Fraunhofer IAO

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO



Janika Kutz | Felix Zimmermann | Patrick Melcher | Florian Sellner | Timo Stöhr

Wasserstoff als nachhaltiger Energieträger

Qualifikations- und Kompetenzanforderungen einer entstehenden Wasserstoffwirtschaft

Hrsg.: Katharina Hölzle | Oliver Riedel | Wilhelm Bauer | Jens Neuhüttler

Im Rahmen des Projekts

HYDROGENIUM

Partner im Projekt »Hydrogenium«

Fraunhofer IAO

HOCHSCHULE HEILBRONN

Technische Universität München

WFG WIRTSCHAFTS FÖRDERUNG RAUM HEILBRONN

DLR

Gefördert durch

Kofinanziert von der Europäischen Union

Regio WIN 2030

Baden-Württemberg

Inhalt

Executive Summary 4

1. Einleitung 6
1.1 Hintergrund und Relevanz 6
1.2 Motivation und Ziel der Studie 8

2. Die Wasserstoffwirtschaft als zukünftiger Arbeitsmarkt 9
2.1 Die Rolle der Wasserstoffwirtschaft in der Energiewende 9
2.2 Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt und das Bildungssystem 12

3. Forschungsdesign und Methodik 18

4. Ergebnisse der Arbeitsmarktanalyse 20
4.1 Übersicht gesuchter Berufsbilder, Hochschul- und Ausbildungsabschlüsse 20
4.2 Übersicht Fach- und Methodenkompetenzen 26
4.3 Übersicht soziale und personale Kompetenzen 28
4.4 Beispielhafte Berufsprofile 30
4.5 Vergleich mit anderen Zukunftstrends in der Energiewirtschaft 32

5. Handlungsempfehlungen für den Kompetenzaufbau und Weiterbildungsmöglichkeiten 34
5.1 Umschulung und Weiterbildung bestehender Fachkräfte 35
5.2 Anpassung von Ausbildungs- und Studiengängen 35
5.3 Förderung der Weiterbildung in kleinen und mittelständischen Unternehmen 36
5.4 Nutzung digitaler Lernplattformen und innovativer Schulungsformate 36
5.5 Vernetzung der Industrie für gemeinsame Qualifizierungsinitiativen 37

6. Fazit und Ausblick 38
6.1 Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse 38
6.2 Implikationen für zukünftige Forschung und Praxis 39

Literaturverzeichnis 40

Executive Summary

Die Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft ist zentral für die Energiewende und die Erreichung der Klimaziele in Deutschland. Sie schafft neue Arbeitsplätze, erfordert aber auch spezifische Qualifikationen, insbesondere in technischen Bereichen, aber auch in Management, Planung und Recht. Der Wandel stellt vor allem KMU vor Herausforderungen. Mittels einer Literaturanalyse und der Auswertung von Stellenanzeigen der Bundesagentur für Arbeit gibt diese Studie einen Überblick über die bereits heute erforderlichen Kompetenzen für die Wasserstoffwirtschaft. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden anschließend fünf Handlungsempfehlungen für eine gelungene Qualifizierung von Personal für die Herausforderungen der entstehenden Wasserstoffwirtschaft entwickelt.

Aus den Untersuchungen gehen folgende allgemeine Handlungsempfehlungen hervor:

1. Umschulung und Weiterbildung bestehender Fachkräfte	■ Modulare Weiterbildungsprogramme zur Ergänzung bestehender Qualifikationen. ■ Berufsbegleitende Zertifikatskurse zu zentralen Technologien (Elektrolyse, Speicherung, Brennstoffzelle). ■ Sicherheitsrelevante Schulungen (Explosionsschutz, Gasmanagement, Notfallprävention). ■ Interdisziplinäre Trainings (Technik, Wirtschaft, Recht).
2. Anpassung von Ausbildungs- und Studiengängen	■ Überarbeitung bestehender Curricula und Ergänzung um zentrale Themen wie Wasserstoffproduktion, -speicherung, -nutzung und -sicherheit. ■ Entwicklung neuer dualer Ausbildungsberufe mit Fokus auf Wasserstofftechnologien. ■ Enge Kooperation zwischen Hochschulen, Unternehmen und Forschungsinstituten zur Entwicklung bedarfsgerechter und praxisorientierter Lehrpläne. ■ Etablierung spezialisierter Bachelor- und Masterprogramme für Wasserstoff- und Energietechnik. ■ Integration innovativer Lehrmethoden, die Studierende frühzeitig mit realen Herausforderungen der Wasserstoffwirtschaft konfrontieren.
3. Förderung der Weiterbildung in kleinen und mittelständischen Unternehmen	■ Staatliche Förderprogramme: Gezielte Förderung von Qualifizierungsmaßnahmen im Wasserstoffbereich für KMU. ■ Aufbau regionaler Kompetenzzentren mit auf KMU zugeschnittenen Schulungen. ■ Branchenspezifische Qualifikationsplattformen mit Bereitstellung von Schulungsmaterialien und Best-Practice-Beispielen. ■ Flexible, digitale Weiterbildungsmöglichkeiten zur Senkung der Hürde für Weiterbildungen in KMU.
4. Schaffung und Nutzung digitaler Lernplattformen und innovativer Schulungsformate	■ Schaffung orts- und zeitunabhängiger sowie skalierbarer digitaler Lernangebote. ■ Innovative Angebote wie E-Learning-Module für Grundlagen, Virtual Reality- oder Augmented Reality-Simulationen für z. B. sicherheitskritische Schulungen.
5. Vernetzung in der Industrie für gemeinsame Qualifizierungsinitiativen	■ Vernetzung von Unternehmen, Forschungs- und Bildungseinrichtungen sowie öffentlichen Akteuren. ■ Branchenspezifische und branchenübergreifende Netzwerke zur Nutzung von Synergien und zum Erfahrungsaustausch. ■ Zusammenschluss zu internationalen und insbesondere europäischen Netzwerken.

1. Einleitung

1.1 Hintergrund und Relevanz

Die Europäische Union (EU) verfolgt mit dem »Green Deal« das Ziel, bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen. Zentral hierfür ist die Bereitstellung sauberer Energie sowie die Förderung einer nachhaltigen Industrie. Bei der Reduktion fossiler Energieträger spielen Wasserstoff und synthetische Energieträger eine Schlüsselrolle (Europäische Kommission, 2020).

Um das im Pariser Klimaabkommen festgelegte Zwei-Grad-Ziel zu erreichen, sind in Deutschland umfassende Maßnahmen zur Dekarbonisierung notwendig. Insbesondere im industriellen Sektor ist der Einsatz von Wasserstofftechnologien vielversprechend, um fossile Energieträger durch erneuerbare Alternativen zu ersetzen. Daher sind Unternehmen verstärkt bestrebt, ihre bestehenden Produktionsprozesse auf Wasserstoff umzustellen und langfristig eine Wasserstoffwirtschaft zu etablieren (van Ackeren et al., 2020).

Ein Blick in die USA zeigt, dass das Wachstum in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie zu zahlreichen neuen Beschäftigungsmöglichkeiten in diversen Branchen, Qualifikationsbereichen und Tätigkeitsfeldern führen kann (Bezdek, 2019). Krichewsky-Wegener et al. (2020) prognostizieren, dass in der EU bis 2050 rund 5,4 Mio. neue Arbeitsplätze entstehen – vor allem in den Bereichen Wasserstoffproduktion, technische Infrastruktur, Maschinenbau und Zulieferindustrien. Viele dieser Stellen erfordern jedoch neue Qualifikationen, weshalb der zukünftige Ausbildungsbedarf frühzeitig identifiziert werden muss, um ein ausreichendes Angebot an qualifizierten Fachkräften für den wachsenden Wasserstoffmarkt sicherzustellen (Bezdek, 2019). Es ist daher unerlässlich, die Qualifizierung von Arbeitskräften für den sicheren Umgang mit Wasserstoff systematisch und zügig zu etablieren. Aufgrund schwankender Nachfrage nach Fachkräften in der Projektentwicklung und beim Anlagenbau warnen die Autorinnen und Autoren vor potenziellen Engpässen auf dem Arbeitsmarkt, die die Transformation verlangsamen könnten.

Die Transformation stellt insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) eine besondere Herausforderung dar. KMU haben oft geringere strategische, finanzielle und personelle Ressourcen, um aufwendige und kostenintensive Transformationsprozesse zu bewältigen. Zudem können sie bei der Qualifizierung ihrer Mitarbeitenden auf diverse Hindernisse stoßen: der Fachkräftemangel, die Heterogenität von Qualifikationen und Stellenprofilen sowie die rasante Dynamik neuer Technologien und Regulierungen auf dem Energie- und Wasserstoffmarkt erschweren zielgerichtete Qualifizierungsmaßnahmen. Die Fülle an Informationen und häufige Marktveränderungen stellen insbesondere KMU vor große Herausforderungen. Eine bedarfsgerechte und planvolle Herangehensweise ist daher unumgänglich – wie auch die Untersuchungen von Braun und Lenz (2022 bzw. 2023) verdeutlichen. Sie betonen, dass

Unternehmen, die sich neu mit Wasserstoff auseinandersetzen, strategische und organisatorische Informationen auf Managementebene benötigen, um fundierte Entscheidungen für die Zukunft zu treffen. Dabei ist es wichtig, die individuellen Gegeben- und Besonderheiten von KMU zu berücksichtigen. Auf der Managementebene spielt für KMU häufig die Geschäftsführung oder die Inhaberin/der Inhaber eine große Rolle. Die Unternehmerpersönlichkeiten stehen beim Übergang zu neuen Technologien besonders im Fokus, da sie Veränderungen im Kurs des Unternehmens schnell und effektiv beschließen und durchsetzen können. Dies kann sowohl als Schwäche als auch als Stärke von KMU gesehen werden: Während in Großkonzernen ein Wandel der Unternehmenskultur häufig nur langsam voranschreitet und gegebenenfalls im Widerspruch zu den Interessen von Aktionären steht, kann die Führungsebene in KMU rasch nachhaltige Maßnahmen ergreifen. Dies liegt unter anderem daran, dass die Geschäftsleitung das Unternehmen oft als eigenes Lebenswerk betrachtet und eng mit dessen langfristigem Erfolg verbunden ist (Grothe et al., 2011).

Die Unterstützung bei der Transformation gewinnt vor dem Hintergrund der ökonomischen Bedeutung von KMU besondere Relevanz. KMU sind ein zentraler Erfolgsfaktor der deutschen Wirtschaft und tragen wesentlich zur internationalen Wettbewerbsfähigkeit bei. Mit 99 Prozent der Unternehmen in Deutschland und einem Anteil von 68 Prozent am Gesamtexport sind KMU von zentraler Bedeutung (Parella & Hernández, 2018). Damit leistet die Förderung der Transformation zu klimaschonenden Energieformen nicht nur einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele und zum Schutz von Lebensgrundlagen, sondern sichert auch die regionale, nationale und internationale wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit. Vor diesem Hintergrund besitzt die Förderung neuer Technologien im Bereich Wasserstoff – ebenso wie die Qualifizierung bestehender und neuer Mitarbeitender – sowohl ökologischen als auch ökonomischen Stellenwert, insbesondere in KMU.

Die vorliegende Studie ist Teil des Forschungsprojekts »Hydrogenium«, das im Rahmen des Wettbewerbs »Regionale Wettbewerbsfähigkeit durch Innovation und Nachhaltigkeit (RegioWIN)« mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert wird. Das Forschungs- und Innovationszentrum Kognitive Dienstleistungssysteme (KODIS) des Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO untersucht in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München (TUM), der Hochschule Heilbronn (HHN), der Wirtschaftsförderung Raum Heilbronn (WFG) und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) die Erprobung und Anwendung von Wasserstofftechnologien. Ziel ist der Aufbau eines Test- und Anwendungszentrums am DLR-Standort in Lampoldshausen, das Unternehmen bei der Entwicklung und Erprobung von Wasserstofftechnologien unterstützt. Darüber hinaus soll eine Plattform für Wissenstransfer sowie Beratungsangebote für Unternehmen und Kommunen entstehen. Das Fraunhofer IAO entwickelt in diesem Zusammenhang ein Methodenset, das KMU sowie kommunalen Unternehmen den Zugang zur Wasserstoffwirtschaft und die Transformation in eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft erleichtern soll. Thematische Schwerpunkte liegen dabei auf der Akzeptanz von Wasserstoff (vgl. Epp et al., 2024) sowie auf den entstehenden Qualifizierungsbedarfen für den Umgang mit Wasserstoff.

1.2 Motivation und Ziel der Studie

Kompetenzen sind ein unerlässlicher Baustein für jede Art der Transformation. Um einen erfolgreichen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft zu ermöglichen, bedarf es daher verschiedenster Kompetenzen entlang der gesamten Wasserstoffwertschöpfungskette.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, einen Überblick über die Kompetenz- und Qualifizierungsanforderungen in Unternehmen zu geben, die für den Aufbau und die Etablierung einer funktionierenden Wasserstoffwirtschaft notwendig sind. Durch die Identifizierung essenzieller fachlicher, methodischer, personaler und sozialer Kompetenzen unterstützt die Studie Unternehmen dabei, gezielte Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen zu identifizieren bzw. zu entwickeln. Ein besonderer Fokus wird dabei auf die Analyse der geforderten Kompetenzen in ausgeschriebenen Stellenanzeigen auf dem Arbeitsmarkt gelegt. So kann gewährleistet werden, dass ein möglichst umfangreiches Bild der geforderten Kompetenz- und Qualifizierungsbedarfe bereitgestellt wird.

Im Verlauf der Studie wird zunächst der theoretische Hintergrund der Transformation von Unternehmen hin zu einer Wasserstoffwirtschaft sowie der Maßnahmen zur Qualifizierung von Angestellten umfassend erläutert. Anschließend folgt eine Darstellung des Forschungsdesigns, bevor die Ergebnisse im Detail präsentiert werden. Dabei werden zunächst die in der Wasserstoffwirtschaft besonders gefragten fachlichen, methodischen, personalen und sozialen Kompetenzen herausgearbeitet und anschließend mit denjenigen verglichen, die im Kontext anderer aktueller Trends auf dem Arbeitsmarkt von Bedeutung sind. Abschließend werden Handlungsempfehlungen zur Unterstützung des Kompetenzaufbaus aufgeführt.

Ergänzend zur vorliegenden Studie wurde ein Tool entwickelt, das Unternehmen bei der Transformation zur Wasserstoffwirtschaft unterstützt. Das Tool ermöglicht eine Analyse notwendiger Kompetenzanforderungen innerhalb der Belegschaft und zeigt basierend auf einer Selbsteinschätzung Kompetenzlücken im Unternehmen auf. Darüber hinaus liefert das Tool Handlungsempfehlungen, die individuell an die Bedürfnisse des jeweiligen Unternehmens angepasst werden können.

2. Die Wasserstoffwirtschaft als zukünftiger Arbeitsmarkt

2.1 Die Rolle der Wasserstoffwirtschaft in der Energiewende

In der Nationalen Wasserstoffstrategie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) aus dem Jahr 2020 betont die Bundesregierung die Perspektive, aus erneuerbarem Strom hergestellten Wasserstoff als einen zentralen Baustein zur Erreichung der deutschen Klimaziele zu verwenden (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi], 2020). Besonderes Potenzial bietet Wasserstoff für die Sektorenkopplung – die Verbindung der Klimaziele verschiedener Sektoren, wie Verkehr, Wärme und Energie. Der Energiesektor steht im Zuge der Dekarbonisierung unter besonderem Druck: Mit dem Wandel von einer zentralisierten Stromerzeugung in wenigen leistungsstarken Kraftwerken hin zu einem dezentralen Netz kleinerer Anlagen wie Solaranlagen, Windparks und Biogasanlagen gewinnt das Stromnetz zwar an Flexibilität, allerdings gehen dadurch die einfachen Speichermöglichkeiten verloren, die etwa durch fossile Energieträger (z. B. Erdgas oder Kohle) sowie durch das kurzfristige Hochfahren von Kohle-, Gas- oder Kernkraftwerken gegeben sind. Das ist ein Nachteil, der insbesondere in Perioden dunkler und windstiller Wetterlagen (sogenannten Dunkelflauten) problematisch wird (Czock et al., 2023). Wasserstoff kann hier einen entscheidenden Beitrag leisten, indem überschüssige Energie aus sonnen- und windreichen Zeiten in flüssiger, gasförmiger oder gebundener Form gespeichert und über Straße, Schiene, Schiff oder Pipeline transportiert wird. Besonders interessant ist Wasserstoff dabei durch seine Fähigkeit, Energie langfristig zu speichern und über weite Strecken zu transportieren. So könnte Wasserstoff, der aus überschüssiger erneuerbarer Energie an sonnen- und windreichen Tagen erzeugt wird, verwendet werden, um in anderen Sektoren emissionsfrei Energie zu liefern.

Zudem stellt Wasserstoff aufgrund seiner hohen Energiedichte eine rentable Alternative zu konventionellen Kraftstoffen auf Langstrecken dar, wo rein batterieelektrische Lösungen wirtschaftlich oft nicht als konkurrenzfähig betrachtet werden (Hamacher, 2017). Ein weiterer signifikanter Anwendungsbereich ist die Dekarbonisierung der Stahlproduktion – allein hier könnte durch den Ersatz fossiler Energieträger bis zu 30 Prozent der Industrieemissionen in Deutschland eingespart werden (Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2024).

Bisher spielt Wasserstoff vor allem in der chemischen Industrie eine wichtige Rolle, etwa als Ausgangsstoff für die Ammoniaksynthese oder bei der Umwandlung von Schweröl in Leichtöl (Hamacher, 2017). Dabei dominiert vor allem der sogenannte graue Wasserstoff, der aus fossilen Energieträgern unter Emission klimawirksamer Gase gewonnen wird – im Jahr 2023 basierten 95,5 Prozent des verwendeten Wasserstoffs auf fossilen Quellen (Espitalier-Noël et al., 2024).

Um Wasserstoff klimaschonend und ohne fossile Energieträger zu erzeugen, bietet sich vor allem die Elektrolyse an. Dabei wird Wasser mittels elektrischem Strom in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Abhängig vom eingesetzten Strommix kann bei 100 Prozent Strom aus erneuerbaren Energien die Erzeugung nahezu treibhausgasfrei erfolgen. Dieser sogenannte grüne Wasserstoff ermöglicht es, Energie langfristig speicherbar und transportfähig zu machen.

Neben grauem, aus fossilen Brennstoffen hergestellten und grünem Wasserstoff werden in der Literatur zahlreiche weitere Varianten (mit entsprechenden Farbzuordnungen, siehe Abbildung 1) diskutiert. Deren Einstufung als nachhaltige Erzeugungsart ist jedoch teilweise umstritten, insbesondere dann, wenn der für die Elektrolyse verwendete Strom aus Kernenergie stammt. Zwar verursacht die Gewinnung von Kernenergie vergleichsweise wenig direkte Emissionen, doch bleibt die ungelöste Frage der Endlagerung des radioaktiven Abfalls ein wesentlicher Kritikpunkt an deren Nachhaltigkeit. Auch die Bundesregierung vertritt die Auffassung, dass nur grüner Wasserstoff langfristig nachhaltig ist (BMWi, 2020).

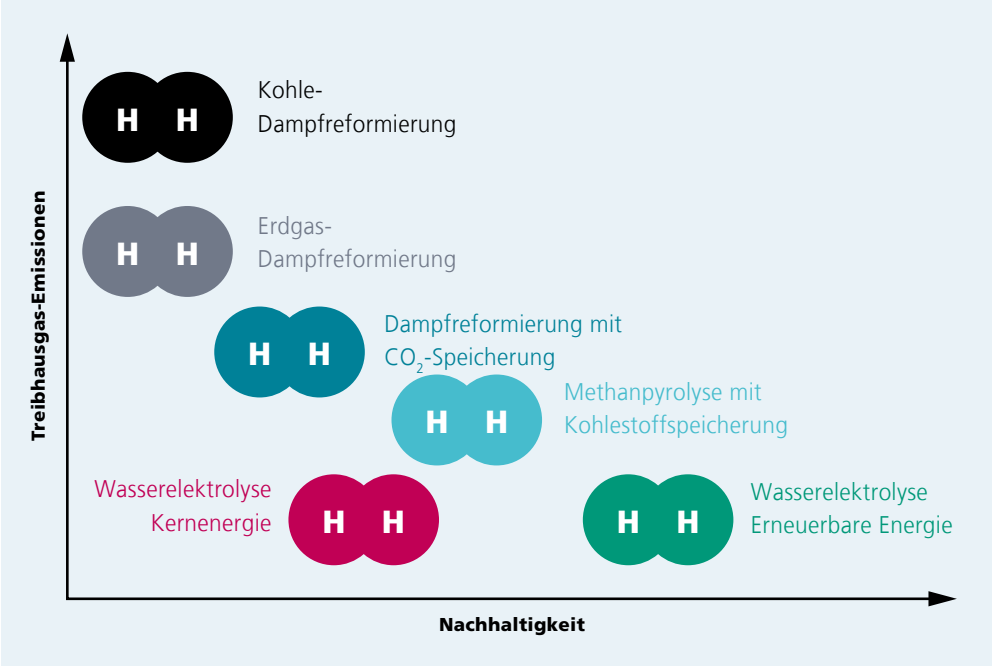


Abbildung 1: Nachhaltigkeit der Herstellungsformen von Wasserstoff (Bockelmann et al., 2024). Die zugeordneten Farben können von Quelle zu Quelle variieren.

Eine der Herausforderungen der Entstehung einer Wasserstoffwirtschaft ist die Ausbildung aller notwendigen Kapazitäten entlang der gesamten Wertschöpfungskette grünen Wasserstoffs (vgl. Abbildung 2). Die Wertschöpfungskette beginnt bei der Produktion von nachhaltigem grünem Strom aus erneuerbaren Quellen durch zum Beispiel Wind oder Sonne. Dieser Strom kann dann unter Verwendung von Wasser vor Ort oder nach Transport durch das Stromnetz durch Elektrolyse in einem Elektrolyseur in Wasserstoff umgewandelt werden. Für die Zwischenspeicherung des Wasserstoffs bis zum Transport oder der Verwendung werden häufig unterirdische Kavernenspeicher oder oberirdische Tanks verwendet. Wasserstoff kann z. B. über Lkw, Bahn, Schiff oder neue bzw. umgerüstete Gasleitungen transportiert werden. Anschließend kann der Wasserstoff für die je nach Anwendungsfall gewünschte Verwendung bereitgestellt werden (Zimmermann et al., 2021).



Abbildung 2: Wertschöpfungskette grüner Wasserstoff (Zimmermann et al., 2021).

Viele der nötigen Technologien stehen durch die schon heute vielfältige Verwendung von Wasserstoff bereits zur Verfügung. Wie eingangs erwähnt, ist Wasserstoff als Rohstoff in vielen chemischen Prozessen weit verbreitet, weshalb sich in den Bereichen Speicherung, Transport und Nutzung von Wasserstoff eine Vielzahl von Akteuren auf dem Markt befinden. Da nach wie vor ein Großteil des erzeugten Wasserstoffs aus fossilen Energieträgern gewonnen wird, liegt großes Wachstumspotenzial insbesondere in der Ausweitung von Elektrolysekapazitäten. Dennoch fehlt es auch für Transport und Speicherung des Wasserstoffs in den für die nächsten Jahre und Jahrzehnte geplanten Größenordnungen an der nötigen Infrastruktur. Nicht zuletzt ist auch ein Ausbau der Produktionskapazitäten von Energie aus erneuerbaren Ressourcen vonnöten, um in großer Menge grünen Wasserstoff herzustellen. Dies muss vor dem Hintergrund eines insgesamt steigenden Energiebedarfs gelingen, weshalb Deutschland Mitte des 21. Jahrhunderts voraussichtlich in großem Stil Energie und Strom importieren wird. So könnte sich der Strombedarf von 2010 bis 2050 Schätzungen zufolge von 527 TWh (2010) auf ca. 1800 TWh (2050) erhöhen (Fraunhofer IEE – Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik, 2020). Die Hälfte dieses Bedarfs wird in diesem Szenario durch Wasserstoff- und Power-to-Gas- oder Power-to-Liquid-Importe gedeckt.

2.2 Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt und das Bildungssystem

Eine wesentliche Voraussetzung für den Übergang zu grünem Wasserstoff ist, neben den erforderlichen technologischen Innovationen, der dazugehörigen Infrastruktur und einer bestehenden Technologieakzeptanz, das Vorhandensein von ausreichend qualifizierten und passend geschulten Arbeitskräften. Im Folgenden wird dargestellt, wie die Transformation zur Wasserstoffwirtschaft den Arbeitsmarkt und das Bildungssystem beeinflusst.

Eine Analyse von Stellenanzeigen in der JOBBÖRSE der Bundesagentur für Arbeit, durchgeführt vom Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB), zeigt bereits heute eine deutliche Nachfrage nach spezifischen Kompetenzen im Bereich Wasserstofftechnologien (Grimm et al., 2021). Besonders häufig werden Fachkräfte aus den Bereichen technische Forschung und Entwicklung, Maschinenbau und Betriebstechnik, Elektrotechnik, Chemie sowie Energietechnik gesucht. Ebenso steigt der Bedarf in den Feldern Unternehmensorganisation und -strategie, Versorgung und Entsorgung sowie Einkauf und Vertrieb (Grimm et al., 2021).

Exemplarisch nennt Bezdek (2019) neu entstehende Berufsprofile in der Wasserstoffwirtschaft, wie den »Hydrogen Plant Operations Manager«, den »Hydrogen Lab Technician« oder den »Director of Hydrogen Energy Development«. Diese Entwicklungen führen zu einem kontinuierlichen Anstieg der entsprechenden Stellenanzeigen (vgl. Abbildung 3). Besonders betroffen sind dabei die Bereiche Forschung und Entwicklung sowie das produzierende Gewerbe, mit regionalen Schwerpunkten in Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg (Steeg et al., 2022).

Zudem deuten Studien darauf hin, dass der Beschäftigungszuwachs im Bereich Wasserstoff regional nicht gleich verteilt sein wird (Agora Energiewende & Wuppertal Institut, 2019; Grimm et al., 2021). Es zeigt sich eine Konzentration der ausgeschriebenen Stellen mit Wasserstoff-Kompetenzen in Regionen mit Schwer- und Grundstoffindustrie (zum Beispiel in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Baden-Württemberg), in Gebieten des Strukturwandels wie dem Ruhrgebiet sowie in Regionen mit guten Voraussetzungen zur Erzeugung erneuerbarer Energien in Norddeutschland und in dicht besiedelten Ballungsräumen (Steeg et al., 2022).

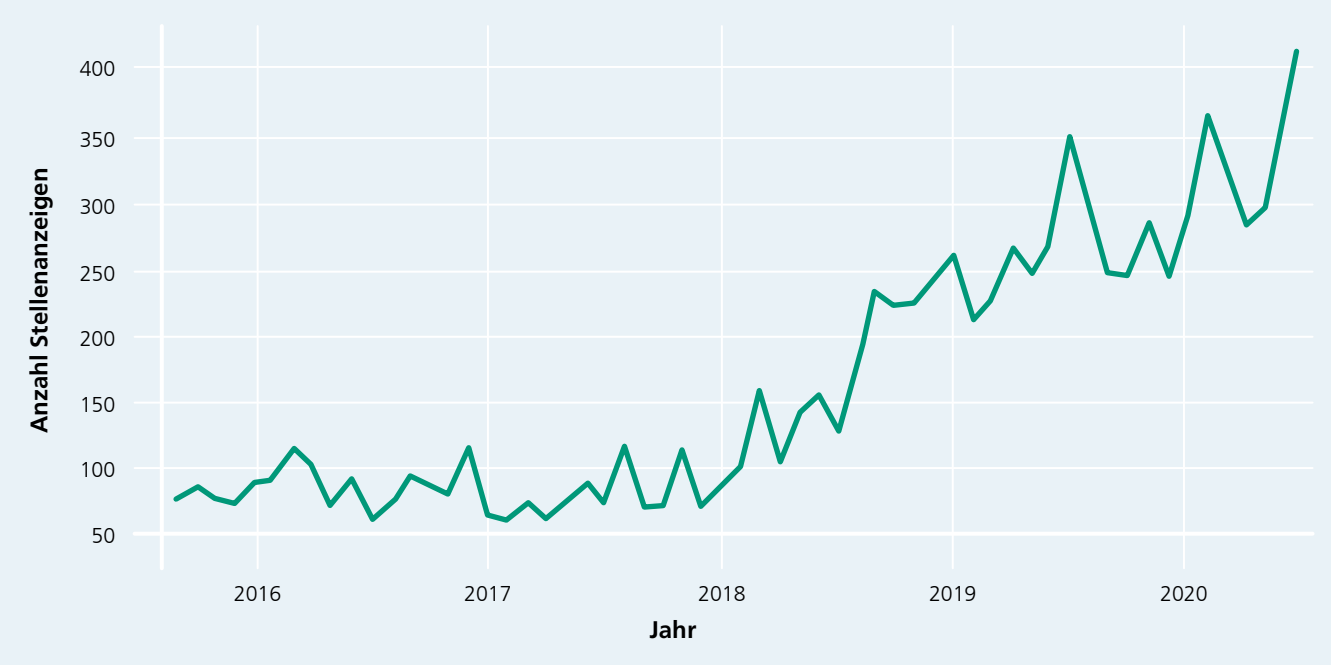


Abbildung 3: Anzahl von Stellenanzeigen mit Bezug zum Begriff »Wasserstoff« (Steeg et al., 2022).

Der umfangreiche Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur wird einen steigenden Bedarf an Arbeitskräften in dieser Branche erfordern. Insbesondere die Baubranche dürfte von diesen Entwicklungen profitieren, ebenso vorgelagerte Sektoren wie die Zulieferindustrie für Baumaterialien, Architekturbüros und die öffentliche Verwaltung (Steeg et al., 2022). Krichewsky-Wegener et al. (2020) betonen die zentrale Rolle von Technikerinnen und Technikern sowie Ingenieurinnen und Ingenieuren in diesem Transformationsprozess und weisen auf bestehende Engpässe bei Fachkräften hin. Auch im Bereich der Unternehmensorganisation und -strategie sowie im Büro- und Sekretariatswesen sind zusätzliche Beschäftigungseffekte zu erwarten (Steeg et al., 2022). Grimm et al. (2021) untermauern diese Tendenz, indem sie aufzeigen, dass bereits heute Stellenangebote in der Unternehmensorganisation explizit Wasserstoff-Kompetenzen fordern. Damit bedarf es beim Aufbau der Wasserstoffwirtschaft nicht nur Fachkräften aus der Elektro- und Energietechnik sowie der Chemie, sondern auch Expertinnen und Experten, die die organisatorischen Rahmenbedingungen für Wasserstofftechnologien sichern. Steeg et al. (2022) stellen zudem fest, dass zu Beginn einer technischen Innovation zunächst der Bedarf an Spezialisten stark ansteigt – bevor dieser mit der Zeit abflacht und ein wachsender Bedarf an Fachkräften für die praktische Umsetzung folgt. Dieses Muster kann auch auf die Transformation zur Wasserstoffwirtschaft übertragen werden. Die Veränderungsprozesse verlaufen dabei nicht linear: Während bestimmte Kompetenzanforderungen zunächst an Bedeutung gewinnen und später wieder abnehmen, treten andere zeitversetzt auf und werden entweder dominanter oder verlieren allmählich an Relevanz.

Das Projekt »Hydrogen Europe Research« (2023) zeigt, dass insbesondere in der Produktion und im Gefahrenmanagement vermehrt Arbeitskräfte gesucht werden. Auch (Steeg et al., 2022) prognostizieren einen strukturellen Wandel im produzierenden Gewerbe, der vor allem auf die wachsende Bedeutung der Elektrolysefertigung (etwa beim Bau von Maschinen, Anlagen und Installationen) sowie der Brennstoffzellfertigung für den Mobilitätsbereich zurückzuführen ist. Der Deutsche Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV) e. V. (2018) rechnet in Deutschland bis 2030 mit einem Potenzial von rund 70 000 zusätzlichen Arbeitsplätzen in diesen Bereichen. Eine 2024 vom IAB durchgeführte Studie kommt zu einem ähnlichen Ergebnis: Rund 71 000 neue Arbeitsplätze könnten durch den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft geschaffen werden (Ronsiek et al., 2024).

Ein weiterer Aspekt, der signifikante Änderungen im Wirtschaftssystem und auf dem Arbeitsmarkt bewirken wird, ist der Einsatz von Wasserstoff in Herstellungsprozessen. Insbesondere energieintensive Branchen wie die Stahl-, Chemie- und Zementindustrie werden ihre Produktionsabläufe anpassen müssen, was zu veränderten Kompetenzbedarfen führt (Steeg et al., 2022).

Trotz der zu erwartenden Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt kommt das BIBB – Bundesinstitut für Berufsbildung (2023) zu dem Ergebnis, dass aktuell keine neuen dualen Ausbildungsberufe für den Umgang mit Wasserstoff erforderlich sind. Viele bestehende technische Berufe verfügen bereits über umfassende Kompetenzprofile, die in der Wasserstoffwirtschaft dringend benötigt werden. Die Technologieoffenheit dualer Ausbildungen erlaube es Betrieben außerdem, die Ausbildung an die eigenen Gegebenheiten und Bedarfe anzupassen (Schneider & Schur, 2023). Das vorläufige Ergebnis des Projekts »H_2PRO« (BIBB – Bundesinstitut für Berufsbildung, 2023) legt nahe, dass sich die Arbeitsprozesse von Fachkräften nicht grundlegend ändern werden, da die technischen Neuerungen im Spektrum der herkömmlichen chemischen Verfahrenstechnik liegen. Lediglich zusätzliche Unterweisungen und Weiterbildungen für sicherheitsrelevante Qualifikationen im Umgang mit neuen Wasserstofftechnologien sind notwendig. Besonders betont werden hierbei Weiterbildungen in den Bereichen Grundlagenwissen zu Stoffeigenschaften, Anwendungsmöglichkeiten und wirtschaftlichen Aspekten aber auch sicherheitsrelevante Qualifikationen (Schneider & Schur, 2023).

2.3. Erforderliche Qualifikationen und Kompetenzen

Nachdem in Kapitel 2.2 die Auswirkungen der Transformation auf den Arbeitsmarkt und das Bildungssystem skizziert wurden, wird folgend ein Einblick in gefragte Qualifikationen und Kompetenzen gegeben, wie sie in der Fachliteratur beschrieben werden.

Link zur Studie von Greppmair und Delski (2024)



hyBit - Hydrogen for Bremen's Industrial Transformation

Greppmair und Deleski (2024) untersuchten in ihrer Studie die Bildungsbedarfe der Wasserstoffwirtschaft am Beispiel von Norddeutschland. Dafür wurden Expertengespräche, eine Online-Befragung und Workshops durchgeführt. Die Studie zeigt, dass der Bedarf an Weiterbildungen im Bereich Wasserstoff in den kommenden Jahren zunehmen wird. Besonders relevante Inhalte für die Schulung von Mitarbeitenden in Unternehmen sind demnach die Bereiche Grundlagen der Wasserstofftechnologie, Sicherheitsanforderungen, rechtliche Rahmenbedingungen und die Planung von Wasserstoffprojekten (ebd.). Eine Untersuchung des australischen Arbeitsmarktes von Beasy et al. (2023) kommt zu ähnlichen Ergebnissen: technisches Wissen, Arbeitssicherheit und Infrastruktur stellen die zentralen Themen für Ausbildungen und Schulungen dar. Über 60 Prozent der befragten Unternehmen betonen die Bedeutung technischen Fachwissens, während mehr als die Hälfte auch den Bereich Arbeitssicherheit als essenziell einstuft. Im Gegensatz dazu betrachten lediglich etwas mehr als 20 Prozent der Unternehmen den Themenkomplex Politik und Märkte als relevant. Konkret geben mehr als 70 Prozent der Unternehmen an, dass zusätzliche Qualifikationen in den Bereichen Elektrolyseure, Brennstoffzellen, Wasserstoffspeicher und Wasserstofftankstellen notwendig sind – gefolgt von fast 70 Prozent, die den Bereich Sicherheit hervorheben.

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wesentlichen Kompetenzanforderungen relevanter Mitarbeitenden-Gruppen, die im Rahmen der Bildungsbedarfsanalyse von Greppmair und Deleski (2024) identifiziert wurden:

Tabelle 1: Wesentliche Kompetenzen nach Zielgruppe (nach Greppmair & Deleski, 2024; **X** für besonders bedeutsam)

	Führungskräfte und Entscheidungstragende in Unternehmen	**Projektverantwortliche und Planende**	**Technische Fachkräfte**	**Mitarbeitende in Forschung und Entwicklung**	**Entscheidungstragende in Banken / Behörden / Verwaltung**	**Energie- und Umweltbeauftragte**
H_2 im Energiesystem der Zukunft	X	**X**		X	X	X
Gesellschaftliche Aspekte und Akzeptanz von H_2	X				X	X
Grundlagen der Wasserstofftechnologie	**X**	**X**	**X**		**X**	X
Rechtliche Rahmenbedingungen im Zusammenhang mit Wasserstoff	**X**				**X**	**X**
Sicherheitsanforderungen im Zusammenhang mit Wasserstoff		**X**	**X**			**X**
Planung & Umsetzung konkreter Wasserstoffprojekte	X	**X**			X	
Fabriktransformation				X	X	X
H_2-Gewinnung durch Elektrolyse			**X**	**X**		
Umwandlung & Speicherung		X	X	**X**		
Transport von Wasserstoff			X			
H_2-Nutzung in Brennstoffzellsystemen		X		X		
H_2-Anwendungen in der Mobilität			X			

Eine wesentliche Hürde der Qualifizierung stellt die unzureichende Verfügbarkeit passender Schulungen und Trainings dar (Beasy et al., 2023). Zudem besteht ein Mangel an qualifizierten Trainerinnen und Trainern im Bereich Wasserstoff (Greppmair und Deleski, 2024). Als Handlungsempfehlungen formulieren Greppmair und Deleski im Zuge ihrer Untersuchung (1) die Ergreifung von Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung von Wasserstoff, (2) die Etablierung von Train-the-Trainer-Programmen, um mehr qualifiziertes Personal für die Durchführung von Weiterbildungen zu gewinnen, (3) die Entwicklung eines Weiterbildungsprogramms für technische Fachkräfte, (4) die Förderung maßgeschneiderter Weiterbildungsprogramme für Unternehmen, (5) die Entwicklung eines Seminars für Ämter, Behörden und Verwaltung sowie (6) die Entwicklung von Weiterbildungskurzformaten.

Eine aktuelle Metaanalyse zu gefragten Kompetenzen im Bereich Wasserstoff von McHenry et al. (2024) aus Australien kommt zu dem Schluss, dass ein erheblicher Teil der in der Wissenschaft verwendeten empirischen Daten auf Erfahrungswissen basiert und somit keinen ausreichend belastbaren Ausgangspunkt für weiterführende Untersuchungen bietet. Zudem fokussieren sich die meisten Studien primär auf Wissen – weniger auf praktische Fähigkeiten und kaum auf die Herausbildung gewünschter persönlicher Eigenschaften. McHenry et al. kritisieren damit eine übermäßig technizistische Sichtweise, die die technischen und praktischen Aspekte von Qualifikationen betont, während ebenso wichtige soziale und personale Merkmale, die für ingenieurwissenschaftliche Tätigkeiten unverzichtbar sind, weitgehend außer Acht gelassen werden. Dieser Problematik soll in der vorliegenden Studie durch eine gezielte Betrachtung und Analyse sozialer und personaler Attribute begegnet werden (vgl. Kapitel 4.3).

3. Forschungsdesign und Methodik

Kern der vorliegenden Studie ist die systematische Arbeitsmarktanalyse zur genauen Bestimmung der Kompetenz- und Qualifikationsanforderungen, die aufbauend auf einer initialen Literaturrecherche durchgeführt wurde. Die Literaturrecherche bildet außerdem die Ausgangslage, um die auf dem Wasserstoffmarkt geforderten Kompetenzen mit jenen aus verwandten zukunftsweisenden Bereichen der erneuerbaren Energien zu vergleichen.

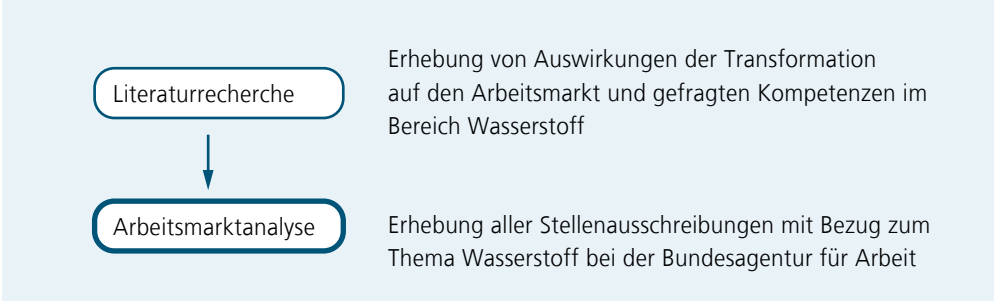


Abbildung 4: Forschungsdesign.

Ziel dieser Auswertung ist es, eine möglichst vollständige Liste der Kompetenzanforderungen auf dem aktuellen Arbeitsmarkt im Wasserstoffbereich zu erhalten – als künftige Grundlage zur Erhebung von Qualifizierungsbedarfen in Unternehmen und Kommunen.

Um relevante Abschlüsse sowie Fach- und Methodenkompetenzen zu identifizieren, wurde zunächst die Fachliteratur zu Schlüsselkompetenzen in der Wasserstoffwirtschaft analysiert. Hufnagel-Smith (2022) liefert beispielsweise umfassende Aufzählungen von Kompetenzen auf dem kanadischen Arbeitsmarkt, wobei sich die Berufsprofile an den Elementen Erzeugung, Transport, Speicherung und Nutzung entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette orientieren. Diese Ansätze dienten als Ausgangspunkt zur Analyse der erforderlichen Arbeitsprofile, Aufgabenbereiche sowie Fach- und Methodenkompetenzen.

Für die Erfassung sozialer und personaler Kompetenzen wurde einerseits einschlägige Literatur herangezogen, andererseits eine Analyse von Jobprofilen auf dem deutschen Arbeitsmarkt durchgeführt. Spangenberger et al. (2016) nennen dabei ein Bündel wichtiger Kompetenzen im Bereich erneuerbare Energien. Da diese Thematik der kohlenstoffarmen Erzeugung von grünem Wasserstoff ähnlich ist, wurden die dort identifizierten Kompetenzen als Grundlage für die Gruppierung der aus der eigenen Datenerhebung gewonnenen Kompetenzen verwendet. Als Datengrundlage für die Analyse des Arbeitsmarkts diente der vollständige Katalog der Stellenanzeigen der Bundesagentur für Arbeit, der am 29. Juni 2024 erfasst wurde. Mittels der API (Programmierschnittstelle) der Jobsuche wurden alle Angebote identifiziert, die Schlagworte wie Wasserstoff, Hydrogen, H_2, Grüner Wasserstoff, Elektrolyse, Wasserstofftechnologie, Wasserstoffwirtschaft, Wasserstoffproduktion, Wasserstoffspeicherung, Wasserstoffnutzung, Wasserstofftransport und Power-to-Gas enthalten. Die Auswahl der Schlagworte beruhte auf Erkenntnissen aus der Literaturrecherche. Aus diesem Datensatz wurden dann spezifische Kompetenzen extrahiert und ausgehend von den von Spangenberger et al. (2016) beschriebenen Kompetenzprofilen kategorisiert.

Die aus diesen Untersuchungen resultierende Liste an Berufsprofilen, erforderlichen Abschlüssen, Zertifikaten und Qualifizierungen, Aufgabenbereichen sowie fachlichen, methodischen, sozialen und personalen Kompetenzen bildet die Basis für die Ergebnisse dieser Studie.

4. Ergebnisse der Arbeitsmarktanalyse

Zur genauen Betrachtung der geforderten Kompetenzen in Berufen mit Bezug zur Wasserstoffwirtschaft wurden alle Stellenanzeigen mit Bezug zu Wasserstoff, die im Juni 2024 bei der Bundesagentur für Arbeit ausgeschrieben waren, systematisch analysiert. Insgesamt wurden 130 Stellenanzeigen in Hinblick auf Berufe und Abschlüsse sowie geforderte Fach-, Methoden-, Sozial- und persönliche Kompetenzen untersucht. Ausgangspunkt für die Suche und systematische Auswertung der Stellenanzeigen war die Literaturrecherche.

Im Folgenden wird ein Überblick zu den gesuchten Berufsbildern und Abschlüssen gegeben und anschließend werden die gesuchten Fach- und Methodenkompetenzen sowie die Sozial- und persönlichen Kompetenzen aufgelistet. Abschließend erfolgt ein Vergleich mit Kompetenzanforderungen aus verwandten zukunftsweisenden Bereichen der erneuerbaren Energien.

4.1 Übersicht gesuchter Berufsbilder, Hochschul- und Ausbildungsabschlüsse

Die Auswertung von 130 analysierten Stellenanzeigen zeigt, dass insbesondere Personen mit ingenieurwissenschaftlichem Hintergrund verschiedener Fachrichtungen gesucht werden (vgl. Abbildung 5). Allein Ingenieurinnen und Ingenieure im Bereich Elektrotechnik und Maschinenbau stellen 18 der 130 Stellenausschreibungen. Insgesamt geht ein mehrheitlich technischer Fokus der gesuchten Jobprofile aus der Analyse hervor. Gleichzeitig wird aber auch die Vielschichtigkeit der aufkommenden Wasserstoffwirtschaft sichtbar. Aus 130 Stellenausschreibungen sind 79 einzigartige Berufsbezeichnungen hervorgegangen: 55 davon wurden ein einziges Mal genannt, während nur 11 Berufe dreimal oder öfter genannt wurden.

Übersicht Stellenmarkt im Bereich Wasserstoff



Abbildung 5: Häufigkeit aller Berufsbezeichnungen, die häufiger als 1-mal ausgeschrieben wurden (Insgesamt 130 Stellen, Ing. = Ingenieurin/Ingenieur).

In Tabelle 2 werden die gesuchten Berufe dargestellt und in die sechs Berufsgruppen Ingenieurwesen, Wirtschaft und Verwaltung, Handwerk und technisches Personal, IT und Digitalisierung, Logistik und Verkehr sowie Naturwissenschaft und Forschung plus Sonstige gruppiert.

Tabelle 2: Übersicht gesuchter Berufe aus der Arbeitsmarktanalyse

Ingenieurwesen	
▪ Ingenieur/in – Bau	▪ Ingenieur/in – Materialwissenschaften
▪ Ingenieur/in – Chemietechnik	▪ Ingenieur/in – Mechatronik
▪ Ingenieur/in – Elektrotechnik	▪ Ingenieur/in – Verfahrenstechnik
▪ Ingenieur/in – Energietechnik	▪ Berechnungsingenieur/in
▪ Ingenieur/in – Erneuerbare Energien	▪ Entwicklungsingenieur/in
▪ Ingenieur/in – Luft- und Raumfahrttechnik	▪ Konstruktionsingenieur/in
▪ Ingenieur/in – Maschinenbau	▪ Testingenieur/in
Wirtschaft und Verwaltung	
▪ Außendienstmitarbeiter/in	▪ Energiemanager/in
▪ Bereichsleiter/in	▪ Finanzbuchhalter/in
▪ Betriebswirt/in (Fachschule/Ausbildung)	▪ Leiter/in – Asset Management
▪ Betriebswirt/in (Hochschule)	▪ Operations Manager/in
▪ Buchhalter/in	▪ Produktmanager/in
▪ Business-Development-Manager/in	▪ Verkaufssachbearbeiter/in
▪ Controller/in	▪ Wirtschaftsingenieur/in
Handwerk und technisches Personal	
▪ Anlagenmechaniker/in – Versorgungstechnik	▪ Kundendienstmonteur/in, -techniker/in
▪ Betriebsschlosser/in	▪ Maschinen- und Anlagenführer/in – Metall-, Kunststofftechnik
▪ CNC-Dreher/in	▪ Schichtführer/in
▪ CNC-Fräser/in	▪ Servicetechniker/in – Land- und Baumaschinen
▪ Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten	▪ Servicetechniker/in – Kraftfahrzeuge
▪ Elektromechaniker/in	▪ Techniker/in – Maschinentechnik
▪ Elektroniker/in – Energie- und Gebäudetechnik	▪ Techniker/in – Mechatronik
▪ Elektroniker/in – Geräte und Systeme	▪ Teilezurichter/in
▪ Fachkraft – Mechatronik	▪ Wartungs- und Servicetechniker/in – Maschinenbau
▪ Galvaniseur/in	▪ Werkzeugmechaniker/in
▪ Industrieelektriker/in – Betriebstechnik	▪ Zerspanungsmechaniker/in
▪ Industriemechaniker/in	
▪ Klempner/in und Installateur/in	
▪ Kraftfahrzeugmechatroniker/in – Nutzfahrzeugtechnik	

IT & Digitalisierung

- Informatiker/in (Hochschule)
- IT-Administrator/in
- Softwareentwickler/in
- Web Developer

Logistik und Verkehr

- Berufskraftfahrer/in
- Meister/in Kraftverkehr
- Fachkraft – Lagerlogistik

Naturwissenschaft und Forschung

- Chemiker/in
- Mikrobiologe/-biologin
- Medizinphysiker/in
- Umweltmanagementbeauftragte/r
- Wissenschaftliche/r Mitarbeiter/in

Sonstige

- Mediengestalter/in - Digital-/Printmedien - Mediendesign
- Rechtsanwaltsfachangestellte/r

Eine tiefergehende Analyse der mit den gesuchten Berufsbildern verknüpften Hochschul- und Ausbildungsabschlüsse verdeutlicht die Vielfalt der gesuchten Fachkräfte im Kontext einer entstehenden Wasserstoffwirtschaft. Eine Übersicht der gesuchten Abschlüsse kann der folgenden Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Gefragte Abschlüsse in Verbindung mit Wasserstoff aus Arbeitsmarktanalyse

Themenbereich	**Abschlüsse**
Ingenieurabschlüsse	Ingenieurwesen und -wissenschaften in verschiedenen Bereichen wie Energie, Umwelt, Wirtschaft, Sicherheit, Maschinenbau, Bau, Chemie, Erdöl, Elektrotechnik, Materialwissenschaften, Automatisierungs-, Steuer- und Regeltechnik, Instrumentierungstechnik, Elektrotechnik, Luft- und Raumfahrttechnik, Messtechnik, Elektro- und Industriemechanik, Verfahrenstechnik
Informatik	Informatik, Data Science und Softwareentwicklung, Informationstechnik, Cybersecurity
Kommunikationswissenschaften	Kommunikationswissenschaften, Public Relations
Naturwissenschaften	Biologie, Chemie, Umweltwissenschaften, Mathematik und Statistik, Geologie und Geophysik
Wirtschaftswissenschaften	Betriebswirtschaftslehre, Wirtschaftsingenieurwesen, International Business
Sonstige	Rechtswissenschaften, Abschluss mit Bezug zu Arbeitssicherheit

Neben diesen Abschlüssen und einschlägiger Berufserfahrung wurden noch weitere Qualifikationen genannt, wie Nachweise oder Zertifikate über Kenntnisse zu Messtechnik, Instrumentierungstechnik, Elektrotechnik, Gasinstallation, Industriemechanik, Logistik, Schweißtechnik, gültiger Führerschein für Pkw oder Lkw, Umgang mit Gefahrgut, Kälte- und Klimatechnik, Schwerlasttechnik, Chemietechnik, Sicherheit im Bereich Erdöl sowie Maschinenschlosserei.

Zusammenfassung Kapitel 4.1

1. **Technischer Schwerpunkt:** Die Analyse der 130 Stellenanzeigen zeigt, dass ein überwiegender Teil der gesuchten Fachkräfte ingenieurwissenschaftliche Abschlüsse benötigt, insbesondere in den Bereichen Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Elektrotechnik, was die zentrale Rolle technischer Expertise in der Wasserstoffwirtschaft unterstreicht.

2. **Interdisziplinarität wichtig:** Die Notwendigkeit interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Mitarbeitenden aus den Bereichen Ingenieurwesen, Wirtschaftswissenschaft und IT zeigt, dass die komplexen Herausforderungen der Wasserstoffwirtschaft nur durch gebündelte Expertise verschiedener Branchen bewältigt werden können.

3. **Vielfalt im Handwerk gefragt**: Die Vielzahl an gefragten handwerklichen Berufen in der Wasserstoffwirtschaft unterstreicht, dass praktische Fertigkeiten und spezifische Qualifikationen für die Installation und Wartung von Wasserstofftechnologien unerlässlich sind, um eine erfolgreiche Umsetzung sicherzustellen.

4.2 Übersicht Fach- und Methodenkompetenzen

Aufbauend auf der Analyse der gesuchten Berufsbilder wurden die ausgeschriebenen Stellen inhaltlich analysiert und entlang thematischer Felder, die für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft von Relevanz sind, sortiert. Ergänzt wurden zudem aus der Literatur bekannte wesentliche Kompetenzanforderungen. Daraus ergibt sich eine Übersicht der aktuellen Kompetenzbedarfe und -anforderungen an heutiges und künftiges Personal in dieser Branche.

Tabelle 4: Übersicht gesuchter Fach- und Methodenkompetenzen

Innovations- und Projektmanagement im Bereich Wasserstoff

- Abstraktions- und Analysefähigkeiten
- Kenntnis der aktuellen Trends und Entwicklungen im Bereich Wasserstoff
- Erstellung eines Businessplans
- Förderung der Akzeptanz von Wasserstoff
- Geschäftsfeldentwicklung und Marktanalysen für Wasserstofftechnologien
- Innovationsmanagement
- Kenntnisse in Projektkalkulation und Angebotserstellung
- Kenntnisse der Wertschöpfungskette und Anwendungsbereiche von Wasserstoff
- Kenntnisse zu öffentlichen Finanzierungs- und Förderprogrammen zum Thema Wasserstoff
- Kommunikation von Nachhaltigkeitsthemen
- Kooperations- und Netzwerkmanagement
- Projektleitung und -koordination
- Prozessmanagement
- Risikomanagement
- Strategische Planung
- Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement

Technisches Wissen und Umsetzungskompetenzen im Bereich Wasserstoff

- Brennstoffzellen: Anwendung in verschiedenen Sektoren
- Brennstoffzellen: Grundkenntnisse
- Einsatz- und Nutzungspotenziale von Wasserstoff
- Elektrotechnik und Automatisierungstechnik in der Wasserstoffproduktion
- Erneuerbare Energien im Kontext der Wasserstoffnutzung
- Gefahrgutführerschein
- Grundlagen der Wasserstofftechnologie
- Heizungs- und Klimatechnik
- Industrielle Nutzung von Wasserstoff
- Installation und Prüfung von Wasserstoffanlagen
- Instandhaltungs-, Wartungs- und Reparaturarbeiten an Wasserstoffanlagen
- Integration von Wasserstoff in bestehende Energiesysteme
- Kenntnisse der Komponenten und Funktion von Brennstoffzellen- und Elektrolysesystemen
- Kenntnisse in Hydraulik und Pneumatik
- Kenntnisse in Ladungssicherung
- Kompetenzen in Regelungs- und Steuerungstechnik
- Labor- und Gebäudeplanung
- Planung von Erdgas-/Wasserstoffspeicheranlagen
- Sektorenkopplung zwischen Energie, Wasserstoff und anderen Ressourcen
- Technische Planung, Konstruktion und Auslegung von Wasserstoffanlagen
- Transporttechnologien von Wasserstoff
- Wartung von Wasserstoffsystemen und -anlagen
- Wasserstofferzeugung (z. B. Elektrolyse)
- Wasserstoffinfrastruktur (z. B. Tankstellen, Pipelines)
- Wasserstoffspeichertechnologien
- Wissen zu stofflichen Eigenschaften von Wasserstoff

Regulierung und Sicherheit

- Durchführung von Risikoanalysen und Risikomanagement
- Grundlagenwissen innerhalb beruflicher Sicherheit (Explosionsschutz bezogen auf H_2)
- Kenntnisse über Regulierungs- und Genehmigungsprozesse für Wasserstofftechnologien und -anlagen
- Sicherheitsbewusstsein
- Kenntnisse über Sicherheitsstandards in Bezug auf Wasserstoff
- Kenntnisse über Sicherheitsvorkehrungen bei der Arbeit mit oder in Anwesenheit von Wasserstoff
- Wissen über Gefahrenreduzierung
- Kenntnisse über Vorschriften, Normen und Zertifizierungsverfahren in Bezug auf Wasserstofftech-nologien und -anlagen

Forschung und Entwicklung

- Brennstoffzellen: Forschung und Entwicklung
- Durchführung von Technologiebewertungen
- Entwicklung neuer Materialien und Technologien (z. B. für Elektrolyse)
- Forschung zu Wasserstoff-Isotopen
- Kenntnis des Forschungsstands zu Wasserstofftechnologien und -wirtschaft

IT und Digitalisierung

- Datenvisualisierung (z. B. Power-BI)
- Digitalisierung in der Wasserstoffproduktion und -verteilung
- Fähigkeiten im Bereich Data Science
- Hardware- und Softwareintegration
- Kenntnisse in Datenerfassung und -analyse
- Softwareentwicklung für Wasserstoffanwendungen

Die Ergebnisse in der Tabelle bestätigen weitgehend die durch die Literaturanalyse identifizierten Kompetenzen und Schwerpunkte. Bei der Häufigkeit der Nennung wird eine Konzentration von Kompetenzanforderungen im technischen Bereich sichtbar. Allerdings sind auch Kompetenzen im Bereich Business Management und IT gefragt. Die Auswertungen zeigen ein sehr heterogenes Bild der Anforderungen. Diese variieren erheblich, abhängig von den spezifischen Anwendungsbereichen der Wasserstoffwertschöpfungskette sowie den individuellen Unternehmens- und Stellenanforderungen.

4.3 Übersicht soziale und personale Kompetenzen

Neben den dargestellten Fach- und Methodenkompetenzen konnten aus der Arbeitsmarktanalyse eine Vielzahl von sozialen und personalen Kompetenzen abgeleitet werden. Die Kompetenzen wurden in einem ersten Schritt Oberbegriffen von sozialen und personalen Kompetenzen zugeordnet. Diese wurden in Anlehnung an die Kompetenzbegriffe aus Spangenberger et al. (2016) ausgewählt. Die in den Ausschreibungen erwarteten sozialen Kompetenzen auf dem Arbeitsmarkt und deren Häufigkeit werden in Abbildung 6 dargestellt, die personalen in Abbildung 7.

Übersicht soziale Kompetenzen



Abbildung 6: Anzahl der Stellenanzeigen mit Nennung der jeweiligen sozialen Kompetenz (insgesamt 130 Stellenanzeigen).

Als wichtigste soziale Kompetenzen treten Kommunikationsfähigkeit, Teamfähigkeit und Verhandlungsgeschick im Datensatz auf, gefolgt von Führungskompetenz und emotionaler Intelligenz. Verhältnismäßig selten wurden Beratungskompetenz, Organisationsfähigkeiten und unternehmerische Kompetenzen gesucht.

Übersicht personale Kompetenzen



Abbildung 7: Anzahl der Stellenanzeigen mit Nennung der jeweiligen personalen Kompetenz (insgesamt 130 Stellenanzeigen).

Die meistgenannte personale Kompetenz ist die Selbstständigkeit, gefolgt von Verantwortung, Motivation, Mobilität und Kreativität.

4.4 Beispielhafte Berufsprofile

Die Qualifikations- und Kompetenzanforderungen in wasserstoffbezogenen Jobrollen sind sehr vielfältig und abhängig von den Aufgaben und Bedarfen der jeweiligen Unternehmen. Dennoch zeigt sich in Abhängigkeit der jeweiligen Berufsgruppe eine Bündelung prioritär gesuchter Kompetenzanforderungen. Um dies beispielhaft darzustellen, werden nun drei ausgewählte Jobrollen mit Bezug zu Wasserstoff dargestellt.



Projektmanagerin Geschäftsfeld-entwicklung

Fachkompetenzen
- Aktuelle Trends und Entwicklungen im Bereich Wasserstoff
- Kenntnisse der Wertschöpfungskette und Anwendungs-bereiche von Wasserstoff
- Rechtliche Rahmenbedingungen im Zusammenhang mit Wasserstoff

Methodenkompetenzen
- Kooperations- und Netzwerkmanagement
- Projektmanagement- und Planung

Soziale Kompetenzen
- Kommunikationsfähigkeit
- Kompetenzen im Verkauf und Kundendienst
- Organisationsfähigkeit

Personale Kompetenzen
- Eigeninitiative
- Verantwortung
- Selbstständigkeit



Ingenieur im Bereich Wasserstoff (Power-to-X)

Fachkompetenzen
- Planung und Auslegung von Prozessanlagen im Bereich Wasserstoff und Power-to-X
- Regulierungs- und Genehmigungsprozesse für Wasserstofftechnologien und –anlagen
- Durchführung von Risikoanalysen und Sicherheitsvorkehrungen der Anlagensicherheit

Methodenkompetenzen
- Marktanalysen für Wasserstofftechnologien Kenntnisse in Projektkalkulation und Angebotserstellung
- Projektmanagement- und Planung

Soziale Kompetenzen
- Kommunikationsfähigkeit
- Teamarbeit
- Organisationsfähigkeit

Personale Kompetenzen
- Lernbereitschaft
- Verantwortung
- Selbstständigkeit



Teamleiterin Instandhaltung/ Elektrotechnik

Fachkompetenzen
- Instandhaltungs-, Wartungs- und Reparaturarbeiten an Wasserstoffanlagen
- Betrieb und Einrichtung von Wasserstoffanlangen
- Kompetenzen in Regelungs- und Steuerungstechnik
- Erfahrung im Umgang mit relevanten Normen und Vorschriften (z. B. DGUV, VDE)

Methodenkompetenzen
- Strategische Planung und Prozessmanagement zur Verbesserung von Ausfallzeiten
- Abstraktions- und Analysefähigkeiten sowie Problemlöseorientierung

Soziale Kompetenzen
- Kommunikationsfähigkeit
- Teamfähigkeit
- Führungskompetenz
- Organisationsfähigkeit

Personale Kompetenzen
- Verantwortung
- Mobilität
- Flexibilität
- Belastbarkeit

4.5 Vergleich mit anderen Zukunftstrends in der Energiewirtschaft

Die Transformation zur Wasserstoffwirtschaft bringt zahlreiche neue Kompetenzanforderungen mit sich, die sich zum Teil von anderen erneuerbaren Energiesektoren unterscheiden und zum Teil in bestimmten Bereichen Überschneidungen aufweisen. Während in der Wind- und Solarbranche vor allem Fachwissen in der Energieerzeugung, Netzstabilisierung und Speichertechnologie erforderlich ist, liegt der Fokus in der Wasserstoffwirtschaft verstärkt auf technischen, insbesondere chemischen und verfahrenstechnischen Kompetenzen, besonders in der Elektrolyse, Wasserstoffspeicherung und der Anwendung von Brennstoffzellen. Ein zentraler Unterschied besteht zudem in der Wertschöpfungskette. Während die Solar- und Windenergie primär die Erzeugung und Einspeisung von Strom ins Netz betrifft, erfordert die Wasserstoffwirtschaft umfassendere Kenntnisse in den Bereichen Transport, Speicherung und Umwandlung. Durch den Transport von Molekülen durch Rohre und Pipelines anstelle von Elektronen durch Leitungen und Kabel entstehen verstärkt Anforderungen an Fachkräfte in Hochdrucktechnologie, Materialwissenschaften und Sicherheitstechnik, die in anderen erneuerbaren Energiesektoren weniger stark ausgeprägt sind. Sicherheitsrelevante Aspekte spielen in der Wasserstoffwirtschaft eine weitaus größere Rolle als in der Wind- oder Solarenergie, da Wasserstoff hochexplosiv ist und spezielle Schutzmaßnahmen erfordert. Die steigende Nachfrage nach Fachkräften mit Kenntnissen im Explosionsschutz, in der Gassicherheit und regulatorischer Gegebenheiten zeigt, dass sich die Qualifikationsanforderungen erheblich von denen anderer grüner Energien unterscheiden (Bockelmann et al., 2024).

Gleichzeitig bestehen aber auch Gemeinsamkeiten, insbesondere im Bereich der Digitalisierung und Energiesystemintegration. Sowohl in der Wind- als auch in der Wasserstoffbranche sind interdisziplinäre Kompetenzen im Energiemanagement zunehmend gefragt, da die intelligente Steuerung erneuerbarer Energien entscheidend für eine effiziente Nutzung ist.

Darüber hinaus gibt es Überschneidungen im Bereich der Projektentwicklung und des Stakeholder-Managements, da in allen erneuerbaren Sektoren Genehmigungsprozesse, öffentliche Akzeptanz und wirtschaftliche Machbarkeiten eine Rolle spielen. Dennoch sind die Marktentwicklungen unterschiedlich. Während die Wind- und Solarenergie bereits über etablierte Bildungsprogramme und ausgebildete Fachkräfte verfügt, steckt die Wasserstoffwirtschaft diesbezüglich noch in den Anfängen. Auch regulatorisch und wirtschaftlich befindet sich die Wasserstoffwirtschaft in einer frühen Entwicklungsphase, was Unternehmen davon abhält, schon heute in Weiterbildung zu investieren (Dincer & Acar, 2015).

Die Ergebnisse unserer Arbeitsmarktanalyse zeigen zudem, dass die personalen und sozialen Kompetenzen, die in der Wasserstoffwirtschaft benötigt werden, weitgehend mit denen in anderen erneuerbaren Energiesektoren übereinstimmen. Kommunikationsfähigkeit, Teamarbeit und Verhandlungsgeschick zählen zu den zentralen Anforderungen in allen Bereichen der Energiewende, da die erfolgreiche Umsetzung von Projekten stark von interdisziplinärer Zusammenarbeit und der Abstimmung zwischen verschiedenen Stakeholdern abhängt. Ebenso sind Selbstständigkeit, Verantwortungsbewusstsein und Lernbereitschaft entscheidend, da der technologische Wandel schnelle Anpassungen erfordert und Fachkräfte sich kontinuierlich weiterbilden müssen. Dies deckt sich mit den Anforderungen in der Wind- und Solarbranche, wo ähnliche personale und soziale Kompetenzen aufgrund der komplexen Projektstrukturen und der Notwendigkeit zur Akzeptanzförderung ebenfalls von großer Bedeutung sind (Beasy et al., 2023).

Herausfordernd ist zudem die regionale Verteilung des Qualifikationsbedarfs. Während in der Wind- und Solarbranche die Nachfrage nach Fachkräften breit gestreut ist, konzentrieren sich Arbeitsplätze in der Wasserstoffwirtschaft stark auf industrielle Zentren und Häfen. Regionen mit hohem Potenzial für Elektrolyse, Import und industrielle Nutzung werden in den kommenden Jahren deutlich stärker von einer Transformation betroffen sein als ländliche Gebiete mit geringer Wasserstoffnutzung. Dadurch entsteht eine ungleiche Nachfrage nach Fachkräften, die durch gezielte Ausbildungsprogramme ausgeglichen werden muss. Die hohe Dynamik in der Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft führt zudem zu einem hohen Qualifizierungsbedarf für bestehende Fachkräfte. Ingenieure und Techniker, die bisher in konventionellen Energie- oder Gassektoren tätig waren, müssen durch Weiterbildungsmaßnahmen auf den Umgang mit Wasserstofftechnologien vorbereitet werden. Unternehmen stehen somit vor der Herausforderung, nicht nur neue Fachkräfte zu gewinnen, sondern auch bestehende Arbeitskräfte an die veränderten Anforderungen anzupassen. Insbesondere mittelständische Unternehmen, die nicht über die Ressourcen großer Konzerne verfügen, stehen vor der Herausforderung, ihre Belegschaft rechtzeitig auf die neuen Anforderungen vorzubereiten. Eine enge Zusammenarbeit mit Hochschulen und Forschungsinstituten könnte helfen, den Qualifikationsbedarf gezielt zu decken, doch ohne klare Marktanreize und Fördermechanismen könnte der Fachkräftemangel langfristig eine zentrale Wachstumsbremse für die Wasserstoffwirtschaft darstellen.

Zusammenfassung Kapitel 4.5

1. **Sicherheitswissen ist unabdingbar:** In Bezug auf Wasserstofftechnologien ist Wissen insbesondere in Bezug auf Gassicherheit, Explosionsschutz und zu regulatorischen Gegebenheiten gefragt.

2. **Spezifische Kenntnisse sind gefragt:** Die Transformation zur Wasserstoffwirtschaft erfordert spezifische Kompetenzen insbesondere in den Bereichen Elektrolyse, Wasserstoffspeicherung und Brennstoffzellentechnologien.

3. **Regionale Verteilung des Qualifizierungsbedarfs:** Arbeitsplätze in der Wasserstoffwirtschaft konzentrieren sich besonders auf industrielle Zentren und Häfen, was zu einer ungleichen Verteilung der Nachfrage nach Fachkräften sowie regionalen Weiterbildungsangeboten führt.

5. Handlungsempfehlungen für den Kompetenzaufbau und Weiterbildungs-möglichkeiten

Es wird deutlich, dass ein sehr vielfältiges Spektrum an Kompetenzen, Abschlüssen und Qualifikationen auf dem Wasserstoffmarkt gefragt ist. Zwar überwiegen technische Qualifikationen und Abschlüsse in den Bereichen Maschinenbau und Ingenieurwesen, jedoch werden die technischen Anforderungen auch von regulatorischen, organisatorischen und wirtschaftswissenschaftlichen Kenntnissen und Kompetenzen flankiert. Das eine Berufsprofil für Tätigkeiten im Bereich der Wasserstoffwirtschaft scheint es also nicht zu geben. Mit Blick auf die diversen Akteure und Tätigkeitsprofile erscheint es vielmehr nötig, Einzelfälle genau zu analysieren und je nach Anwendungsfall genau zu prüfen, welche Kompetenzen hier bereits im Unternehmen vorhanden sind oder strategisch weiterentwickelt werden können. Da der Fachkräftemangel nicht allein durch Neueinstellungen bewältigt werden kann und sich potenziell auch bestehende Jobprofile verändern, ist die Umschulung und Weiterbildung bestehender Mitarbeitender essenziell. Während viele Beschäftigte bereits über personale und soziale Kompetenzen wie Teamfähigkeit, Problemlösungsfähigkeiten und interdisziplinäre Zusammenarbeit verfügen, müssen neue technische Fähigkeiten systematisch aufgebaut werden. Um eine nachhaltige Fachkräfteentwicklung zu gewährleisten, sollten sowohl klassische Weiterbildungsmaßnahmen als auch innovative Ansätze wie digitale Schulungen und simulationsbasierte Trainings genutzt werden. Folgend werden Handlungsempfehlungen aufgeführt, die den entstehenden Kompetenz- und Qualifizierungsbedarf einer entstehenden Wasserstoffwirtschaft adressieren.

Handlungsempfehlungen zur Qualifizierung

1. Umschulung und Weiterbildung bestehender Fachkräfte
2. Anpassung von Ausbildungs- und Studiengängen
3. Förderung der Weiterbildung in kleinen und mittelständischen Unternehmen
4. Schaffung und Nutzung digitaler Lernplattformen und innovativer Schulungsformate
5. Vernetzung der Industrie für gemeinsame Qualifizierungsinitiativen

5.1 Umschulung und Weiterbildung bestehender Fachkräfte

Ein wichtiger Baustein für die erfolgreiche Transformation zur Wasserstoffwirtschaft ist die gezielte Umschulung und Weiterbildung von Fachkräften aus verwandten Branchen wie der konventionellen Energiewirtschaft, dem Maschinenbau oder der chemischen Industrie. Viele dieser Fachkräfte verfügen bereits über grundlegende technische Kenntnisse und wertvolle Schnittstellenkompetenzen, die für die Wasserstoffwirtschaft relevant sind. Um diese Potenziale zu nutzen, sollten modulare Weiterbildungsprogramme entwickelt werden, die eine gezielte Ergänzung bestehender Qualifikationen ermöglichen. Berufsbegleitende Zertifikatskurse, die sich auf zentrale Technologien wie Elektrolyseverfahren, Wasserstoffspeicherung oder Brennstoffzellentechnologie fokussieren, bieten praxisnahe Qualifizierungsmöglichkeiten. Besonders wichtig ist zudem die Integration sicherheitsrelevanter Schulungen, da der Umgang mit Wasserstoff besondere Vorsichtsmaßnahmen erfordert. Themen wie Explosionsschutz, Gasmanagement und Notfallprävention sollten daher als fester Bestandteil von Weiterbildungsmaßnahmen etabliert werden. Interdisziplinäre Trainings, die technische, wirtschaftliche und regulatorische Aspekte verbinden, können zudem dazu beitragen, Fachkräfte besser auf die komplexen Herausforderungen der Wasserstoffwirtschaft vorzubereiten. Diese Maßnahmen sind entscheidend, um bestehende Fachkräfte gezielt weiterzuentwickeln und den Fachkräftemangel durch Qualifikation, anstatt nur durch Neueinstellungen abzufedern.

5.2 Anpassung von Ausbildungs- und Studiengängen

Neben der Weiterbildung bestehender Fachkräfte ist die Anpassung von Ausbildungs- und Studiengängen notwendig, um langfristig eine stabile Fachkräftebasis für die Wasserstoffwirtschaft zu schaffen. Derzeit enthalten viele ingenieur- und naturwissenschaftliche Studiengänge sowie technische Ausbildungsberufe kaum spezifische Inhalte zu Wasserstofftechnologien. Daher sollten bestehende Curricula überarbeitet und um zentrale Themen wie Wasserstoffproduktion, -speicherung , -nutzung und -sicherheit ergänzt werden. Neue duale Ausbildungsberufe mit einem spezifischen Fokus auf Wasserstofftechnologien könnten zudem dazu beitragen, praxisnahe Qualifizierungsmöglichkeiten für junge Fachkräfte zu schaffen. Eine enge Kooperation zwischen Hochschulen, Unternehmen und Forschungsinstituten ist essenziell, um bedarfsgerechte und praxisorientierte Lehrpläne zu entwickeln. Besonders spezialisierte Bachelor- und Masterprogramme für Wasserstoff- und Energietechnik könnten langfristig dazu beitragen, den Fachkräftebedarf in diesem Bereich zu decken. Durch eine stärkere Verzahnung von Wissenschaft und Praxis lassen sich zudem innovative Lehrmethoden integrieren, die die Studierenden frühzeitig mit realen Herausforderungen der Wasserstoffwirtschaft konfrontieren und somit ihre Beschäftigungsfähigkeit verbessern.

5.3 Förderung der Weiterbildung in kleinen und mittelständischen Unternehmen

Kleine und mittelständische Unternehmen stehen häufig vor besonderen Herausforderungen, wenn es um die Weiterbildung ihrer Mitarbeitenden geht. Finanzielle und organisatorische Hürden erschweren es vielen KMU, systematische Weiterbildungsprogramme zu etablieren. Um diesem Problem zu begegnen, sollten gezielte staatliche Förderprogramme für Qualifizierungsmaßnahmen im Wasserstoffbereich entwickelt werden. Besonders wichtig ist der Aufbau regionaler Kompetenzzentren, die auf die spezifischen Bedürfnisse von KMU zugeschnittene Schulungen anbieten. Diese Zentren könnten Unternehmen dabei unterstützen, gezielt Fachkräfte weiterzubilden und praxisorientierte Qualifizierungsmaßnahmen umzusetzen. Zudem könnten branchenspezifische Qualifikationsplattformen geschaffen werden, die praxisnahe Schulungsmaterialien in Form von Videos, interaktiven Modulen und Best-Practice-Beispielen bereitstellen. Durch solche Angebote können KMU effizient und kostengünstig ihre Belegschaft weiterbilden, ohne auf teure externe Schulungsmaßnahmen angewiesen zu sein. Die Entwicklung flexibler, digitaler Weiterbildungsmöglichkeiten trägt dazu bei, die Hürde für KMU zu senken und die Qualifizierung von Fachkräften in diesen Unternehmen zu erleichtern.

5.4 Nutzung digitaler Lernplattformen und innovativer Schulungsformate

Um die Weiterbildung von Fachkräften effizient und flexibel zu gestalten, sollten digitale Lernplattformen verstärkt genutzt werden. Digitale Schulungsformate bieten den Vorteil, dass sie unabhängig von Zeit und Ort genutzt werden können und somit eine skalierbare Lösung für Unternehmen jeder Größe darstellen. E-Learning-Module können sowohl für grundlegende als auch für fortgeschrittene Themen der Wasserstofftechnologie entwickelt werden und somit einen niederschwelligen Zugang zu Qualifizierungsmaßnahmen ermöglichen.

Eine besonders innovative Anwendung von E-Learning stellen Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) zum Beispiel für sicherheitskritische Schulungen dar. Durch Simulationen können Fachkräfte realitätsnah in den Umgang mit Wasserstoffanlagen eingeführt werden, ohne unmittelbaren Gefahren ausgesetzt zu sein. Zudem ermöglichen interaktive Online-Simulationen, komplexe Prozesse der Wasserstoffproduktion und -nutzung praxisnah und anschaulich zu vermitteln. Diese digitalen Schulungsansätze sind besonders geeignet, um Lerninhalte nachhaltig zu vermitteln und gleichzeitig praxisnahe Erfahrungen zu ermöglichen. Der Ausbau digitaler Lernplattformen stellt daher eine zentrale Maßnahme dar, um die Qualifikation von Fachkräften flexibel und effizient zu gestalten.

5.5 Vernetzung der Industrie für gemeinsame Qualifizierungsinitiativen

Die Transformation zur Wasserstoffwirtschaft erfordert nicht nur die Weiterbildung einzelner Fachkräfte, sondern auch eine stärkere Vernetzung der Unternehmen untereinander. Besonders in einer frühen Marktphase ist es entscheidend, dass Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Bildungsanbieter gemeinsam an Qualifizierungsstrategien arbeiten. Die Etablierung branchenspezifischer Weiterbildungsnetzwerke kann dazu beitragen, Synergien zu nutzen und Fachkräfte gezielt auf neue Herausforderungen vorzubereiten. Unternehmen könnten in Kooperation Schulungsprogramme entwickeln, Best Practices austauschen und gemeinsame Trainingsplattformen aufbauen, um redundante Strukturen zu vermeiden und Ressourcen effizient zu nutzen.

Darüber hinaus ist die Zusammenarbeit mit internationalen Partnern von großer Bedeutung, um von globalen Erfahrungen zu profitieren. Internationale Austauschprogramme für Fachkräfte und Studierende könnten den Wissenstransfer fördern und dazu beitragen, dass neue technologische Entwicklungen frühzeitig in die Ausbildung integriert werden. Besonders in Europa könnten gemeinsame Qualifizierungsinitiativen dazu beitragen, einheitliche Standards für die Wasserstoffwirtschaft zu schaffen und den grenzüberschreitenden Einsatz von Fachkräften zu erleichtern.

6. Fazit und Ausblick

6.1 Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse

Wasserstofftechnologien spielen eine zentrale Rolle für die Energiewende, insbesondere für die Reduktion fossiler Energieträger und die Dekarbonisierung industrieller Prozesse. Damit verbunden ist eine steigende Nachfrage nach spezialisierten Fachkräften, deren Ausbildung und Qualifikation durch gezielte Maßnahmen gefördert werden muss.

Die Arbeitsmarktanalyse zeigt, dass die Qualifikationsbedarfe in der Wasserstoffwirtschaft sowohl spezifische technische Anforderungen als auch breit gefächerte soziale und personale Kompetenzen umfassen. Die Methodik basiert auf einer Kombination aus Literaturauswertung und Stellenanzeigenanalyse. Um relevante Fach- und Methodenkompetenzen zu identifizieren, wurden bestehende Studien zur Wasserstoffwirtschaft analysiert und mit den Anforderungsprofilen anderer erneuerbarer Energien verglichen. Dabei zeigte sich, dass technische Fachkenntnisse, insbesondere in den Bereichen Elektrolyse, Wasserstoffspeicherung und -transport sowie Sicherheitsaspekte, eine zentrale Rolle spielen. Neben den technischen Anforderungen erweisen sich auch organisatorische und wirtschaftswissenschaftliche Kompetenzen als essenziell, insbesondere für die Planung, Umsetzung und Regulierung von Wasserstoffprojekten. Auffällig ist, dass der Wasserstoffmarkt aufgrund seiner Komplexität ein breites Spektrum an Qualifikationen benötigt, das von ingenieurwissenschaftlichen Fachkenntnissen über rechtliche Aspekte bis hin zu Projektmanagement und interdisziplinärer Zusammenarbeit reicht.

Ein zentrales Ergebnis der Studie ist, dass bestehende Fachkräfte aus verwandten Branchen durch gezielte Weiterbildungsmaßnahmen schnell für die Wasserstoffwirtschaft qualifiziert werden können. Viele dieser Beschäftigten verfügen bereits über relevante personale und soziale Kompetenzen wie Teamfähigkeit, Problemlösungsfähigkeiten und interdisziplinäre Zusammenarbeit. Neue technische Fähigkeiten können durch modulare Weiterbildungen, berufsbegleitende Zertifikatskurse oder simulationsbasierte Schulungen ergänzt werden. Besonders KMU stehen dabei vor Herausforderungen, da ihnen oft die finanziellen und personellen Ressourcen für aufwendige Schulungsprogramme fehlen. Die Förderung regionaler Kompetenzzentren und staatlicher Weiterbildungsprogramme ist daher eine essenzielle Maßnahme, um die Transformation in KMU zu unterstützen. Darüber hinaus wird der Ausbau digitaler Schulungsformate als zentrale Strategie zur Flexibilisierung der Weiterbildung empfohlen. Digitale Lernplattformen, E-Learning-Module und Virtual-Reality-Simulationen können den Zugang zu Qualifizierungsmaßnahmen erleichtern und praxisnahes Lernen ermöglichen.

Insgesamt zeigt die Studie, dass die Wasserstoffwirtschaft nicht nur technologische Innovationen, sondern auch eine gezielte und nachhaltige Qualifikationsstrategie erfordert. Durch die Kombination aus Weiterbildung bestehender Fachkräfte, gezielter Anpassung von Ausbildungsgängen, spezifischer Förderung für KMU und dem Einsatz digitaler Schulungsformate kann dem Fachkräftebedarf langfristig begegnet und die Transformation zur Wasserstoffwirtschaft erfolgreich gestaltet werden.

6.2 Implikationen für zukünftige Forschung und Praxis

Die Ergebnisse dieser Studie verdeutlichen, dass die Transformation zur Wasserstoffwirtschaft erhebliche Anforderungen an die Qualifizierung von Fachkräften stellt. Dies hat sowohl für die wissenschaftliche Forschung als auch für die praktische Umsetzung weitreichende Konsequenzen. Während erste Maßnahmen zur Weiterbildung und Umschulung von Fachkräften ergriffen wurden, bestehen weiterhin zentrale Herausforderungen, die durch zukünftige Forschungsinitiativen adressiert werden sollten.

Ein vorrangiges Forschungsdesiderat ist die detaillierte Untersuchung der Lern- und Schulungsbedarfe für spezifische Berufsgruppen entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette. Während die Studie bereits grundlegende technische, methodische und soziale Kompetenzen identifiziert hat, bedarf es einer weitergehenden Analyse, welche spezifischen Qualifikationen für unterschiedliche Berufsfelder erforderlich sind. Besonders die Differenzierung zwischen Fachkräften, die bereits in der Energiewirtschaft tätig sind, und Neueinsteigern in den Sektor muss weiter erforscht werden. Ebenso sollten Forschungsvorhaben gezielt untersuchen, welche Weiterbildungsformate – etwa berufsbegleitende Schulungen, digitale Lernplattformen oder simulationsbasierte Trainings – am effektivsten sind, um den Qualifikationsbedarf der Wasserstoffwirtschaft nachhaltig zu decken.

Auf praktischer Ebene sind Unternehmen und Bildungseinrichtungen gefordert, ihre Curricula und Schulungsangebote dynamisch an die Entwicklungen des Wasserstoffmarktes anzupassen. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Industrie, Hochschulen und Weiterbildungsanbietern, um praxisnahe Ausbildungs- und Umschulungsprogramme zu entwickeln. Die Implementierung flexibler und modularer Schulungsformate, die es Fachkräften ermöglichen, sich parallel zur beruflichen Tätigkeit weiterzubilden, ist essenziell. Darüber hinaus sollten Unternehmen gezielt interne Qualifizierungsstrategien entwickeln, um bestehende Mitarbeitende auf die technologischen und sicherheitsrelevanten Anforderungen der Wasserstoffwirtschaft vorzubereiten.

Eine weitere zentrale Implikation betrifft die Rolle der politischen Akteure. Staatliche Förderprogramme zur Unterstützung der Weiterbildung in kleinen und mittelständischen Unternehmen sind entscheidend, um den Fachkräftebedarf langfristig zu sichern. Gleichzeitig müssen regulatorische Rahmenbedingungen geschaffen werden, die Investitionen in Qualifizierungsmaßnahmen fördern und langfristige Planungssicherheit für Unternehmen gewährleisten. Zukünftige Forschungsprojekte sollten daher auch die Frage untersuchen, welche politischen Instrumente am besten geeignet sind, um eine nachhaltige Fachkräfteentwicklung im Wasserstoffsektor zu unterstützen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Forschung zur Wasserstoffwirtschaft nicht nur technologische Aspekte, sondern auch die arbeitsmarktpolitischen und bildungswissenschaftlichen Herausforderungen in den Blick nehmen muss. Der Erfolg der Wasserstofftransformation hängt maßgeblich davon ab, ob es gelingt, den Fachkräftebedarf mit innovativen Weiterbildungsformaten und gezielten Qualifizierungsmaßnahmen zu decken. Die enge Verzahnung von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik ist dabei essenziell, um sowohl auf aktuelle Entwicklungen flexibel reagieren als auch langfristige Strategien für die Ausbildung und Qualifizierung von Fachkräften etablieren zu können.

Literaturverzeichnis

Agora Energiewende & Wuppertal Institut (Hrsg.). (2019). Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung_Industrie/164_A-EW_Klimaneutrale-Industrie_Studie_WEB.pdf

Beasy, K., Emery, S., Pryor, K. & Vo, T. A. (2023). Skilling the green hydrogen economy: A case study from Australia. International Journal of Hydrogen Energy, 48(52), 19811–19820. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.02.061

Bezdek, R. H. (2019). The hydrogen economy and jobs of the future. Renewable Energy and Environmental Sustainability, 4, 1. https://doi.org/10.1051/rees/2018005

BIBB Bundesinstitut für Berufsbildung. (7/ 2023). Wasserstoff: Fachkräftequalifizierung für den Schlüsselrohstoff der Zukunft: BIBB-Präsident Esser: „Duale Berufsbildung gut gerüstet" [Pressemitteilung]. https://www.bibb.de/dokumente/pdf/finalpmwasserstoff.pdf

Bockelmann, M., Becker, M., Stypka, S., Bauer, S., Minke, C. & Turek, T. (2024). Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse. Chemie in unserer Zeit, 58(1), 29–45. https://doi.org/10.1002/ciuz.202300024

Braun, J. & Lenz, C. (2022). H2Skills: Branchenübergreifende Bedarfsanalyse für Qualifizierungsangebote im Wasserstoff-Kontext in Nord-Ost-Niedersachsen. https://www.wasserstoff-niedersachsen.de/wp-content/uploads/2022/09/H2Skills-Bedarfsanalyse-Qualifizierung-Wasserstoff.pdf

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

Czock, B. H., Diers, H. & Schnaars, P. (2023). Versorgungssicherheit mit Strom in einer kalten Dunkelflaute – Szenarien für 2030. Zeitschrift für Energiewirtschaft, 47(1), 32–37. https://doi.org/10.1007/s12398-023-0907-3

DEUTSCHER WASSERSTOFF- UND BRENNSTOFFZELLEN-VERBAND E.V. (Hrsg.). (2018). Grüne Wasserstoff-Industrie – Lösung für den Strukturwandel?

Dincer, I. & Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. International Journal of Hydrogen Energy, 40(34), 11094–11111. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.12.035

Espitalier-Noël, M., Fonseca, J., Fraile, D., Muron, M., Pawelec, G., Santos, S. & Staudenmayer, O. (2024). Clean Hydrogen Monitor 2024. https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2024/11/Clean_Hydrogen_Monitor_11-2024_V2_DIGITAL_draft3-1.pdf

Europäische Kommission. (2020, 11. Dezember). Higher Climate Ambition For Europe and the World: The Paris Agreement, adopted in 2015 by 195 countries, sets out a global framework to avoid dangerous climate change. Europäische Kommission. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/867291/HigherProzent-20ClimateProzent20Ambition_diplomacy.pdf.pdf

Fraunhofer IEE – Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik. (2020). Das Barometer der Energiewende. Primärenergie und Strombedarf 2010 – 2030 – 2050. https://www.barometer-energiewende.de/de/barometer_2020/energiebilanz.html

Greppmair, A.-C. & Deleski, V. (2024). hyBit Bildungsbedarfsanalyse Wasserstoff: Was braucht die norddeutsche Wasserstoffwirtschaft?

Grimm, V., Janser, M. & Stops, M. (2021). Neue Analyse von Online-Stellenanzeigen: Kompetenzen für die Wasserstofftechnologie sind jetzt schon gefragt. https://doku.iab.de/kurzber/2021/kb2021-11.pdf (IAB-Kurzbericht).

Grothe, A., Goldmann, G., Marke, N. & Yildiz, Ö. (2011). Herausforderungen des Wissenstransfers zwischen Hochschule und Unternehmen. Ökologisches Wirtschaften – Fachzeitschrift, 26(2), 47. https://doi.org/10.14512/oew.v26i2.1129

Hamacher, T. (2017). Wasserstoff als strategischer Sekundärenergieträger. In J. Töpler & J. Lehmann (Hrsg.), Wasserstoff und Brennstoffzelle (S. 1–23). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53360-4_1

Hufnagel-Smith, P. (2022). Assessing the Workforce Required to Advance Canada's Hydrogen Economy: Report Plus Hydrogen Workforce Assessment Tool. The Transition Accelerator(Volume 4, Issue 4). https://transitionaccelerator.ca/reports/assessing-the-workforce-required-to-advance-canadas-hydrogen-economy/

Hydrogen Europe Research. (2023). European Hydrogen Skills Strategy. co-founded by the European Union (1. Aufl.). https://hydrogeneuroperesearch.eu/european-hydrogen-skills-strategy-unveiled/

Krichewsky-Wegener, L., Abel, S. & Bovenschulte, M. (2020). Skills Development for Hydrogen Economies - Damit aus einer Wasserstoffstrategie eine Wasserstoff(weiter)bildungsstrategie wird. iit perspektive (Working Paper of the Institute for Innovation and Technology(55). https://www.iit-berlin.de/wp-content/uploads/2021/01/2020_11_iit-perspektive_Hydrogen-Economies.pdf

McHenry, R., Krishnan, S. & Tuck, L. (2024). Knowledge, skills, and attributes needed for developing a hydrogen engineering workforce: A systematic review of literature on hydrogen engineering education. International Journal of Hydrogen Energy, 72, 380–387. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.05.380

Parella, J. F. & Hernández, G. C. (2018). The German Business Model: The Role of the Mittelstand. Journal of Management Policies and Practices(6), 10–16.

Ronsiek, L., Schneemann, C., Mönnig, A., Samray, D., Schroer, J. P., Schur, A. C., Zenk, J. (2024). Arbeitskräftebedarf und Arbeitskräfteangebot entlang der Wertschöpfungskette Wasserstoff: Szenario-v2.1. (IAB-Forschungsbericht 07/2024). Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung. https://doku.iab.de/forschungsbericht/2024/fb0724.pdf

Schneider, M. & Schur, A. (2023). Die Bedeutung des Wasserstoffhochlaufs für den Arbeitsmarkt und die Berufsbildung in Deutschland. Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis, 2023(4), 17–21. https://www.bwp-zeitschrift.de/dienst/publikationen/de/download/19254

Spangenberger, P., Draeger, I. & Kapp, F., Kruse, L., Narciss, S., Hartmann, M. (2016). Technische Ausbildungsberufe im Bereich Erneuerbare Energien: Analyse von Stellenanzeigen zur Identifizierung technischer Arbeitsfelder, Ausbildungsberufe und Qualifikationsanforderungen aus Unternehmenssicht für 2014/2015. https://wilabonn.de/images/PDFs/Serena/Analyse_Ausbildung_Erneuerbare_Energien.pdf

Steeg, S., Helmrich, R., Maier, T. & Schroer, J. (2022). Die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland : Folgen für Arbeitsmarkt und Bildungssystem: eine erste Bestandsaufnahme.

van Ackeren, J., Schattauer, S. & Aßmus, B. (2020). Kompetenzen für das Wasserstoff-Zeitalter. Kompetenzbroschüre von Fraunhofer. https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/ueber-fraunhofer/wissenschaftspolitik/Positionen/KompetenzbroschProzentC-3ProzentBCre_KompetenzenProzent20fProzentC3ProzentBCrProzent20dasProzent20Wasserstoff-Zeitalter_Fraunhofer-Gesellschaft.pdf

Wirtschaftsvereinigung Stahl. (2024). Daten und Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland. https://www.wvstahl.de/wp-content/uploads/WV-Stahl_Daten-und-Fakten-2024_RZ-Web.pdf

Zimmermann, F., Kutz, J., Bienzeisler, B., Bernecker, T., Wolf, A., Werth, D., Haag, G., Arreola González, A. & Böhm, M. (2021). H2-Innovationslabor Heilbronn-Franken. Fraunhofer IAO. https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/b3fb485c-aa9d-44ad-86e7-4ce47a08d2b7/details

Impressum

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Bildungscampus 9
74076 Heilbronn
www.iao.fraunhofer.de

Kontakt
Dr. Janika Kutz
Teamleiterin Public Service Innovation
Tel. +49 711 970-5259
janika.kutz@iao.fraunhofer.de

Satz und Layout
Lilian Ruchay

Titelbild
© scharfsinn86 – Adobe Stock

Fraunhofer-Publica
http://dx.doi.org/10.24406/publica-4763

Alle Rechte vorbehalten
© Fraunhofer IAO, September 2025

Kontakt

Dr. Janika Kutz
Teamleiterin Public Service Innovation
Tel. +49 711 970-5259
janika.kutz@iao.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO
Bildungscampus 9
74076 Heilbronn

www.iao.fraunhofer.de