy.de/fileadmin/gfx/publikationen/Studien/2022-02-22_RLI-Studie_Netzdienliche_Wasserstofferzeugung_final.pdf, zuletzt geprüft am 21.03.2022.

Seemann, Albert (2022): Gasversorgung, Wasserstoff und Arbeitsschutz. Hg. v. DGUV. DGUV (DGUV Forum, 6/2022). Online verfügbar unter https://forum.dguv.de/issues/RZ_S036-039_1.10_Wasserstoff_1.pdf, zuletzt geprüft am 11.10.2022.

Siemens Energy (Hg.) (2020): Wasserstoffinfrastruktur – tragende Säule der Energiewende. Umstellung von Ferngasnetzen (White Paper). Online verfügbar unter <https://www.get-h2.de/wp-content/uploads/200915-whitepaper-h2-infrastruktur-DE.pdf>, zuletzt geprüft am 10.01.2022.

Smolinka, Tom; Wiebe, Nikolai; Sterchele, Philip; Palzer, Andreas (2018): Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme. Online verfügbar unter <https://www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Publikationen/Studien/Studie-IndWEDe.pdf>, zuletzt geprüft am 16.05.2022.

Spöttl, Georg (2005): Sektoranalysen. In: Felix Rauner (Hg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. Bielefeld, S. 112–118.

Spöttl, Georg; Windelband, Lars (2006): Berufswissenschaftlicher Ansatz zur Früherkennung von Qualifikationsbedarf. In: *Europäische Zeitschrift für Berufsbildung* 39 (3), S. 72–91.

Steeg, St; Helmrich, R.; Maier, T.; Schroer, Ph.; Mönning, A.; Wolter, M. et al. (2022): Die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland: Folgen für Arbeitsmarkt und Bildungssystem. Eine erste

Bestandsaufnahme. Hg. v. Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB). Bonn. Online verfügbar unter <https://lit.bibb.de/vufind/Record/DS-779809>, zuletzt geprüft am 25.01.2022.

Wietschel, Martin; Zheng, Lin (2021): Metastudie Wasserstoff. – Auswertung von Energiesystemstudien. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Fraunhofer ISE. Karlsruhe. Online verfügbar unter https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Metastudie_Wasserstoff.pdf, zuletzt geprüft am 16.05.2022.

Zinke, Gert; Renger, Peggy; Feirer, Simona; Padur, Torben (2017): Berufsausbildung und Digitalisierung - Ein Beispiel aus der Automobilindustrie. Discussion Paper. Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB). Online verfügbar unter <https://www.bibb.de/dienst/veroeffentlichungen/de/publication/show/8329>, zuletzt geprüft am 13.05.2022.