

# Fachkräftemangel: Nadelöhr für den Was- serstoffhochlauf?

Fachkräftesituation entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette

Paula Risius / Jurek Tiedemann / Malte Küper / Regina Flake

Köln, 26.02.2025

**IW-Report 8/2025**

Wirtschaftliche Untersuchungen,  
Berichte und Sachverhalte



## Herausgeber

**Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V.**

Postfach 10 19 42

50459 Köln

Das Institut der deutschen Wirtschaft (IW) ist ein privates Wirtschaftsforschungsinstitut, das sich für eine freiheitliche Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung einsetzt. Unsere Aufgabe ist es, das Verständnis wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Zusammenhänge zu verbessern.

## Das IW in den sozialen Medien

x.com

[@iw\\_koeln](#)

LinkedIn

[@Institut der deutschen Wirtschaft](#)

Instagram

[@IW\\_Koeln](#)

## Autoren

### **Paula Risius**

Researcher für digitale Bildung und Fachkräftesicherung

[risius@iwkoeln.de](mailto:risius@iwkoeln.de)

0221 – 4981-680

### **Jurek Tiedemann**

Economist für Fachkräftesicherung

[tiedemann@iwkoeln.de](mailto:tiedemann@iwkoeln.de)

0221 – 4981-419

### **Malte Küper**

Referent für Energie und Klimapolitik

[kueper@iwkoeln.de](mailto:kueper@iwkoeln.de)

0221 – 4981-673

### **Dr. Regina Flake**

Senior Economist für Berufliche Bildung und Fachkräftesicherung

[flake@iwkoeln.de](mailto:flake@iwkoeln.de)

0221 – 4981-840

## **Alle Studien finden Sie unter [www.iwkoeln.de](http://www.iwkoeln.de)**

In dieser Publikation wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit regelmäßig das grammatikalische Geschlecht (Genus) verwendet. Damit sind hier ausdrücklich alle Geschlechteridentitäten gemeint.

## **Stand:**

Februar 2025

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Methodik.....</b>	<b>6</b>
<b>3 Wasserstoff: Ein Grundstoff, viele Einsatzmöglichkeiten .....</b>	<b>8</b>
3.1 Ausgangslage .....	8
3.2 Fachkräftesituation.....	11
<b>4 Fachkräfteanalyse entlang der Wertschöpfungskette .....</b>	<b>13</b>
4.1 Wasserstofferzeugung.....	13
4.2 Wasserstofftransport .....	17
4.3 Wasserstoffeinsatz in der chemischen Industrie und Raffinerie.....	19
4.4 Wasserstoffeinsatz in der Stahlindustrie.....	23
4.5 Wasserstoffeinsatz im Verkehrssektor.....	25
4.6 Wasserstoffeinsatz im Gebäudesektor.....	29
<b>5 Ausbildungssituation in wasserstoffrelevanten Berufen .....</b>	<b>32</b>
<b>6 Diskussion und Fazit.....</b>	<b>35</b>
<b>7 Abstract.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>39</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>39</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>40</b>

## **JEL-Klassifikation**

Q42 – Alternative Energiequellen

J24 – Humankapital, Fähigkeiten, Berufswahl, Arbeitsproduktivität

O14 – Industrie und Technologie

## Zusammenfassung

Um bis 2045 klimaneutral zu werden, ist die Reduktion von Emissionen von grundlegender Bedeutung. Einer der Energieträger, auf die umgestiegen werden soll, ist grüner Wasserstoff. Dieser bietet je nach Branche unterschiedlich große Potenziale, ist aber insbesondere für die Defossilisierung der energieintensiven Branchen Stahl und Chemie unumgänglich. Für den erfolgreichen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft und die Schaffung einer entsprechenden technischen Infrastruktur sind gut ausgebildete Fachkräfte, die die Entwicklung, Implementierung und den Betrieb der vielfältigen Anwendungen von Wasserstoff vorantreiben, Voraussetzung. Das vorliegende Papier betrachtet die Fachkräftesituation in ausgewählten Bereichen entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette: von der Erzeugung über den Transport bis zum Einsatz in der chemischen Industrie, der Stahlindustrie, dem Verkehrs- sowie dem Gebäudesektor. Zudem wird die Ausbildungssituation in wasserstoffrelevanten Berufen betrachtet.

Insgesamt zeigt sich, dass es für den Hochlauf der Wasserstofftechnologie zwar überwiegend passend qualifizierte Fachkräfte auf dem Arbeitsmarkt gibt, die Verfügbarkeit jedoch nach Beruf und Branche variiert und teilweise Fachkräftengpässe bestehen. Denn die Situation in relevanten Berufen ist – wie auf dem Arbeitsmarkt insgesamt – angespannt: Über alle relevanten Berufe hinweg fehlten in den betrachteten Branchen 2024 etwa 49.500 qualifizierte Fachkräfte. Mit zusätzlichen Fachkräftebedarfen ist insbesondere beim Aufbau der Infrastrukturen, wie Elektrolyseuren und Leitungen, zu rechnen. Zu den für den Wasserstoffhochlauf relevanten Berufen, in denen schon heute viele Stellen unbesetzt bleiben, gehören Fachkräfte für Bauelektrik, Elektrische Betriebstechnik sowie Maschinenbau- und Betriebstechnik. Zu beachten ist, dass die in dieser Studie als relevant identifizierten Wirtschaftsbereiche nicht alle Wirtschaftsbereiche abdecken, in denen grüner Wasserstoff in Zukunft an Relevanz gewinnen könnte.

Der Wasserstoffhochlauf erzeugt in einigen Berufen einen steigenden Bedarf an Fachkräften. In anderen Berufen führt er zu zusätzlichen Kompetenzanforderungen, die jedoch meist über gezielte kürzere Weiterbildungen qualifiziert werden können – beispielsweise für den Umgang mit hohem Gasdruck oder Hochvoltssystemen, wofür es bereits etablierte Qualifizierungsangebote gibt. Somit wird aktuell kein Änderungsbedarf an den derzeit gültigen Ausbildungsordnungen gesehen.

Um der herausfordernden Fachkräftesituation in zahlreichen Berufen mit unmittelbarem Wasserstoffbezug zu begegnen, lassen sich verschiedene Handlungsoptionen ableiten. So gilt es, das Matching am Ausbildungsmarkt zu verbessern, denn zuletzt blieben 18.177 angebotene Ausbildungsstellen in wasserstoffrelevanten Berufen unbesetzt. Auch das Potenzial von Quereinsteigern sollte noch stärker berücksichtigt werden. Damit Unternehmen überhaupt in den Hochlauf der Wasserstofftechnologie und die Qualifizierung des benötigten Personals investieren können, sollte die nächste Bundesregierung an die bisherigen Fortschritte anknüpfen und drängende Handlungsfelder, wie den Bau von Elektrolyseuren sowie die Überwindung der Wirtschaftlichkeitslücke zwischen fossilen Energieträgern und grünem Wasserstoff, konsequent angehen.

## 1 Einleitung

Deutschland hat sich das ehrgeizige Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu werden. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es notwendig, fossile Energieträger wie Erdgas und Kohle sukzessive durch CO<sub>2</sub>-freie Alternativen zu ersetzen. Der Übergang zu elektrifizierten Anwendungen schreitet in vielen Bereichen voran – etwa durch den verstärkten Einsatz von Elektrofahrzeugen und Wärmepumpen. Dennoch lassen sich nicht alle Wirtschaftssektoren vollständig elektrifizieren. So können elektrische Antriebe beim heutigen Stand der Technik im Schiffs- und Flugverkehr nicht die erforderlichen Anforderungen an Reichweite und Betankungsdauer erfüllen. Auch viele Prozesse in der Herstellung energieintensiver Produkte, beispielsweise in der Stahl- und Chemieindustrie, lassen sich nicht allein durch Elektrifizierung klimaneutral betreiben, sondern sind auf absehbare Zeit auf den Einsatz alternativer klimaneutraler Energieträger angewiesen.

In diesem Kontext gewinnt klimafreundlicher Wasserstoff an Bedeutung. Als emissionsfreier Energieträger, der zum Beispiel durch Elektrolyse von Wasser unter Einsatz erneuerbarer Energien erzeugt werden kann, stellt grüner Wasserstoff eine klimafreundliche Alternative zu fossilen Brennstoffen dar. Seine Relevanz liegt insbesondere darin, dass er eine Dekarbonisierung von Sektoren ermöglicht, die sich aufgrund ihrer spezifischen Anforderungen technisch oder ökonomisch nur schwer elektrifizieren lassen. Klimafreundlicher Wasserstoff und seine Derivate, wie Ammoniak oder synthetische Kraftstoffe, fungieren somit als Schlüsseltechnologie, die die Transformation hin zu einer klimaneutralen Wirtschaft unterstützt und zugleich die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern reduziert.

Im Jahr 2020 ging die damalige Bundesregierung von einem Wasserstoffbedarf von 90 bis 110 Terawattstunden (TWh) bis zum Jahr 2030 aus (BMWj, 2020). Diese Schätzung umfasste auch den bisherigen Bedarf der Industrie an fossilem Wasserstoff von rund 55 TWh, sodass der zusätzliche Bedarf an klimafreundlichem Wasserstoff auf 35 bis 55 TWh geschätzt wurde. In der Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie (2023) wurde dieser Wert an die veränderten Marktbedingungen angepasst und auf 40 bis 75 TWh erhöht. Der gesamte erwartete Wasserstoffbedarf liegt damit bei 95 bis 130 TWh. Nach 2030 wird mit einem deutlichen Anstieg der Wasserstoffnachfrage gerechnet.

Der zukünftige Wasserstoffbedarf wird sowohl durch inländische Erzeugung als auch durch Importe gedeckt werden müssen. Für den Import von grünem Wasserstoff sprechen vor allem die besonders hohen Volllaststunden von Wind- und Solaranlagen in sehr sonnigen und windreichen Regionen der Welt, tendenziell geringere Flächennutzungskonkurrenzen in weniger dicht besiedelten Ländern und eine Diversifizierung der Energieversorgung. Die Bundesregierung geht davon aus, dass rund 50 bis 70 Prozent des klimafreundlichen Wasserstoffbedarfs im Jahr 2030 durch Importe gedeckt werden.

Ein erfolgreicher Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft erfordert eine gesicherte Versorgung mit grünem Wasserstoff, für die die Verfügbarkeit ausreichend qualifizierter Fachkräfte entlang der gesamten Wasserstoff-Wertschöpfungskette Voraussetzung ist. Von der Forschung und Entwicklung über Produktion und Transport bis zur Anwendung in der Industrie sind spezialisierte Fachkräfte entscheidend, um die technologischen Fortschritte und den Ausbau der Infrastruktur zu ermöglichen. Passend qualifizierte Fachkräfte sind daher ein zentraler Faktor, um die Ziele der Wasserstoffstrategie zu erreichen und den Unternehmen in Deutschland ein ausreichendes und wettbewerbsfähiges Angebot an grüner Energie bereitzustellen.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wird analysiert, in welchen der für den Hochlauf benötigten Berufe derzeit Fachkräfte fehlen und wie groß diese Lücken sind. Zudem wird der aktuelle Diskussionsstand zu den Potenzialen von grünem Wasserstoff in ausgewählten Industrien wiedergegeben. Betrachtet werden neben der Wasserstoffherzeugung auch der Verkehrs- und der Gebäudesektor sowie mit der chemischen und

Stahlindustrie die zwei energieintensivsten Zweige der Industrie. Auf dieser allgemeinen Einordnung basierend wird analysiert, ob in den jeweiligen Bereichen ausreichend viele passend qualifizierte Fachkräfte für das Ausschöpfen dieser Potenziale vorhanden sind bzw. in welchen Tätigkeitsfeldern durch den Wasserstoffhochlauf zusätzliche Fachkräfte benötigt werden. Ergänzend wird die Ausbildungssituation in Berufen analysiert, die für die Wertschöpfungskette Wasserstoff relevant sind, und dabei auch der Frage nachgegangen, ob der Hochlauf der Wasserstofftechnologie die Vermittlung neuer Kompetenzen erfordert.

## 2 Methodik

Zur Identifikation der Wasserstoffberufe wurden aktuelle Forschungsarbeiten herangezogen. Zentrale Grundlage sind Forschungsberichte aus dem H<sub>2</sub>Pro-Projekt des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB). Das BIBB hat im Rahmen des Projekts für mehrere Sektoren der Wasserstoff-Wertschöpfungskette analysiert, welche Tätigkeiten anfallen und welche Berufe diese Tätigkeiten typischerweise verrichten. Zu den analysierten Sektoren gehören die Raffinerie (Felkl, 2023), die Stahlindustrie (Schad-Dankwart, 2023), die Wärmeversorgung (Hiller, 2023) und der Verkehrssektor (Schneider, 2023). Das BIBB fokussiert sich dabei auf den Bereich der betrieblichen Ausbildung und identifiziert ausschließlich Berufe, die in direktem Zusammenhang mit der Wertschöpfungskette stehen. Berufe in der Verwaltung, wie etwa Controller, Bürofachangestellte, Prüfer in Genehmigungsverfahren für Bauvorhaben, bleiben unberücksichtigt.

Die Liste der vom BIBB identifizierten Berufe wurde im ersten Schritt der Klassifikation der Berufe (KlDB) zugeordnet und umfasste aufgrund des genannten Fokus ausschließlich Fachkraft-Berufe. Daher wurden im zweiten Schritt die zugehörigen Spezialisten- und Expertenberufe sowie Berufe für Aufsichts- und Führungskräfte ergänzt. Helferberufe werden vernachlässigt, da angenommen wird, dass Helfer mit geringem Aufwand an die benötigten Aufgaben herangeführt werden können und somit kein Arbeitskräftemangel entsteht.

Zusätzlich wurde ein Abgleich mit den Berufen vorgenommen, die im Rahmen einer IAB-Studie zu wasserstoffrelevanten Tätigkeiten in Online-Stellenanzeigen aus dem Jahr 2019 identifiziert wurden (Grimm et al., 2021). Zu diesem Zweck hat das IAB die hinter den publizierten Berufsgruppen stehenden Berufsgattungen zur Verfügung gestellt. Der Abgleich zeigte insbesondere im Bereich der gewerblich-technischen Berufe hohe Überschneidungen mit den Analysen des H<sub>2</sub>Pro-Projekts. Zudem finden sich zahlreiche Berufe, die Grimm et al. (2021) identifizierten, auch in einer Studie des Kompetenzzentrums Fachkräftesicherung (KOFA) zu Fachkräften für die Wind- und Solarenergie wieder (Koneberg et al., 2022). Insbesondere bei akademisch geprägten naturwissenschaftlichen Berufen fehlten zahlreiche Spezialisten- und Expertenberufe gegenüber den H<sub>2</sub>Pro-Publikationen. Daher wurden Ergänzungen aus der IAB-Studie vorgenommen. Berufe der Unternehmensorganisation und -verwaltung wurden im Rahmen der vorliegenden Studie nicht betrachtet.

Da das BIBB sich der Thematik sektorweise genähert hat, kann genau zugeordnet werden, welche Berufe in welchem Teil der Wertschöpfungskette relevant sind. Die Fachkräfteanalyse kann somit auch spezifisch für diese Branchen durchgeführt werden. Dadurch wird nicht der gesamtwirtschaftliche Bedarf an Fachkräften ausgewiesen, sondern der Bedarf kann auf die Branchen konkretisiert werden, in denen die jeweiligen Tätigkeiten tatsächlich anfallen. Die hinzugenommenen Spezialisten-, Experten- und Führungsberufe werden in allen Sektoren analysiert, in denen auch zugehörige Fachkraft-Berufe betrachtet werden. Unterschieden werden

- die **Wasserstoffproduktion** ohne direkte Verknüpfung zum Einsatz (WZ 35 Energieversorgung),
- die **Transportwege** (WZ 49 Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen, WZ 42 Tiefbau)
- sowie der Einsatz
  - in der **chemischen Industrie**, die bislang den fossilen Wasserstoff meist selbst vor Ort produzierte (WZ 20 Chem. Erzeugnisse),
  - in der **Stahlindustrie** (WZ 24 Metallerzeugung und -bearbeitung),
  - im **Verkehrssektor** und im Bereich der **Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb** (WZ 27 Herstellung von elektr. Ausrüstungen, WZ 29 Herstellung von KFZ und KFZ-Teilen, WZ 45 Handel mit Kraftfahrzeugen; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen),
  - und im **Gebäudesektor** (WZ 41 Hochbau, WZ 43 Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallation und sonst. Ausbaugewerbe, WZ 81 Gebäudebetreuung; Garten- und Landschaftsbau).
- Hinzu kommen weitere administrative Tätigkeiten, wie die Bearbeitung von Anträgen in **staatlichen Institutionen** (WZ 84) oder Projektmanagement-Aufgaben in den verschiedenen Branchen. Die hier gefragten Berufe, zu denen beispielsweise Büro- und Sekretariatskräfte, buchhalterische Berufe und Verwaltungsfachangestellte zählen, haben sehr breite Tätigkeitsfelder. Da es sich um große Berufsgruppen handelt, ist die Anzahl der Personen, die sich explizit mit Tätigkeiten entlang der Wasserstoffkette beschäftigen, begrenzt. Da sich dies nicht weiter quantifizieren lässt, werden administrativ ausgerichtete Berufe im Zuge dieser Studie nicht weiter betrachtet.

**Tabelle 2-1: Betrachtete Berufe entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette**

	Fachkräfte	Spezialisten	Experten	gesamt
Raffinerie- und Chemieindustrie	24	30	34	88
Stahlindustrie	27	336	36	99
Transportwege	21	29	33	83
Verkehr	12	14	20	46
Erzeugung	18	25	27	70
Gebäude	9	17	18	44
gesamt	43	50	50	143

Quelle: eigene Darstellung. Hinweis: Die Gesamtzahl der betrachteten Berufe entspricht nicht der Spaltensumme, da einige Berufe für mehrere Wirtschaftszweige relevant sind, aber in die Gesamt-Zählung nur einmal eingehen.

Obwohl die Betrachtung exakt auf die Berufe und Branchen zugeschnitten werden kann, bestehen Unschärfen bei der Quantifizierung der Fachkräftebedarfe für den Hochlauf der Wasserstofftechnologie:

- Erstens betreffen **die ausgewiesenen Fachkräftebedarfe nicht ausschließlich die Wasserstoffproduktion und -verwertung**. Nur ein Teil der Fachkräfte arbeitet in diesem Bereich. Fachkräfte der Bauelektrik, die in der Energieversorgung tätig sind, können beispielsweise auch in der Stromerzeugung aus Windkraft tätig sein. Wie groß der Anteil der Fachkräfte ist, der sich nicht explizit

mit Wasserstoff beschäftigt, lässt sich nicht näher beziffern. Durch diesen Umstand kann es folglich zu einer Überschätzung der Fachkräfteengpässe in Bezug auf Wasserstofftechnologie kommen. Gegenüber einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung ist der Fehler allerdings geringer.

- Zweitens wird die **Fachkräftelücke anhand der offenen Stellen auf die Wirtschaftszweige umgeschlüsselt**. Das bedeutet, dass Arbeitslose proportional zu den offenen Stellen der Berufe den Branchen zugeordnet werden. Es kann jedoch vorkommen, dass eine Branche besondere Anforderungen an Fachkräfte hat, die spezifische Weiterbildungen erforderlich machen. Dies kann in größeren Besetzungsschwierigkeiten resultieren als statistisch ausgewiesen werden. Ebenso ist es denkbar, dass Branchen bei Fachkräften unterschiedlich bekannt sind, was die Fachkräftesuche der Unternehmen dieser Branchen bei hoher Bekanntheit begünstigen, aber bei geringer Bekanntheit weiter erschweren kann.
- Drittens **wird nur der Kern der Wirtschaftsbereiche betrachtet**, in denen Wasserstoff Relevanz besitzt. Relevanz bedeutet, dass der Einsatz grünen Wasserstoffs kurzfristig realisierbar ist und einen signifikanten Beitrag zur Klimaneutralität leisten könnte. Neben den betrachteten Wirtschaftsbereichen gibt es weitere energieintensive Branchen wie die Papier-, Glas- und Keramikindustrie oder die Baustoffherstellung, in denen Wasserstoff zukünftig eine Rolle spielen könnte. In vielen dieser Bereiche ist der Wasserstoffeinsatz jedoch noch in der Prüfung und Entwicklung und die Marktreife noch nicht erreicht (BMWK, 2022). Zu der vorgenommenen Eingrenzung auf bestimmte Branchen und Berufe könnten zukünftig somit weitere Bereiche hinzukommen.

Die nachfolgende Auswertung beleuchtet die Fachkräftesituation in Branchen entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette nach den Abteilungen der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008) des Statistischen Bundesamtes. Die Verknüpfung der insgesamt 88 Abteilungen der WZ 2008 mit den Daten der IW-Fachkräftedatenbank auf Ebene von Berufsgattungen ermöglicht eine Analyse, in welchen Abteilungen welche Fachkräfte gesucht werden. Zur einfacheren Lesbarkeit werden im Beitrag die Abteilungen der WZ 2008 als Branche oder Wirtschaftszweig bezeichnet. Fachkräftemangel besteht, wenn es weniger passend qualifizierte Arbeitskräfte in einem Beruf gibt als offene Stellen. Das IW wertet in seiner IW-Fachkräftedatenbank die bei der Bundesagentur für Arbeit (BA) registrierten Arbeitslosen und offenen Stellen aus. Die offenen Stellen werden unter Einbeziehung von Meldequoten der IAB-Stellenerhebung hochgerechnet und um Sondereffekte der Zeitarbeit bereinigt (Burstedde et al., 2020).

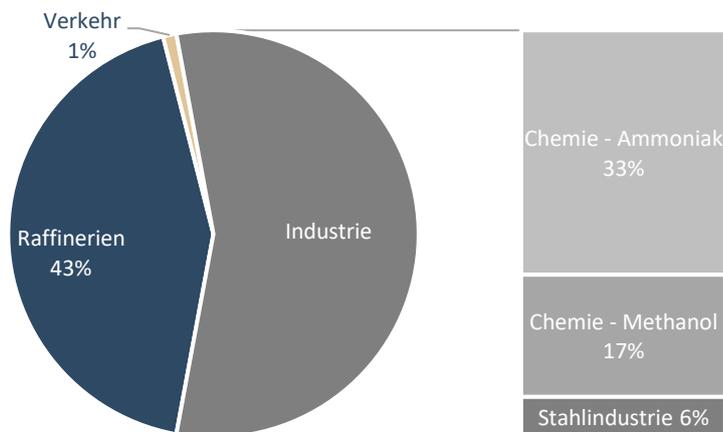
## 3 Wasserstoff: Ein Grundstoff, viele Einsatzmöglichkeiten

### 3.1 Ausgangslage

Wasserstoff kommt auf der Erde nur in gebundener Form vor und muss daher zunächst aus Ausgangsstoffen wie Erdgas oder Wasser erzeugt werden. Der am weitesten verbreitete Produktionsweg ist derzeit die Dampfreformierung von Erdgas. Allerdings entsteht bei diesem Verfahren auch CO<sub>2</sub>, das in die Atmosphäre entweicht, weshalb der so produzierte Wasserstoff als „grau“ bezeichnet wird. In Zukunft soll zunehmend die Elektrolyse zum Einsatz kommen, bei der Wasser mithilfe von Strom in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten wird. Bei Einsatz von CO<sub>2</sub>-freiem Strom aus Wind- und Solaranlagen wird auf diese Weise klimafreundlicher „grüner“ Wasserstoff erzeugt. Eine Alternative stellt die Abscheidung und Speicherung des bei der fossilen Produktion anfallenden CO<sub>2</sub> dar („blauer“ Wasserstoff), dabei spricht man von weitgehend klimaneutralem Wasserstoff.

Die weltweite Wasserstoffproduktion lag im Jahr 2022 bei 95 Millionen Tonnen und erfolgte zu 99 Prozent über fossile Energieträger wie Erdgas oder Kohle. Klimafreundlicher Wasserstoff spielt bislang keine Rolle; erst nach und nach werden in den kommenden Jahren größere Anlagen für dessen Produktion an den Start gehen. Der bisherige Wasserstoffeinsatz beschränkt sich fast ausschließlich auf traditionelle Anwendungsbereiche in der Raffinerie-, Stahl- und Chemieindustrie (siehe Abbildung 3-1). Neue Anwendungsbereiche, die im Zuge der weltweiten Dekarbonisierung diskutiert werden und, wie der Einsatz im Wärme-, Verkehrs- oder Stromsektor der Reduktion von Treibhausgasemissionen dienen sollen, haben bisher noch keinen nennenswerten Anteil.

**Abbildung 3-1: Weltweiter Wasserstoffverbrauch nach Anwendungsbereichen im Jahr 2022**



Quelle: Internationale Energieagentur (IEA), 2023

**Tabelle 3-1: Auswahl heutiger und zukünftiger Anwendungsbereiche für Wasserstoff**

Traditionelle Anwendungsbereiche	Mögliche neue Anwendungsbereiche
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Raffinerien:</b> Einsatz zur Herstellung und Behandlung von Erdölprodukten</li> <li>▪ <b>Chemieindustrie:</b> Feedstock in der Produktion von Chemikalien wie Ammoniak oder Methanol</li> <li>▪ <b>Stahlindustrie:</b> Weiterverarbeitung von Metallen</li> <li>▪ <b>Sonstige:</b> Elektronik, Glasherstellung, Metallverarbeitung (kleinere Mengen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Industrie:</b> u. a. Hochtemperaturwärme, Reduktionsmittel in der Stahlindustrie (100 %-Wasserstoff DRI), ...</li> <li>▪ <b>Energiewirtschaft:</b> saisonale Speicherung von erneuerbarem Strom, Wasserstoffkraftwerke als Beitrag zur Versorgungssicherheit</li> <li>▪ <b>Verkehr:</b> Brennstoffzellenfahrzeuge im Schwerlastverkehr, synthetische Kraftstoffe im Flug- und Schiffsverkehr; E-Fuels</li> <li>▪ <b>Wärmeversorgung:</b> Back-up in Fernwärmenetzen, wasserstofffähige Gasheizungen</li> </ul>

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Internationale Energieagentur (IEA), 2023

In Deutschland wurden im Jahr 2022 etwa 55 TWh grauer Wasserstoff in der Raffinerie- und Chemieindustrie produziert und eingesetzt. Da die Produktion dieses grauen Wasserstoffs auf Basis von Erdgas bislang sehr

emissionsintensiv ist, wird es in den kommenden Jahren eine der zentralen Aufgaben sein, fossilen Wasserstoff durch klimafreundlichen Wasserstoff zu ersetzen, wo immer dies möglich ist. Zwar könnte sich der heutige Bedarf aufgrund von Produktionsumstellungen oder wirtschaftlichen Veränderungen in den nächsten Jahren reduzieren – etwa durch den Import bestimmter Grundstoffe und Vorprodukte (Samadi et al., 2023). Dennoch ergibt sich durch klimafreundlichen Wasserstoff in diesen Branchen ein enormer Hebel zur kurz- und mittelfristigen Reduktion von Treibhausgasemissionen, da die notwendige Infrastruktur für den Einsatz von Wasserstoff in vielen Fällen bereits vorhanden ist.

Zusätzlich werden in den kommenden Jahren neue Anwendungsbereiche für aus erneuerbaren Energien erzeugten Wasserstoff entstehen. Laut der Nationalen Wasserstoffstrategie (2023) soll der Schwerpunkt bis 2030 zunächst auf dem Einsatz in Teilen der Grundstoffindustrie und des Verkehrssektors liegen – Bereiche, in denen eine direkte Elektrifizierung technisch nicht möglich oder ökonomisch nicht sinnvoll ist. Der zusätzliche Bedarf durch diese neuen Anwendungen wird auf 40 bis 75 TWh geschätzt, wodurch der Gesamtbedarf im Jahr 2030 bei 95 bis 130 TWh liegen könnte. In der Gebäudewärme (wasserstofffähige Gasheizungen) und im Pkw-Bereich (E-Fuels) wird Wasserstoff hingegen aus heutiger Sicht nur eine untergeordnete Rolle spielen. Da grüner Wasserstoff auf absehbare Zeit ein knapper und teurer Energieträger bleiben wird und die notwendige Infrastruktur für den flächendeckenden Einsatz noch fehlt, liegt der Fokus in diesen Bereichen auf der effizienteren und in vielen Fällen bereits heute möglichen direkten Elektrifizierung (E-Autos, Wärmepumpen). Insbesondere im Flug-, Schiffs- und Teilen des Schwerlastverkehrs ist dagegen von einer steigenden Bedeutung von Wasserstoffanwendungen auszugehen.

Um den Einsatz von klimafreundlichem Wasserstoff dort zu ermöglichen, wo er dringend benötigt wird, ist ein schneller Ausbau der notwendigen Infrastruktur erforderlich. Die Verknüpfung der inländischen Erzeugung und der Importe mit den großen Nachfragern aus der Industrie und Energiewirtschaft wird in den nächsten Jahren schrittweise durch Neubau und Umrüstung bisheriger Erdgaspipelines im Rahmen des Wasserstoffkernnetzes erfolgen. Die Versorgung mit grünem Wasserstoff wird sowohl inländisch als auch über Importe erfolgen müssen, da die enormen Bedarfe nicht allein national gedeckt werden können und Wasserstoff in anderen Ländern deutlich günstiger produziert werden kann.

Für die inländische Erzeugung sprechen die Verfügbarkeit überschüssigen erneuerbaren Stroms und die Notwendigkeit, das Angebot rasch zu steigern, da die verfügbaren Importmengen zunächst begrenzt sein werden (Egenolf-Jonkmanns et al., 2021). Insbesondere in den Anfangsjahren ist daher der Aufbau von inländischen Elektrolysekapazitäten entscheidend. Nach den Plänen der Bundesregierung soll bis zum Jahr 2030 eine Elektrolyseleistung von 10 Gigawatt (GW) aufgebaut werden. Stand Dezember 2024 waren in Deutschland allerdings erst knapp 0,15 GW installiert (Acatech, 2024). Zwar wurden schon über 10 GW-Anlagen angekündigt, doch finale Investitionen bleiben aufgrund einer fehlenden verlässlichen Nachfrage weiterhin aus. Das Problem: Angebot und Nachfrage finden bei den aktuellen hohen inländischen Produktionskosten für den grünen Energieträger von über 6 Euro pro Kilogramm nicht zusammen.

Damit die Unternehmen den Umstieg von fossilen Energieträgern auf klimafreundlichen Wasserstoff bewältigen können, reicht die Versorgung allein nicht aus. Es muss auch ökonomisch tragfähig sein, Prozesse und Fertigungsanlagen auf den heute noch deutlich teureren Energieträger umzustellen. Viele Unternehmen werden die Mehrkosten allein nicht stemmen können und sind in den Anfangsjahren auf staatliche Unterstützung angewiesen. Zudem war die Produktion von klimafreundlichem Wasserstoff zuletzt teurer als zuvor erwartet. Dies liegt zum einen an gestiegenen Stromkosten, aber auch daran, dass sich bisherige Annahmen zu möglichen Kostensenkungen in Studien – zumindest kurz- und mittelfristig – als zu optimistisch herausgestellt

haben. In Summe führt dies dazu, dass Deutschland auch bis 2030 eines der teuersten Länder zur Produktion von Wasserstoff bleibt (Schaefer et al., 2024).

### 3.2 Fachkräftesituation

Für den erfolgreichen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft und die Schaffung einer entsprechenden technischen Infrastruktur sind gut ausgebildete Fachkräfte, die die Entwicklung, Implementierung und den Betrieb der vielfältigen Anwendungen von Wasserstoff vorantreiben, Voraussetzung. Da Wasserstoff verstärkt in einer breiteren Palette von Sektoren und nicht mehr nur vorrangig in der Industrie eingesetzt wird, verändert sich der Bedarf an qualifizierten Fachkräften. Neben Spezialisten und Experten im Bereich der erneuerbaren Energien werden auch beruflich Qualifizierte in Bereichen wie Elektrotechnik, Maschinenbau und IT dringend benötigt, um die vielfältigen Aufgaben in der Wasserstoffwirtschaft zu meistern.

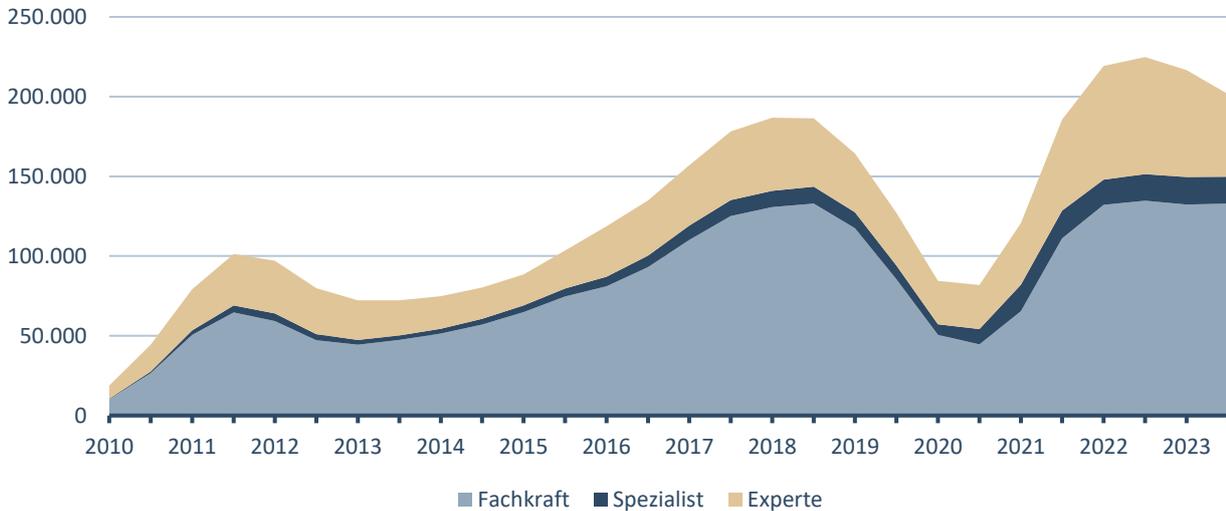
Zudem muss der Staat über passend qualifiziertes Personal verfügen, um den Ausbau der Wasserstoffwirtschaft effektiv zu begleiten. In der öffentlichen Verwaltung und staatlichen Behörden werden spezialisierte Fachkräfte gebraucht, um Genehmigungsverfahren zu beschleunigen, regulatorische Rahmenbedingungen regelmäßig zu prüfen und ggf. anzupassen sowie Förderinstrumente zu entwickeln. Die Berufe, die in diesem Zusammenhang relevant sind, werden in den nachfolgenden Analysen jedoch ausgeklammert. Es handelt sich zumeist um große Berufe mit vielen Beschäftigten, von denen allerdings nur ein sehr geringer Anteil den Wasserstoffhochlauf begleitet. Die Aufnahme dieser Berufe würde folglich den Fokus der Analyse verzerren. Trotzdem ist der Aufbau entsprechender Kompetenzen in der öffentlichen Verwaltung entscheidend, um den Übergang zu einer wasserstoffbasierten Wirtschaft reibungslos und effizient zu gestalten.

Verschiedene Prognosen gehen gesamtwirtschaftlich von einem steigenden Arbeitskräftebedarf durch einen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft aus. So gehen Ronsiek et al. (2024) beispielsweise in der Bilanz von einem Anstieg der Erwerbstätigen zwischen 2024 und 2045 von durchschnittlich 57.000 Personen aus. Dies ist besonders durch einen Anstieg des Arbeitskräftebedarfs im Baugewerbe durch den Infrastrukturausbau getrieben. Auch im Maschinenbau werden durch Herstellung und Export von Elektrolyseuren positive Effekte erwartet. Aber es gibt auch Branchen, in denen ein Beschäftigungsabbau im Zuge der Transformation erwartet wird, da besonders energieintensive Produktionsschritte zumindest teilweise an andere Standorte mit geringeren Kosten verlagert werden könnten und in Deutschland kurz- bis mittelfristig mit relativ hohen Preisen für grünen Wasserstoff zu rechnen ist. In der mittleren Frist betrifft dies beispielsweise die Herstellung von chemischen Erzeugnissen. Grund für die Annahme ist die erwartete Verteuerung der Produktion, die zu einem Produktionsrückgang führe. In der langen Frist wird aber davon ausgegangen, dass das Beschäftigungsniveau sich wieder stabilisiert, da die Kostendifferenz zwischen fossilen und wasserstoffbasierten Grundstoffen wieder abnehme.

Obwohl im Rahmen der Studie keine konkreten Aussagen zur Entwicklung der Fachkräftenachfrage getroffen werden, ergeben sich punktuell Abweichungen zu anderen Studien, die Prognosen für den Fachkräftebedarf im Rahmen der Energiewende erstellen (z. B. Prognos, 2024; Ronsiek et al., 2024). Diese sind einerseits durch unterschiedliche methodische Herangehensweisen zu erklären (Beispiel: Unterschiede in der Definition von Fachkräfteengpässen) und andererseits durch die Analyseebene (Beispiel: Analyse auf Level der KldB-Dreisteller vs. Fünfsteller) sowie den Zuschnitt der Berufe, der je nach Studie unterschiedlich gewählt wurde (Beispiel: Nicht-Berücksichtigung bzw. Berücksichtigung von buchhalterischen und unternehmensorganisatorischen Berufen).

### Abbildung 3-2: Fachkräftelücke in wasserstoffrelevanten Berufen im Zeitablauf

Alle wasserstoffrelevanten Berufe; alle Branchen; Zeitreihe von 2010 bis 2024; Jahresdurchschnitte jeweils zur Jahresmitte und zum Jahresende



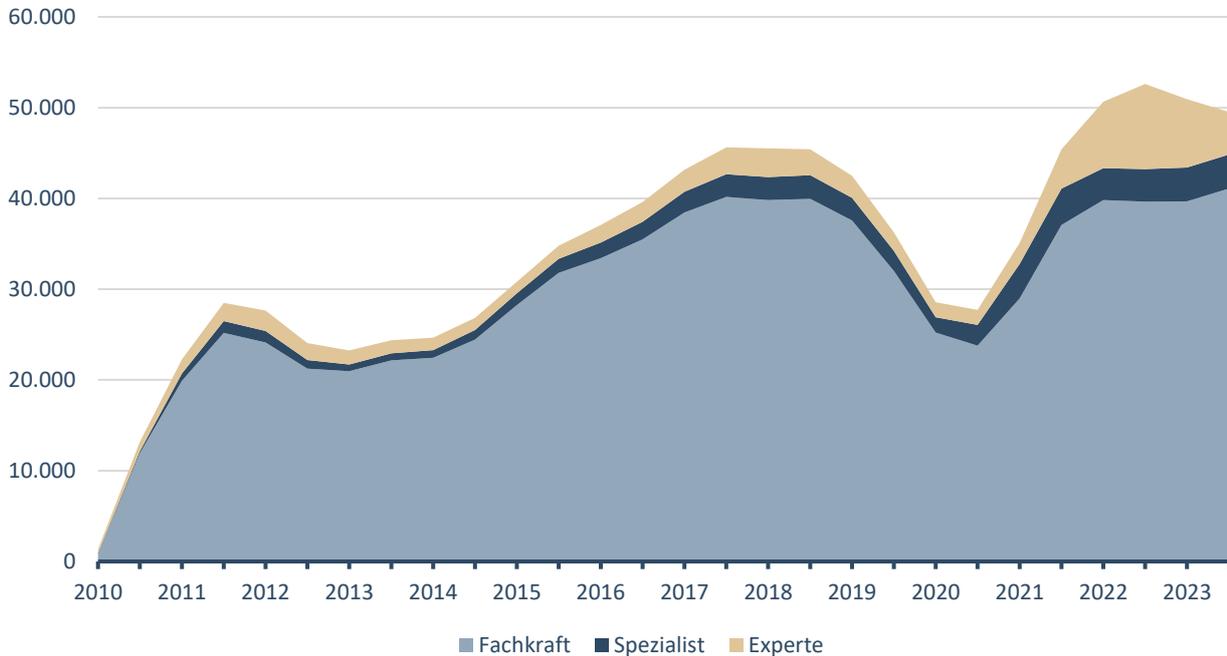
Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

In dieser Studie wird zunächst der Status quo auf dem Arbeitsmarkt analysiert, da dieser Ausgangspunkt für den weiteren Ausbau der Wasserstoffwirtschaft ist. Insgesamt fehlten im Jahresdurchschnitt zum 30. Juni 2024 etwa 200.000 qualifizierte Arbeitskräfte in den Berufen, die für den Wasserstoffhochlauf benötigt werden (Abbildung 3-2). Der Schwerpunkt lag mit etwa 132.000 fehlenden Fachkräften auf beruflich Qualifizierten, gefolgt von etwa 52.000 fehlenden Experten mit abgeschlossenem Diplom- oder Masterstudium und knapp 17.000 Spezialisten, die üblicherweise über einen Fortbildungs- oder Bachelorabschluss verfügen. Seit 2010 sind die Engpässe deutlich angestiegen. 2018 erreichten sie ein vorläufiges Allzeithoch, bevor die Anzahl der rechnerisch nicht besetzbaren offenen Stellen im Zuge der Corona-Pandemie deutlich zurückging. Seit 2022 liegen die Engpässe in den wasserstoffrelevanten Berufen wieder auf bzw. über dem Vor-Corona-Niveau.

Nur ein Viertel der Fachkräftelücke in wasserstoffrelevanten Berufen entfällt allerdings auch auf die wasserstoffrelevanten Branchen, wie Abbildung 3-3 zeigt. In dieser Auswertung werden nur diejenigen Fachkräftelücken aufaddiert, die innerhalb der wasserstoffrelevanten Branchen den entsprechenden Berufen zugeordnet werden können. Es fehlen etwa 41.000 beruflich Qualifizierte, 3.800 Fortgebildete bzw. Bachelor-Absolventen und 4.700 Akademiker. Somit liegt innerhalb der wasserstoffrelevanten Branchen ein geringeres Gewicht auf den Rekrutierungsschwierigkeiten von Akademikern (26 Prozent vs. 9 Prozent) und ein größeres auf denen beruflich Qualifizierter (66 Prozent vs. 83 Prozent) in den relevanten Berufen, als dies am Gesamtmarkt für die ausgewählten Berufe der Fall ist. Auch der coronabedingte Rückgang der Fachkräftelücke fiel weniger spürbar aus als am Gesamtmarkt. Dies zeigt, dass qualifiziertes Personal aus den für Wasserstoff relevanten Berufen nicht nur in wasserstoffrelevanten Branchen, sondern auch in anderen Bereichen dringend gesucht wird. Da es derzeit nicht ausreichend passend qualifizierte Fachkräfte gibt, konkurrieren wasserstoffrelevante Branchen mit anderen Branchen um diese Fachkräfte. Hierbei ist, wie in Kapitel 2 beschrieben, zu beachten, dass die identifizierten Wirtschaftsbereiche und Berufe eine Auswahl darstellen, zu der künftig noch weitere Bereiche hinzukommen könnten.

### Abbildung 3-3: Fachkräftelücke in wasserstoffrelevanten Berufen und Branchen im Zeitablauf

Alle wasserstoffrelevanten Berufe in den für die Berufe jeweils relevanten Branchen; Zeitreihe von 2010 bis 2024; Jahresdurchschnitte jeweils zur Jahresmitte und zum Jahresende



Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

## 4 Fachkräfteanalyse entlang der Wertschöpfungskette

### 4.1 Wasserstofferzeugung

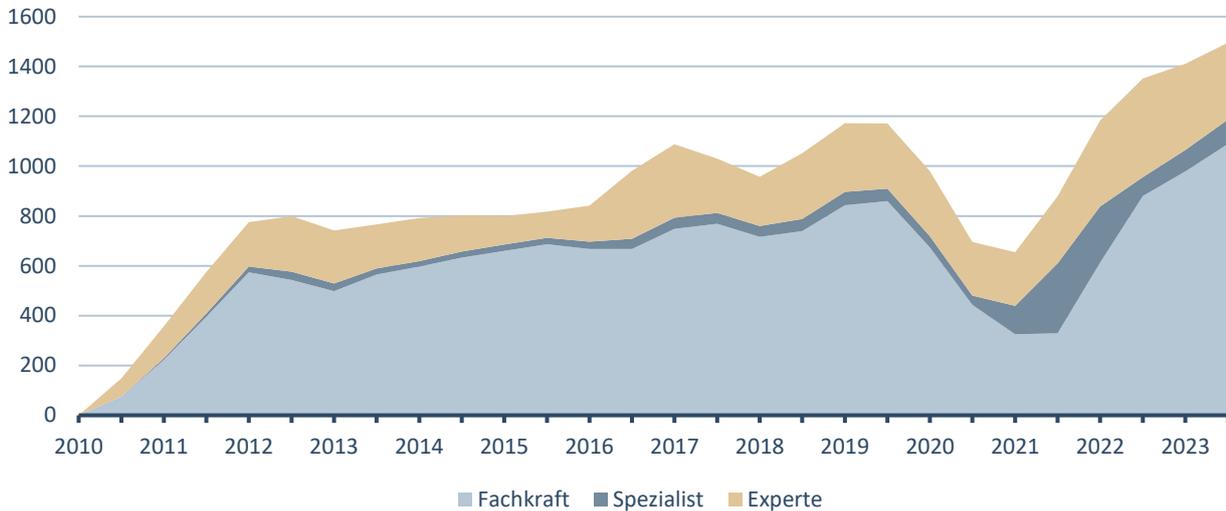
In dieser Studie wird die Wasserstofferzeugung zur besseren Zuordnung der Wirtschaftszweige in zentrale und dezentrale Produktion unterschieden:

- **Zentrale Produktion:** Ein Energieversorger erzeugt den Wasserstoff und verteilt ihn über Infrastruktur wie Pipelines an die Verbraucher.
- **Dezentrale Produktion:** Unternehmen produzieren den Wasserstoff direkt vor Ort (on-site) in unmittelbarer Nähe zur Verbrauchsstelle.

Unternehmen, die sich auf die zentrale Bereitstellung von Wasserstoff für andere spezialisieren, werden dem Wirtschaftszweig 35 (Energieversorgung) zugeordnet und in diesem Kapitel analysiert. Wird Wasserstoff jedoch vor Ort vom Verbraucher selbst erzeugt, etwa durch eigene Produktionsanlagen oder als Nebenprodukt anderer Prozesse, erfolgt die Zuordnung zu einem Wirtschaftszweig entsprechend dem Kerngeschäft des Unternehmens und nicht zur WZ-Kennziffer 35. Dadurch können in anderen Wirtschaftszweigen zusätzliche Fachkräftebedarfe entstehen, wenn Industrieunternehmen eigene Anlagen zur Produktion von grünem Wasserstoff betreiben. Bei dieser dezentralen Erzeugung durch Branchen wie die Chemie- und Raffinerieindustrie wird der Wasserstoff und auch die Fachkräftenachfrage direkt diesen Sektoren zugeordnet, die in den nachfolgenden Kapiteln behandelt werden.

### Abbildung 4-1: Fachkräftelücke nach Anforderungsniveau in wasserstoffrelevanten Berufen in der Energieversorgung, 2010 bis 2024

Anzahl rechnerisch nicht besetzbarer Stellen; Zeitreihe von 2010 bis 2024; Jahresdurchschnitte jeweils zur Jahresmitte und zum Jahresende



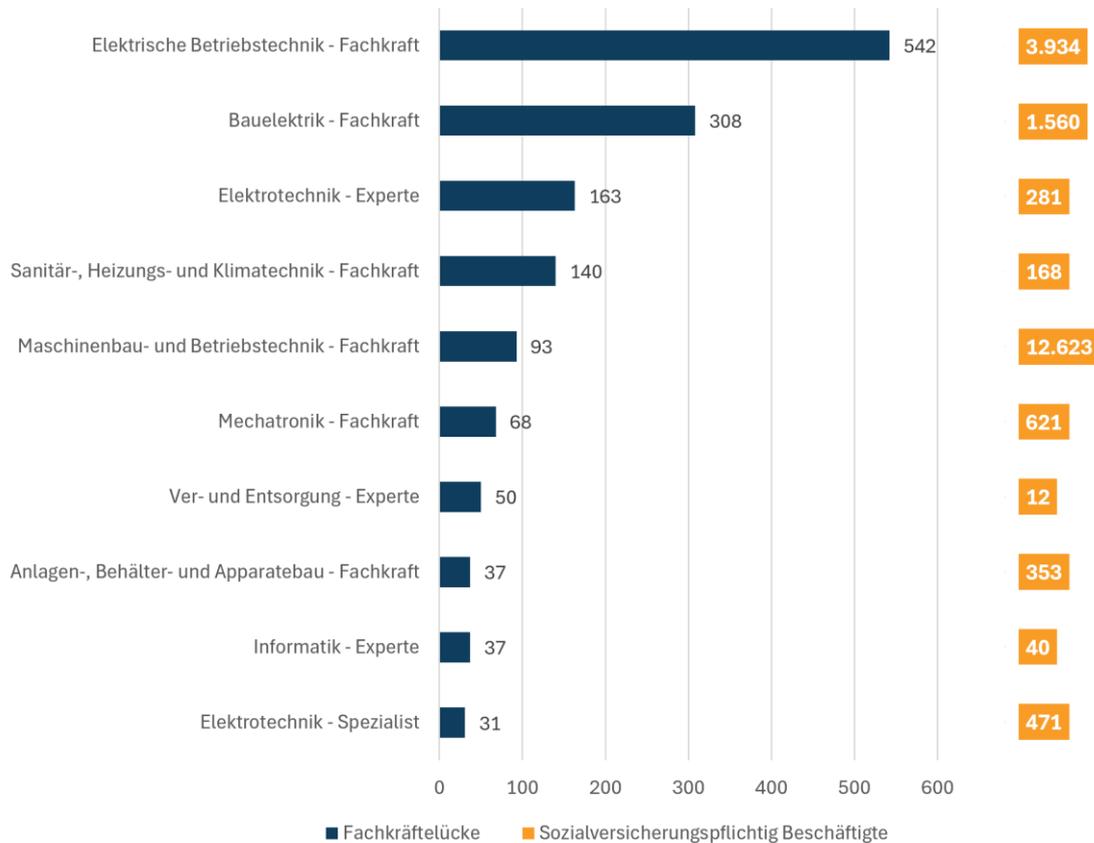
Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

Die Fachkräftelücke ist in den 70 relevanten Berufen zwischen 2012 und 2019 kontinuierlich angestiegen. Der pandemiebedingte Rückgang der Fachkräftenachfrage betraf offene Stellen für beruflich Qualifizierte weit stärker und länger als Positionen für Experten: Im Pandemie-Zeitraum sank die Fachkräftelücke für Personen mit abgeschlossener Ausbildung um knapp zwei Drittel, während die Fachkräftelücke im Bereich der Hochqualifizierten nur etwa ein Fünftel nachgab. In beiden Qualifikationsgruppen bewegte sich die Fachkräftelücke zuletzt auf Allzeithoch: Es fehlten im Jahresdurchschnitt zum 30. Juni 2024 1.252 Fachkräfte, 108 Spezialisten und 318 Experten. Beruflich Qualifizierte machen somit das Gros der fehlenden Fachkräfte aus. Im Vergleich zu anderen wasserstoffrelevanten Bereichen fällt auf, dass die Fachkräftelücke in der Energieversorgung bis zuletzt ungebrochen stieg, während in anderen Branchen zuletzt eine Stagnation bzw. ein Rückgang der Fachkräftelücke zu verzeichnen war. Ein möglicher Grund könnte der steigende Bedarf an Kompetenzen in anderen (nicht-wasserstoffrelevanten) Berufen der Energieversorgung sein. So dürfte der Zubau erneuerbarer Energien den Fachkräftebedarf etwa im Bereich Elektrizitätsversorgung (WZ 35.1) bereits im vergangenen Jahrzehnt erhöht und den Arbeitsmarkt somit verengt haben.

In den betrachteten Berufen fehlen im Bereich der Energieversorgung insgesamt 1.678 Arbeitskräfte mit passender Qualifikation. Die zehn Berufe mit den stärksten Engpässen machen insgesamt 88 Prozent aller fehlenden Fachkräfte aus. Besonders viele Fachkräfte fehlen in Elektroberufen: 542 Stellen für Fachkräfte in der elektrischen Betriebstechnik, 308 Stellen für Bauelektriker und 163 Stellen für Elektrotechnik-Experten können mit den zur Verfügung stehenden Arbeitslosen rein rechnerisch nicht besetzt werden (Abbildung 4-2). In einigen Berufen werden mehr Fachkräfte gesucht als derzeit in der Branche beschäftigt sind. Besonders zu nennen sind hier Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik-Fachkräfte: Die Anzahl der offenen Stellen hat sich in den letzten zwei Jahren mehr als verdoppelt, aber nur für etwa jede vierte derzeit ausgeschriebene Stelle stehen qualifizierte Fachkräfte zur Verfügung.

### Abbildung 4-2: Top-10-Engpassberufe und weitere Kennzahlen in wasserstoffrelevanten Berufen in der Energieversorgung

Ausgewiesene Kennzahlen: Fachkräftelücke, sozialversicherungspflichtig Beschäftigte



Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

Die Nachfrage nach Fachkräften der Elektrischen Betriebstechnik – hierunter fallen ausgebildete Elektroanlagenmonteure, aber auch Elektroniker mit der Fachrichtung Betriebstechnik – ist seit Ende der Corona-Pandemie im Anstieg und lag zuletzt bei 658 offenen Stellen. Aufgrund der starken Rekrutierungsschwierigkeiten kann jedoch ein Großteil der Stellen rein rechnerisch nicht besetzt werden: Nur für 18 Prozent der offenen Stellen stehen rein rechnerisch ausreichend Arbeitslose zur Verfügung. Elektroanlagenmonteure werden benötigt, um die Produktionsanlagen technisch zu überprüfen und Fehler zu beheben (BIBB, 2022). Damit sind sie für den Betrieb der Anlagen wichtig. Betriebstechnik-Elektroniker können darüber hinaus weitere Aufgaben übernehmen und werden in der Stahl-, aber auch in der Chemieindustrie zur Programmierung und Änderung von Anlagen eingesetzt (Felkl, 2023; Schad-Dankwart, 2023). Durch seine Querschnittsfunktion für mehrere Branchen entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette und die akuten sowie anhaltenden Fachkräfteengpässe sollte dem Beruf besonderes Augenmerk gelten.

Ein weiterer Beruf mit substanzieller Fachkräftelücke ist die Bauelektrik, zu der Elektroniker für Gebäude- und Systemintegration sowie Elektroniker der Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik zählen. Sie übernehmen Aufgaben, die in der Errichtung und in der Wartung von Produktionsanlagen für grünen Wasserstoff Relevanz besitzen. Die Nachfrage nach Bauelektrik-Fachkräften verzeichnet in der Energieerzeugung bereits seit einigen Jahren einen Anstieg, der zuletzt mit 380 offenen Stellen in der Energieerzeugung den bisher

höchsten Wert erreichte. Durch den immensen Fachkräftemangel gibt es jedoch nur für 19 Prozent der Stellen passend qualifizierte Arbeitslose. Auch Bauelektriker sind in mehreren Branchen für den Wasserstoffhochlauf gefragt und nehmen auch für Wind- und Solarkraft eine zentrale Rolle ein, weshalb dieser Beruf besonders wichtig für eine ökologisch nachhaltige Energieerzeugung ist.

Durch den erforderlichen Hochlauf der Wasserstoffproduktion in den kommenden Jahren ist mit einem Anstieg der Nachfrage nach den hierfür benötigten Fachkräften durch die Energieversorgungsunternehmen zu rechnen. Viele der Berufe verzeichnen bereits heute deutliche Fachkräfteengpässe. Eine Ausweitung der Nachfrage könnte insbesondere zu einer verschärften Konkurrenzsituation zu denjenigen Branchen führen, die in eigene, dezentrale Anlagen zur Wasserstoffproduktion investieren werden. Überschneidungen gibt es im Besonderen mit den für den Wasserstoffhochlauf benötigten Berufen der chemischen Industrie und den Stahlwerken.

## 4.2 Wasserstofftransport

Die Entwicklung einer leistungsfähigen Transportinfrastruktur ist entscheidend für den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft – sowohl für in Deutschland produzierten als auch für importierten Wasserstoff. Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse aus erneuerbaren Energien gewonnen, die allerdings nicht überall in gleichem Maße verfügbar sind. Dementsprechend ist eine effiziente Verteilung von zentraler Bedeutung, um eine flächendeckende Anbindung von und Nutzung durch Unternehmen sicherzustellen.

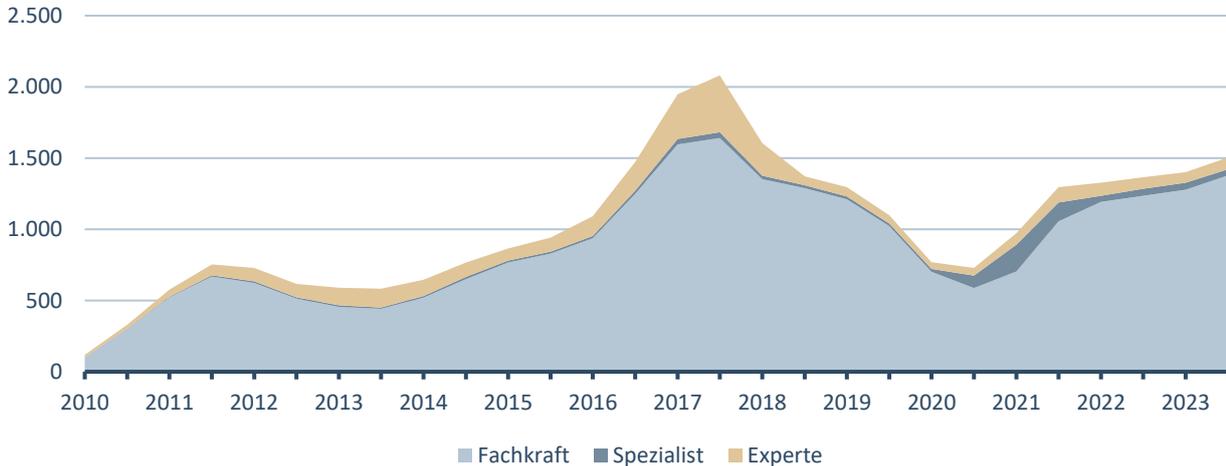
Grundsätzlich ist ein Transport auf der Straße, der Schiene, dem Wasserweg oder per Pipeline möglich. Pipelines sind dabei die aus heutiger Sicht kostengünstigste Option für den Transport und Import von reinem Wasserstoff für Distanzen von bis zu 4.000 Kilometern (Acatech, 2022). Die Bundesnetzagentur hat am 22. Oktober 2024 ein Wasserstoff-Kernnetz genehmigt, welches eine Leitungslänge von 9.040 km vorsieht, wovon knapp 60 Prozent durch die Umstellung bestehender Erdgasleitungen entsteht (Bundesnetzagentur, 2024). Das Kernnetz verbindet zentrale Verbrauchs- und Erzeugungsregionen wie Industriezentren, Speicher, Kraftwerke und Importkorridore miteinander. Letzteres ist mit Blick auf die geplante Schaffung eines europäischen Wasserstoffnetzwerks von Bedeutung.

Alternativen zum Kernnetz, wie etwa der Transport auf See, LKW oder Schiene, sind differenziert zu bewerten. Im Gegensatz zur Pipeline erhöht der Transport von reinem Wasserstoff per Schiff die Importkosten, da der Wasserstoff aufgrund seiner geringen volumetrischen Dichte zuvor verflüssigt werden muss. Diese Umwandlung sowie die Rückumwandlung führen zu signifikanten Energieverlusten. Zudem ist eine konstante Kühlung von  $-253\text{ °C}$  notwendig, da der Wasserstoff sonst verdampfen würde. Deutlich vielversprechender und frühzeitiger verfügbar ist dagegen beim heutigen Stand der Technik der Schiffsimport von Wasserstoffderivaten wie grünem Methanol oder Ammoniak. Hier kann teilweise auf eine bestehende Infrastruktur zurückgegriffen werden, aber es sind auch Hafenprojekte geplant, die die Hafenskapazitäten und die entsprechende Infrastruktur sicherstellen sollen (Ronsiek et al., 2024). Der Transport per LKW oder Schiene ist aufgrund der geringen Dichte und der hohen Bedarfe in den meisten Fällen nicht wirtschaftlich.

Für den Transport von Wasserstoff per Pipeline sind eine Vielzahl von Berufen aus den Wirtschaftszweigen Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen (WZ 49) sowie dem Tiefbau (WZ 42) relevant. Dies geht von Berufen in der Metallbearbeitung über technische Berufe im Bereich der Automatisierungstechnik oder Bauelektrik bis hin zu Informatikberufen. Grundsätzlich kann im Transportbereich auf vorhandene Qualifikationen und bereits in den Branchen beschäftigte Mitarbeiter zurückgegriffen werden – insbesondere mit Blick darauf, dass bestehende Leitungssysteme umgewidmet werden können.

### Abbildung 4-3: Fachkräftelücke nach Anforderungsniveau in wasserstoffrelevanten Berufen im Bereich der Transportwege, 2010 bis 2024

Anzahl rechnerisch nicht besetzbarer Stellen; Zeitreihe von 2010 bis 2024; Jahresdurchschnitte jeweils zur Jahresmitte und zum Jahresende



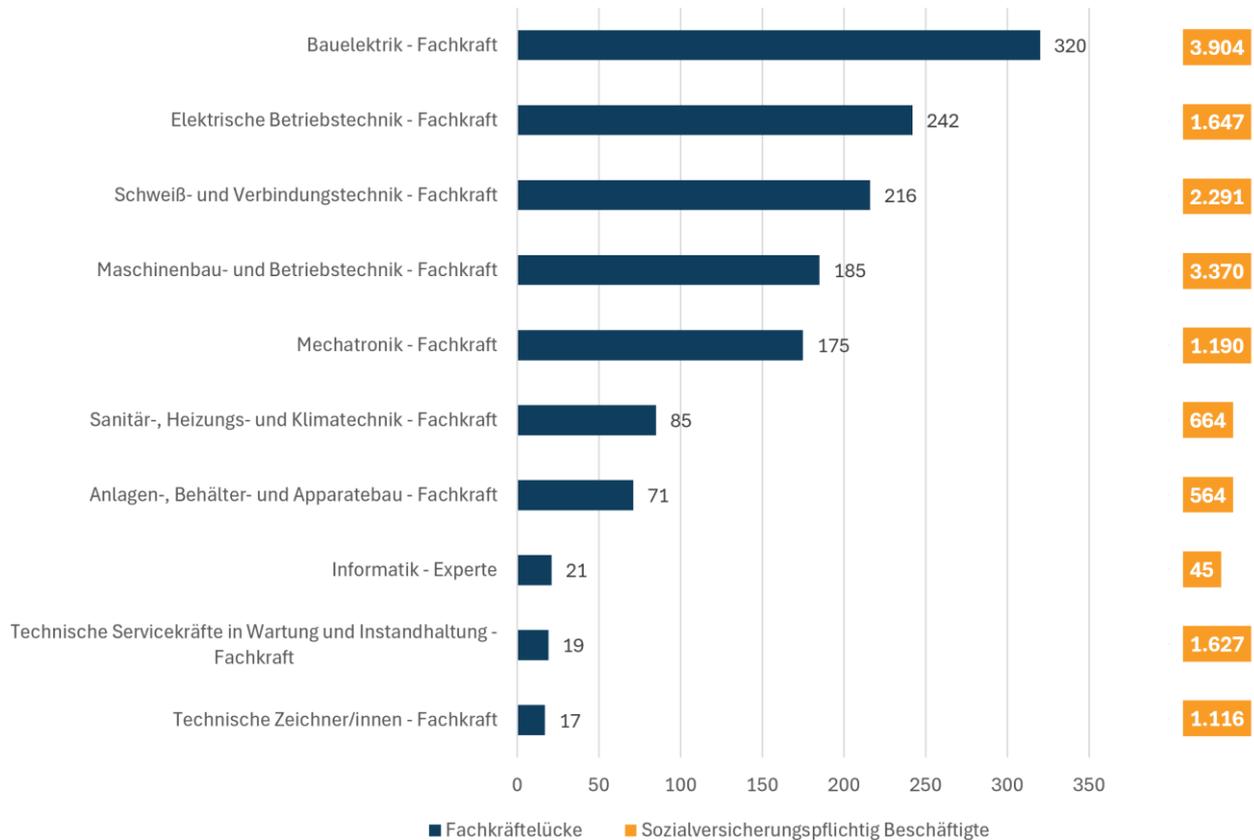
Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

Im Zeitverlauf zeigt sich, dass sich die Fachkräftelücke in Berufen, die für den Transport von Wasserstoff relevant sind, nach einer Spitze im Jahresdurchschnitt 2017/2018 zunächst rückläufig entwickelt hat (Abbildung 4-3). Der Tiefpunkt dieser Entwicklung wurde zu Beginn der Corona-Pandemie erreicht. Seit Mitte 2020 ist wieder ein Anstieg der Fachkräftelücke – insbesondere bei Fachkräften mit einer mindestens zweijährigen abgeschlossenen Berufsausbildung – zu beobachten. Am aktuellen Rand fehlen gut 1.500 passend qualifizierte Fachkräfte. Neun von zehn fehlenden Fachkräften sind Fachkräfte mit einer Berufsausbildung (91,6 Prozent).

Neun der zehn Engpassberufe mit den größten Fachkräftelücken im Transportbereich sind Berufe für beruflich Qualifizierte (Abbildung 4-4). Auf den ersten beiden Plätzen finden sich mit den Fachkräften für Bauelektrik und Elektrische Betriebstechnik zwei Berufe, die sich in vielen Schritten der Wasserstoffwertschöpfungskette wiederfinden. Fast 90 Prozent der Fachkräftelücke im Bereich Wasserstofftransport fällt auf die Top-10-Engpassberufe. Auch wenn beispielsweise die Fachkräfte für Anlagen-, Behälter- und Apparatebau mit 564 sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nicht zu den größten Berufen im Transportbereich gehören, kann gerade in solchen Berufen eine steigende Nachfrage schnell zu einem Nadelöhr führen. So ist die Herstellung von Kesseln und druckfesten Reaktionsbehältern für den inländischen, aber auch internationalen Wasserstofftransport zentrale Voraussetzung. Gleichzeitig ist gerade bei der Umwidmung bestehender Erdgasleitungen nicht mit einem sprunghaften Anstieg der Fachkräftenachfrage zu rechnen. Dennoch sind bestehende Fachkräfteengpässe eine Herausforderung für den Ausbau der Infrastruktur für den Wasserstofftransport. Zudem wird die prognostizierte Zunahme des Wasserstoffimports die Fachkräftebedarfe vor allem für den Transport per Schiff erhöhen.

**Abbildung 4-4: Top-10-Engpassberufe und weitere Kennzahlen in wasserstoffrelevanten Berufen im Bereich der Transportwege**

Ausgewiesene Kennzahlen: Fachkräftelücke, sozialversicherungspflichtig Beschäftigte



Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

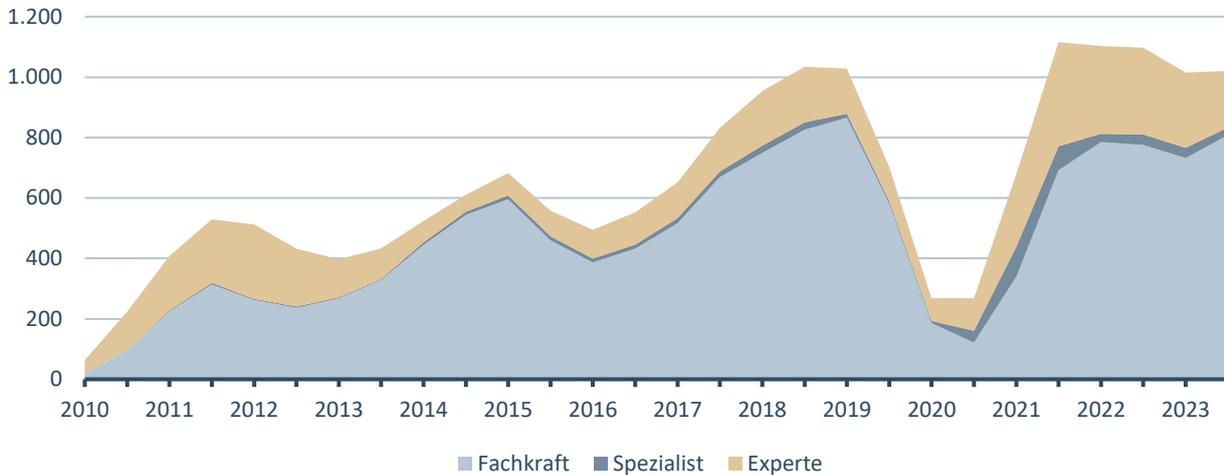
### 4.3 Wasserstoffeinsatz in der chemischen Industrie und Raffinerie

Die chemische Industrie setzt Wasserstoff etwa bei der Herstellung von Rohbenzin, synthetischen Kraftstoffen oder Kunststoffen ein. Auch bei der Defossilisierung von Ammoniak, Olefinen, Automaten und Methanol spielt Wasserstoff eine Schlüsselrolle. Da die Produktion dieser Grundchemikalien sehr energieintensiv ist, bisher aber weitgehend unter Einsatz fossiler Energieträger erfolgt (Doucet et al., 2023), birgt der Einsatz grünen Wasserstoffs hier ein enormes Potenzial. Die Branche verwertet Wasserstoff dabei nicht nur, sondern erzeugt ihn auch selbst vor Ort. Auch, wenn im Folgenden die Verwertung im Fokus steht, sind die genannten Berufe aus beiden Blickrichtungen für den Grundstoff relevant.

Um die Potenziale grünen Wasserstoffs in der chemischen Industrie zu heben, ist zwar an manchen Stellen ein höherer Fachkräftebedarf antizipiert, die benötigten Kompetenzen jedoch werden sich nur geringfügig verändern (Felkl, 2023). Der Umgang mit Wasserstoff ist in vielen Bereichen der chemischen Industrie bereits Routine. Grundsätzliche Veränderungen in der Konstitution der Ausbildungsberufe sind auch deshalb nach heutigem Stand nicht notwendig. Um die Produktion jedoch auf Wasserstoff umzustellen, sind Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie der Bau neuer Produktionsanlagen nötig. Insbesondere durch den Bau dieser neuen Anlagen wird ein Anstieg der Fachkräftenachfrage erwartet (Ronsiek et al., 2024).

### Abbildung 4-5: Fachkräftelücke nach Anforderungsniveau in wasserstoffrelevanten Berufen in der chemischen Industrie, 2010 bis 2024

Anzahl rechnerisch nicht besetzbarer Stellen; Zeitreihe von 2010 bis 2024; Jahresdurchschnitte jeweils zur Jahresmitte und zum Jahresende



Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

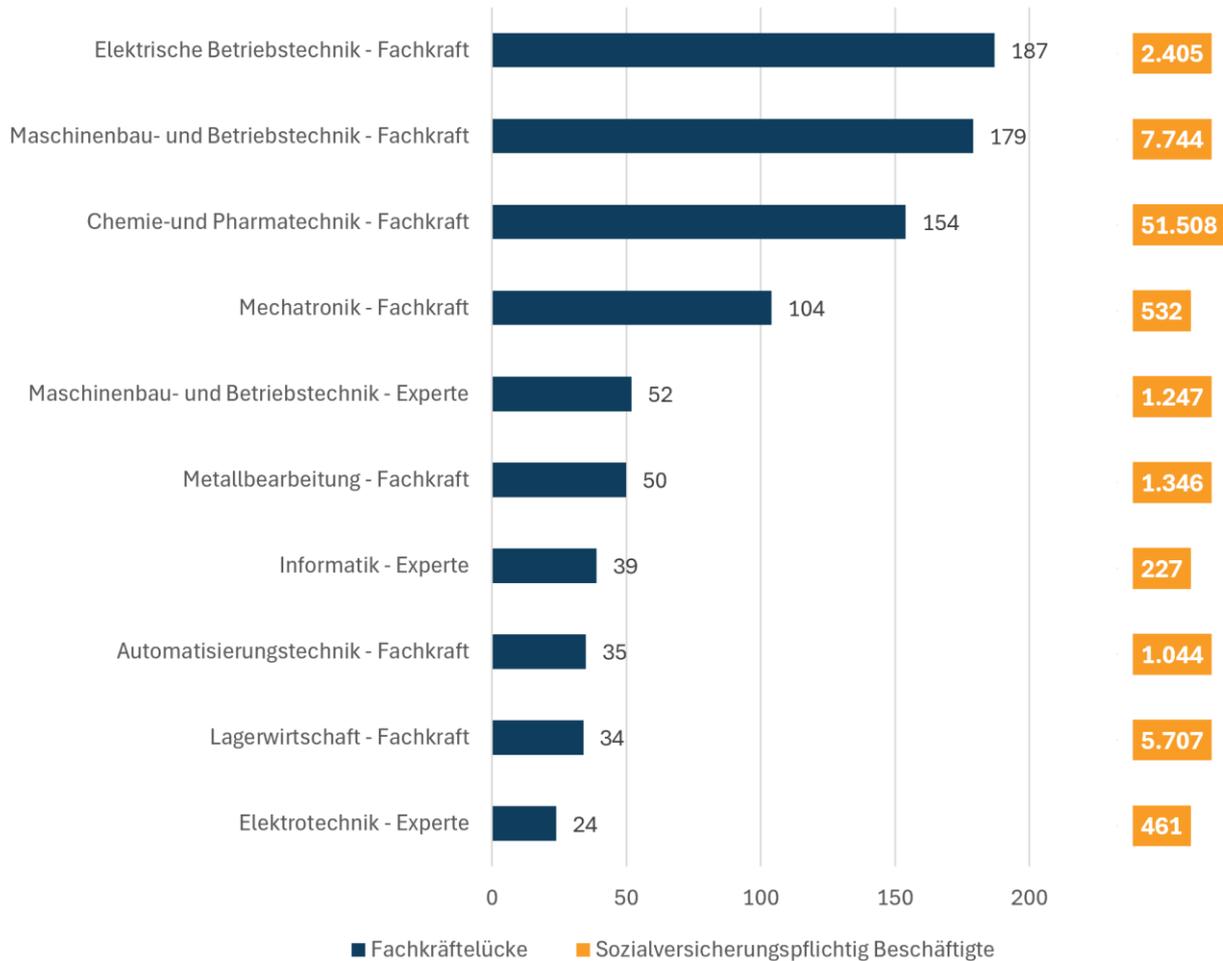
Im Zeitverlauf zeigt sich, dass die Fachkräftelücke in wasserstoffrelevanten Berufen in der chemischen Industrie stark gewachsen ist (Abbildung 4-5). Im Jahresdurchschnitt zum 30. Juni 2024 fehlten dort 808 Fachkräfte mit Berufsausbildung, 26 Spezialisten und 187 Experten. Die meisten Vakanzen, für die nicht hinreichend Arbeitslose mit passender Qualifikation zur Verfügung stehen, entfallen somit auf beruflich qualifizierte. Während der Corona-Pandemie kam es zu einem starken Einbruch der Stellenzahlen und somit fehlten zwischenzeitlich rein rechnerisch weniger Fachkräfte. Bereits im Jahresdurchschnitt 2021 übertraf die Fachkräftelücke bei Spezialisten und Experten jedoch wieder das Vor-Corona-Niveau. Ein Jahr später war auch die Fachkräftesituation für beruflich qualifizierte wieder ähnlich angespannt wie vor der Pandemie.

Insgesamt fehlen in den wasserstoffrelevanten Chemieberufen 1.021 passend qualifizierte Arbeitskräfte. 84 Prozent davon entfallen auf die zehn Berufe mit den stärksten Engpässen. Zeitarbeit spielt hier nur eine untergeordnete Rolle: 28,3 Prozent der ausgeschriebenen Stellen lassen sich der Zeitarbeit zuordnen. Zu den wasserstoffrelevanten Berufen mit den stärksten Fachkräfteengpässen in der chemischen Industrie zählen Fachkräfte für Elektrische Betriebstechnik, Maschinenbau- und Betriebstechnik sowie Chemie- und Pharmatechnik (Abbildung 4-6).

Die Chemikanten und Pharmakanten, die in die letztgenannte Berufsgattung fallen, stellen zugleich mit über 51.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigten den größten Beruf der Branche dar. Sie sind, zusammen mit anderen Berufen, für den Betrieb und die Instandhaltung der Anlagen zuständig. Im Zuge dessen steuern und überwachen sie die Produktionsprozesse und sind in der Lage, bei Störungen einzugreifen. Neue Kompetenzen benötigen Chemikanten und Pharmakanten jedoch nicht, da sie bereits im Zuge ihrer Ausbildung und Arbeit tagtäglich mit unterschiedlichen Stoffen umgehen und an Hochdruckanlagen arbeiten (Felkl, 2023).

**Abbildung 4-6: Top-10-Engpassberufe und weitere Kennzahlen in wasserstoffrelevanten Berufen in der chemischen Industrie**

Ausgewiesene Kennzahlen: Fachkräftelücke, sozialversicherungspflichtig Beschäftigte



Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

Die meisten Fachkräfte fehlen jedoch in der Elektrischen Betriebstechnik. Hierzu zählen Ausbildungsgänge wie Elektroanlagenmonteure und Elektroniker der Fachrichtung Betriebstechnik, dem viertgrößten betrachteten Beruf der Branche. In der chemischen Industrie sind sie hauptsächlich dafür zuständig, die Anlagen zu errichten, zu überprüfen und in Betrieb zu nehmen, sowie sie instand zu halten. Ähnliche Aufgaben übernehmen auch Fachkräfte der Maschinenbau- und Betriebstechnik, wozu beispielsweise Industriemechaniker zählen. Gemeinsam mit weiteren Berufen sorgen sie dafür, dass die Produktionsanlagen an den Start gehen und betrieben werden können. Im Zuge der Umstellung der Produktion auf Wasserstoff in der Chemieindustrie ist zwar nicht mit neuen Kompetenzanforderungen zu rechnen (Felkl, 2023). Wenn neue Anlagen gebaut werden, kann ein Engpass an Fachkräften der Elektrischen Betriebstechnik sowie der Maschinenbau- und Betriebstechnik dieses Vorhaben jedoch erschweren. Aufgrund der schon heute bestehenden Engpässe am Arbeitsmarkt sollte die Verfügbarkeit von Fachkräften in diesen Berufen beim Ausrollen der Technologie

daher weiter im Auge behalten werden. Somit sind Maßnahmen wie die Ausbildung und die Rekrutierung internationaler Fachkräfte für diese Berufe von hoher Bedeutung.

Werden neue Anlagen gebaut, könnte dies auch bei weiteren beteiligten Berufen zu Mehrbedarfen führen. Berufe, die schon heute zu den Engpassberufen in der Chemiebranche zählen und bei denen sich die Arbeitsmarktsituation durch Mehrbedarfe beim Errichten der neuen Anlagen weiter verschärfen könnte, sind beispielsweise Mechatroniker (Fachkräftelücke von 104), Informatik-Experten (39), Bauelektrik-Fachkräfte (17), Automatisierungstechnik-Fachkräfte (35), Informatik-Fachkräfte (39). Für die Instandhaltung kämen noch Chemie- und Pharmatechnik-Fachkräfte (154) und -experten (22) hinzu. Der Ausbau kann folglich Fachkräftebedarfe in bestimmten Berufen nach sich ziehen. Bedarf an zusätzlichen Qualifikationen innerhalb der Berufe besteht jedoch gemäß der H<sub>2</sub>Pro-Ergebnisse nicht, da über die Ausbildungsordnungen in den relevanten Berufen bereits alle benötigten Kompetenzen abgedeckt werden (Felkl, 2023).

#### 4.4 Wasserstoffeinsatz in der Stahlindustrie

In der Stahlproduktion wird grundsätzlich zwischen der Primärstahlproduktion im Hochofenverfahren, bei der Primärstahl durch die kohlebasierte Reduktion von Eisenerz gewonnen wird, und der Sekundärstahlproduktion, bei der Stahlschrott in Elektrolichtbogenöfen eingeschmolzen wird, unterschieden. An einzelnen Standorten setzen Hersteller für die Primärstahlproduktion zudem schon länger auf die Direktreduktion mit Erdgas. Für die Dekarbonisierung der Primärstahlproduktion spielt insbesondere die Umstellung auf eine Direktreduktion eine wichtige Rolle. Diese kann zunächst mit Erdgas und langfristig – und bei ausreichender Verfügbarkeit – mit grünem Wasserstoff betrieben werden und so eine nahezu vollständig klimaneutrale Stahlproduktion ermöglichen. Die Produktion von Primärstahl hat in Deutschland einen Anteil von 70 Prozent, Sekundärstahl einen Anteil von 30 Prozent (WV Stahl, 2023). Die bisherigen Pläne der Betreiber sehen vor, bis zum Jahr 2030 Hochöfen mit einer Produktionskapazität von 10 Mt (Gesamtproduktion Deutschland 2023: 35 Mt) durch Direktreduktionsanlagen auszutauschen. Stahl könnte im Jahr 2030 für bis zu ein Drittel der deutschen Wasserstoffnachfrage verantwortlich sein und ist somit zentral für den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft (Schaefer et al., 2024).

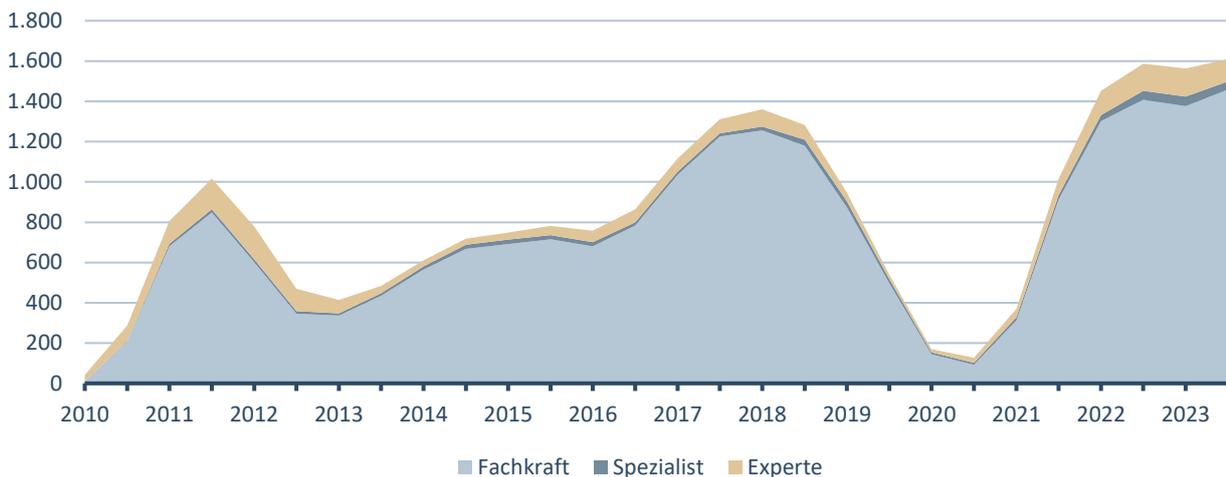
Mit Blick auf den Fachkräftebedarf ist zu konstatieren, dass im Bereich der Fachkräftequalifizierung nur wenige Anpassungen notwendig sind. Beim Errichten von Anlagen müssen Fachkräfte zukünftig die veränderten Stoffeigenschaften berücksichtigen (Schad-Dankwart, 2023). Beim Betrieb und der Überwachung von Anlagen sind insbesondere Schulungen zu Stoffeigenschaften, Prozessabläufen und Gefahrenpotenzialen erforderlich. Punktuell kann es also zu Qualifikationsanpassungen, insbesondere durch erhöhte Sicherheitsaspekte, kommen, diese sind aber voraussichtlich über Schulungen und Angebote externer Weiterbildungsanbieter zu bewältigen. Die genauen zukünftigen Bedarfe sind allerdings aufgrund des derzeitigen Umsetzungsstands noch nicht vollumfänglich absehbar (Schad-Dankwart, 2023).

Die angestrebte Umstellung auf Wasserstoff in der Stahlindustrie kann einen erhöhten Fachkräftebedarf zur Folge haben. Besonders in der Errichtung von neuen Anlagen kann es zumindest temporär zu einer erhöhten Nachfrage nach qualifiziertem Personal kommen. Zuletzt konnten in wasserstoffrelevanten Berufen in der Stahlindustrie 1.610 offene Stellen rechnerisch nicht besetzt werden. Neun von zehn (90,6 Prozent) nicht besetzbare offene Stellen, also 1.459, entfielen dabei auf Fachkräfte mit abgeschlossener Ausbildung. Für Spezialisten mit Fortbildungsabschluss oder Bachelor konnten 40 und für Experten 111 offene Stellen rechnerisch nicht besetzt werden. Im Zuge der Corona-Pandemie ist die Fachkräftelücke in wasserstoffrelevanten

Berufen in der Stahlindustrie massiv gesunken. Nach dem anschließenden deutlichen Anstieg hat die Fachkräftelücke für qualifizierte Arbeitskräfte zuletzt einen neuen Höchstwert erreicht.

#### Abbildung 4-7: Fachkräftelücke nach Anforderungsniveau in wasserstoffrelevanten Berufen in der Stahlindustrie, 2010 bis 2024

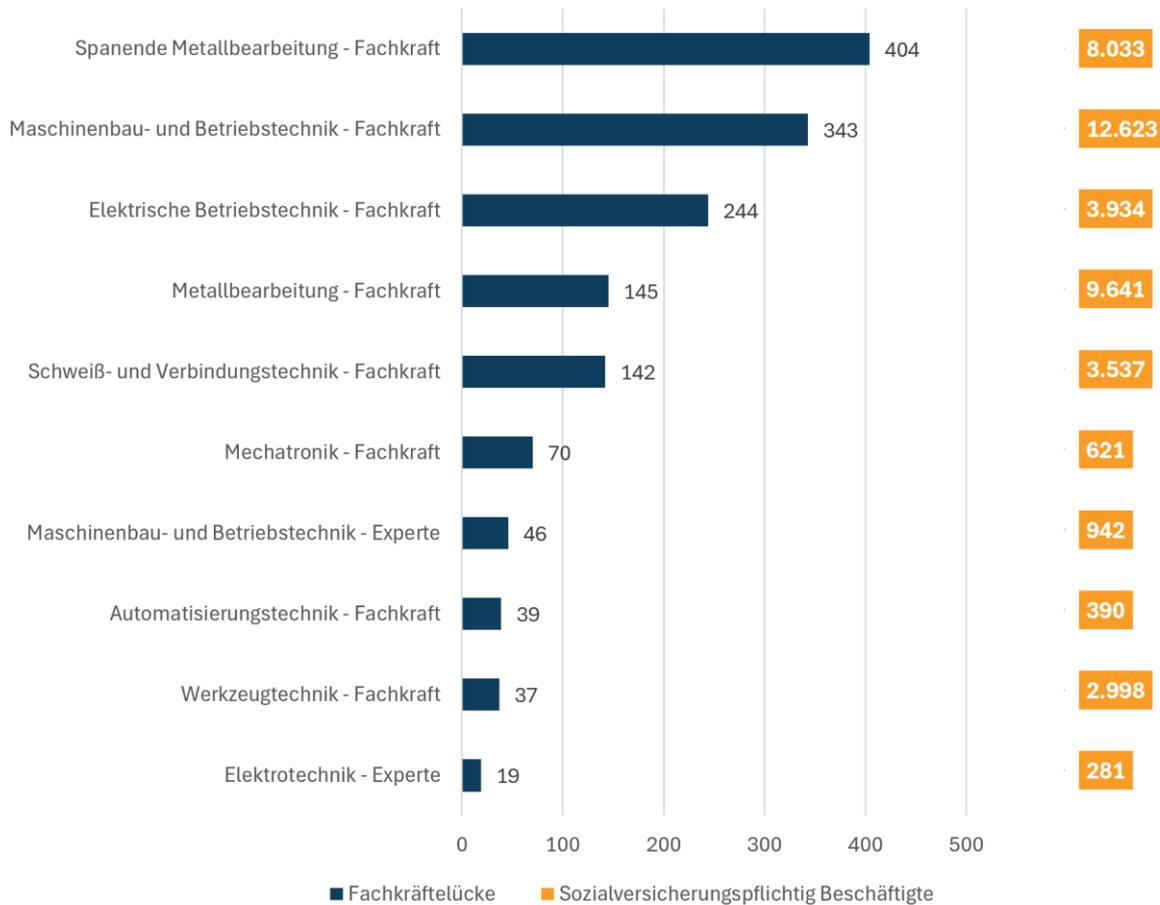
Anzahl rechnerisch nicht besetzbarer Stellen; Zeitreihe von 2010 bis 2024; Jahresdurchschnitte jeweils zur Jahresmitte und zum Jahresende



Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

Dabei entfällt ein erheblicher Anteil der Fachkräftelücke auf die zehn wasserstoffrelevanten Berufe mit der größten Fachkräftelücke in der Stahlindustrie (Abbildung 4-8), nämlich neun von zehn aller rechnerisch nicht besetzbaren offenen Stellen (92,4 Prozent). Am größten ist der Mangel an Fachkräften der spanenden Metallbearbeitung. Zwischen Juli 2023 und Juni 2024 konnten hier durchschnittlich 404 offene Stellen für Fachkräfte mit Ausbildung nicht besetzt werden. Fachkräfte, die in diesem Beruf tätig sind, haben in der Regel eine Ausbildung zur Fachkraft für Metalltechnik in der Fachrichtung Zerspanungstechnik oder als Zerspanungsmechaniker abgeschlossen. Sie fertigen präzise Komponenten und Maschinen, die in neuen wasserstoffbasierten Produktionsprozessen eingesetzt werden, etwa bei der Direktreduktion von Eisen.

Ähnlich groß ist die aktuelle Lücke bei ausgebildeten Fachkräften der Maschinenbau- und Betriebstechnik. Hier fehlten zuletzt 343 passend qualifizierte Fachkräfte, um rechnerisch alle offenen Stellen besetzen zu können. Mit zusammen mehr als 20.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigten zählen die beiden Berufe zu den größten wasserstoffrelevanten Berufen innerhalb der Stahlindustrie. Acht der zehn Berufe mit der größten Fachkräftelücke sind Berufe, für die in der Regel eine abgeschlossene Ausbildung vorausgesetzt wird. Es finden sich aber auch zwei Berufe für Experten in der Liste, die in der Regel einen Masterabschluss oder ein Diplom voraussetzen. Für Experten der Maschinenbau- und Betriebstechnik konnten zuletzt rechnerisch 46 offene Stellen nicht besetzt werden. Im selben Zeitraum blieben für Experten der Elektrotechnik 19 offene Stellen unbesetzt. Sie sind unter anderem als Maschinenbau- und Elektroingenieure tätig und für die Planung, Entwicklung und Optimierung von Maschinen, Anlagen und Automatisierungssystemen verantwortlich. Dazu zählt auch die Konzeption, wie sich Wasserstofftechnologien effizient in die Stahlindustrie integrieren lassen.

**Abbildung 4-8: Top-10-Engpassberufe und weitere Kennzahlen in wasserstoffrelevanten Berufen in der Stahlindustrie**
**Ausgewiesene Kennzahlen: Fachkräftelücke, sozialversicherungspflichtig Beschäftigte**


Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

## 4.5 Wasserstoffeinsatz im Verkehrssektor

Auf den Verkehrssektor entfielen im Jahr 2023 etwa 146 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente, was rund 22 Prozent der Gesamtemissionen in Deutschland entspricht (Umweltbundesamt, 2024). Im Verkehrssektor werden wasserstoffbasierte Antriebslösungen als Ergänzung betrachtet, nicht als Konkurrenz zu batterieelektrischen Fahrzeugen (Schill et al., 2024; Schneider, 2023). Zu den wasserstoffbasierten Antrieben gehören Brennstoffzellen, Wasserstoffmotoren sowie E-Fuels. E-Fuels (elektrische Kraftstoffe) sind synthetisch hergestellte Brennstoffe, die aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> erzeugt werden. Dabei wird Strom, vielfach aus Erneuerbaren Energien, zur Wasserstofferzeugung per Elektrolyse genutzt. E-Fuels vermeiden zusätzliche CO<sub>2</sub>-Emissionen, da bei ihrer Verbrennung nur so viel CO<sub>2</sub> freigesetzt wird, wie zuvor gebunden wurde. Sie können als klimaneutrale Alternative fossiler Energieträger dienen, falls das genutzte CO<sub>2</sub> beispielsweise aus der Atmosphäre gewonnen wurde und nicht aus fossilen Rohstoffen. E-Fuels sind vielseitig einsetzbar, insbesondere in schwer zu elektrifizierenden Bereichen, wie dem Luft- und Schwerlastverkehr.

Wasserstoff kann vor allem dort eine Rolle spielen, wo batterieelektrische Antriebe nicht die an sie gestellten Anforderungen an Gewicht oder Reichweite erfüllen können. Dies betrifft beispielsweise den Luft- und

Seeverkehr und Teile des Schwerlasttransports, Land- und Baumaschinen. Auch für die Dekarbonisierung der Bestandsflotte können Wasserstoff und darauf basierende synthetische Energieträger in Zukunft wichtig sein. Welche Bedeutung wasserstoffangetriebenen Lkw in Zukunft zukommen wird, hängt nicht zuletzt von der Verfügbarkeit und den Kosten der grünen Wasserstofferzeugung sowie dem technischen Fortschritt in der Batterieentwicklung ab. Im Pkw-Bereich bleibt der Einsatz von Wasserstoff dagegen aus heutiger Sicht hinter dem Vormarsch batterieelektrischer Antriebe zurück. Enorme Potenziale für den Einsatz von Wasserstoff und seinen Derivaten bestehen im Schiffs- und Flugverkehr, da elektrische Antriebslösungen in diesen Bereichen auf absehbare nicht oder nur für vergleichsweise kurze Strecken verfügbar sein werden. Während sich im Schiffsverkehr der Einsatz von grünem Methanol als vielversprechendste Lösung zur Dekarbonisierung des Sektors herauskristallisiert, will man im Luftverkehr unter anderem auf E-Fuels setzen.

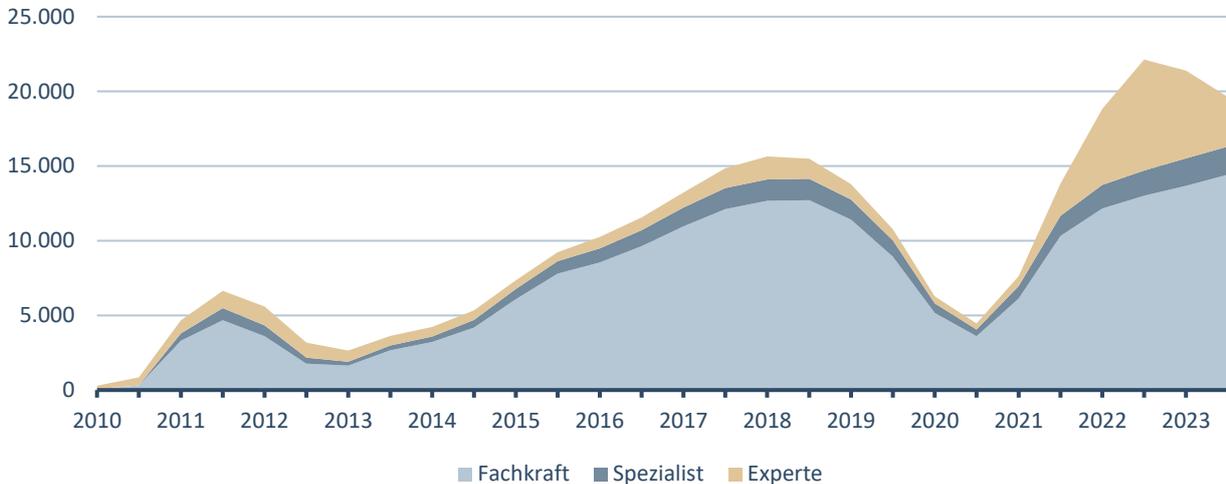
Neben den notwendigen technischen Veränderungen, die die Umstellung auf Wasserstoff direkt an der Bauweise von Fahrzeugen mit sich bringt, ist auch der Aufbau der benötigten Tank- beziehungsweise Ladeinfrastruktur zu betrachten. Auch für den Betrieb der Fahrzeuge können sich neue Anforderungen ergeben. Die Bedarfsschätzungen für den Wasserstoffverbrauch im Verkehrssektor gehen stark auseinander und reichen für das Jahr 2030 von 4 TWh bis 27 TWh, für 2050 von 40 TWh bis 253 TWh (Mönnig et al., 2024). Diese Unterschiede ergeben sich aus unterschiedlichen Annahmen zum zukünftigen Technologiemix.

Mit Blick auf den Arbeitsmarkt ist kein höherer Fachkräftebedarf im Verkehrssektor zu erwarten. Allerdings erfordert der Umgang mit Brennstoffzellen und Wasserstoffmotoren Schulungen, wie beispielsweise für den Umgang mit Hochvoltssystemen (Schneider, 2023). Diese sind unter anderem für Fachkräfte in Werkstätten für Fahrzeuge mit Hochvoltantrieb notwendig. Entsprechende Kompetenzen wurden mit dem Schwerpunkt Hochvolt- und Systemtechnik im Zuge der Neuordnung des KFZ-Mechatronikers bereits 2013 in der Ausbildungsordnung berücksichtigt. Fachkräfte, die Wasserstofffahrzeuge beruflich führen, werden hierfür unterwiesen. Für Tankanlagen müssen die dort tätigen Mechatroniker und Elektriker insbesondere auf Ebene der Meister und Techniker geschult werden (Schneider, 2023). Sollte die Relevanz von Wasserstoff für den Verkehrssektor aufgrund günstiger Marktbedingungen über das aus heutiger Sicht zu erwartende Niveau steigen, können weitere Qualifizierungsbedarfe entstehen, die es dann zu berücksichtigen gilt.

Die Fachkräftelücke in den Verkehrsberufen mit Wasserstoffbezug ist seit Ende der Corona-Pandemie deutlich gewachsen, stieg jedoch zuletzt im Bereich der Fachkräfte und Spezialisten langsamer und ging bei Experten sogar deutlich zurück (Abbildung 4-9). Insbesondere in Berufen für Experten ist die Entwicklung bemerkenswert: Fehlten 2020 nur 472 tertiär qualifizierte Fachkräfte, waren es in der Spitze 2022 7.425 Personen. Danach setzte eine Gegenbewegung ein und es kam zu einem deutlichen Rückgang auf 3.300 nicht besetzbare Stellen für Experten. Zuletzt entfielen somit etwa 16 Prozent der fehlenden Fachkräfte auf Experten, weitere 10 Prozent auf Spezialisten und 74 Prozent auf Fachkräfte. In den wasserstoffrelevanten Berufen im Verkehrssektor fehlen insgesamt 19.607 passend qualifizierte Arbeitskräfte. 96 Prozent davon entfallen auf die zehn Berufe mit den stärksten Engpässen. Zeitarbeit spielt hier kaum eine Rolle: Nur 1,9 Prozent aller offenen Stellen entfallen auf die Zeitarbeit.

### Abbildung 4-9: Fachkräftelücke nach Anforderungsniveau in wasserstoffrelevanten Berufen im Verkehrssektor, 2010 bis 2024

Anzahl rechnerisch nicht besetzbarer Stellen; Zeitreihe von 2010 bis 2024; Jahresdurchschnitte jeweils zur Jahresmitte und zum Jahresende



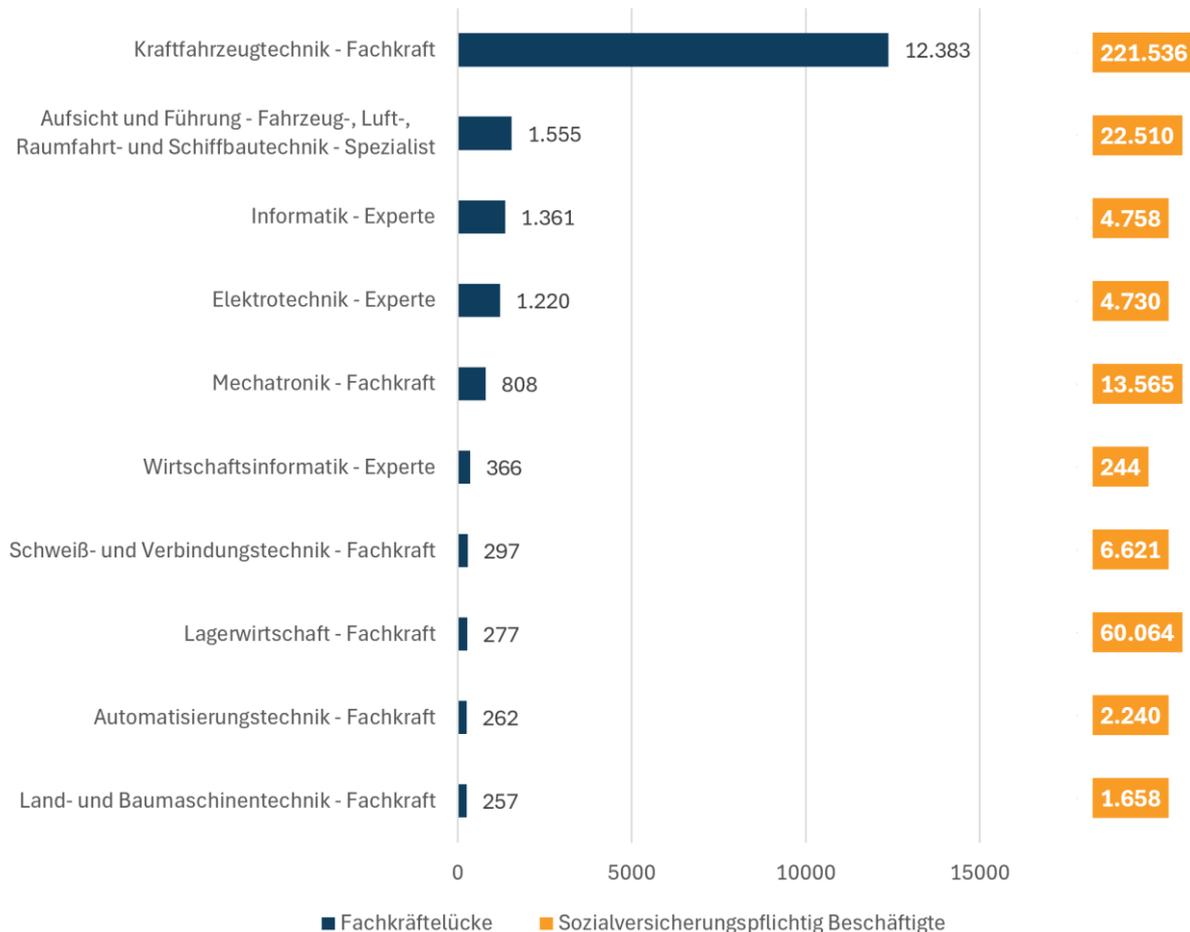
Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

Mit weitem Abstand entfallen die meisten fehlenden Fachkräfte auf KFZ-Mechatroniker und Karosseriebauer: 12.000 Stellen können hier nicht besetzt werden, besonders zahlreich suchen dabei die KFZ-Händler und -werkstätten (Abbildung 4-10). Hier fallen insbesondere Wartungs- und Reparaturarbeiten an, während ein weitaus kleinerer Teil der unbesetzten Stellen in den Bereich der Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen fällt. In den benötigten Kompetenzprofilen ist der Zeitpunkt, zu dem die Fachkräfte am Fahrzeug arbeiten – vor oder nach der Inbetriebnahme – entscheidend: Während vor Inbetriebnahme keine neuen Anforderungen zu erwarten sind, ergeben sich nach der Inbetriebnahme größere Weiterbildungsbedarfe (Dispan, 2013). Weiterbildungsthemen sind unter anderem Sicherheitsschulungen zu Brennstoffzellen und Gashochdrucksystemen, ab Inbetriebnahme zudem die Arbeit mit Hochvoltsystemen (Schneider, 2023). Rekrutierungsschwierigkeiten bestehen auch bei Aufsichts- und Führungskräften für KFZ-Mechatroniker.

Des Weiteren fehlen auch in Informatik und Elektrotechnik zahlreiche qualifizierte Beschäftigte, in diesem Fall mit tertiärer Qualifikation. Informatiker fehlen insbesondere in der Herstellung von Kraftfahrzeugen und -teilen: Die Anzahl der offenen Stellen hat sich in den letzten Jahren vervielfacht. Wurden 2016 nur etwa 60 Stellen im Jahresdurchschnitt ausgeschrieben, waren es 2023 in der Spitze 2.999 und Mitte 2024 1.586 Stellen. Diese rangieren mit 1.555 nicht besetzbaren Stellen auf dem zweiten Platz der Top-10-Liste. Ein ähnlicher Trend zeigt sich für die Elektrotechnik-Experten: Auch hier hat die Stellenzahl von 172 in 2016 3.452 zur Jahresmitte 2023 zugenommen und ging zuletzt auf 998 offene Stellen zurück. Der Bedarf an Ingenieuren und Informatikern weist darauf hin, dass die Branche Innovationen vorantreiben möchte. Fraglich ist jedoch, inwieweit diese Mehrbedarfe auf eine anstehende Verstärkung von Wasserstoffantrieben zurückzuführen sind. Auch andere technologische Entwicklungen wie autonomes Fahren, E-Mobilität sowie Forschung und Entwicklung anderer neuartiger Batterie- und Ladesysteme werden hier eine Rolle spielen.

**Abbildung 4-10: Top-10-Engpassberufe und weitere Kennzahlen in wasserstoffrelevanten Berufen im Verkehrssektor**

Ausgewiesene Kennzahlen: Fachkräftelücke, sozialversicherungspflichtig Beschäftigte



Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

Sofern keine generelle Zunahme an Kraftfahrzeugen zu erwarten ist, sollten in den Verkehrsberufen keine zusätzlichen Fachkräftebedarfe entstehen. Kompetenzbedarfe, wie etwa für Hochvolt- oder Gashochdrucksysteme, lassen sich bereits heute an Schulungs- und Weiterbildungsangeboten ablesen (Schneider, 2023). Hier sind nach aktuellem Stand aufgrund der geringen Potenziale, die aktuell für Brennstoffzellen im PKW-Bereich antizipiert werden, insbesondere diejenigen Fachkräfte zu qualifizieren, die mit LKW, Land- oder Baumaschinen arbeiten.

#### 4.6 Wasserstoffeinsatz im Gebäudesektor

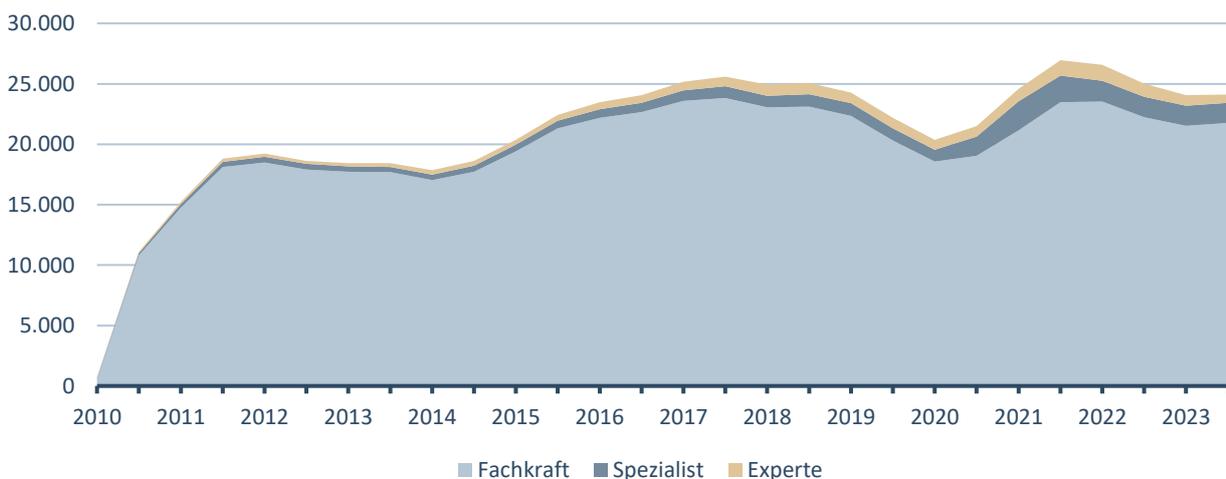
Der Gebäudesektor verursachte 2023 in Deutschland 15 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen (AEE, 2024) und steht damit im Fokus der Dekarbonisierungsstrategien. Während Technologien wie Wärmepumpen und grüne Fernwärme in Verbindung mit der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden zentrale und bereits heute umsetzbare Bausteine zur Reduktion der Emissionen sind, wird Wasserstoff nach aktuellem

Kenntnisstand eine untergeordnete Rolle spielen. Alternativen, wie elektrische Wärmepumpen, sind zur Wärmeerzeugung effizienter als Wasserstoff und haben dadurch entsprechend Kostenvorteile im Betrieb. Zudem ist die benötigte Infrastruktur für das Heizen mit Strom in den meisten Fällen bereits heute vorhanden. Hinzu kommt die aktuell noch bestehende Knappheit an grünem Wasserstoff: Die Produktionskapazitäten und die – nationale und internationale – Transportinfrastruktur von grünem Wasserstoff sind noch im Aufbau und werden in nennenswertem Umfang erst ab Beginn der 2030er Jahre verfügbar sein. Klimafreundlicher Wasserstoff wird eine hohe Nachfrage aus Sektoren ohne alternative Dekarbonisierungshebel, wie die Grundstoffindustrie und Schiff- beziehungsweise Luftverkehr, erfahren. Daher stehen für den Gebäudebereich andere und bereits verfügbare Alternativen im Vordergrund. Insgesamt wird die Dekarbonisierung des Gebäudesektors primär durch Fernwärme, Wärmepumpen und biogene Energieträger vorangetrieben. Trotz dieser Einschränkungen bleibt Wasserstoff in bestimmten Bereichen eine Option. Dazu zählen Gebäude mit hohem Wärmebedarf oder historische Bauten, bei denen eine Elektrifizierung schwer umsetzbar ist. Auch als Backup-Kapazität in Nah- und Fernwärmenetzen bietet Wasserstoff ein Potenzial.

Zur Nutzung von grünem Wasserstoff im Gebäudesektor sind keine neuen Berufe erforderlich und es entsteht dabei, wenn überhaupt, nur ein geringer Qualifizierungsbedarf bei derzeitigen Arbeitskräften (Hiller, 2023). Erweitertes Wissen zum Umgang und zur Arbeit mit Wasserstoff kann bedarfsgerecht im Rahmen von Schulungen und Zusatzqualifikationen vermittelt werden. Fachkräfte aus dem Bereich sind also aktuell schon heute auf den Umgang mit Wasserstoff vorbereitet. Jedoch könnten die Installation und Inbetriebnahme von Heizkörpern und anderen Anlagen, die für den Betrieb mit Wasserstoff ausgelegt sind, durch den allgemeinen Mangel an qualifiziertem Personal in diesem Bereich gebremst werden, denn bereits heute übersteigt die Nachfrage nach qualifiziertem Personal die Zahl passend qualifizierter Beschäftigter und Arbeitsloser.

**Abbildung 4-11: Fachkräftelücke nach Anforderungsniveau in wasserstoffrelevanten Berufen im Gebäudesektor, 2010 bis 2024**

Anzahl rechnerisch nicht besetzbarer Stellen; Zeitreihe von 2010 bis 2024; Jahresdurchschnitte jeweils zur Jahresmitte und zum Jahresende

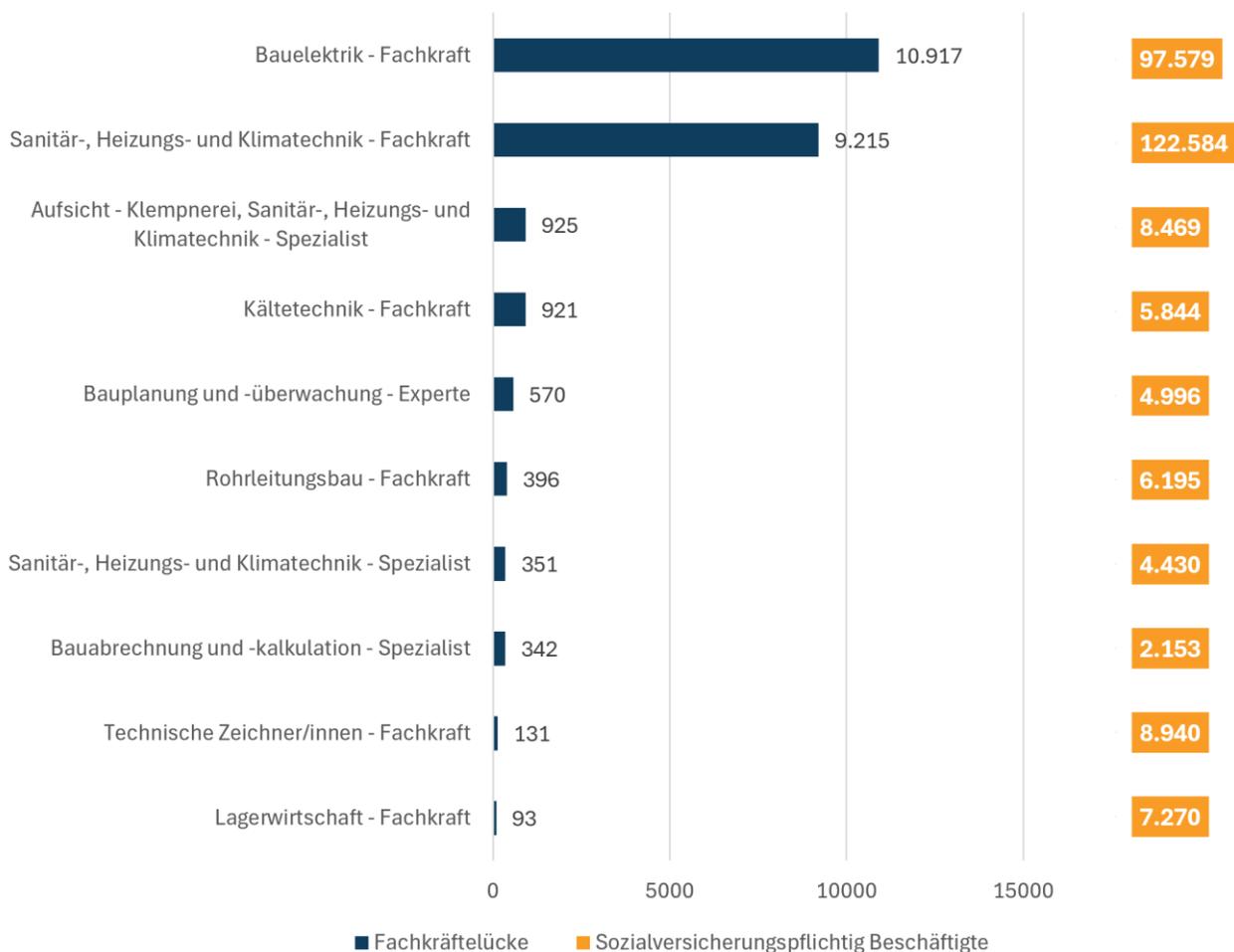


Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

Wasserstoffrelevante Berufe im Gebäudesektor sind schon seit über zehn Jahren von deutlichen Fachkräftengpässen betroffen (Abbildung 4-11). Aktuell fehlen in wasserstoffrelevanten Berufen im Gebäudesektor insgesamt 24.125 passend qualifizierte Arbeitskräfte. Dabei entfällt der Großteil (90,2 Prozent) der rechnerisch nicht besetzbaren offenen Stellen auf Fachkräfte mit abgeschlossener Ausbildung. Spezialisten mit Fortbildungsabschluss oder Bachelor sowie Experten mit Diplom oder Master fehlen zwar auch, allerdings in deutlich geringerer Anzahl. So konnten zwischen Juli 2023 und Juni 2024 durchschnittlich 1.656 offene Stellen für Spezialisten und 708 offene Stellen für Experten rechnerisch nicht besetzt werden. Im Vergleich zum Vorjahreszeitraum ist die Fachkräftelücke um 3,2 Prozent gesunken. Während der Corona-Pandemie kam es zu einem Rückgang der Fachkräftelücke, der aber weniger stark ausfiel als in anderen Branchen. Die Fachkräftelücke blieb auch während der Pandemie auf einem hohen Niveau von mehr als 20.000 rechnerisch nicht besetzbaren offenen Stellen.

**Abbildung 4-12: Top-10-Engpassberufe und weitere Kennzahlen in wasserstoffrelevanten Berufen im Gebäudesektor**

**Ausgewiesene Kennzahlen: Fachkräftelücke, sozialversicherungspflichtig Beschäftigte**



Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Sonderauswertungen der Bundesagentur für Arbeit und der IAB-Stellenerhebung, 2024

Der Fachkräftemangel in wasserstoffrelevanten Berufen im Gebäudesektor konzentriert sich dabei auf wenige Berufe. Allein die Top-2-Berufe mit der größten Fachkräftelücke machen dabei 83,4 Prozent der Fachkräftelücke aus. Es fehlen besonders viele Bauelektriker mit abgeschlossener Berufsausbildung. Zwischen Juli

2023 und Juni 2024 blieben rechnerisch durchschnittlich 10.917 offene Stellen unbesetzt (Tabelle 4-12). Fachkräfte in diesem Beruf haben in der Regel eine Ausbildung zum „Elektroniker für Gebäude- und Infrastruktursysteme“ oder zum „Elektroniker in der Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik“ erfolgreich abgeschlossen. Im Bereich Wasserstoff sind sie nach ihrer Ausbildung für die Installation, Integration und Wartung von Wasserstofftechnologien wie Brennstoffzellen und Wasserstoffheizsystemen verantwortlich. Von einem ähnlichen starken Fachkräftemangel sind auch ausgebildete Fachkräfte der Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik betroffen. Auch sie sind in der Installation und Integration von Wasserstoffheizsystemen und -brennwertkesseln in Gebäuden tätig. Sie sorgen für einen sicheren Betrieb der Anlagen sowie der gesamten Heizungsinfrastruktur. Die Ausbildung „Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik“ qualifiziert für eine Tätigkeit in diesem Beruf. Zuletzt konnten mehr als 9.200 offene Stellen für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechniker nicht besetzt werden. Zugleich handelt es sich innerhalb des Gebäudesektors um den Beruf mit den meisten sozialversicherungspflichtig Beschäftigten. Im Jahr 2023 waren durchschnittlich 122.584 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in diesem Beruf tätig. Schon heute stellt der Bedarf nach qualifiziertem Personal bei Bauelektrikern oder Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnikern Unternehmen vor große Herausforderungen bei der Stellenbesetzung. Dies kann auch mit Blick auf die verstärkte Nutzung von Wasserstoff Verzögerungen bei der Umsetzung von Projekten zur Folge haben.

## 5 Ausbildungssituation in wasserstoffrelevanten Berufen

Auch wenn es für viele Unternehmen relativ gesehen am schwierigsten ist, passend qualifizierte Akademiker zu finden, macht die Fachkräftelücke für beruflich Qualifizierte einen Großteil der Gesamtfachkräftelücke für wasserstoffrelevante Berufe in den betrachteten Branchen aus (82,9 Prozent). Die zentrale Säule, um diese Lücke langfristig zumindest zu verringern, ist neben Teil- und Nachqualifizierungen vor allem die duale Ausbildung von Nachwuchskräften. Insbesondere mit Blick auf Wasserstofftechnologien ist ein großer Vorteil der dualen Ausbildung, dass die Ausbildungsinhalte gestaltungsoffen und technikneutral formuliert sind. Dies bedeutet, dass Unternehmen am aktuellen Arbeitsmarktbedarf und immer anhand der neuesten Technologien ausbilden können. Hinzu kommt, dass beispielsweise für den Anlagenbau breit aufgestellte Querschnittsberufe benötigt werden, die in ausreichender Zahl verfügbar sind. Sollten dort nach der Ausbildung Kompetenzlücken bestehen, können diese durch Lernen im Prozess der Arbeit oder Anpassungsqualifizierungen berufsbegleitend ausgeglichen werden (Zinke, 2022).

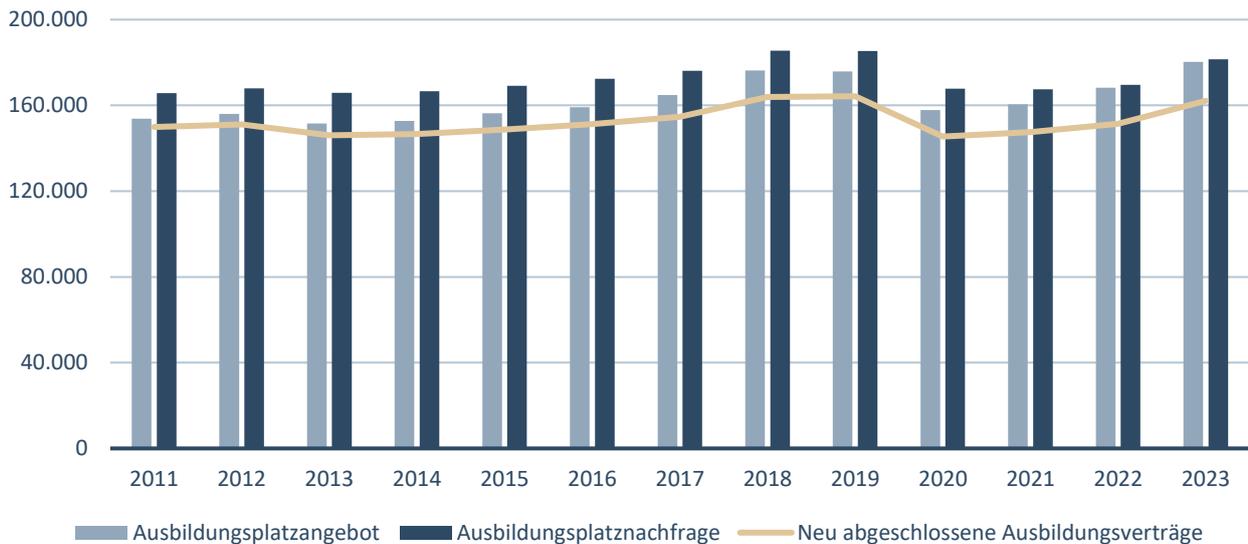
Für die sechs betrachteten Bereiche der Wasserstoffwertschöpfungskette wurden 66 Ausbildungsberufe analysiert, die einen Einstieg in die nachgefragten Fachkraftberufe darstellen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Situation am Ausbildungsmarkt nicht branchenweise betrachtet wird, sondern über alle Wirtschaftszweige hinweg, und dass die Ausbildungsberufe zum Teil auch Fachrichtungen enthalten, die für den Wasserstoffhochlauf nicht relevant sind.

Die Arbeiten an Anlagen zur Wasserstofferzeugung, -speicherung und zum Transport unterliegen der Betriebssicherheitsverordnung. Sofern diese Anlagen der kritischen Infrastruktur zuzurechnen sind, kommen weitere Anforderungen hinzu. Diese Anforderungen können in der Regel durch (vorhandene) Anpassungsfortbildungen erfüllt werden, die wiederum auf bestehenden Ausbildungsberufen aufbauen. Es ist nicht notwendig, die Inhalte zusätzlich in die Ausbildungsverordnungen aufzunehmen (Zinke, 2022), da sie nicht für alle Auszubildende in diesen Berufen relevant sind. Ausbildende Unternehmen haben grundsätzlich die Möglichkeit, wasserstoffrelevante Inhalte sowie notwendige Anpassungsfortbildungen bereits freiwillig in der betrieblichen Ausbildung zu vertiefen beziehungsweise begleitend anzubieten.

Die Vermittlung dieser Inhalte wird in Modellprojekten bereits erprobt. So fördert das BIBB Ansätze, um eine nachhaltigkeitsorientierte Berufsbildung zu stärken (BIBB, 2024). Über einen Train-the-Trainer-Ansatz wird beispielsweise Wasserstofftechnik als neue Anforderung im Ausbildungsberuf Anlagenmechaniker gestärkt („NachhaltigH2“). Innovative Bildungsansätze sollen so einen Beitrag zur Energiewende leisten.

### Abbildung 5-1: Ausbildungsplatzangebot, -nachfrage und neu abgeschlossene Ausbildungsverträge in wasserstoffrelevanten Berufen im Zeitablauf

Alle wasserstoffrelevanten Berufe; Zeitreihe von 2011 bis 2023



Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit und des Bundesinstituts für Berufsbildung, 2024

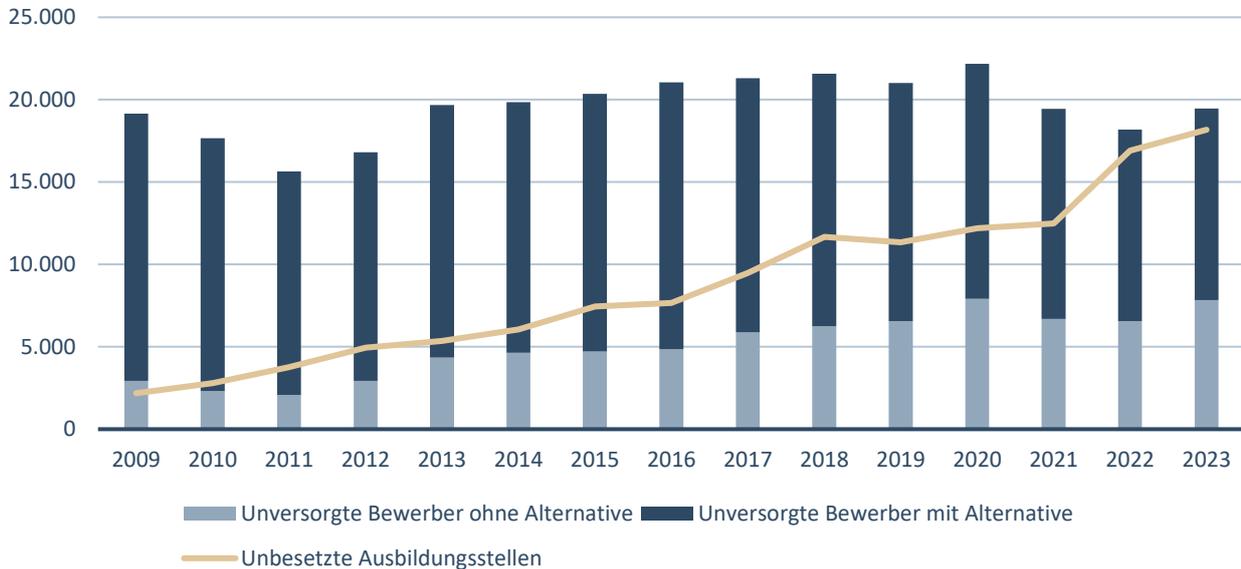
Insgesamt zeigen sich Ausbildungsplatzangebot und -nachfrage in den letzten zehn Jahren – trotz des Corona-Einbruchs im Jahr 2020 – relativ stabil. Dies zeigt sich auch in der Zahl der neu abgeschlossenen Ausbildungsverträge, die zum 30. September 2023 bei 162.099 und damit nur knapp unter dem Niveau von 2019 lag (Abbildung 5-1).

Trotz dieser positiven Tendenzen auf dem Ausbildungsmarkt zeigen sich auch in wasserstoffrelevanten Berufen zunehmende Passungsprobleme (Abbildung 5-2). Die Zahl der unbesetzten Ausbildungsstellen ist in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen und lag zuletzt bei 18.177. Gleichzeitig hält sich die Zahl der unversorgten Bewerber mit und ohne Alternative relativ konstant auf einem Niveau von zuletzt knapp unter 20.000.

Dies bedeutet, dass die Potenziale der dualen Ausbildung für die Wasserstoffwirtschaft noch nicht umfassend ausgeschöpft werden. Für Unternehmen kann der Schritt in Erzeugung, Transport oder auch Verwendung von grünem Wasserstoff hilfreich sein, neue jugendliche Zielgruppen zu gewinnen. Nachhaltigkeit ist für viele Jugendliche ein wichtiges Thema und sie haben Unternehmen als zentrale Akteure in diesem Bereich erkannt. So geben vier von fünf jungen Menschen zwischen 16 und 30 Jahren an, dass innovative Unternehmen eine große Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung haben (Bertelsmann Stiftung, 2022).

**Abbildung 5-2: Unversorgte Bewerber und unbesetzte Ausbildungsstellen in wasserstoffrelevanten Berufen im Zeitablauf**

Alle wasserstoffrelevanten Berufe; Zeitreihe von 2011 bis 2023



Quelle: IW-Fachkräftedatenbank auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit und des Bundesinstituts für Berufsbildung, 2024

## 6 Diskussion und Fazit

Im Zuge des Wasserstoffhochlaufs ist der Aufbau der technischen Infrastruktur zentral und damit auch die Verfügbarkeit passend qualifizierter Fachkräfte, die dies umsetzen können. Eine Betrachtung von Fachkräftengpässen und deren Entwicklung zum aktuellen Zeitpunkt kann dabei helfen, zu identifizieren, an welchen Stellen der Fachkräftemangel zum Bottleneck für den Wasserstoffhochlauf werden kann. Dies ist insbesondere von Relevanz, da parallel weitere Technologie-Trends wie Künstliche Intelligenz in der Arbeitswelt Verbreitung finden, die auch in anderen Bereichen zu einer erhöhten Fachkräftenachfrage und somit zu einer Verschärfung der Konkurrenz um Fachkräfte führen können. Ein vorausschauendes Handeln der Unternehmen und die Justierung relevanter Stellschrauben durch die Politik sind daher gefragt.

Eine besondere Herausforderung ist, dass Tempo und Umfang der Umstellung auf Wasserstoff nicht genau feststehen und sich je nach Bereich unterscheiden. Für die einzelnen Bereiche sind die Herausforderungen daher unterschiedlicher Natur: In manchen Branchen können Produktion, Transport und Einsatz von Wasserstoff zusätzliche Personalbedarfe nach sich ziehen, während in anderen stattdessen Weiterbildungsbedarfe durch zusätzliche Kompetenzanforderungen entstehen und wieder andere aus keinem dieser beiden Blickwinkel vor besonderen Aufgaben stehen. Nachfolgend werden die Fachkräftesituation und Potenziale für die ausgewählten Wirtschaftsbereiche zusammengetragen, bewertet und mögliche Handlungsempfehlungen mit Blick auf die Fachkräftesicherung abgeleitet.

- **Energieversorgung:** Die inländische Erzeugung von Wasserstoff ist insbesondere in der Hochlaufphase bis Mitte der 2030er-Jahre ein unverzichtbarer Baustein. Da sich die internationalen Transport- und Lieferketten noch im Aufbau befinden, aber bereits erhebliche Bedarfe in der deutschen Industrie entstehen, wird die heimische Produktion in dieser Übergangszeit eine zentrale Rolle spielen. In den hierfür relevanten Berufen wird es zu einem Anstieg der Fachkräftenachfrage kommen,

wenn Deutschland mehr Wasserstoff produziert. Bisher schaffen es viele dieser Projekte zur Erzeugung von Wasserstoff jedoch nicht aus der Planung in die Umsetzung. Häufig liegen die Produktionskosten deutlich über dem, was Nachfrager aus der Industrie zahlen können. Angebot und Nachfrage finden so nicht zusammen, das Ziel von zehn GW installierter Leistung bis 2030 scheint derzeit noch in weiter Ferne.

- **Transport:** Mit der Genehmigung des Wasserstoffkernnetzes wurde der Grundstein für den flächendeckenden Transport des grünen Energieträgers gelegt. Das Kernnetz wird die Erzeugungs- und Transportzentren im Norden Deutschlands mit wichtigen Industrieclustern im Süden und Westen verbinden. Der ambitionierte Fahrplan sieht vor, dass bereits ab 2032 umfangreiche Lieferungen über das dann weitgehend fertiggestellte Netz erfolgen. Dieser Ausbau führt zu einer anhaltend hohen Nachfrage nach Fachkräften. Hierbei handelt es sich aber nicht vorrangig um neue Fachkräfte, da Beschäftigte in den Wirtschaftszweigen Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen sowie Tiefbau auch Aufgaben in der Sicherstellung der Infrastruktur sowie im eigentlich Wasserstofftransport übernehmen können. Da es zunächst um den Bau von Übertragungsleitungen – den „Autobahnen“ des Wasserstoffnetzes – geht und die Verteilnetze später folgen werden, bleibt die Nachfrage nach Fachkräften für den Ausbau des Infrastrukturbedarfs auch in den folgenden Jahren weiterhin hoch. Zudem wird der steigende Import von Wasserstoff und seiner Derivate zunehmend auch andere Transportbereiche wie den Schiffsverkehr betreffen.
- **Chemie:** Die Chemieindustrie ist zur Umstellung vieler ihrer Prozesse auf Wasserstoff und darauf basierender Derivate wie Ammoniak angewiesen. Zudem stellt die Chemie teilweise auch selbst Wasserstoff her, ist also in einigen Fällen sowohl Produzent als auch Abnehmer. Weiterbildungsbedarfe lassen sich bislang nicht ableiten, Mehrbedarfe an Fachkräften sind vor allem beim Bau und der Wartung von neuen Anlagen zu erwarten. Das betrifft unter anderem Elektriker, Mechatroniker und IT-Berufe. Auch bei Chemikanten kann es zu Mehrbedarfen kommen.
- **Stahl:** Die Stahlindustrie wird zukünftig zu den größten Nachfragern von Wasserstoff zählen und könnte im Jahr 2030 ein Drittel der gesamten Wasserstoffnachfrage in Deutschland verantworten (Schaefer et al., 2024). In den kommenden Jahren ist dafür eine schrittweise Umstellung der Primärstahlproduktion auf eine wasserstoffbasierte Direktreduktion geplant, um die Dekarbonisierung dieses energieintensiven Sektors zügig voranzutreiben. Die vermehrte Nutzung von Wasserstoff in der Stahlindustrie führt dabei voraussichtlich nur zu geringfügigen neuen Qualifikationsbedarfen. Diese können in der Regel im Rahmen von Trainings und Weiterbildungen abgedeckt werden. Zusätzliche Fachkräftebedarfe sind bislang nicht zu erwarten.
- **Verkehr:** Der Verkehrssektor weist derzeit die höchste Unsicherheit hinsichtlich der quantitativen Bedeutung von Wasserstoff für die Dekarbonisierung auf. Während der Einsatz von Wasserstoff und seinen Derivaten wie Methanol oder E-Fuels im Schiffs- und Luftverkehr unverzichtbar erscheint, ist die Rolle von wasserstoffbetriebenen Lkw noch nicht eindeutig geklärt. Im Pkw-Bereich dominiert bereits heute der elektrische Antrieb, sodass Wasserstoff aus heutiger Sicht nur eine untergeordnete Rolle spielen wird. Ein Mehrbedarf an Fachkräften kann durch den Aufbau einer Ladeinfrastruktur entstehen, ist aber nicht für Tätigkeiten an den Fahrzeugen selbst zu erwarten. Es besteht zudem Weiterbildungsbedarf, vor allem in Werkstätten.
- **Gebäude:** Im Gebäudesektor spielt Wasserstoff nach derzeitigem Kenntnisstand bei der Dekarbonisierung nur eine untergeordnete Rolle. Der Schwerpunkt liegt hier auf der energetischen Sanierung und anderen Heiztechnologien wie Wärmepumpen, Fernwärme oder der verstärkten Nutzung bio-gener Energieträger. Wasserstoff dürfte lediglich in speziellen Anwendungen wie Gebäuden mit hohem Wärmebedarf oder historischen Bauten eine Rolle spielen. Auch als Backup-Kapazität in Nah-

und Fernwärmenetzen könnte der Gebäudesektor ein möglicher Einsatzbereich für Wasserstoff sein. Insgesamt werden die Auswirkungen auf die Fachkräftenachfrage aber begrenzt bleiben. Neu entstehende Qualifizierungsbedarfe durch die Nutzung von Wasserstoff im Gebäudesektor sind nicht zu erwarten. Beschäftigte, die bereits aktuell mit Heiz- und Wärmesystemen arbeiten, sind teilweise auch für die Arbeit mit Wasserstoff sensibilisiert. Als zentrales Instrument, um Beschäftigte vollumfänglich für die Arbeit mit Wasserstoff zu qualifizieren, gelten Schulungen und Zusatzqualifikationen.

Aktuell besteht besonders in Berufen mit Bezug zur Energieversorgung, dem Bau und der Wartung von Anlagen in der chemischen Industrie sowie im Ausbau des Transportnetzes ein erheblicher Fachkräftemangel. Mit der Wasserstofferzeugung und dessen Einsatz in Stahl- und Chemieindustrie stellen diese Bereiche einen großen Hebel bei der Reduktion von Emissionen dar. Insbesondere Fachkräfte für Bauelektrik, Elektrische Betriebstechnik sowie Maschinenbau- und Betriebstechnik mit abgeschlossener Berufsausbildung werden in allen drei Branchen zahlreich gesucht. Allerdings stehen hier schon heute zu wenige Fachkräfte zur Verfügung: Sechs von zehn bis acht von zehn offenen Stellen können in diesen Berufen derzeit rein rechnerisch nicht mit passend qualifizierten Arbeitslosen besetzt werden. Der Wasserstoffhochlauf wird hier voraussichtlich zu weiteren Verknappungen führen. Hinzu kommt der Fachkräftebedarf in Berufen, die administrative Tätigkeiten rund um den Wasserstoffhochlauf ausüben, sowie der potenzielle Bedarf aus Wirtschaftsbereichen, in denen der Einsatz von grünem Wasserstoff erst in Zukunft an Relevanz gewinnen könnte.

Unternehmen können versuchen, durch eine verstärkte Ausbildungstätigkeit in den Kernberufen gegensteuern und Jugendliche für die gefragten Berufe zu begeistern und dort zu qualifizieren, um das Arbeitsangebot zu erhöhen. Im Allgemeinen erscheint die Zahl der neu abgeschlossenen Ausbildungsverträge zwar über die Zeit stabil, die wachsende Zahl unbesetzter Ausbildungsstellen weist aber darauf hin, dass bei weitem nicht alle unternehmensseitigen Ausbildungsangebote derzeit wahrgenommen werden. Zu einem besseren Matching kann neben zusätzlichen Angeboten zur Berufsorientierung, für Praktika, zur Schulkooperation und der Ausweitung der Suche auf weiter entfernte Regionen auch die Evaluation der gewählten Kommunikationskanäle, über welche die Unternehmen ihre Ausbildungsstellen bekannt machen, beitragen. Hier gilt es, junge Menschen noch gezielter dort anzusprechen, wo sie Informationen über Berufe und Unternehmen suchen. Neben authentischen Social-Media-Angeboten hilft hier auch die Ansprache von gleichaltrigen Auszubildenden, etwa als Ausbildungsbotschafter (Beckmann et al., 2023).

Auch Quereinstiege – sowohl aus anderen Berufen als auch aus anderen Branchen – können helfen, den Fachkräftebedarf zu decken. Mit Blick auf Wechselwillige aus anderen Berufen können Unternehmen anhand von Kompetenz- und Tätigkeitsprofilen nach Personen suchen, die in der Vergangenheit bereits ähnliche Aufgaben ausgeübt haben. Darüber hinaus ist es wichtig, dass es intern und extern passende Qualifizierungsangebote gibt. Der Weiterbildungsmarkt hält hier laut Experten-Einschätzungen derzeit ausreichend Angebote bereit (Schad-Dankwart, 2023; Felkl, 2023; Hiller, 2023; Schneider, 2023). Zudem hilft es zur Deckung der Mehrbedarfe in den genannten Bereichen, die Potenziale von Frauen, internationalen Fachkräften, Teilzeitkräften und älteren Arbeitnehmern noch stärker systematisch zu prüfen und zu erschließen.

Etwas anders gelagert ist die Situation in den wasserstoffrelevanten Berufen der Verkehrsbranche. Die Fachkräftesituation ist schon heute in zahlreichen Berufen angespannt und auch ohne Mehrbedarfe an Personal bereits herausfordernd für Unternehmen. Hinzu kommt hier ein gegenüber anderen Bereichen erhöhter Forschungs- und Entwicklungsaufwand, der zu weiteren Kompetenz- und Fachkräftebedarfen führen kann. Auch auf Umsetzungsebene ist mit zusätzlichen Kompetenzbedarfen zu rechnen, für die jedoch kleinere Qualifizierungsbausteine ausreichen dürften. Für die Berufsausbildung zeigt sich, dass die Einbindung neuer Kompetenzbedarfe durch gestaltungsoffene und technikneutrale Formulierungen der Ausbildungsordnungen

sowie optionale Zusatzangebote aktuell bereits gewährleistet ist. Im Weiterbildungsbereich ist ein oft genanntes Themenfeld beim Wasserstoffeinsatz die Schulung der Mitarbeitenden bezüglich der Stoffeigenschaften des Gases. Für viele Beschäftigte in wasserstoffrelevanten Bereichen ist eine Unterweisung oder Qualifizierung durch die Betriebssicherheitsverordnung sogar vorgeschrieben, sodass bereits eine Vielzahl an Qualifizierungsangeboten besteht. Auch der Umgang mit Hochvolttechnologien wird im Zuge des Wasserstoffhochlaufs in mehreren Berufen und Bereichen relevant.

## 7 Abstract

To achieve climate neutrality by 2045, reducing emissions is of fundamental importance. One of the energy sources to be switched to is green hydrogen. Its potential varies depending on the sector, but it is particularly important for the defossilization of the energy-intensive industries such as steel and chemicals. For the successful ramp-up of the hydrogen economy and the creation of a corresponding technical infrastructure, well-trained specialists are required in order to drive forward the development, implementation and operation of the diverse applications of hydrogen. In this paper, we look at the skills situation in selected areas along the hydrogen value chain: from production and transportation to use in the chemical industry, the steel industry, the transport sector and the building sector. We also take a look at the training situation in hydrogen-related professions.

Overall, it can be seen that although there are generally suitably qualified skilled workers on the labor market for the ramp-up of hydrogen technology, their availability varies by occupation and sector and there are shortages of skilled workers in some cases. As in the labor market as a whole, the situation in relevant professions is tense: Across all relevant occupations, there was a shortage of around 49,500 qualified skilled workers in the sectors under consideration in 2024. Additional skilled workers will be needed in particular for the construction of infrastructure, such as electrolyzers and pipelines. The occupations relevant to the hydrogen ramp-up, in which many jobs are already unfilled today, include skilled workers for construction electrics, electrical operating technology as well as mechanical and operating technology. It should be noted that the economic sectors identified as relevant in this study do not cover all economic sectors in which green hydrogen could gain relevance in the future.

The hydrogen ramp-up is creating an increasing demand for skilled workers in some professions. In other professions, it will lead to additional skills requirements, which, however, can usually be qualified through targeted, shorter training courses - for example, for dealing with high gas pressure or high-voltage systems, for which there are already established further training courses. Consequently, there is currently no need to change the current training regulations.

Various options for action can be derived to address the challenging skills situation in the numerous professions directly related to using hydrogen. For example, matching applicants and open positions on the training market needs to be improved, as 18,177 training positions in hydrogen-related professions were recently unfilled. The potential of lateral entrants should also be given greater consideration. In order for companies to be able to invest in the ramp-up of hydrogen technology and the qualification of the required personnel, the next German government should build on the progress made so far and consistently tackle urgent fields of action, such as the construction of electrolyzers and bridging the economic viability gap between fossil fuels and green hydrogen.

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Betrachtete Berufe entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette .....	7
Tabelle 3-1: Auswahl heutiger und zukünftiger Anwendungsbereiche für Wasserstoff .....	9

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Weltweiter Wasserstoffverbrauch nach Anwendungsbereichen im Jahr 2022 .....	9
Abbildung 3-2: Fachkräftelücke in wasserstoffrelevanten Berufen im Zeitablauf .....	12
Abbildung 3-3: Fachkräftelücke in wasserstoffrelevanten Berufen und Branchen im Zeitablauf .....	13
Abbildung 4-1: Fachkräftelücke nach Anforderungsniveau in wasserstoffrelevanten Berufen in der Energieversorgung, 2010 bis 2024 .....	14
Abbildung 4-2: Top-10-Engpassberufe und weitere Kennzahlen in wasserstoffrelevanten Berufen in der Energieversorgung .....	15
Abbildung 4-3: Fachkräftelücke nach Anforderungsniveau in wasserstoffrelevanten Berufen im Bereich der Transportwege, 2010 bis 2024.....	17
Abbildung 4-4: Top-10-Engpassberufe und weitere Kennzahlen in wasserstoffrelevanten Berufen im Bereich der Transportwege .....	18
Abbildung 4-5: Fachkräftelücke nach Anforderungsniveau in wasserstoffrelevanten Berufen in der chemischen Industrie, 2010 bis 2024 .....	19
Abbildung 4-6: Top-10-Engpassberufe und weitere Kennzahlen in wasserstoffrelevanten Berufen in der chemischen Industrie .....	20
Abbildung 4-7: Fachkräftelücke nach Anforderungsniveau in wasserstoffrelevanten Berufen in der Stahlindustrie, 2010 bis 2024 .....	22
Abbildung 4-8: Top-10-Engpassberufe und weitere Kennzahlen in wasserstoffrelevanten Berufen in der Stahlindustrie Ausgewiesene Kennzahlen: Fachkräftelücke, sozialversicherungspflichtig Beschäftigte .....	23
Abbildung 4-9: Fachkräftelücke nach Anforderungsniveau in wasserstoffrelevanten Berufen im Verkehrssektor, 2010 bis 2024 .....	25
Abbildung 4-10: Top-10-Engpassberufe und weitere Kennzahlen in wasserstoffrelevanten Berufen im Verkehrssektor .....	26
Abbildung 4-11: Fachkräftelücke nach Anforderungsniveau in wasserstoffrelevanten Berufen im Gebäudesektor, 2010 bis 2024.....	27
Abbildung 4-12: Top-10-Engpassberufe und weitere Kennzahlen in wasserstoffrelevanten Berufen im Gebäudesektor Ausgewiesene Kennzahlen: Fachkräftelücke, sozialversicherungspflichtig Beschäftigte ....	28
Abbildung 5-1: Ausbildungsplatzangebot, -nachfrage und neu abgeschlossene Ausbildungsverträge in wasserstoffrelevanten Berufen im Zeitablauf .....	30
Abbildung 5-2: Unversorgte Bewerber und unbesetzte Ausbildungsstellen in wasserstoffrelevanten Berufen im Zeitablauf .....	31

## Literaturverzeichnis

Acatech, 2022, Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030, <https://www.acatech.de/publikation/wasserstoff/> [2.12.2024]

Acatech, 2024, Der Elektrolysemonitor des Wasserstoff-Kompass, <https://www.wasserstoff-kompass.de/elektrolyse-monitor> [28.11.2024]

AEE – Agentur für Erneuerbare Energien e. V., 2024, Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren 2023, <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/treibhausgasemissionen-in-deutschland-nach-sektoren-2023> [4.12.2024]

Beckmann, Janina / Estela Esteve, Alba / Granato, Mona, 2023, Können Rollenvorbilder junge Frauen für IT-Ausbildungsberufe begeistern? „Ausbildungsbotschafter“ als Beispiel einer anerkennungssensiblen Berufsorientierung, in: BWP – Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis, 52. Jg., Nr. 2, S. 18–22, <https://www.bwp-zeitschrift.de/dienst/publikationen/de/18649> [27.1.2025]

Bertelsmann Stiftung (Hrsg.), 2022, Jugend und Nachhaltigkeit. Was die Next Generation mit Nachhaltigkeit verbindet und wie sie sich engagiert, Gütersloh, [DOI 10.11586/2022133](https://doi.org/10.11586/2022133) [28.11.2024]

BIBB – Bundesinstitut für Berufsbildung, 2022, Wasserstofferzeugung: „einschlägige“ Ausbildungsberufe passen – zusätzlich notwendig sind sicherheitsrelevante Qualifikationen, Factsheet aus dem Forschungsprojekt H<sub>2</sub>Pro, [https://www.bibb.de/dokumente/pdf/factsheet\\_II\\_wasserstofferzeugung\\_wasserstoff\\_zukunft\\_berufliche\\_bildung\\_energie\\_wende\\_H2PRO.pdf](https://www.bibb.de/dokumente/pdf/factsheet_II_wasserstofferzeugung_wasserstoff_zukunft_berufliche_bildung_energie_wende_H2PRO.pdf) [2.12.2024]

BIBB, 2024, NIB – Nachhaltig im Beruf, Förderung von Umsetzungsprojekten, [BIBB / Förderung von Umsetzungsprojekten](https://www.bibb.de/forschung/nib) [2.12.2024]

Bundesnetzagentur, 2024, Wasserstoff-Kernnetz, <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Kernnetz/start.html> [28.11.2024]

Burstedde, Alexander / Flake, Regina / Jansen, Anika / Malin, Lydia / Risius, Paula / Seyda, Susanne / Schirner, Sebastian / Werner, Dirk, 2020, Die Messung des Fachkräftemangels. Methodik und Ergebnisse aus der IW-Fachkräftedatenbank zur Bestimmung von Engpassberufen und zur Berechnung von Fachkräftelücken und anderen Indikatoren, IW-Report, Nr. 59, Köln

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020, Die Nationale Wasserstoffstrategie, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html> [28.11.2024]

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022, Effiziente Nutzung von Wasserstoff in der Glas-, Keramik-, Papier- und NE-Metallindustrie: Ergebnispapier zum NWS-Industriedialog, [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/20220913-effiziente-nutzung-von-wasserstoff-in-der-glas-keramik-papier-und-ne-metallindustrie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/20220913-effiziente-nutzung-von-wasserstoff-in-der-glas-keramik-papier-und-ne-metallindustrie.pdf?__blob=publicationFile&v=4) [27.1.2025]

BMWK – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2023, Nationale Wasserstoffstrategie: Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschreibung-nationale-wasserstoffstrategie.html> [28.11.2024]

Dispan, Jürgen, 2013, Elektromobilität: Schlüsselfaktor Qualifikation – Ergebnisse der ELAB-Studie zu Kompetenzanforderungen und Qualifikationsbedarfen, Informationsdienst des IMU-Institut, Heft 1, Stuttgart, <https://www.imu-institut.de/fileadmin/Downloads/Publikationen/Elektromobilitaet.pdf> [28.11.2024]

Doucet, Felix / von Düsterlho, Jens-Eric / Schäfers, Hans / Jürgens, Lucas / Schütte, Carsten / Barkow, Hagen / Neubauer, Nicolas / Heybrock, Britta / Jensen, Nanke, 2023, Grüner Wasserstoff für die Energiewende: Potenziale, Grenzen und Prioritäten – Teil 4: Der Industriesektor, [https://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2024/167186/pdf/2023\\_10\\_18\\_NRL\\_AG5\\_H2\\_Teil\\_4\\_Industrie.pdf](https://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2024/167186/pdf/2023_10_18_NRL_AG5_H2_Teil_4_Industrie.pdf) [6.12.2024]

Egenolf-Jonkmanns, Bärbel / Glasner, Christoph / Seifert, Ulrich / Küper, Malte / Schaefer, Thilo / Merten, Frank / Scholz, Alexander / Taubitz, Ansgar, 2021, Wasserstoffimporte. Bewertung der Realisierbarkeit von Wasserstoffimporten gemäß den Zielvorgaben der Nationalen Wasserstoffstrategie bis zum Jahr 2030, Ergebnis der Themenfelder 1 (Technologien und Infrastrukturen) und 4 (Rahmenbedingungen und Geschäftsmodelle) des Forschungsprojektes SCI4climate.NRW, Köln

Felkl, Thomas, 2023, Sektoranalyse der Chemie- und Raffinerieindustrie. Eine Untersuchung im Rahmen des Projekts „H<sub>2</sub>PRO: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“, [https://res.bibb.de/vet-repository\\_781297](https://res.bibb.de/vet-repository_781297) [28.11.2024]

Grimm, Veronika / Janser, Markus / Stops, Michael, 2021, Kompetenzen für die Wasserstofftechnologie sind jetzt schon gefragt, IAB-Kurzbericht Nr. 11, Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) (Hrsg.), Nürnberg, <https://doku.iab.de/kurzber/2021/kb2021-11.pdf> [28.11.2024]

Hiller, Barbara, 2023, Wasserstoff für die Wärmeversorgung: erste Bestandsaufnahme zu wasserstoffbasierten Anwendungsfeldern und Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung: Eine Sektoranalyse im Rahmen des Projekts „H<sub>2</sub>PRO: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“, Version 1.0, Bonn, [https://res.bibb.de/vetrepository\\_781324](https://res.bibb.de/vetrepository_781324) [28.11.2024]

IEA – Internationale Energieagentur, 2023, Global Hydrogen Review 2023, IEA Publications, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ecdfc3bb-d212-4a4c-9ff7-6ce5b1e19cef/GlobalHydrogenReview2023.pdf> [28.11.2024]

Koneberg, Filiz / Jansen, Anika / Kutz, Vico, 2022, Energie aus Wind und Sonne – welche Fachkräfte brauchen wir? Status quo und Optionen für die Fachkräftesicherung, Studie im Rahmen des Projekts Kompetenzzentrum Fachkräftesicherung (KOFA) in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), KOFA-Studie Nr. 3, Köln

Mönnig, Anke / Ronsiek, Linus / Schneemann, Christian / Schur, Alexander C. / Zenk, Johanna, 2024, Grüner Wasserstoff und energieintensive Industrien, Version 1.0, Bonn, [https://res.bibb.de/vet-repository\\_782464](https://res.bibb.de/vet-repository_782464) [28.11.2024]

Prognos AG, 2024, Defossilisierung und Klimaneutralität: Fachkräftebedarf und Fachkräftegewinnung in der Transformation, Studie im Auftrag der DIHK – Deutsche Industrie- und Handelskammer, [dihk.de/resource/blob/125844/fb44e61c7128505cae35eac05f57d0b6/dihk-prognos-studie-fachkra-fte-fu-r-die-defossilisierung-data.pdf](https://dihk.de/resource/blob/125844/fb44e61c7128505cae35eac05f57d0b6/dihk-prognos-studie-fachkra-fte-fu-r-die-defossilisierung-data.pdf) [8.1.2025]

Ronsiek, Linus / Schneemann, Christian / Mönnig, Anke / Samray, David / Schroer, Jan Philipp / Schur, Alexander Christian / Zenk, Johanna, 2024, Arbeitskräftebedarf und Arbeitskräfteangebot entlang der Wertschöpfungskette Wasserstoff: Szenario-v2.1, IAB-Forschungsbericht, Nr. 7/2024, <https://doku.iab.de/forschungsbericht/2024/fb0724.pdf> [6.1.2025]

Samadi, Sascha / Fischer, Andreas / Lechtenböhmer, Stefan, 2023, The renewables pull effect: How regional differences in renewable energy costs could influence where industrial production is located in the future, Energy Research & Social Science, Volume 104, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629623003171> [24.1.2025]

Schad-Dankwart, Inga, 2023, Sektoranalyse: Wasserstoff in der Stahlindustrie – Eine erste Bestandsaufnahme zu technologischen Veränderungen und neuen Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung im Rahmen des Projektes „H<sub>2</sub>Pro: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“, Version 1.0, Bonn, [https://res.bibb.de/vet-repository\\_781673](https://res.bibb.de/vet-repository_781673) [28.11.2024]

Schaefer, Thilo / Goecke, Henry / Hönig, Tillman / Küper, Malte / BCG / BDI, 2024, Transformationspfade für das Industrieland Deutschland, Gutachten in Kooperation des Instituts der deutschen Wirtschaft mit der Boston Consulting Group und dem Bundesverband der deutschen Industrie, Berlin / Köln

Schill, Wolf-Peter / Jöhrens, Julius / Räder, Dominik / Beeh, Hendrik / Klingl, Josef / Werner, Markus, 2024, Klimaschutz im Straßengüterverkehr: Die Zukunft ist batterieelektrisch, DIW Wochenbericht, Nr. 47, S. 743–753, [https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw\\_01.c.927089.de/24-47-4.pdf](https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.927089.de/24-47-4.pdf) [28.11.2024]

Schneider, Maximilian, 2023, Sektoranalyse: Wasserstoff im Verkehrssektor – eine erste Bestandsaufnahme zu technologischen Veränderungen und neuen Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung, Version 1.0, Bonn, [https://res.bibb.de/vet-repository\\_781261](https://res.bibb.de/vet-repository_781261) [28.11.2024]

Umweltbundesamt, 2024, Klimaschutz im Verkehr, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/klimaschutz-im-verkehr#undefined> [28.11.2024]

WV Stahl – Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2023, Daten und Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland, [https://www.wvstahl.de/wp-content/uploads/WV-Stahl\\_Fakten-2023\\_Web.pdf](https://www.wvstahl.de/wp-content/uploads/WV-Stahl_Fakten-2023_Web.pdf) [2.12.2024]

Zinke, Gert, 2022, Sektoranalyse: Erzeugung, Speicherung und Transport von Wasserstoff – Eine Untersuchung im Rahmen des Projekts „H<sub>2</sub>PRO: Wasserstoff – ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“, [https://res.bibb.de/vet-repository\\_780890](https://res.bibb.de/vet-repository_780890) [28.11.2024]