



## Impulspapier Wissensvermittlung Wasserstoff

Der Wasserstoffmarkthochlauf braucht heute Fachkräfte

Das Thema Fachkräftemangel ist weder neu noch beschränkt es sich auf spezielle Branchen. Wenn sich dieser jedoch auch noch mit einem technologischen Wandel überlagert, drohen aufgrund der veränderten Anforderungen merkliche Kapazitätsengpässe und Wissenslücken. Wenn bisherige Nischentechnologien in die breite Anwendung kommen, werden neue Kompetenzen und gegebenenfalls neue Berufsbilder gebraucht, die mitunter das Potenzial besitzen, bisherige Berufe disruptiv zu verändern oder zumindest zu hinterfragen. Die Integration von Wasserstoff in unsere bestehenden Infrastruktursysteme löst eine solche Kettenreaktion aus. Zudem drängt angesichts des sich verschärfenden Klimawandels die Zeit und die selbstgesteckten Klimaziele setzen einen fixen Zeitrahmen. Dieses Impulspapier soll eine erste Übersicht über den Kompetenzbedarf im Wasserstoffbereich geben und wichtige Fragen aufwerfen, um Bildungsrichtungen auf die Komplexität des Themas hinzuweisen.

- Andrea Appel; VDE Gruppe
- Marc Bovenschulte; VDI/VDE-IT
- Stefan Garche; VDE Renewables
- Anja Heilmann; Thüringer Energie AG
- Ursula Hoffmann; DVGW e.V.
- Thomas Kunz; ENERGIEregion Nürnberg e.V.

- Alexander Mack
- Kathrin Pilz-Lansley; ENERGIEregion Nürnberg e.V.
- Peter Preuss; DVGW e.V.
- Simon Reichenwallner; ENERGIEregion Nürnberg e.V.
- Michael Schanz; VDE Gruppe

### Abstract

While the plans for hydrogen demand and production projects are increasing every day, the need for expertise is becoming more important. The urgency to implement the “Energiewende” is higher than ever before. The role of hydrogen in this transition is important, because of its great potential to reduce emissions in many sectors. Within eight years, strict emission reduction goals shall be reached in all sectors, yet there is still a distinct lack of the experts needed to meet these targets. The shortage of skilled labor has always been a challenge in many circumstances. Especially the shortage of skilled labor needed in areas vital to the energy transition is crucial to fulfill the climate goals within the remaining years. In the context of the hydrogen deployment, the precise extent of re-skilling required is not known yet.

This article shall provide an overview on the different fields of education in the hydrogen value chain and its cross-cutting topics. It shall also provide a practical view on the attractive employment opportunities in the hydrogen sector. The authors do not claim to provide a holistic overview in this article. This paper intends to set starting point for further discussions on the topic knowledge development in hydrogen to provide an overview giving guidance to people engaged in the ongoing change.

## 2030 ist übermorgen, doch die Ausbildung von Fachkräften braucht Zeit

Allein im Energiesektor müssen bis 2030 Technologien dafür sorgen, dass dieser Sektor seine Emissionen von den derzeit zulässigen 257 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent auf lediglich 108 Millionen Tonnen reduziert. (Bundesamt für Justiz 2019). Angesichts der kurzen Frist wird deutlich, dass nicht darauf gewartet werden kann, bis eine neue Generation für neue Berufe – die zudem erst noch definiert werden müssen (BIBB 2022) – gewonnen wird. Es gilt also heute schon Fachkräfte auch aus anderen Berufszweigen durch Umschulungen und Weiterbildungen für die Wasserstoffökonomie zu befähigen. Der Bedarf betrifft technische Qualifikationen und Kompetenzen ebenso wie rechtliche (Zulassung, Regulierung), betriebswirtschaftliche (wirtschaftliche Machbarkeit) und planerische. Und er wird sich im Markthochlauf des Wasserstoffs vom akademischen Bereich in den beruflichen und handwerklichen Bereich ausweiten.

Laut dem Deutschen Wasserstoff Verband (DWV) waren im Jahr 2020 mehr als 1,5 Millionen Beschäftigte in den Mitgliedsunternehmen des DWV angestellt. 2018 ging der DWV von 70.000 weiteren Arbeitsplätzen in der Wasserstoffbranche bis 2030 aus. Die Publikation des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) der Bundesagentur für Arbeit aus dem Jahr 2021 über Wasserstoffkompetenzen beschreibt, dass die Übersicht über den Arbeitsmarkt der Wasserstoffbranche noch nicht ausreichend gegeben ist. Es werden bereits heute diverse Stellen in Berufen aus Bereichen wie Forschung und Entwicklung, Maschinenbau- und Betriebstechnik, Elektrotechnik, Chemie, Energietechnik, Einkauf und Vertrieb sowie in der Unternehmensstrategieentwicklung ausgeschrieben. Diese Stellen wurden im Jahr 2019 vorwiegend als hochkomplexe Tätigkeiten eingestuft (Grimm, Jansen, und Stops 2021)

In Frankreich hat France Hydrogène ausführlich beschrieben, weshalb Wissensvermittlung für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft essenziell ist, und hat ein Inventar an Kompetenzen aufgelistet. Darüber wurde identifiziert, dass von 84 untersuchten Berufen, 27 eine Spezifikation für Wasserstoff erfordern, 41 das Basiswissen und 16 keine besonderen Wasserstoffkenntnisse benötigen (France Hydrogène 2021). Daraus kann geschlossen werden, dass die Komplexität der Tätigkeiten stark variiert. In einigen Bereichen geht es darum, Fachkräfte einerseits darin zu schulen, wie mit den Anlagen einer Wasserstoffwirtschaft umzugehen ist und andererseits, wie die Anlagen sicher betrieben und in die bestehenden Infrastrukturen eingebunden werden können. Andere Bereiche haben einen stärker systemischen Fokus und weniger einen technischen. Der Umgang mit gasbetriebenen Anlagen, die eine Schnittstelle zwischen Gas- und Strom besitzen, ist in Deutschland nicht neu. Fachkräfte, die mit bzw. an solchen Anlagen tätig sind, haben meist Kenntnisse in beiden Bereichen, sind jedoch oft noch nicht mit den spezifischen chemischen wie physikalischen Eigenschaften von Wasserstoff vertraut. Dies ist wichtig, da besondere Vorsichtsmaßnahmen z. B. in Bezug auf Explosionsschutz im Bereich elektrischer Anlagen gelten.

Nicht nur in Deutschland und Frankreich ist eine breite Integration von Wasserstoff geplant. Weltweit gibt es Bestrebungen, eine Wasserstoffwirtschaft mit sämtlichen dazugehörigen Faktoren aufzubauen. Damit stehen sehr viele Nationen vor ähnlichen Fragestellungen rund um das Thema Wissensmanagement bzw. Fachkräfteentwicklung. Hier können sich die Länder gegenseitig unterstützen, da trotz unterschiedlicher Bildungssysteme praxisbezogene Themen ähnlich sind. So werden etwa im Rahmen der Initiative „H2Brasil“ u. a. grundständige Wasserstoff-Curricula entwickelt, die mit den Berufsprofilen wie „Gastransport-Logistiker\*in“ „Technische\*r Spezialist\*in für den Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von grünem Wasserstoff“ und „Spezialist\*in für grüne Wasserstoffsysteme“ auf die sich entwickelnden Bedarfe einer Wasserstoffökonomie in Brasilien eingehen (GIZ 2022).

Die Vielfalt der zuvor beispielhaft genannten Bereiche deutet die Komplexität des Wandels der Arbeitswelt an. Ein Blick auf die Wasserstoffwertschöpfungskette lässt erahnen, dass weitere Bereiche und damit einhergehend viele Berufsgruppen mit dem Wandel in Berührung kommen.



Abbildung 1 Die Bereiche der Wasserstoffwertschöpfungskette (Eigene Darstellung VDE)

Die Transformation unserer Energiesysteme sorgt für Änderungen im Arbeitsumfeld vieler Menschen, die einige als Chance nutzen können. Darüber hinaus sorgen die Komplexität der Energiewende und der damit einhergehende steigende Bedarf an Wasserstoff aktuell dafür, dass es zu diesem Thema einen regelrechten Boom auf dem Schulungsmarkt gibt. Dies macht es für Interessierte und relevante Zielgruppen schwierig die richtige Schulung, welche die praxisrelevanten Inhalte liefert, zu finden.

An vielen Stellen ist zudem noch unklar welche Wissenserweiterung in den einzelnen Gebieten der Wasserstoffwertschöpfungskette benötigt wird. Teilweise ist noch nicht eindeutig, welche Berufsgruppen sich in der Wertschöpfungskette wiederfinden und welches spezifische Wissen noch benötigt wird. Auch Querschnittsthemen zwischen den einzelnen Bereichen sind noch nicht vollständig ergründet. Fakt ist, dass eine wachsende Zahl von Berufstätigen vor der Frage nach einer Umschulung oder Weiterbildung in ihrem Bereich stehen wird.

Um zeitnah zielgerichtet Schulungen und Studienmodule aufbauen zu können, sollten die Kompetenzen und benötigten Qualifikationen konkret und entlang den Stufen der Wasserstoffwertschöpfungskette sowie den bestehenden Tätigkeitsprofilen beschrieben werden. Das vorliegende Impulspapier soll einen ersten Impuls setzen, um das vielschichtige Thema Wissensvermittlung im Bereich Wasserstoff übersichtlicher zu machen. Es soll ergänzend zu anderen Arbeiten (z. B. von France Hydrogène, IHK und HKW Raum Lüneburg) gesehen werden und zunächst in ausgewählten Bereichen einen Gedankenanstoß geben.

Im Folgenden werden beispielhaft einzelne Bereiche aus der Wasserstoffwertschöpfungskette unter den Aspekten „involvierte Berufsgruppen“ und „Querschnittsthemen“ näher betrachtet, um einen ersten Einblick<sup>1</sup> in die Bildungsbedarfe zu bieten. Sowohl das chemisch-physikalische Grundlagenwissen wie auch Arbeitssicherheit insbesondere Explosionsschutz in Bezug auf Wasserstoff, wird in allen Bereichen und Berufsgruppen zu den jeweiligen Bereichen vorausgesetzt. Diese Bereiche aus der Wertschöpfungskette werden im Impulspapier betrachtet.:

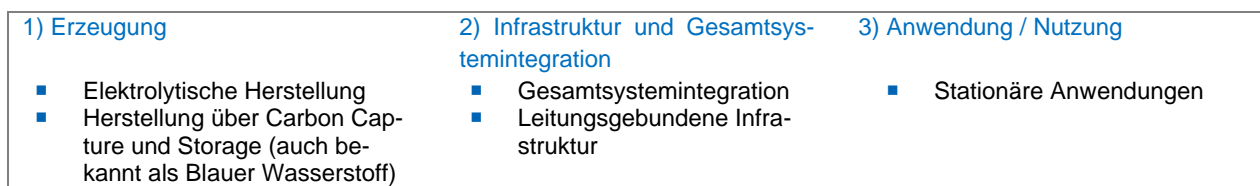


Abbildung 2 Betrachtete Bereiche aus der Wertschöpfungskette (Eigene Darstellung VDE)

<sup>1</sup> Dieses Papier erhebt nicht den Anspruch, eine vollständige Übersicht zu Bildungsbedarfen im Wasserstoffbereich zu sein. Vielmehr soll es einen Ausgangspunkt für Gespräche und Diskussionen darstellen, um letztlich zu einer vollständigen Übersicht, die Orientierung in der Transformation bietet, zu gelangen.

## 1) Erzeugung

In der **elektrolytischen Herstellung** können folgende Berufsgruppen mit den aufgelisteten Querschnittsthemen in Berührung kommen.

Involvierte Berufsgruppen	Querschnittsthemen
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Elektrotechnik Ingenieur*in</li> <li>■ Maschinenbauingenieur*in</li> <li>■ Planer*innen / Projektierer*in von Speichern und Erneuerbaren Energien</li> <li>■ Anlagenbauer*in (Elektrolyse)</li> <li>■ Netzingenieur*in</li> </ul>	<p>Strom</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Stromerzeugungsanlagen insbesondere Erneuerbare Energieanlagen (Fokus Strombezug und -verfügbarkeit)</li> <li>■ Netzanschlussbedingungen</li> <li>■ Leistungselektronik</li> <li>■ Netzdienlichkeit, Systemdienlichkeit (Strommärkte allgemein)</li> </ul> <p>Gas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Netzanschlussbedingungen (z. B. Gasdruckregelung, Gasqualität, Odorierung)</li> <li>■ Transporttechnologien allgemein (z.B. Trailer, Trägermedium etc.)</li> <li>■ Speichertechnologien allgemein (z.B. Aggregatzustand, Speicherinfrastruktur)</li> <li>■ Aufwände (Transportaufwand, Energiebedarf, Kapazität?)</li> <li>■ Gasqualität</li> </ul> <p>Wasser</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wasserverfügbarkeit, Wasserversorgung und –bereitstellung</li> <li>■ Erforderliche Wasserqualität (Aufbereitungsgrad, Verunreinigungen, Härtegrade etc.)</li> <li>■ Wasserbedarf</li> <li>■ Wasserspeicherung</li> <li>■ Hydraulik</li> </ul> <p>Wirtschaftlichkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wasserstoffhandel</li> <li>■ Strommärkte/Gas /Energiemärkte allgemein</li> <li>■ Rechtliche Rahmenbedingungen</li> </ul>

In der Herstellung über **Carbon Capture und Storage Verfahren (Fokus Blauer Wasserstoff)**, können folgende Berufsgruppen mit den aufgelisteten Querschnittsthemen in Berührung kommen

Involvierte Berufsgruppen	Querschnittsthemen
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mitarbeitende von Gasversorgungsunternehmen</li> <li>■ Mitarbeitende von Gasnetzbetreibern</li> <li>■ Anlagenbauer*in (Erdgas)</li> <li>■ Facharbeiter*innen, Meister*innen, Techniker*innen und Ingenieure</li> <li>■ Vertragsinstallationsunternehmen</li> <li>■ Mitarbeitende von Leitwarten</li> </ul>	<p>Gas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Grundlagenwissen zu Kohlenstoffverbindungen</li> <li>■ Aufwände (Transportaufwand, Energiebedarf)</li> <li>■ Gasqualität</li> <li>■ Technologieverständnis zur Abgasreinigung von Erdgas</li> </ul> <p>Strom</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Strombedarf der Gesamtanlage</li> </ul> <p>Geologie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Geologische Beschaffenheiten allgemein</li> <li>■ Bohrungen</li> <li>■ Lagerstätten</li> </ul> <p>Wirtschaftlichkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ CO2-Marktverständnis</li> <li>■ Small-Scale-Anwendungen</li> </ul>

## 2) Infrastruktur und Gesamtsystemintegration

In der **Gesamtsystemintegration** geht es darum, sämtliche Energieanlagen, wie Elektrolyseure, Brennstoffzellen passgenau in die bestehenden Systeme (Strom und Gas) einzubinden. Mit dem Bereich Gesamtsystemintegration, können folgende Berufsgruppen mit den aufgelisteten Querschnittsthemen in Berührung kommen.

Involvierte Berufsgruppen	Querschnittsthemen
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Infrastruktur Planer*in /Projektierer*in</li> <li>▪ Anlagenbauer*in / Netzbauer*in (Strom und Gas)</li> <li>▪ Mitarbeitende in Verwaltungsorganen</li> <li>▪ Elektrotechnik Ingenieur*in</li> <li>▪ Ingenieur*in für Versorgungstechnik Maschinenbau Ingenieur*in</li> <li>▪ (Netz-)Meister*in</li> <li>▪ Berufsspezialist*in für Verteilnetztechnik</li> </ul>	<p>Regionale nachhaltige Funktionalität</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Überregionale Zusammenhänge (Rolle des Wasserstoffes weltweit, Importbedingungen etc.)</li> <li>▪ Fokus Bedarfsplanung und Bilanzierung</li> <li>▪ Wirtschaftlichkeit und Marktzusammenhänge</li> </ul> <p>Strom</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Projektierung (Erneuerbare gekoppelt an Elektrolyseure inkl. Speichereinheit und Rückverstromung)</li> <li>▪ Stromnetzkapazität</li> <li>▪ Netzüberwachung</li> </ul> <p>Gas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Projektierung inkl. lokale Wasserstoffbedarfe</li> <li>▪ Netzberechnung (Transport- und Verteilnetz)</li> <li>▪ Gasspeicherkapazität</li> </ul> <p>Wasser</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wasserverfügbarkeit</li> <li>▪ Wassermanagement allgemein</li> </ul> <p>Kommunikationsinfrastruktur</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Standortvoraussetzungen – Stichwort Smart Grid</li> <li>▪ Cybersicherheit</li> </ul> <p>Verwaltung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rechtsrahmen</li> <li>▪ Genehmigungsvorgänge / Zulassungsvorgänge</li> </ul> <p>Weitere</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geologie</li> <li>▪ Geografie</li> </ul>

Mit dem Bereich **Leitungsgebundene Infrastruktur**, können folgende Berufsgruppen mit den aufgelisteten Querschnittsthemen in Berührung kommen.

Involvierte Berufsgruppen	Querschnittsthemen
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Netzingenieur*in</li> <li>▪ Schweißfachingenieur*in</li> <li>▪ Anlagentechniker*in / Anlagenmechaniker*in für Rohrsystemtechnik</li> <li>▪ Netzmeister*in</li> <li>▪ Berufsspezialist für Verteilnetztechnik</li> <li>▪ Rohrleitungsbauer*in</li> <li>▪ Schweißer*in</li> </ul>	<p>Gas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Materialkunde</li> <li>▪ Verbindungstechnik und Armaturentechnik</li> <li>▪ Verdichtertechnik, Verdichterstationen, Gasdruckregelung</li> <li>▪ Netzberechnung</li> <li>▪ Speicher</li> <li>▪ Odorierung</li> <li>▪ Netzanschluss</li> <li>▪ Schweißen</li> </ul> <p>Kommunikation</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Überwachung/ Sensorik (Lecküberwachung und Leckortung)</li> <li>▪ Mengenummessung, Eichung, Kalibrierung</li> </ul> <p>Weitere</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geologie</li> <li>▪ Geografie</li> </ul>

### 3) Anwendung / Nutzung

Mit dem Bereich **stationäre Anwendungen** (Brennstoffzelle), können folgende Berufsgruppen mit den aufgelisteten Querschnittsthemen in Berührung kommen. (Die Studie von France Hydrogène beschreibt, dass 55 Berufe mit stationären Anwendungen von Wasserstoff – vor allem mit Fokus auf die Brennstoffzelle – in Berührung sind )

Involvierte Berufsgruppen	Querschnittsthemen
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Anlagenbauer*in</li> <li>■ Planer*in</li> <li>■ Bauingenieur*in</li> <li>■ Installateur*in</li> <li>■ Anlagenbetreiber*in</li> </ul>	<p>Strom</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Netzanschlussbedingungen</li> <li>■ Projektierung / Auslegung (Strom- u. Wärmebedarf)</li> <li>■ Stromerzeugungsanlagen insbesondere Erneuerbare Energieanlagen (Fokus Strombezug und -verfügbarkeit)</li> </ul> <p>Gas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Netzanschluss Gasnetz (Gasdruckregelung, Gasströmungswächter, Odorierung)</li> <li>■ Materialkunde</li> <li>■ Transporttechnologien allgemein (Anlieferung von H<sub>2</sub>)</li> <li>■ Aufwände (Transportaufwand, Energiebedarf)</li> <li>■ Gasqualität</li> </ul> <p>Wirtschaftlichkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wasserstoffhandel</li> <li>■ Strommärkte /Energiemärkte allgemein</li> <li>■ Rechtliche Rahmenbedingungen</li> </ul>

### Allgemeine Empfehlungen an Bildungseinrichtungen (Hochschulen, Schulen, Weiterbildungseinrichtungen)

Die Querschnittsthemen sind in den einzelnen Bereichen der Wasserstoffwertschöpfungskette vielfältig. In einigen sind diese Schnittstellen bereits bekannt. Häufig wird schließlich die Komponente Erdgas lediglich durch Wasserstoff ersetzt. Das heißt, hier wird chemisch-physikalisches Wissen zu Wasserstoff benötigt. Manche Berufsgruppen erweitern ihren Horizont um zusätzliche Aspekte wie beispielsweise Wasserverfügbarkeit und umfassende Rahmenbedingungen aus der Systemintegration. Dies betrifft unter anderem Planer\*innen, Projektierer\*innen und Netzingenieur\*innen. In anderen Berufsgruppen werden Technologien sukzessive ersetzt oder erweitert (z.B. im Mobilitätssektor). Weitere Berufsgruppen in der Wertschöpfungskette sehen den Bedarf für Weiterbildung erst zu einem späteren Zeitpunkt. Dies ist zum Beispiel im Bereich der stationären Brennstoffzellen und der entsprechenden Berufsgruppe Installateur\*innen der Fall, da diese an die Entscheidungen der Endkonsumenten gebunden sind, welche wiederum von der Versorgungsinfrastruktur abhängig sind. In diesem Fall bedingt die aktuell mäßige Nachfrage nach Brennstoffzelleninstallationen also, dass Installateur\*innen die Marktentwicklung vorerst abwarten (Tietze 2022; IHK-Lüneburg und HWK BLS 2022). Dennoch wird in „Technische Regeln für Gasinstallations-Schulungen“ (TRGI-Schulung) Wasserstoff unter dem Aspekt „H<sub>2</sub>-Readiness“ bereits behandelt. Der Hintergrund ist, dass eine H<sub>2</sub>-Readiness in den Haushalten jetzt wichtig wird.

Diese Beschreibung zeigt, dass der akute Bedarf zur **Weiterbildung und Umschulung** innerhalb der einzelnen Berufsgruppen und Bereiche stark variieren kann. Zusätzlich benötigen auch fachfremde Erwerbstätige Fertigkeiten, um Quereinstiege bewältigen zu können. Dabei sollten Umschulungen oder „Transition Trainings“ passgenaue Inhalte vermitteln. Vor diesem Hintergrund gibt es aktuell ein großes Angebot von Weiterbildung oder Zusatzqualifikationen, um „on the Job“ notwendige Fähigkeiten zu erlangen. Hier sollte genau geschaut werden, welche Schulungen zu welchem Bereich passen, im Idealfall sind Schulungen sogar auf die Bedarfe der Unternehmen zugeschnitten (IHK-Lüneburg und HWK BLS 2022).

DVGW und VDE plädieren für die Entwicklung standardisierter Qualifikationszertifikate, die den Standard der Schulungen vergleichbar machen und das notwendige Wissen der Regelwerke beinhalten. Auch die IHK und HKW Lüneburg Studie schlussfolgern: „Kurse sollten möglichst mit einem Zertifikat abschließen,

welches die Teilnehmenden zu bestimmten Aufgaben berechtigt. [...]. Allgemein werden konkrete Qualifikationsanforderungen seitens der Regelwerkssetzung an Mitarbeitende beim Umgang mit Wasserstoff gewünscht (IHK-Lüneburg und HWK BLS 2022, 36).“

Im **Ausbildungsbereich** ist es sinnvoll keine neuen Ausbildungsgänge zu entwickeln, sondern an bestehende Ausbildungen anzuknüpfen. Hierzu wurden seitens Berufsschulen, Handwerkskammern, Industrie- und Handelskammern bereits erste Testläufe für Aufbaumodule unternommen. In Südhüringen wurde ein Grundlagenmodul entwickelt, welches sich an Auszubildende in technischen Berufen, wie Mechatroniker\*in, oder Elektroniker\*in, wendet. Als komplementäre Säule zur bewährten dualen beruflichen Ausbildung sind Mechanismen nötig, die unter Anerkennung auch informell erworbenen Fähigkeiten und Fertigkeiten Quereinstiege sowohl für fachfremde Erwerbstätige als auch für un- und angelernte Erwerbstätige ermöglichen (Westdeutscher Handwerkskammertag 2022). Für die Gruppe der an- und ungelerten Erwerbstätigen sind Modelle für eine „kleine Berufssachlichkeit“ zu entwickeln, die zum einen den Einstieg in die entsprechenden Tätigkeitsfelder und zum anderen eine Weiterqualifizierung zum regulären Abschluss gemäß dualer Ausbildung ermöglichen.

Viele Querschnittsthemen können auch über die modulare und interdisziplinäre Erweiterung von bestehenden **Studiengängen** auf Wasserstoff abgedeckt werden. Nach aktuellem Wissensstand scheint es auch hier nicht zielführend, neue technische Studiengänge explizit für Wasserstoff aufzusetzen (Wald, Grigorjan, und Uhlmann 2022). Für die Studiengänge Maschinenbau und Elektrotechnik könnten beispielsweise Modulschwerpunkte auf Brennstoffzellen sowie Wasserstoff-Verbrennungsmotoren gelegt werden. Ebenso könnte in den Modulen zu Materialkunde die Komponente Wasserstoff näher betrachtet werden. In Deutschland gibt es seit Jahrzehnten verschiedene Studiengänge wie Umwelttechnik, Umweltmanagement oder Energietechnik, die in ihrer breiten Themenaufstellung das Thema Wasserstoff integriert haben und lehren. Deutschlandweit werden weitere interdisziplinäre Studiengänge aufgebaut. Kernelemente dieser Angebote sind: Erzeugungsprozesse, Regenerative Energien, Energiewirtschaft allgemein, physikalische und chemische Grundlagen, Steuerungs- und Regelungstechnik, Sicherheit, Verteilung, Speicherung und Anwendung.

Obwohl aktuell der Hauptfokus auf der berufsbegleitenden Aus- und Weiterbildung liegt, sollte die **schulische Wissensvermittlung** nicht außer Acht gelassen werden, da im Idealfall gerade in den höheren Klassenstufen die Orientierung hinsichtlich späteren Berufsoptionen oder Studien-/Ausbildungsmöglichkeiten relevant wird. Schüler\*innen sollten hierbei im Kontext von MINT-Fächern, neben den chemischen Grundlagen zu Wasserstoff, die Chancen und Grenzen der Wasserstoffwirtschaft kennenlernen. Erste Ansatzpunkte können beispielsweise über Projekte wie „HYPOS macht Schule“ oder auch die Bildungspartnerschaften der Wasserstoff-Metropolregion Nürnberg hy+ liefern. Hier erhalten Lehrer\*innen über ausgearbeitete Bildungskonzepte passende Bausteine (z.B. Exkursionen, Berufsinformationstag, Unterrichtsmaterialien) für die Integration des Wasserstoffthemas in den Unterricht. Ergänzend werden auch Workshops für den Lehrkörper angeboten, um die Einbettung anhand von praxis-orientierten Toolkits zu unterstützen. Sinnvoll erscheinen zudem Fortbildungen für Lehrer\*innen anzubieten, denn laut Wald et al. ist die Transformation von naturwissenschaftlichem Unterricht auf spätere Berufsbilder nicht immer klar (Wald, Grigorjan, und Uhlmann 2022). Schüler\*innen können zudem durch direkte Angebote, zum Beispiel über Workshops im Rahmen einer Kinder-Uni oder durch externe Laborkurse an die Thematik herangeführt werden. Hierbei nehmen insbesondere auch außerschulische Lernorte, wie MINT-Initiativen, Fab-Labs, Maker Spaces oder technische Museen eine wichtige Rolle ein.

Zuletzt sollte auch im Bereich **Forschung und Entwicklung** für Nachwuchs und Weiterbildung gesorgt werden, schließlich sollten die derzeit verfügbaren Technologien konstant weiterentwickelt werden. Dazu benötigt es ausreichend Kompetenzen und Fachkräfte.

Letztendlich sind **Markthochlauf und Wissensmanagement eng miteinander verknüpft**. Je schneller der Markthochlauf, desto eher werden Kompetenzen benötigt und je mehr Kompetenzen vorhanden, desto schneller kann der Markthochlauf auch umgesetzt werden. Dies ist vor allem im Bereich des Handwerks deutlich ersichtlich, denn bereits heute wird mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien mit einem deutlichen Fachkräftemangel gerechnet.

Der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft bietet die Chance, parallel zu den sich herausbildenden technischen und regulativen Standards auch einheitliche Bildungsstandards zu entwickeln (Krichewsky-Wegener, Abel, und Bovenschulte 2020). Auf diese Weise ist es möglich, bei diesem mit zahlreichen Chancen aber auch Gefährdungspotenzialen verbundenen Thema einen sicheren Umgang und Betrieb zu gewährleisten. Ausgehend von zahlreichen sektoralen und zum Teil jahrzehntelangen Erfahrungen (etwa in der chemischen Industrie) bietet es sich an, ein universelles Sicherheits-Curriculum „Wasserstoff“ zu entwickeln und auch international zu verankern (Skiba 2020). Diese Maßnahmen sind auf die Gesteuerung, Speicherung, den Transport und die Nutzung von Wasserstoff inkl. aller Optionen von Power-to-X-Energien anwendbar. Grundsätzlich ist zu empfehlen, dass Aus- und Weiterbildung über Systemgrenzen (Wasser, Strom, Gas, Mobilität, Kommunikation) hinausgehen. Die Komplexität des Klimawandels betrifft unsere Energieflüsse auf allen Ebenen. Fundierte Kenntnisse in den jeweiligen Fachgebieten sind dringend im Zusammenwirken mit anderen Gebieten zu verstehen. (DIHK 2022)

## Quellenverzeichnis

- BIBB, Bundesinstitut für Berufsbildung. 2022. „Wasserstoff – ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“. [https://www.bibb.de/dokumente/pdf/factsheet\\_bibb-projekt\\_H2PRO\\_wasserstoff-zukunft-berufliche-bildung\\_energiewende.pdf](https://www.bibb.de/dokumente/pdf/factsheet_bibb-projekt_H2PRO_wasserstoff-zukunft-berufliche-bildung_energiewende.pdf).
- Bundesamt für Justiz. 2019. *Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)*. <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/index.html#BJNR251310019BJNE001801116>.
- DIHK, Deutscher Industrie- und Handelskammertag e.V. 2022. „Qualifikationsrahmen für den Erwerb und die Sicherung technischer Handlungskompetenz bei Fach- und Führungskräften (QRT)“.
- France Hydrogène. 2021. „Compétences-métiers de la filière Hydrogène. Anticiper pour réussir le déploiement d'une industrie stratégique“. [https://s3.production.francehydrogene.org/uploads/sites/4/2021/11/France\\_20Hydrog\\_C3\\_A8ne\\_Livre\\_20blanc\\_20Comp\\_C3\\_A9tences-m\\_C3\\_A9tiers\\_Final.pdf](https://s3.production.francehydrogene.org/uploads/sites/4/2021/11/France_20Hydrog_C3_A8ne_Livre_20blanc_20Comp_C3_A9tences-m_C3_A9tiers_Final.pdf).
- GIZ, Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit. 2022. „H2Brasil“. [https://www.giz.de/de/downloads/H2%20Brasil\\_BMZ\\_DE.pdf](https://www.giz.de/de/downloads/H2%20Brasil_BMZ_DE.pdf).
- IHK-Lüneburg, Industrie und Handelskammer Lüneburg-Wolfsburg, und Handwerkskammer Braunschweig-Lüneburg-Stade HWK BLS. 2022. „H2Skills“.
- Krichewsky-Wegener, Léna, Sebastian Abel, und Marc Bovenschulte. 2020. „Skills Development for Hydro-gen Economies – Damit aus einer Wasserstoffstrategie eine Wasserstoff(weiter)bildungsstrategie wird“. Institut für Innovation und Technik in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.
- Skiba, Richard. 2020. „Competency Standards for Emerging Hydrogen Related Activities“. Open Journal of Safety Science and Technology. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=100248>.
- Tietze, Manfred. 2022. „Austausch Handwerk - BTZ-Rohr“. September.
- Grimm, Veronika, Markus Jansen, und Michael Stops. 2021. „Neue Analyse von Online-Stellenanzeigen: Kompetenzen für die Wasserstofftechnologie sind jetzt schon gefragt“, Juni.
- Wald, Mareike, Manuela Grigorjan, und Michael Uhlmann. 2022. „Berufliche Qualifikationen in der Wasserstoffindustrie“.
- Westdeutscher Handwerkskammertag. 2022. „VALIKOM: Berufsrelevante Kompetenzen bewerten und zertifizieren“. <https://www.validierungsverfahren.de/startseite>.