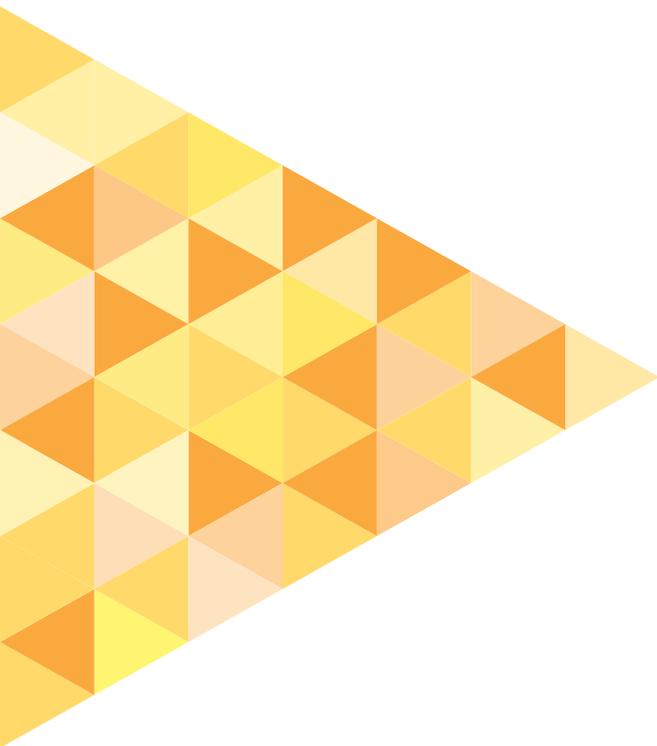


Barbara Hiller

Wasserstoff für die Wärmeversorgung - erste Bestandsaufnahme zu wasserstoffbasierten Anwendungsfeldern und Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung

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



BIBB Discussion Paper

Zitiervorschlag:

Hiller, Barbara: Wasserstoff für die Wärmeversorgung: erste Bestandsaufnahme zu wasserstoffbasierten Anwendungsfeldern und Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung. Eine Sektoranalyse im Rahmen des Projekts „H2PRO: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“. Version 1.0 Bonn, 2023. Online: https://res.bibb.de/vet-repository_781324.



© Bundesinstitut für Berufsbildung, 2023

Version 1.0
Mai 2023

Herausgeber

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

CC Lizenz

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

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

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

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Diese Netzpublikation wurde bei der Deutschen

Nationalbibliothek angemeldet und archiviert:

urn:nbn:de:0035-vetrepository-781324-7

Wasserstoff für die Wärmeversorgung - erste Bestandsaufnahme zu wasserstoffbasierten Anwendungsfeldern und Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung

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

Barbara Hiller*

Abstract:

Mit den Instrumenten der Sektoranalyse nach Georg Spöttl (2005) identifiziert diese Arbeit Berufe im Gebäudesektor, bei denen durch den zunehmenden Einsatz von Wasserstoff in der deutschen Wirtschaft Qualifizierungsbedarf entstehen kann. Aufgabenfeldern und Einsatzorte von wasserstoffbasierten Anwendungen geben dabei Anhaltspunkte für möglichen Qualifizierungsbedarf. Die Erkenntnisse sind erste Annahmen, die den Rahmen für weiterführende Untersuchungen stecken. Die Notwendigkeit von Grundlagenschulungen zum Umgang mit Wasserstoff für Fachkräfte im Gebäudesektor scheint allgemein anerkannt. Rechtlich verbindliche Regelungen, zum Beispiel für die Herstellung von Erdgasgeräten werden um Wasserstoff ergänzt und dienen als Arbeitsanleitungen. Ein zusätzlicher "Wasserstoffberuf" scheint dagegen nicht erforderlich. Unsicherheit gibt es in Bezug auf den konkreten Schulungsbedarf für die Umstellung der Gasnetze auf reinen Wasserstoff. Für dezentrale Anlagen der Wärmeversorgung, die mehrere Technologien und Energieträger kombinieren, sind elektrotechnische Kenntnisse unabdingbar. Weitere Untersuchungen im Rahmen des Projekt H2PRO betreffen auch die Frage nach der Kooperation von mehreren Gewerken untereinander und zwischen Handwerk und Industrie, in Hinblick auf das Arbeiten mit komplexen Heizsystemen.

Abkürzungsverzeichnis

BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BHKW	Blockheizkraftwerk
BIBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
BZH	Brennstoffzellenheizung
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V.
EE	Erneuerbare Energien
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EFKffT	Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten
GDRM	Gas Druckregel- und Messanlagen
GFKffT	Gasfachkraft für festgelegte Tätigkeiten
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
H ₂	Wasserstoff
HWO	Handwerksrecht
KIdB	Klassifikation der Berufe
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
NDAV	Niederdruckanschlussverordnung
THG	Treibhausgasemissionen
TRBS	Technische Regeln für Betriebssicherheit
TRGI	Technische Regeln für Gasinstallation
SHK	Sanitär-, Heizung- und Klimatechnik
UBA	Umweltbundesamt
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
VIU	Vertragsinstallationsunternehmen
ZDH	Zentralverband des Deutschen Handwerks
ZVSHK	Zentralverband Sanitär Heizung Klima

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsfelder (Sektoren) des Projekts H2PRO.....	8
Abbildung 2: Forschungsfragen Projekt H2PRO	9
Abbildung 3: Endenergieverbrauch in Deutschland	14
Abbildung 4: Wärmeverbrauch nach Sektoren und Anwendungsbereichen	16
Abbildung 5: Energiequellen für eine Wärmeversorgung ohne fossile Brennstoffe nach Quaschnig (2016) .	19
Abbildung 6: Wasserstoffbasierte Technologien und mögliche Aufgabenfelder	21
Abbildung 7: Schematische Darstellung Gasverteilnetz und Einsatzorte für Fachkräfte	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorgespräche im Rahmen dieser Sektoranalyse.....	10
Tabelle 2: Anteil von Nutzern am Wärmeverbrauch (verschiedene Quellen) und Treibhausgasemissionen ...	16
Tabelle 3: Gewerke (Handwerkszweige), die an der Energiewende im Gebäudesektor beteiligt sind.....	17
Tabelle 4: Beispiele für Pilotprojekte zur Wasserstoff-Beimischung	24
Tabelle 5: Beispiele für kombinierte Anlagen (EE-Stromerzeugung plus Wasserstoff-Speicher)	28
Tabelle 6: Einsatzorte/Aufgaben für Fachkräfte in Bezug auf Wasserstoff-Anwendungen (vorläufige Erkenntnisse)	33

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
Abkürzungsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1. Das Wichtigste in Kürze / Executive Summary	6
2. Hintergrund, Methoden und Ziele dieser Sektoranalyse	8
3. Gesellschaftliche, wirtschaftliche und technische Einordnung der Wasserstoffnutzung	11
4. Wärmeversorgung: Energieverbrauch, Produkte und gesetzliche Bestimmungen	14
5. Die Rolle von Wasserstoff für die Wärmeversorgung	18
6. Wasserstoffbasierte Anwendungsfelder im Gebäudesektor und Aufgaben für Fachkräfte	20
6.1. Zentrale Anwendungen mit wasserstofftauglichen Leitungen und Anlagen	22
6.2. Dezentrale Lösung: Stromerzeugung mit wasserstoffbasiertem Langzeitspeicher	27
7. Regelungen zu Gasinstallation und Sicherheitsanforderungen	29
8. Erkenntnisse: „Wasserstoff-Qualifizierung“ für Fachkräfte im Gebäudesektor	31
Literaturverzeichnis	35
Anhang	42

1. Das Wichtigste in Kürze / Executive Summary

Die vorliegende Arbeit liefert nach der Methode ‚Sektoranalyse‘ von Georg Spöttl (2005) erste Erkenntnisse zum Weiterqualifizierungsbedarf von Fachkräften im Gebäudesektor, der durch den verstärkten Einsatz von Wasserstoff in der deutschen Wirtschaft entstehen kann. Dabei kommen die Instrumente Literaturrecherche, Gesprächen mit Fachleuten (unsystematisch) und Workshop-Diskussion Anwendung. Die Arbeit ist Teil des Projekts H2PRO: „Wasserstoff – ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“ am Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB). Zunächst fass sie zusammen, welche Rolle Wasserstoff für die Reduzierung des CO₂-Ausstoßes in der Wärmeversorgung einnehmen kann und beschreibt drei Anwendungsbeispiele näher. Dabei wird zwischen einer zentralen Lösung (Umrüstung der Gasnetze für Wasserstoff-Beimischung bzw. Verteilung in Reinform) und dezentralen, wasserstoffbasierten Technologien für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser in Gebäuden unterschieden (Brennstoffzellenheizung und kombinierte Anlage). Aufgabenfelder und Einsatzorte dieser Anwendungsbeispiele geben Hinweise auf neue Anforderungen und möglichen Qualifikationsbedarf. Die Erkenntnisse sind erste Annahmen, die den Rahmen für weiterführende Untersuchungen stecken.

Zunächst scheint die Notwendigkeit von Grundlagenschulungen zu Wasserstoff für Fachkräfte im Gebäudesektor allgemein anerkannt. Qualifizierungsbedarf wird zum Teil durch Anleitungen, die aus rechtlich verbindlichen Regelungen entstehen, aufgefangen. Ein zusätzlicher "Wasserstoffberuf" scheint dagegen nicht erforderlich. Wenig explizite Information gibt es zu den konkreten Lerninhalten: was genau ist „Wasserstoffwissen“? Und wie groß ist die Diskrepanz zwischen vorhandenen und erforderlichen Kenntnissen tatsächlich? Dies zu präzisieren und den Inhalten Ausbildungsordnungen gegenüberzustellen ist Ziel der weiteren Untersuchung.

Unsicherheit scheint auch in Bezug auf Schulungsbedarf für die Umrüstung der Gasnetze auf reinen Wasserstoff zu bestehen. Für dezentrale Anlagen der Wärmeversorgung, die mehrere Energieträger kombinieren, sind elektrotechnische Kenntnisse unabdingbar. In diesem Bereich ist auch die mögliche Änderung von Schnittstellen zwischen Gewerken einerseits sowie zwischen Handwerk und Industrie relevant und neue Kooperationsformen, die daraus resultieren können.

Executive summary

Applying the instruments of a sector analysis after Georg Spöttl (2005), this study provides preliminary findings about qualification needs for skilled workers within the building and heating sector that may arise from increased use of hydrogen in the German economy. The instruments used are literature research, non-systematic interviews with experts and a workshop discussion. The study part of the project H2PRO: "Hydrogen - a future topic of vocational training in the context of the energy transition" at the Federal Institute for Vocational Education and Training (German: Bundesinstitut für Berufsbildung, BIBB). The study summarizes the role hydrogen can play in reducing CO₂ emissions for heat supply and describes three technical applications in more detail. A distinction is made between a centralized solution (conversion of gas networks for hydrogen admixture or hydrogen distribution in pure form) and decentralized, hydrogen-based technologies for the production of heat and hot water in buildings (fuel cell heating as well as a system, combining renewable energies with hydrogen based storage). Skilled workers' activities and the locations where these activities take place can indicate new requirements and qualification needs that may result from this. The findings are preliminary assumptions that set the ground for further investigations.

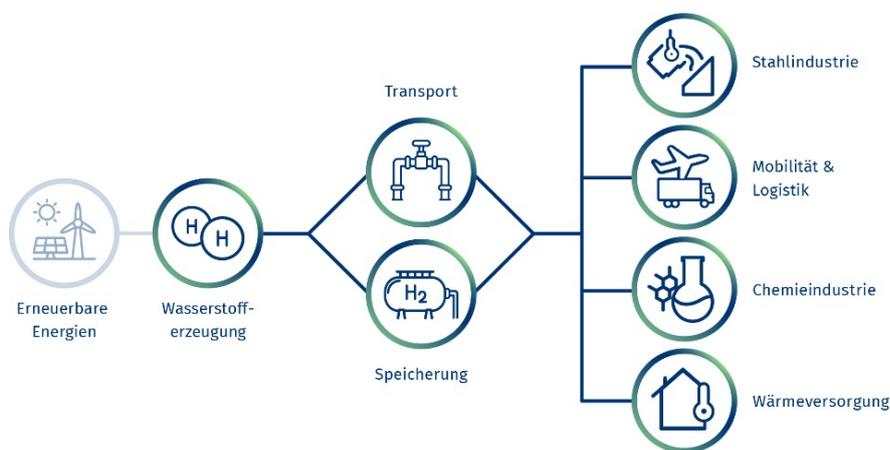
First of all, the need for basic training on hydrogen in the form of "awareness building" for skilled workers seems to be generally accepted. Qualification needs are also partly absorbed by guidance arising from legally binding regulations. In contrast, an additional "hydrogen profession" does not seem to be necessary. Little explicit information is available with regard to the specific learning content: what exactly is "hydrogen knowledge"? And how big is the discrepancy between existing and required knowledge in the different fields of operation? The aim of further research is to respond to these questions more precisely and to compare the findings with the content of existing training regulations.

Uncertainty also seems to exist with regard to training needs for the conversion of gas networks to pure hydrogen. Electrical knowledge is essential for decentralized hydrogen based heat supply systems that combine several energy sources. In this field the possible change of cooperation between different trades on the one hand and crafts and industry on the other hand and new models of cooperation that result from this, are relevant.

2. Hintergrund, Methoden und Ziele dieser Sektoranalyse

Diese Sektoranalyse ist Teil des Projekts H2PRO: „Wasserstoff – ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“ am Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB). H2PRO untersucht den Bedarf an Aus- und Weiterbildungen durch die Anwendung von Wasserstoff in fünf verschiedenen Sektoren der deutschen Wirtschaft (Abbildung 1): Wasserstofferzeugung steht am Beginn der Wertschöpfungskette, gefolgt von den vier Anwendungsfeldern Chemieindustrie, Stahlindustrie, Mobilität und Wärmeversorgung. Die Komponenten Transport und Speicherung werden sektorspezifisch betrachtet.

Abbildung 1: Untersuchungsfelder (Sektoren) des Projekts H2PRO



Die vorliegende Arbeit widmet sich dem Sektor Wärmeversorgung und erkundet Anwendungsfelder für Wasserstoff und Auswirkungen auf die Anforderungen an Fachkräfte mittels Literaturrecherche, Vorgesprächen und einer Workshop-Diskussion. Der Begriff Sektor folgt dabei nicht einer volkswirtschaftlichen oder makroökonomischen Definition, vielmehr geht es nach Georg Spöttl darum, „eine Basis für Forschungsfelder zu charakterisieren, die sich mit erträglichem Aufwand und klarer Einordnung in die Berufsfeldlandschaft erschließen lassen“ (2005). Ziel dieser Arbeit ist es festzustellen, wo Veränderungen bei den Inhalten von Aufgaben der Fachkräfte innerhalb des Sektors stattfindet. Die Erkenntnisse bilden die inhaltliche Grundlage für weitere Untersuchungen und präzisieren außerdem, welche Forschungsinstrumente dafür geeignet sind (Spöttl 2005; Spöttl und Windelband 2006).

Ausgangspunkt ist die politische Zielsetzung der Bundesregierung, Wasserstoff verstärkt einzusetzen, um fossile Energieträger abzulösen und Klimaneutralität zu erreichen. Die Umstellung auf erneuerbare Energien (EE) ist in den nationalen Klimaschutzzielen beschrieben (Bundesregierung 2021), die sich

wiederrum auf internationale Abkommen stützen. Ohne die Nutzung von Wasserstoff ist der vollständige Ersatz von fossilem Erdgas, Erdöl und Kohle – und damit Klimaneutralität nicht möglich (dena 2018). Im Unterschied zu fossilen Energieträgern verbrennt Wasserstoff ohne CO₂-Emissionen. Er gilt deshalb als ‚game changer‘ für die Energiewende (Gerbert et al. 2018). Mit der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) setzt die Bundesregierung dafür den Handlungsrahmen (BMW 2020 und BMWK 2022).

Wasserstoff hat großes Potenzial, die saisonal schwankende Produktion von Wind- und Solarenergie durch flexible Speichermöglichkeiten auszugleichen: Wasserstoffelektrolyseure erzeugen Wasserstoff aus Wasser mit Hilfe von Strom aus EE, wenn dieser verfügbar ist. Wasserstoff kann vergleichsweise gut gespeichert sowie transportiert werden und bietet sich als Energieträger und -speicher an. Die Rückverstromung erlaubt es, Strom zu produzieren, wenn weder Sonne noch Wind verfügbar sind (Zinke 2022). Rückverstromung geschieht zum Beispiel mittels Wasserstoffturbinen, kann aber auch über kleine dezentrale Anlagen in einzelnen Gebäuden erfolgen – davon wird in dieser Sektoranalyse zur Wärmeversorgung noch die Rede sein.

Die Forschungsliteratur betrachtet das Thema Wasserstoff bislang vor allem unter technologischen und ökonomischen Aspekten. Die Frage nach Qualifizierung von Fachkräften bleibt meist unberührt. In der Praxis bieten Hochschulen Studiengänge zum Thema Wasserstoff an, aber in der beruflichen Aus- und Weiterbildung zeichnet sich noch kein klares Bild ab (Bovenschulte 2021). Damit die Transformation der Energiewirtschaft gelingt, werden Fachkräfte auf allen Ebenen gebraucht (Steeg et al 2022). Das Projekt H2PRO nimmt hier den qualitativen Aspekt in den Blick und untersucht, welche Qualifikationsanforderungen an Fachkräfte durch den Einsatz von Wasserstoff entstehen. Die Untersuchungsfragen des Projekt H2PRO sind in Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 2: Forschungsfragen Projekt H2PRO

H2PRO-Untersuchungsfragen

1. Welche Ausbildungsberufe und Weiterbildungsstrategien sind auf der mittleren Fachkräfteebene für die Umsetzung der Wasserstoffstrategien von besonderer Bedeutung?
2. Welche Qualifikationsbedarfe werden voraussichtlich entstehen?
3. Sind die notwendigen Qualifizierungsinhalte bereits in ausreichendem Maße in den Ordnungsmitteln verankert?
4. Welche Empfehlungen für ordnungspolitische und praxisunterstützende Maßnahmen werden auf Grundlage der identifizierten Qualifizierungsbedarfe abgeleitet?

Die vorliegende Arbeit betrachtet möglichen Qualifikationsbedarf auf der mittleren Fachkräfteebene in Bezug auf Wasserstoff in der Wärmeversorgung. Nach einem kurzen Einblick in die Bedeutung der Wärmeversorgung für den Energieverbrauch in Deutschland (Abschnitt 4), geht Abschnitt 5 auf die Rolle von Wasserstoff für die Wärmeversorgung ein. Abschnitt 6 beschreibt verschiedene Anwendungsfelder auf Basis von Wasserstoff genauer, um dadurch auf mögliche Veränderungen von Aufgaben und Tätigkeiten von Fachkräften zu schließen. Veränderungen von Aufgaben und Tätigkeiten geben erste Hinweise zum Bedarf an Schulungen und Weiterbildung. Abschnitt 7 geht auf rechtliche Regelungen zum Umgang mit Wasserstoff im Wärmesektor ein. Abschnitt 8 fasst die Erkenntnisse zusammen.

Im Rahmen dieser Arbeit fanden 14 Vorgespräche statt. Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartner sind Personen mit Nähe zur betrieblichen Praxis, zur beruflichen Weiterbildung und mit Erfahrung im Kontext von wasserstoffbasierten Technologien, beispielsweise im Rahmen von Pilotprojekten (Tabelle 1). Die Aussagen der Vorgespräche sind im Anhang zusammengefasst.

Die Auswahl der Gesprächspartner und Gesprächspartnerinnen erfolgte nicht systematisch, vielmehr kamen die Kontakte auf informellem Weg zustande: durch Recherchen im Internet, durch bestehende Verbindungen mit dem Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) oder durch Empfehlung anderer Gesprächspartner/innen. Die Gespräche wurden per Telefon oder Videokonferenz oder in Präsenz geführt und dauerten jeweils zwischen 5 und 20 Minuten.

Tabelle 1: Vorgespräche im Rahmen dieser Sektoranalyse

Art der Einrichtung/Unternehmen	Personen (Anzahl)	Funktion Gesprächspartner/in
Industrie- und Berufsverbände	4	Hauptgeschäftsführer/in, Arbeitsbereichsleiter/in, Projektleiter/in (Leitende Position); Referent/in
Handwerk (SHK)	2	Inhaber/in (Geschäftsführer/in)
Industrie (Anlagenbauer, Hersteller, Mess- und Regeltechnik, Pipelinebauer)	3	Head of Technical Innovation Management; CTO Forschung und Entwicklung; Mitarbeiter/in Vertrieb
Energieversorger und Netzbetreiber	3	Hauptabteilungsleiter/in Netzdienste
Einrichtungen der Aus- und Weiterbildung	2	Bereichsleiter/in, Projektleiter/in; Betriebsleiter/in; Projektleiter/in
Gesamt	14	

Zusätzlich diente der Workshop „Wasserstoff für die Wärmeversorgung“ im Rahmen der H2PRO-Fachtagung „Wasserstoff – wer kann’s?“ vom 7. Februar 2023 dazu, erste Annahmen zum

Qualifikationsbedarf zur Diskussion zu stellen. Die Mehrzahl der 13 Teilnehmer und Teilnehmerinnen sind Fachexperten in verschiedenen Bereichen der Wärmeversorgung.

3. Gesellschaftliche, wirtschaftliche und technische Einordnung der Wasserstoffnutzung

Der folgende Abschnitt ist ein Auszug aus der H2PRO-Sektoranalyse zur Wasserstoffherzeugung von Gert Zinke (2022):

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

Energieträger

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

Großes Potenzial wird dabei in Wasserstoff als Energieträger gesehen. Dieser kann mittels Elektrolyse unter Einsatz von Strom aus Wasser hergestellt werden. Wasserstoffelektrolyseure können Wasserstoff dann erzeugen, wenn erneuerbarer Strom verfügbar ist. Da Wasserstoff vergleichsweise gut gespeichert sowie transportiert werden kann, bietet sich Wasserstoff als Energieträger und -speicher an. Die Rückverstromung mittels Wasserstoffturbinen erlaubt darüber hinaus Strom zu produzieren, wenn weder Sonne noch Wind verfügbar sind.

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

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

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

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

Bei der „Erzeugung“ von Wasserstoff durch Elektrolyse wird Wasser prinzipiell durch elektrischen Strom über Anode und Katode zu Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Wasserstoff nimmt dabei Energie auf. Beim „Verbrauch“ von Wasserstoff – und das ist wieder ein Vorteil – entstehen keine direkten, lokalen CO_2 -Emissionen, sondern nur Wasser(dampf). Die Energie wird freigesetzt.

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

Reduktionsmittel

Bei der Stahlerzeugung kann Wasserstoff anstelle von Kohlenstoff (Koks) als klimaneutrales Reduktionsmittel eingesetzt werden. Hier besteht noch einmal zusätzliches Potential für die CO_2 -Einsparung und die Dekarbonisierung. Eisenerz (z.B. Fe_2O_3) wird in Eisen und Sauerstoff zerlegt. Der zugeführte Wasserstoff bindet den Sauerstoff. Es entsteht Wasser. Dafür sollen künftig Direktreduktionsanlagen errichtet werden, die die bisher verwendeten Hochöfen ersetzen. Bisher sind nur prototypische Anwendungen im Einsatz.

Industrierohstoff

Wasserstoff ist als Industrierohstoff insbesondere in der chemischen Industrie von Bedeutung. Der größte Anteil entfällt auf die Ammoniaksynthese und hier als Ausgangsstoff für die Düngemittelherstellung. Zunehmend gilt Wasserstoff auch als Ausgangsstoff zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen (Power to x). Allerdings ist hier der Wirkungsgrad bisher zu gering, um eine breite Nutzung voranzutreiben. Außerdem wird Wasserstoff in großem Umfang in Raffinerien eingesetzt – bisher „grau“, also aus fossilen Energieträgern gewonnen. Bei der Ammoniaksynthese wird aus Wasserstoff und Stickstoff Ammoniak (NH₃) gewonnen.

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

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

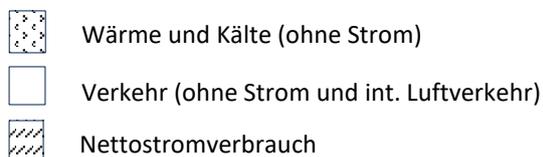
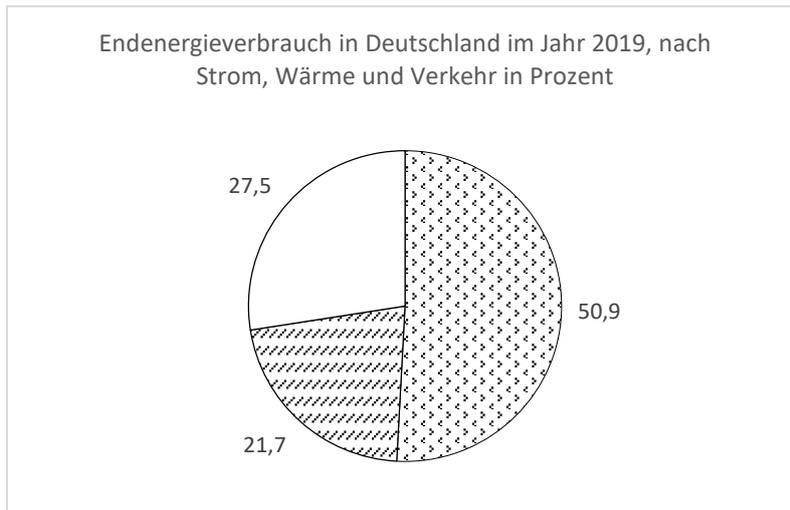
Im Umgang mit Wasserstoff ist auch für die Fachkräfte wichtig, dass die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Wasserstoffs bei entsprechenden sicherheitstechnischen Maßnahmen kein höheres Gefahrenpotential als andere Energieträger verursachen. Ein spezielles Risiko besteht allerdings in der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

4. Wärmeversorgung: Energieverbrauch, Produkte und gesetzliche Bestimmungen

Wärmeversorgung schließt Wärme- und Kälteversorgung mit ein (Statistisches Bundesamt, 2008) und verbraucht über 50 Prozent der Endenergie in Deutschland (Abb. 3).

Abbildung 3: Endenergieverbrauch in Deutschland

Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien, basierend auf AGEB, AG Energiebilanzen (2020).



Mit dem hohen Verbrauch trägt der Wärmesektor erheblich zur Emission von Treibhausgasen bei (Gatzen und Lenz 2021). Anders gewendet bietet er enorme Energie-Einsparpotenziale und Möglichkeiten, den CO₂-Ausstoß zu reduzieren. Das nationale Klimaschutzgesetz und das Gebäudeenergiegesetz formulieren dazu Anforderungen für den Gebäudesektor:

- Das Klimaschutzgesetz enthält die Verpflichtung zu einem klimaneutralen Gebäudebestand bis zum Jahr 2045. Die ursprüngliche Zielvorgabe stammt aus dem Jahr 2010 und zielte auf das Jahr 2050 (Bundesregierung 2021). Die Definition von ‚klimaneutral‘ ist dabei im Eckpunktepapier Energieeffizienz wie folgt definiert: „Bis 2050 wollen wir einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand realisieren. Klimaneutral heißt, dass die Gebäude nur noch einen sehr geringen Energiebedarf aufweisen und der verbleibende Energiebedarf (Minderung des Primärenergiebedarfs um 80 % bis 2050) zum überwiegenden Teil durch erneuerbare

Energien gedeckt wird“ (BMW i 2011). Im Jahr 2021 wurde dieses Ziel auf das Jahr 2045 angehoben.

- Das Gebäudeenergiegesetz, GEG (ausführlich: „Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze“) vom August 2022 formuliert Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden, die Erstellung und die Verwendung von Energieausweisen sowie an den Einsatz erneuerbarer Energien in Gebäuden (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen 2023). Seit Juli 2022 enthält das GEG die Vorgabe, dass ab 1. Januar 2024 möglichst jede neu eingebaute Heizung zu 65 Prozent mit erneuerbaren Energien zu betreiben ist.

Förderzuschüsse regelt seit 2021 die Bundesförderung für effiziente Gebäude – kurz BEG. Sie fasst frühere Programme zur Förderung von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien im Gebäudebereich zusammen und unterstützt unter anderem den Einsatz neuer Heizungsanlagen, die Optimierung bestehender Heizungsanlagen, Maßnahmen an der Gebäudehülle und den Einsatz optimierter Anlagentechnik.

Die „Ökodesign-Richtlinie“ der Europäischen Kommission ist eine Rahmenrichtlinie und schafft Rechtsgrundlage für Produktverordnungen von Geräten, die Energie verbrauchen. Sie trat zum ersten Mal im Jahr 2009 mit der Richtlinie 2009/125/EG in Kraft und wird seitdem im Rahmen eines Arbeitsprogramms um die relevanten Produktgruppen alle drei Jahre aktualisiert (Umweltbundesamt 2023). In Deutschland regelt das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG) die nationale Durchführung der Öko-Design-Richtlinie. Für den Gebäudesektor ist relevant, dass auch Hersteller von Geräten und Anlagen für Raumwärme und Warmwasserbereitung der Pflicht unterliegen, diese energieeffizient und ressourcenschonend zu gestalten und ihre spezifische Energieeffizienz zu kennzeichnen.

In Deutschland und EU-weit sind private Haushalte mit 43% die größten Verbraucher von Wärme, gefolgt von der Industrie mit 40 % und der dritten Nutzergruppe, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen mit 17 % (Tabelle 2).

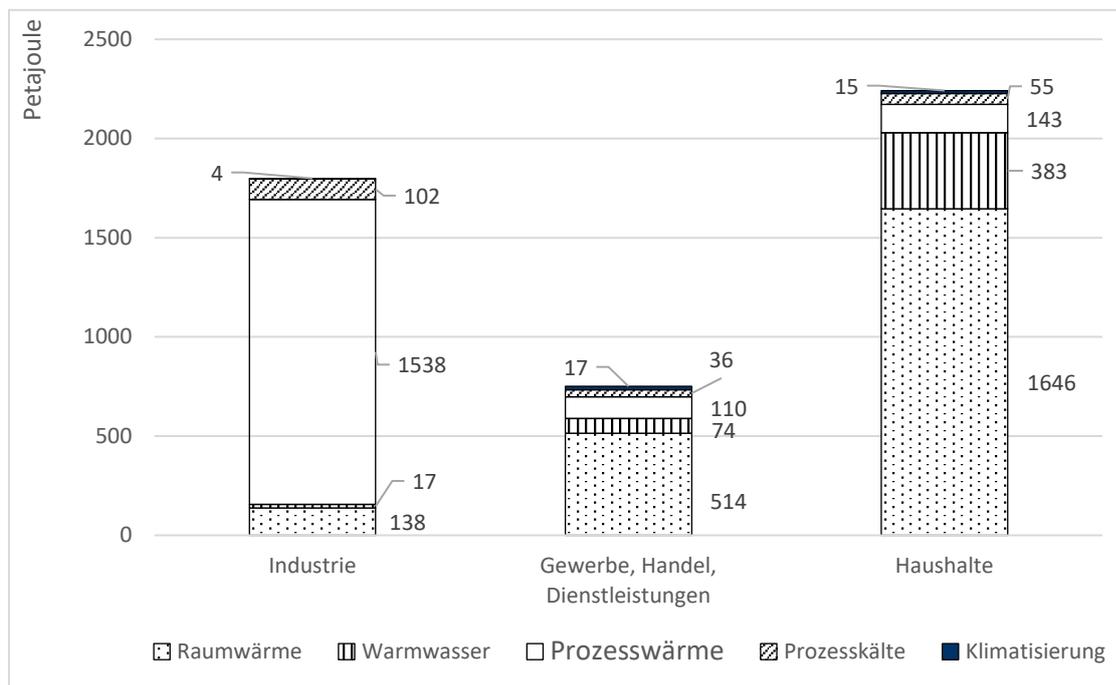
Tabelle 2: Anteil von Nutzern am Wärmeverbrauch (verschiedene Quellen) und Treibhausgasemissionen

	Anteil am Gesamt-Wärmeverbrauch in Deutschland	Anteil am Gesamt-Wärmeverbrauch in Deutschland	Anteil an Entstehung von Treibhausgasemissionen durch Wärmenutzung
Haushalte	43 %	45 %	11 %
Industrie	40 %	36 %	16 %
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)	17 %	18 %	5 %
Quellen	Lenz et al. (2020)	EASME, INEA und DG Energy (2016)	Quaschnig, 2016

Raumwärme (49 %) und Prozesswärme bzw. -kälte (42 %) sind die mengenmäßig größten Produkte für die Wärmeversorgung, gefolgt von Warmwasser (9 %) und Klimakälte (Lenz et al., 2017), (Abbildung 4).

Abbildung 4: Wärmeverbrauch nach Sektoren und Anwendungsbereichen

Quelle: Umweltbundesamt 2022, nach Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Anwendungsbilanzen, Stand 02/2022.



Prozesswärme dient zur Herstellung und Weiterverarbeitung in zahlreichen Produktionsverfahren, die Beispiele reichen vom Backen bis zur Stahlproduktion und nehmen einen erheblichen Teil des gesamten Energiebedarfs der Industrie ein (66 %) (dena 2018, S.33). Ein Großteil der Prozesswärme wird auf einem Temperaturniveau von über 500 Grad benötigt. Der Einsatz von Wasserstoff hat in diesen Feldern Priorität, zum Beispiel gilt sein Einsatz in der Stahlproduktion als unabdingbar für die Dekarbonisierung (Clausen et al. 2022).

Der Qualifikationsbedarf für Fachkräfte in Arbeitsfeldern rund um Prozesswärme wird im Projekt H2PRO in den Sektoranalysen zu Chemieindustrie und Stahlindustrie besprochen. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf Aufgaben und Tätigkeiten für Wasserstoff-Anwendungen von Fachkräften im Gebäudesektor tätig sind. (Aufgrund seines geringen Anteils am Endenergieverbrauch werden auch Fachkräfte des Bereichs der Kälteversorgung in dieser Arbeit vernachlässigt). Der Begriff Gebäudesektor steht in der Literatur oft als Bezeichnung für den Wärmesektor insgesamt. Auch in dieser Arbeit stehen die Begriffe Gebäudewärme, Gebäudesektor, Wärmesektor, Wärmeversorgung gleichbedeutend und nebeneinander. Tabelle 3 zeigt eine Liste der 18 Gewerke, die laut einer Studie des Leibniz Informationszentrums Wirtschaft an der Herstellung eines energieeffizienten Gebäudebestands beteiligt sind (Runst und Ohlendorf 2011).

Tabelle 3: Gewerke (Handwerkszweige), die an der Energiewende im Gebäudesektor beteiligt sind
Nach Runst und Ohlendorf (2011); Zahlen für das Jahr 2020 aus Handwerkszählung des ZDH

Handwerkszweige	Jahr 2011		Jahr 2020	
	Zahl der Unternehmen	Tätige Personen	Zahl der Unternehmen	Tätige Personen
Installateure/Installateurinnen und Heizungsbauer/innen	48.631	307.704	42.606	347.150
Kälteanlagenbauer/innen	2.585	29.038	2.404	39.157
Klempner/innen	4.21	26.021	3.417	22.859
Schornsteinfeger/innen	8.993	22.133	7.540	21.432
Ofen- und Luftheizungsbauer/innen	2.399	8.425	1.838	7.692
Glaser/innen	3.878	25.888		
Rolläden und Sonnenschutztechniker/innen	3.184	15.719		
Tischler/innen	38.854	210.539		
Zimmerer/Zimmerinnen	15.816	86.085		
Fliesen-, Platten und Mosaikleger/innen	39.434	88.461		
Parkettleger/innen	4.997	13.942		
Gerüstbauer/innen	3.486	25.222		
Stuckateure/Stuckateurinnen	5.325	29.366		
Maurer/Maurerin und Betonbauer/innen	39.595	346.818		
Maler/innen und Lackierer/innen	41.275	208.967		
Dachdecker/innen	15.438	98.184		
Wärme-, Kälte- und Schallschutzisolierer/innen	1.686	14.009		
Elektrotechniker/innen	55.399	417.275	43.584	477.174
Elektromaschinenbauer/innen	1.135	16.250	854	15.058
Summe	336.324	1.336.324		
Anteil Deutschland insgesamt	9,2%	4,7%		

Umrahmt sind die Gewerke, die in erster Linie mit Herstellung, Installation, Überwachung und Wartung von Wärmeerzeugern (Heizungsanlagen, Wärmepumpen und weitere technische Anlagen) zu tun haben. Sie stehen im Mittelpunkt der Frage nach Anpassung des Qualifikationsbedarfs. Seit 2011 haben sich die Zahlen zu Beschäftigten und Unternehmen verändert: die Zahlen aus dem Jahr 2020 sind für die relevanten Gewerke deshalb ebenfalls angegeben (Zentralverband des Deutschen Handwerks 2020).

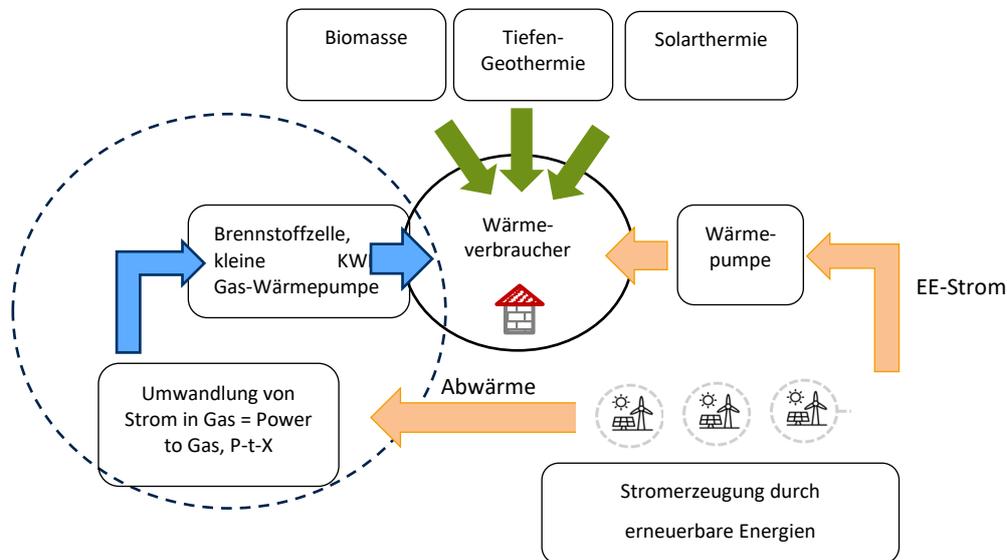
Seit Jahrzehnten ist der Anteil von Öl- und Gasheizungen rückläufig: im Jahr 2000 waren noch 93 Prozent der neuen Gebäude mit einer Öl- oder Gasheizung ausgestattet, im Jahr 2020 nur noch 43 Prozent (Bundesamt für Statistik 2020). Technologien auf Basis von erneuerbaren Energien sind Thema im SHK-Handwerk, in den Ausbildungsordnungen und in Weiterbildungen.

Der folgende Abschnitt geht auf die Rolle von Wasserstoff für den Gebäudesektor im Allgemeinen ein, bevor wasserstofftaugliche Anwendungen genauer besprochen werden.

5. Die Rolle von Wasserstoff für die Wärmeversorgung

Im Wärmesektor ist der Stellenwert der künftigen Nutzung von Wasserstoff weniger eindeutig als bei der Produktion von Stahl, in der Chemieindustrie oder für den Schwerlastverkehr, wo er mit heutigem Kenntnisstand die einzige Alternative zu fossilen Brennstoffen ist. Für Raumwärme gibt es dagegen eine Vielzahl von erneuerbaren Energiequellen: Solarthermie, Geothermie, Bioenergie und klimaneutrale Fernwärme und Wärmepumpen – sie beziehen Energie aus Luft, Boden oder Wasser (Lenz et al. 2017), (Abbildung 5). Eine wichtige Maßnahme zur CO₂-Einsparung und Energieeinsparung im Gebäudesektor ist außerdem die Isolierung der Gebäudehülle (Prognos; Öko-Institut; Wuppertal-Institut, 2021).

Abbildung 5: Energiequellen für eine Wärmeversorgung ohne fossile Brennstoffe; nach Quaschnig (2016)



Einen Überblick zu Szenarien, die den Endenergieverbrauch und die Zusammensetzung der Energieträger für den Gebäudesektor prognostizieren gibt die Meta-Studie des Umweltbundesamtes „Systemische Herausforderungen der Wärmewende“ (Engelmann et al., 2021). Einige bezeichnen Wasserstoff für den Gebäudesektor als Ergänzungslösung (Meyer, Herkel, Kost 2021), andere kommen zu dem Schluss, dass er für das Beheizen von Gebäuden überhaupt nicht eingesetzt werden wird (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2021).

Eine weitere Meta-Studie von Wietschel et al. (2021) zeigt, dass in allen Szenarien zum Gebäudesektor die Komponenten Stromanwendungen (Wärmepumpen) und Fernwärme den Großteil der Endenergiebedarfe ausmachen. Außerdem spielen je nach Szenario Biomasse und synthetische Energieträger eine unterschiedlich große – aber insgesamt geringere – Rolle. Der Anteil von Wasserstoff basierten Anwendungen bewegt sich in den Szenarien zwischen 0 und 31 Prozent (Ariadne 2022).

Wegen der heterogenen Struktur des Wärmesektors ist es schwer, allgemeine Aussagen zum Energiemix und speziell zur Rolle von Wasserstoff zu treffen. Der Nationale Wasserstoffrat (NWR) gab deshalb im Jahr 2022 bei den Fraunhofer-Instituten eine Studie in Auftrag, die die Höhe des Wasserstoff-Anteils im Gebäudesektor unter Einbeziehung von lokaler Infrastruktur prognostiziert. Diese sogenannte Bottom-up Studie basiert auf vertieften Untersuchungen in Regionen mit unterschiedlicher Struktur. Der Wasserstoffanteil am Energiemix variiert demnach in Abhängigkeit von

folgenden Faktoren: Einwohnerdichte, Gebäudestruktur, Potenziale für Umweltwärme, lokale Nachfrage nach Prozesswärme. Die Studie zeigt, dass sein Einsatz erforderlich ist, um die Klimaschutzziele im Gebäudesektor zu erreichen (Thomsen et al., 2022).

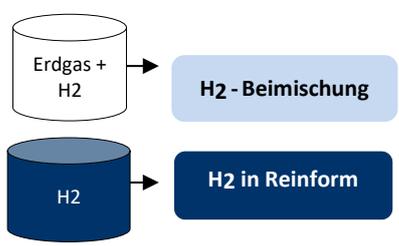
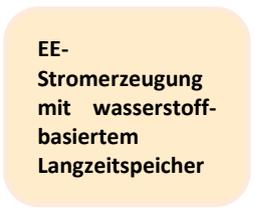
In allen Szenarien besteht Unsicherheit was die Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff für den Gebäudesektor betrifft: die geringen Produktionskapazitäten in Deutschland reichen derzeit nicht aus, um – nach den relevanten Industriesektoren – auch noch private Haushalte mit Wasserstoff zu versorgen und der anvisierte Import von Wasserstoff ist ebenfalls mit vielen Unsicherheiten behaftet. Dagegen ist der Ausbau von Luftwärmepumpen als eine zentrale Maßnahme der Dekarbonisierung für den Gebäudesektor allgemein anerkannt – vorausgesetzt der Antrieb erfolgt mit Strom aus erneuerbaren Energien (Ökoinstitut e.V. und Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE 2022). Die Luftwärmepumpentechnologie ist effizient und kostengünstig (Gerhardt et al. 2020; Fraunhofer IWES/IBP 2017) und schneidet bei einem Szenarien-Vergleich mit der Brennstoffzellenheizung (Produktion von Strom und Wärme auf Basis von Wasserstoff) ökonomisch besser ab: Baldino et al. (2020) berechnen, dass Luftwärmepumpen im Jahr 2050 für das Heizen von Einfamilienhäusern ökonomischer sind als Brennstoffzellenheizungen. Dies trifft selbst dann zu, wenn niedrige Wasserstoff-Preise angenommen werden. In Deutschland sind Wärmepumpen inzwischen der am häufigsten eingesetzte Heizungstyp in neuen Gebäuden (Statistisches Bundesamt 2023).

Es ist erwarten, dass Wasserstoff im Gebäudesektor dort zum Einsatz kommt, wo die Wirkung der Wärmepumpentechnologie an ihre Grenzen stößt, zum Beispiel in Gebäuden, die nur bedingt sanierbar sind, typischerweise in historischen Altstädten und bei Denkmalschutz (ifeu, Fraunhofer IEE und Consentec 2018). Welche Möglichkeiten es zur Umsetzung gibt, bespricht der nächste Abschnitt.

6. Wasserstoffbasierte Anwendungsfelder im Gebäudesektor und Aufgaben für Fachkräfte

Dieser Abschnitt geht auf konkrete Anwendungsfelder für Wasserstoff im Gebäudesektor ein: Welche technischen Voraussetzungen stehen dahinter, welche Anlagen sind erforderlich und welche Einsatzorte und Aufgabenfelder ergeben sich daraus (Abbildung 6). Zentrale Anwendungen führen Wasserstoff über Leitungen von außen heran, dezentrale Anwendungen produzieren Wasserstoff direkt im Gebäude. Bei dezentralen Systemen ist die Zahl der Anlagen, die überwacht und gewartet werden müssen, größer und die Aufgaben für Fachkräfte sind daher vielfältiger.

Abbildung 6: Wasserstoffbasierte Technologien und mögliche Aufgabenfelder

zentral/ dezentral	Wasserstoff-Anwendung	Anlagen	Einsatzorte/ Aufgaben von Fachkräften
zentral		<ul style="list-style-type: none"> - Leitungen Niederdrucknetz mit Komponenten - GDRM-Anlagen - Endgeräte in Haushalten (Wärmeerzeuger) 	<ul style="list-style-type: none"> - H2-Übergabestationen - Niederdruckverteilnetz überwachen ab Hauptsperreinrichtung am Gebäude: Verrohrung im Gebäude, Endgeräte prüfen, überwachen, reparieren - Hausanschluss für H2-taugliche Endgeräte legen. - Herstellung von H2-tauglichen Endgeräten
zentral		Brennstoffzellenheizung: weitere Komponenten: <ul style="list-style-type: none"> - Wärmeabnahme (Heizkessel) - Wärmespeicher - u.a. 	<ul style="list-style-type: none"> - Strom- und Wärmebedarf berechnen - Abstimmung zwischen Komponenten (zusätzliche Wärmequelle u.a., Abführung der Abwärme u.a.) - automatische Steuerung einrichten für b): Hausanschluss für H2. - Überwachung BZH im Betrieb. - Reparatur BZH (zum Beispiel Austausch Membran)
dezentral		<ul style="list-style-type: none"> - PV-Anlage - Elektrolyseur - Brennstoffzelle, - Wärmeabnahme - Wasserstofftanks (Druckanlage) - ggf. Wärmepumpe - u.a. 	<ul style="list-style-type: none"> - Strom- und Wärmebedarf berechnen. - Anlagen im Gebäude installieren. - Wasserstofftanks außerhalb installieren, in Betrieb nehmen. - Abstimmung/automatische Steuerung der Komponenten konfigurieren. - Anlagen überwachen, in Stand halten, reparieren.

Weitere Möglichkeiten, Wasserstoff wird für die Wärmeversorgung einzusetzen ist zum Beispiel die Nutzung der Abwärme von wasserstofftauglichen Blockheizkraftwerken (BHKW) oder von Prozesswärme, die per Nah- oder Fernwärme zum Ort des Verbrauchs transportiert wird. BHKWs produzieren je nach Leistungsumfang Strom und Wärme für ein einziges Objekt (Mikro- oder Nano-BHKWs mit einer Leistung bis 3 kWh) oder für Gewerbegebiete und als Quartierslösung (über 250 kWh). Anlagenbauer stellen derzeit bereits wasserstofftaugliche BHKWs in verschiedenen Leistungsklassen her (Euro Heat and Power 2019). Die beteiligten Fachkräfte verfügen meist über einen Ausbildungsberuf im Bereich der Motortechnik, zum Beispiel Land- und Baumaschinenmechatroniker/in und Kraftfahrzeugmechatroniker/in und Anforderungen an ihre Qualifikation werden in der H2PRO-Sektoranalyse zu Mobilität betrachtet.

6.1. Zentrale Anwendungen mit wasserstofftauglichen Leitungen und Anlagen

Wasserstoff über das Erdgasnetz (Beimischung oder Reinform)

Die Umsetzung des Konzepts, Wasserstoff über das Erdgasnetz zu verteilen (siehe Gatzert und Lenz 2021) benötigt Fachkräfte aus dem Rohrleitungsbau, aus der Heizungsbau-Industrie und Fachkräfte mit Kenntnissen in Gasinstallation, die als Vertragsinstallateure für die Netzbetreiber das Verteilnetz an Druck- und Regelstationen überwachen (siehe auch Abschnitt 7 zu Regelungen). Mit höherem Wasserstoffanteil im Gasgemisch steigt die Belastung für das Material, deshalb muss die Wasserstofftauglichkeit von Gasnetzen, Regelsystemen und Endgeräten vor einer Umstellung geprüft und Komponenten ggf. ausgetauscht werden.

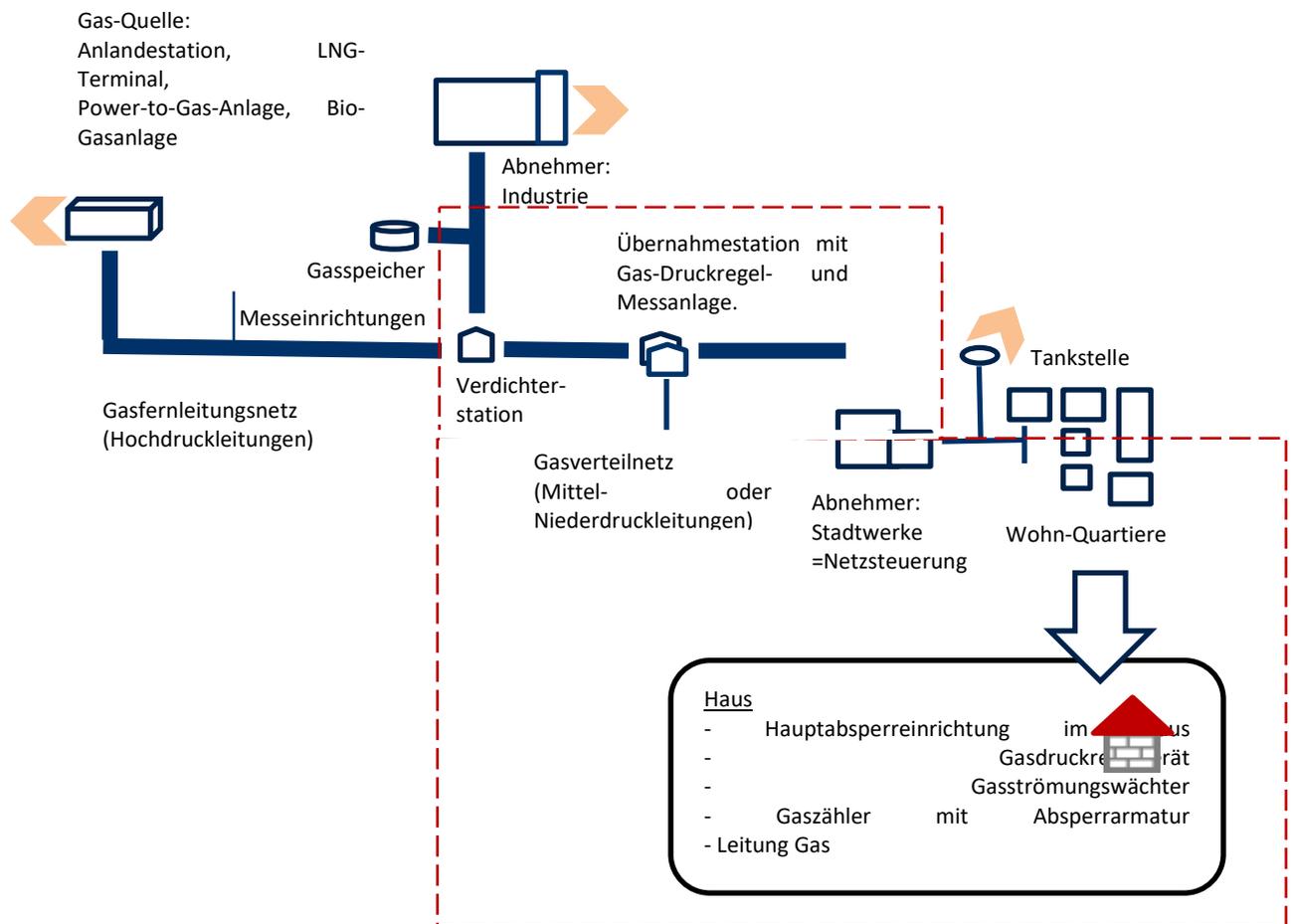
In den Vorgesprächen im Rahmen dieser Arbeit zeigte sich, dass die Qualifizierung der Fachkräfte, die eine Umstellung von Gasnetzen vorbereiten und durchführen auch dadurch sichergestellt wird, dass Regelwerke an die veränderten Bedingungen durch Wasserstoff angepasst werden. Diese Regelwerke sind auch Arbeitsanleitungen für die Fachkräfte, zum Beispiel die Arbeitsblätter des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches, DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. 2021).

Inzwischen sind Wasserstoff-Zumischraten bis zu 20 Prozent möglich, unter der Voraussetzung, dass Leitungen und Endgeräte der Kunden die technischen Anforderungen erfüllen. Die Verantwortung liegt dabei beim Netzbetreiber (siehe Abschnitt 7 zu Regelung und Sicherheitsanforderungen).

Kritik am Konzept der Wasserstoff-Verteilung über das Erdgasnetz gibt es von verschiedenen Seiten (zum Beispiel: Böck 2021). Es ist nicht Ziel dieser Arbeit, diese Diskussion darzustellen, es sei dennoch erwähnt, dass die Verbrennung von fossilem Gas – die ja bei der Beimischung immer noch stattfindet – ein Widerspruch zu den Klimaschutzzielen sein kann.

Einen Überblick zu den verschiedenen Einsatzorten gibt Abbildung 7. Die Umstellung eines Netzabschnitts erfordert gründliche Vorbereitung und die Einbeziehung aller Netzkunden. In der Praxis wird in Betracht gezogen, dass das Schornsteinfegerhandwerk den Abgleich der Wasserstofftauglichkeit von Endgeräten beim Kunden übernimmt. Angedacht ist, dass Schornsteinfeger/innen anhand von Herstellerlisten die Wasserstofftauglichkeit von Endgeräten bestätigen.

Abbildung 7: Schematische Darstellung Gasverteilnetz und Einsatzorte für Fachkräfte
Nach DVGW 2022.



 Aufgabenbereich für Fachkräfte mit Kenntnissen in Gasinstallation

 Verweis zu weiteren H2PRO-Sektoranalysen (Wasserstoffherzeugung, Chemieindustrie, Stahlindustrie, Mobilität).

Die Gasindustrie befürwortet das Konzept der Wasserstoff-Beimischung als realisierbare Transformationsstrategie und unterstützt und finanziert Pilotprojekte (Tabelle 4). Versuche und Testanwendungen zeigten vor einigen Jahren, dass das bestehende Erdgasnetz eine Zumischung von 10 Prozent Wasserstoff toleriert (Müller-Syring und Henel, 2014; Dörr et al. 2016). Netzbetreiber können deshalb Beimischungen in dieser Größenordnung mit dem geltenden Regelwerk (Arbeitsblatt G260 des DVGW) realisieren, ohne Leitungen und Geräte zu verändern. Inzwischen wurde das Regelwerk angepasst, so dass bis zu 20 Prozent Wasserstoff beigemischt werden dürfen unter der Voraussetzung, dass die Wasserstofftauglichkeit von Verteilnetzen und Endgeräten sichergestellt ist (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches 2021). Die Verantwortung tragen die Netzbetreiber – sie müssen nicht-wasserstofftaugliche Komponenten austauschen und durch neue,

wasserstofftaugliche Geräte ersetzt werden. Beträgt der Anteil an Wasserstoff 30 Prozent und mehr müssen Netzbetreiber Versuchsanlagen oder -gebiete benennen und engmaschig betreuen. Mit diesen Prozessen wird die Gasinfrastruktur nach und nach „H2-ready“ gemacht (Deutscher Verein für das Gas- und Wasserfach 2021).

Das Konsortium H2vorOrt, ein Zusammenschluss von Netzbetreibern, spricht sich für die direkte Verwendung von reinem Wasserstoff aus, unter Auslassung von Zwischenlösung stufenweiser Anpassung. Zum einen spart die Beimischung lediglich einen geringen Anteil CO₂ (bei einem Volumenprozentanteil von 20 Prozent Wasserstoff beträgt die CO₂-Einsparung sieben Prozent). Außerdem muss die Prüfung der Wasserstofftauglichkeit für die Beimischung in gleichem Maße durchgeführt werden wie für reinen Wasserstoff – bei gleichem Aufwand ist es daher effizienter, die Umrüstung in einem einzigen Schritt zu machen (gwf Gas + Energie 2022). Die Verwendung von reinem Wasserstoff setzt allerdings höhere Anforderungen an Leitungen, Endgeräte beim Kunden und an Sicherheitsmaßnahmen voraus. Folglich schätzen auch einige der Gesprächspartner den Qualifizierungsbedarf für die „Hundertprozent-Lösung“ als höher ein.

Tabelle 4: Beispiele für Pilotprojekte zur Wasserstoff-Beimischung

Bezeichnung	Unternehmen, Partner	Beschreibung
Wasserstoffinsel Öhringen	Netze BW	<ul style="list-style-type: none"> - Ziel sind 30 Prozent H₂-Beimischung ins Verteilnetz - Eigener Betrieb ist umgestellt - ca. 30 Kunden aus Umgebung - Einige Endgeräte tolerieren den H₂-Anteil nicht und müssen ausgetauscht werden, - deshalb H₂-Anteil zunächst bei 8 Prozent, - nach vollständigem Austausch kann der Anteil an H₂ sukzessive erhöht werden.
Reallabor Westküste 100	Stadtwerke Heide (als Partner)	Beimischung für Netzabschnitt mit mehr als 200 Endkunden soll bis zu 20 Volumenprozent Wasserstoff betragen.
H2HoWi	Westnetz GmbH (Verteilnetzbetreiber); Energienetze Holzwickede (Netzeigentümer); Deutsches Brennstoffinstitut, Freiberg (Projektbegleitung)	Reiner Wasserstoff (100 %) wird zu drei Kunden (Unternehmen) über das Erdgasnetz geliefert. Dazu wurde eine vorhandene Mitteldruck-Erdgasleitung vom Verteilnetz getrennt und an einen Wasserstoffspeicher angeschlossen.
BDR	BDR Thermea (NL) / Remeha (D)	Versorgung von zwölf denkmalgeschützten Einfamilienhäusern in Lochem (NL) über ein bestehendes Erdgasnetz mit Wasserstoff.
Pilotprojekt in Erfstadt	Keine Information zu Netzbetreiber	100 Heizungen von Privathaushalten und Unternehmen bekommen Erdgas-Wasserstoff-Gemisch mit 20 Prozent Wasserstoff, neun Kilometer Gasleitung. Wasserstoff kommt aus dem Chempark Hürth-Knapsack

Die in Tabelle 4 genannten Pilotprojekte sind ein kleiner Ausschnitt aus einer Vielzahl von Projekten die derzeit deutschlandweit stattfinden.

Brennstoffzellenheizungen (BZH)

Brennstoffzellenheizungen werden über Gasleitungen mit Brennstoff versorgt und gehören deshalb ebenfalls zu den zentralen Anwendungen. In Kombination mit Erneuerbaren Energien und einem Speicher arbeiten sie unabhängig von Leitungen und werden zu einer dezentralen Anwendung, die in den Medien gerne mit dem Schlagwort „autark“ in Verbindung gebracht wird. Davon wird Abschnitt zu dezentralen Anwendungen die Rede sein.

Derzeit produzieren Hersteller Brennstoffzellenheizungen für unterschiedliche Brennstoffe: fossile Gase, Biogase, Wasserstoff oder Gasgemische. Sobald grüner Wasserstoff zur Verfügung steht, können die wasserstofftauglichen BZH ihn nutzen und arbeiten dann emissionsfrei (Initiative Brennstoffzelle 2022). Einige BZH-Typen erzeugen Wasserstoff direkt im Gerät mit einem sogenannten Reformer. Dabei ist das Ausgangsprodukt Erdgas und der entstandene Wasserstoff damit nicht emissionsfrei. Für die Reparatur tauschen Fachkräfte des Kundendienstes die gesamte Reformer-Einheit aus und bringen sie zum Hersteller – Fachkenntnisse für die Wasserstoffproduktion sind in diesem Fall nicht nötig. Für alle Bauarten von Brennstoffzellenheizungen gilt, dass sie wie andere Erdgasgeräte unter Einhaltung der TRGI (Technische Regel für Gasinstallationen) hergestellt werden.

Brennstoffzellenheizung kamen bereits vor ca. 20 Jahren in Deutschland auf dem Markt. Sie verwandeln die chemische Energie von Brennstoffen (Wasserstoff, Methan oder andere brennbare Gase) in elektrische Energie (Strom). Bei diesem Prozess entsteht nutzbare Wärme, daher ist der Gesamtwirkungsgrad einer Brennstoffzellenheizung mit bis zu 90 Prozent (bezogen auf Strom und Wärme), hoch. Schon durch diese Wirkungsweise verursachen Brennstoffzellenheizungen 25 Prozent weniger CO₂-Emissionen als herkömmliche Gasbrennwertheizungen.

Die Investitionskosten für Brennstoffzellen sind mit 30.000 bis 35.000 Euro relativ hoch, deshalb ist die Technologie auf Subventionen angewiesen. Zwar können überschüssige Stromanteile von Brennstoffzellenheizungen ins Netz eingespeist und vergütet werden, jedoch sind die Gewinne nicht nennenswert, im Gegenteil: Die Pflicht zur Anmeldung einer Brennstoffzellenheizung bei der Bundesnetzagentur bringt erheblichen bürokratischen Aufwand mit sich. Außerdem reicht eine Brennstoffzellenheizung alleine für die Wärmeversorgung unter Umständen nicht aus. Andererseits muss der Strombedarf des Gebäudes entsprechend hoch sein, damit sie sich wirtschaftlich rentiert (Motzke 2023). Hersteller liefern BZH deshalb oftmals zusammen mit einem Spitzenlastkessel, der höheren Wärmebedarf abdecken kann (zum Beispiel herkömmlicher Gasbrennwertkessel) und einem Warmwasser-Pufferspeicher. Die Firma Viessmann führt in der Produktreihe Vitovalor ein solches Gesamtsystem, wobei die Brennstoffzelleneinheit mit Polymer-Elektrolyt-Membrane, kurz PEM, von Panasonic hergestellt wird (Viessmann 2023). Weitere Hersteller von Brennstoffzellenheizungen sind

die Heizungsbaufirmen SenerTec, Remeha, Brötje; auch die Firma Buderus ist im Vertrieb von Brennstoffzellenheizungen aktiv (Motzke 2023).

Eine wichtige Anforderung an Fachkräfte ist es, die Leistungen von Brennstoffzellenheizungen mit den anderen Komponenten der Wärmeerzeugung und mit dem Bedarf des Gebäudes an Strom und Wärme abzustimmen. Folgende Berufsbilder bringen dafür die Voraussetzungen mit: Anlagenmechaniker/in (innerhalb der Gebäude- und versorgungstechnischen Berufe), Elektroniker/in für Gebäudesystemintegration, Elektroniker und Elektronikerinnen der Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik. Letztere besitzen Kenntnisse, um die automatische Steuerung für die Komponenten des Gesamtsystems zu konfigurieren. Wie mehrere Gesprächspartner im Rahmen dieser Arbeit äußerten, geht es darum, ein Gebäude „als Ganzes zu versehen“.

Durch das Förderprogramm 433 der KfW im Jahr 2016 gewannen BZH an Bedeutung (Bundesverband der deutschen Heizungsindustrie, 2022). Zum Jahreswechsel 2022/23 wurde diese Förderung eingestellt. Förderung erhält seitdem nur wer eine BZH mit grünem Wasserstoff aus Wind- oder Solarstrom-Elektrolyse oder Biomethan betreibt (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle 2022). Verbände und Initiativen erwarten dadurch eine sinkende Nachfrage nach BZH (energie-experten.org 2023).

Die Brennstoffzellentechnik verzeichnet dennoch steigende Nachfrage als Wärmeerzeuger, wenn sie mit Photovoltaik verbunden und der gewonnene Strom in Form von Wasserstoff gespeichert wird. Durch die Umwandlung von einer Energieform in eine andere, entfällt die leitungsgebundene Zufuhr.

6.2. Dezentrale Lösung: Stromerzeugung mit wasserstoffbasiertem Langzeitspeicher

Dezentrale Anlagen, die Stromerzeugung mit Wasserstoffspeicher kombinieren, gelten derzeit als Nischenmärkte, das heißt sie erzielen keinen statistisch messbaren Marktanteil. Der Einsatz von Wasserstoff ermöglicht dabei die Kopplung von Energieformen: Strom aus erneuerbaren Energien wird als Wasserstoff gespeichert - chemisch, mittels Batterie wäre auch möglich – und, unter zusätzlicher Nutzung der Abwärme, wieder in elektrische Energie zurückverwandelt. Der Begriff Power-to-X beschreibt dies, wobei X für ‚Heat‘, ‚Gas‘ oder ‚Liquid‘ stehen kann. Anlagen, die dies ermöglichen, bestehen aus mehreren Komponenten und arbeiten auf der Basis des tatsächlichen Energiebedarfs eines Gebäudes.

Bekannt ist der Markenname Picea, der auch als Typenbezeichnung Verwendung findet, da es derzeit lediglich eine einzige Herstellerfirma in Deutschland gibt, die diese Anlagen produziert. Picea-Anlagen wandeln überschüssigen Solarstrom mittels Elektrolyse in Wasserstoff um und lagern ihn in Drucktanks über mehrere Monate, um ihn dann während der sogenannten Dunkelflaute mit einer Brennstoffzelle wieder rückzuerstromen und einzusetzen. Der so gewonnene und umgewandelte Strom kann zum Betreiben einer Wärmepumpe eingesetzt werden. Außerdem entsteht bei den Umwandlungsprozessen Abwärme, die die Heizung und Warmwasserproduktion für das Gebäude unterstützt. Tatsächlich verbindet die Anlage damit mehrere Energieträger durch die Verzahnung von Umwandlung und Nachfrage und setzt damit auf kleinstem Raum um, was als ‚Sektorenkopplung‘ bezeichnet wird (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017). Der Begriff hat einen hohen Stellenwert für die Energie- und Klimapolitik und steht für Maßnahmen zur CO₂-Minderung. Die unterschiedlichen Herangehensweisen an die Begriff - wirtschaftlich oder technologisch – sind bei Wietschel et al. (2018) erläutert.

Picea-Anlagen sind für Wohn- und Nichtwohngebäude geeignet (z.B. Gewerbebetriebe, Krankenhäuser) und liefern je nach Technologie-Kombination für unterschiedliche niedrige bis mittlere Gesamtwärmebedarfe (10–100 MWh/a). Picea-Anlagen in Kombination mit einem wasserstofftauglichen Gas-Brennwertkessel haben eine höhere Leistung (56 bis 165 MWh/a). Die Investitionskosten für Picea-Anlagen sind mit ca. 60.000 bis 70.000 Euro derzeit so hoch, dass nur wenige Privatpersonen sich die Anschaffung leisten.

Tabelle 5: Beispiele für kombinierte Anlagen (EE-Stromerzeugung plus Wasserstoff-Speicher)

Bezeichnung	Unternehmen, Partner	Beschreibung
Gewerbeimmobilie Küpper in Meckenheim (bei Bonn)	Firma Küpper als Immobilienbesitzer, Hersteller homepowersolutions (hps) als Auftragnehmer.	Mehrere hintereinandergeschaltete Picea-Anlagen („Multi-Picea“) versorgen das Gewerbe-Gebäude mit Strom und Wärme, wobei die Energie in Form von Wasserstoff in Drucktanks gespeichert wird. Passivhaus aus Holz <ul style="list-style-type: none"> - Photovoltaik-Anlage mit 98 kW-Peak Leistung, - Wasserstoffspeicher, 440 kg H₂ = 7500 kWh elektrische Energie / 7500 kWh Wärmeenergie, 300 bar - Elektrolyse für die Wasserstoffherzeugung mit 12,5 kW Leistung - Batterie mit einer Speicherkapazität von 125 kWh - Wärmepumpe WWP S 18 Heizleistung 17,5 kW - Elektronische Steuerung https://www.kuepper-bonn.de/unternehmen/energieautark-in-meckenheim.html
Privathaushalte, zum Beispiel:	Hörmann Solartechnik als Auftraggeber, Hersteller homepowersolutions (hps) als Auftragnehmer.	<ul style="list-style-type: none"> - Passivhaussystem ohne Zusatzheizung - Photovoltaik-Anlage - Brennstoffzellensystem mit Elektrolyseur (Wasseraufbereitung für Elektrolyseur) - Wasserstofftank - Abwärmenutzung über Lüftung - Elektronische Steuerung https://hoermannsolar.de/wohnen-im-wasserstoffhaus/ und https://www.youtube.com/watch?v=IPPsR3sbIEY
Quartier Neue Weststadt Esslingen	Stadt Esslingen mit Industriepartnern, gefördert von BMWK und BMBF als Leuchtturmprojekt.	Mischung aus dezentral/zentral: Strom aus lokalen Photovoltaik-Anlagen und aus überregionaler Erzeugung wird mittels Elektrolyse umgewandelt. Es entsteht grüner Wasserstoff. Dieser wird gespeichert und kann erstmalig bedarfsangepasst bereitgestellt werden. Die Wärme, die beim Vorgang der Elektrolyse entsteht, wird zudem zur Versorgung des Quartiers beitragen. https://neue-weststadt.de/energiekonzept/

Eine Picea-Anlage vereint die Bereiche Elektrik, Hydraulik sowie Gase und erfordert die Zusammenarbeit von mehreren Gewerken. Derzeit findet die Weiterbildung vor allem durch die Herstellerfirma statt, wobei die Fachkräfte unterschiedliche Herkunftsberufe haben, in der Regel sind sie im Elektro-, KFZ- oder Metallbereich ausgebildet. Für die Komponente Wasserstoffspeicher sind Kenntnisse in Gastechnik erforderlich, die durch Zusatzausbildung (zum Beispiel Gasfachkraft für festgelegte Tätigkeiten) erworben oder durch externe Fachkräfte „zugekauft“ wird. Am Beispiel von Picea-Anlagen lässt sich daher untersuchen, ob und auf welche Weise sich Schnittstellen zwischen Gewerken verschieben und welche Geschäftsmodelle Industrie- und Handwerksbetriebe dabei eingehen.

Für den Einbau von dezentralen Anwendungen besteht bei Kunden in der Regel hoher Informations- und Beratungsbedarf: Der Bedarf von Strom und Wärme muss berechnet und die Bedienung durch die

Nutzer mit der automatischen Steuerung abgestimmt werden. Eine wichtige Fähigkeit von Fachkräften im Gebäudesektor ist daher Beratungskompetenz und Kundenkommunikation.

7. Regelungen zu Gasinstallation und Sicherheitsanforderungen

Sicherheitsregeln für das Arbeiten an Gasinstallationen und an elektronischen Systemen sind in der Handwerksordnung (HWO) und im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) formuliert (Bundesministerium für Justiz 2005). Für die berufliche Praxis im Gas Fach sind diese Regeln in den Arbeitsblättern des DVGW (Deutscher Verein des Wasser- und Gasfaches) als Anleitungen präzisiert. Für die Elektro-Praxis sind die Arbeitsblätter des VDE (Verband Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik) relevant. Das Arbeiten nach diesen Anleitungen garantiert das Einhalten des Energiewirtschaftsgesetzes. Dies ergibt sich aus der sogenannten Vermutungswirkung des EnWG (§ 49) (Bundesministerium für Justiz 2005).

Die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik wird vermutet, wenn bei Anlagen zur Erzeugung, Fortleitung und Abgabe von Elektrizität das VDE bei Gas und Wasserstoff die technischen Regeln des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e. V. eingehalten worden sind.

Der Zusatz „(...) und Wasserstoff“ stammt aus einer Novellierung des Gesetzes, die Wasserstoff als Energieträger in die Definition des Energiewirtschaftsgesetzes im Juni 2021 aufnahm (Bundesgesetzblatt 2021). Bis zu diesem Zeitpunkt waren reine Wasserstoffnetze nicht von der Regulierung für Gasnetze erfasst. Mit der Novellierung des ENWG ist es nun möglich, reine Wasserstoffleitungen nach dem gesetzlichen Rahmen zu prüfen und zu bewerten. Für Leitungen, die Wasserstoff-Beimischungen transportieren, finden weiterhin die bisherigen Rahmenbedingungen Anwendung (Bundesnetzagentur 2020).

Voraussetzung für die Realisierung der Beimischung von Wasserstoff in das bestehende Erdgasnetz ist außerdem seine Aufnahme in das Arbeitsblatt G260 des DVGW. Neben anderen sogenannten erneuerbaren Gasen bildet reiner Wasserstoff hier nun eine eigene neue Gasfamilie. Damit sind Wasserstoff-Zumischraten bis zu 20 Prozent möglich, allerdings müssen die Netzbetreiber sicherstellen, dass Leitungen und Endgeräte der Kunden die technischen Anforderungen erfüllen (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. 2021). Diese Verantwortung setzen die Fachkräfte der Netzbetreiber und deren Auftragnehmer mit dem erforderlichen Wissen um.

Arbeiten am Gasnetz sind durch die Pflicht zur Eintragung in das vom Netzbetreiber zu führende Installateur Verzeichnis geregelt (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft 2021). Die entsprechende Richtlinie heißt „Verordnung über Allgemeine Bedingungen für den Netzanschluss und

dessen Nutzung für die Gasversorgung in Niederdruck“, kurz: Niederdruckanschlussverordnung (NDVA). Sie ist aus dem EnWG abgeleitet und regelt gegenseitige Rechte und Pflichten des Netzbetreibers und des Installationsunternehmens. Demnach dürfen Herstellung, Veränderung, Instandsetzung und Wartung von Gas- und Wasserinstallationen nur sogenannte Vertragsinstallateure (VIU) ausführen, das heißt nach Handwerksordnung (HWO) zugelassene Installationsunternehmen, die im Installateur Verzeichnis eingetragen sind oder das Personal des Netzbetreibers selbst. Voraussetzung ist in der Regel die Meisterprüfung im Gas-Installateur- und Heizungsbauerhandwerk oder eine vergleichbare Qualifikation (z.B. Ingenieur Versorgungstechnik mit entsprechender Berufspraxis als Gas-Installateur oder Installateur und Heizungsbauer) (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches 2018).

Für das Arbeiten mit Gasgeräten ist die ‚Technische Regel für Gasinstallation‘, TRGI, die wichtigste Vorschrift. Sie ist ein umfangreiches Standardwerk, das DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches) und ZVSHK (Zentralverband des Deutschen Handwerks) gemeinsam herausgeben. Die TRGI richtet sich an Installateure, Mitarbeiter von Versorgungsunternehmen, Netzbetreiber, Schornsteinfeger, Planer und Behörden. Sie betrifft das Arbeiten an Gasleitungen, Heizungsanlagen, Lüftungen für Gasgeräte und Abgasabführung und deckt alle Tätigkeiten ab: Erstellung, Installation, Inbetriebnahme, Prüfung und Wartung von Gasgeräten (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches, DVGW 2018).

Die Studie H2Skills gibt einen Überblick zu Arbeitsschutz- und Sicherheitsmaßnahmen, die für den Einsatz von Wasserstoff relevant sind (H2Skills 2022). Übergeordnet sind die technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales. Sie konkretisieren die Inhalte der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), deren Anforderungen erfüllt werden müssen. Im Bereich des Explosionsschutzes und bei Druckgefährdung ist die Teilnahme an Schulungen oder Unterweisungen für ‚befähigte Personen‘ nach Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) explizit gefordert. Eine ‚befähigte Person‘ ist nach § 2 Absatz 6 der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) für die Prüfung von bestimmten Arbeitsmitteln zuständig. Beim Einsatz von Wasserstoff muss im Einzelfall geprüft werden, ob die Anforderung an ‚befähigte Personen‘ erfüllt sind. Allgemeingültige Arbeitsverfahren werden außerdem in der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) beschrieben.

Die Aussage, dass das Arbeiten mit Wasserstoff für viele Unternehmen kein neues Thema ist und Sicherheitsrichtlinien bereits existieren (Dahoe und Molov 2007; Skiba 2020), trifft auch auf einige Unternehmen der Heizungsbranche und Anlagenbauer zu, die seit Jahren wasserstofftaugliche Geräte herstellen.

8. Erkenntnisse: „Wasserstoff-Qualifizierung“ für Fachkräfte im Gebäudesektor

Tabelle 6 zeigt welche Berufsbilder im Gebäudesektor an welchen Einsatzorten vermutlich verstärkt mit wasserstoffbasierten Anwendungen arbeiten werden und welche Instrumente der Weiterbildung dafür zur Verfügung stehen. Die weiteren Untersuchungen im Projekt H2PRO soll darüber Auskunft geben, wie groß die Diskrepanz zwischen den Anforderungen und der Qualifikation der Fachkräfte in verschiedenen Einsatzfeldern tatsächlich ist. Folgende erste Annahmen als Resultat dieser Arbeit bilden die Ausgangspunkte für weitere Untersuchungen:

- Der Qualifikationsbedarf für Fachkräfte im Gebäudesektor in Bezug auf die Anwendung von Wasserstoff wird insgesamt als eher gering eingeschätzt.
- Zentrales Instrument um Fachkräfte im Gebäudesektor auf das Arbeiten mit Wasserstoff vorzubereiten, sind Weiterbildungen in Form von internen und externen Schulungen sowie Zusatzqualifikationen.
- Ein weiteres wichtiges Instrument sind Anleitungen auf der Basis von bereits bestehenden gesetzlich verbindlichen Richtlinien im Gas Fach (DVGW Arbeitsblätter, TRGI). Der Umgang mit Wasserstoff findet zurzeit Eingang in diese Richtlinien, die Handlungsanweisungen formulieren.
- In Bezug auf die Umstellung der Gasnetze auf reinen Wasserstoff sind die Aussagen zum Qualifikationsbedarf derzeit widersprüchlich. Gründe dafür sind die mangelnde Praxiserfahrung und die hohe Anforderung an das Material von Anlagen und Leitungen bei hohen Konzentrationen von Wasserstoff.
- Die sogenannte „Wasserstoff-Sensibilisierung“ scheint als erforderliche Grundlagenschulung für Fachkräfte allgemein anerkannt.
- Herstellerfirmen für wasserstofftaugliche Heizanlagen erarbeiten sich Wissen im Entwicklungsprozess. Sie geben dieses Wissen zunächst nach innen und - wenn die Produkte Serienreife erreichen - nach außen, zum Beispiel an das Handwerk, weiter.
- Elektrotechnische Kenntnisse sind für Berufe im Gebäudesektor unabdingbar und betreffen ebenfalls – aber nicht nur - wasserstoffbasierte dezentrale Anlagen. Das Berufsbild Elektroniker/in für Gebäudesystemintegration umfasst alle im Gebäude vorkommenden technischen Systeme, ihre Planung, Vernetzung, Anwendung und Analyse nach Kenngrößen (Bundesinstitut für Berufsbildung 2021). Es ist deshalb für die Installation komplexer Anlagen gut geeignet.
- Dezentrale Anlagen, die aus vielen Komponenten bestehen, erfordern die Zusammenarbeit von mehreren Gewerken. Die weitere Untersuchung kann zeigen, wie Handwerks- und

Industriebetriebe in Entwicklung, Herstellung, Installation und Überwachung solcher Anlagen kooperieren und ihre Fachkräfte einsetzen.

- Der Ausbildungsberuf Anlagenmechaniker/in für Heizungs- Sanitär und Klimatechnik nimmt eine zentrale Rolle unter den Gebäudeberufen ein, nicht nur weil er als „universell einsetzbar“ gilt, sondern auch, weil es der Ausbildungsberuf ist, der in der Branche am häufigsten abgeschlossen wird (Zentralverband Sanitär, Heizung, Klima, ZVSHK 2022). Bei der weiteren Untersuchung ist dieser Beruf ebenfalls im Fokus. Die Ausbildungsordnung wird hinsichtlich möglicher Anpassung an wasserstoffbasierten Technologien geprüft.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit stammen aus Literaturrecherche und aus Aussagen von Vorgesprächen mit Personen, die durch ihre Funktion und Erfahrung Einblick in die berufliche oder/und betriebliche Praxis haben und bereits mit Anwendungsfeldern von Wasserstoff in Berührung gekommen sind (Tabelle 1). Zusätzlich diente der Workshop „Wasserstoff für die Wärmeversorgung“ im Rahmen der H2PRO-Fachtagung „Wasserstoff – wer kann’s?“ vom 7. Februar 2023 dazu, erste Annahmen zur Diskussion zu stellen. Die Mehrzahl der 13 Teilnehmer und Teilnehmerinnen sind Fachexperten in verschiedenen Bereichen der Wärmeversorgung.

Wenig explizite Information gibt es bislang zu der Frage, welche Kenntnisse über Grundlagen hinaus für das Arbeiten mit wasserstoffbasierten Anwendungen im Gebäudesektor von Bedeutung sind, kurz: Woraus besteht „Wasserstoff-Wissen“ genau? Diese zu präzisieren und den Ausbildungsordnungen gegenüberzustellen ist Ziel der weiteren Untersuchung.

Tabelle 6: Einsatzorte/Aufgaben für Fachkräfte in Bezug auf Wasserstoff-Anwendungen (vorläufige Erkenntnisse)

Einsatzort bzw. Aufgabe	(möglicher) Aus- oder Weiterbildungs-hintergrund	Formate zur Vermittlung von Kenntnissen	Wasserstoff-spezifische Kenntnisse erforderlich?	<u>betrifft:</u> Dezentrale Lösungen mit Wasserstoff-Anwendung	<u>betrifft</u> Wasserstoff über Erdgas-netz (zentral)
Wasserstofftaugliche Heizanlagen entwickeln und herstellen (Brennstoffzellentechnik und „konventionelle“ Heizanlagen auf Brennwerttechnik)	<ul style="list-style-type: none"> - Technische/r Produktdesigner/in - Technische/r Systemplaner/in - SHK-Anlagenmechaniker/in - Anlagenmechaniker/in 	<ul style="list-style-type: none"> - Informell („learning by doing“) - Interne Schulungen (Hersteller) - Weiterbildungen bei externen Anbietern 	ja	X	X
Wasserstofftaugliche Heizanlagen überwachen, warten, reparieren (Brennstoffzellentechnik und „konventionelle“ Heizanlagen auf Brennwerttechnik)	<ul style="list-style-type: none"> - SHK-Anlagenmechaniker/in - Anlagenmechaniker/in 	<ul style="list-style-type: none"> - Interne Schulungen (Hersteller) - Anleitungen - Schulungen der Hersteller (Produktschulungen) 	ja	X	X
Hausanschluss für H2-taugliche Heizanlagen	<ul style="list-style-type: none"> - SHK-Anlagenmechaniker/in 	<ul style="list-style-type: none"> - Grundständige Ausbildung 	ja	X	X
H2 im Gasverteilnetz: Übergabestation: Wasserstoff von 100% Volumenprozent abzweigen.	<ul style="list-style-type: none"> - Fachkraft mit Zusatzausbildung Gas - SHK-Anlagenmechaniker/in 	<ul style="list-style-type: none"> - Anpassung Regelwerk auf Wasserstoff (Arbeitsblatt G260, DVGW) - Grundlagen-Schulungen zu Wasserstoff 	ja	-	X
Leitungen für wasserstofftaugliche Heizanlagen legen, prüfen, überwachen, reparieren	<ul style="list-style-type: none"> - Rohrleitungsbauer/in - Fachkraft mit Zusatzausbildung Gas 	<ul style="list-style-type: none"> - Auftraggeber gibt die Spezifikation für die zu bauende Leitung vor. - Anpassung Regelwerk auf Wasserstoff (Arbeitsblatt G260, DVGW) - Komponenten (z.B. Dichtungen) werden von Herstellern bereitgestellt - Schulung zur Gefahrenbeurteilung und Sicherheitsschutz Baustelle. - Grundlagen-Schulungen zu Wasserstoff 	ja	X	-
H2 im Gasnetz: Verrohrung im Gebäude prüfen, überwachen, reparieren	<ul style="list-style-type: none"> - SHK-Anlagenmechaniker/in 	<ul style="list-style-type: none"> - Anpassung Regelwerk auf Wasserstoff (Arbeitsblatt G260, DVGW) - Grundlagen-Schulungen zu Wasserstoff 	ja	X	-

Fortsetzung Tabelle 6

Einsatzort bzw. Aufgabe	- Aus- oder Weiterbildungshintergrund	Formate zur Vermittlung von Kenntnissen (nicht vollständig)	Wasserstoff-spezifische Kenntnisse erforderlich?	<u>betrifft:</u> Dezentrale Lösungen mit Wasserstoff-Anwendung	<u>betrifft</u> Wasser-stoff über Erdgas-netz (zentral)
Bedarfsberechnung: wieviel Strom/Wärme wird im Gebäude verbraucht und erzeugt?	<ul style="list-style-type: none"> - Technische/r Systemplaner/in - SHK-Anlagenmechaniker/in - Anlagenmechaniker/in - Elektroniker/in für Gebäudesystemintegration - Elektroniker/in – Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik 	<ul style="list-style-type: none"> - Grundständige Ausbildung - Weiterbildung 	nein	x	x
Abstimmung verschiedener Anlagen-Komponenten	<ul style="list-style-type: none"> - Technische/r Systemplaner/in - SHK-Anlagenmechaniker/in - Anlagenmechaniker/in - Elektroniker/in für Gebäudesystemintegration - Elektroniker/in – Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik 	<ul style="list-style-type: none"> - Grundständige Ausbildung - Weiterbildung 	abhängig von Art der Anlagen	x	-
Elektronische Steuerung von Anlagen mit unterschiedlichen Energiequellen und -trägern	<ul style="list-style-type: none"> - Elektroniker/in für Gebäudesystemintegration - Elektroniker/in – Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik 	<ul style="list-style-type: none"> - Grundständige Ausbildung - Weiterbildung - Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten (EFKffT) 	nein	x	-
Wasserstofftank: Flaschen anliefern, austauschen.	„Gas-Fachkraft“	<ul style="list-style-type: none"> - Zusatzausbildung Gasfachkraft für festgelegte Tätigkeiten (GFKffT) - Gastechnik-Schulung (Hersteller) 	ja	(x)	x
Kundenberatung	betrifft alle Berufsausbildungen		ja	x	x

Literaturverzeichnis

Agentur für erneuerbare Energien e.V. (2023). Online verfügbar unter: https://www.unendlich-viel-energie.de/media/image/54221.AEE_Endenergieverbrauch_Strom_Waerme_Kraftstoffe_2019.jpg
Zuletzt abgerufen am 21.04.2023

Ariadne (2022): (ifeu et al. 2018)Analyse: Die Rolle von Wasserstoff im Gebäudesektor – Vergleich technischer Möglichkeiten und Kosten defossilisierter Optionen der Wärmeerzeugung | Ariadne. Online verfügbar unter <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-wasserstoff-im-gebauedesektor/#zusammenfassung>, zuletzt aktualisiert am 14.06.2022, zuletzt geprüft am 03.08.2022.

Baldino, Chelsea; O'Malley, Jane; Searle, Stephanie; Christensen, Adam (2021): Hydrogen for heating? Decarbonization options for households in the European Union in 2050. Working Paper 2021-09. Hg. v. ICCT, The International Council on Clean Transportation. Online verfügbar unter <https://theicct.org/publication/hydrogen-for-heating-decarbonization-options-for-households-in-the-united-kingdom-in-2050/>, zuletzt geprüft am 12.04.2022.

BDEW, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2021). Richtlinien für den Abschluss von Verträgen mit Installationsunternehmen zur Herstellung, Veränderung, Instandsetzung und Wartung von Gas- und Wasserinstallationen [Online], 18.11.2021. Online verfügbar unter: <https://nrw.bdew.de/service/landesinstallateurausschuss-gas-wasser/installateurrichtlinien/>

Böck, Hanno (2021): Der Kampf um die Gasnetze. Hg. v. Golem.de. Online verfügbar unter <https://www.golem.de/news/energiewende-der-kampf-um-die-gasnetze-2106-157345-2.html>.

Bovenschulte, M. (2021). Wasserstoff als Beruf, 09.08 2021, Frankfurter Rundschau. Online abrufbar unter: <https://www.fr.de/meinung/gastbeitraege/wasserstoff-als-beruf-90910674.html>

Bundesagentur für Arbeit (2010). Klassifikation der Berufe 2010 – überarbeitete Fassung 2020). Systematisches Verzeichnis. Hg.: Bundesagentur für Arbeit, Statistik/Arbeitsmarktberichterstattung Online verfügbar unter: <https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Navigation/Grundlagen/Klassifikationen/Klassifikation-der-Berufe/KldB2010-Fassung2020/Systematik-Verzeichnisse/Systematik-Verzeichnisse-Nav.html>
Zuletzt aufgerufen am 5.12.2022

Bundesamt für Statistik (2020). Vor Einführung der CO₂-Abgabe: 42,8 Prozent der 2019 fertiggestellten Wohngebäude werden vorwiegend mit Öl und Gas beheizt. Online verfügbar unter: [bundeslaender.htmlhttps://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/12/PD20_N086_31121.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/12/PD20_N086_31121.html) Zuletzt abgerufen am 17.04.2023

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2022). Änderungen an der BEG: Neuerungen ab 01.01.2023. Online verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/20221215_anp_assung_beg.html

Bundesgesetzblatt BGBl. Online-Archiv 1949 - 2022 | Bundesanzeiger Verlag (2021). Online verfügbar unter https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl121s3026.pdf%27%5D__1680507940296, zuletzt geprüft am 03.04.2023.

Bundesinstitut für Berufsbildung, BIBB (2021): Informationen zu Aus- und Fortbildungsberufen. Elektroniker für Gebäudesystemintegration/Elektronikerin für Gebäudesystemintegration (Ausbildung). Online verfügbar unter: https://www.bibb.de/dienst/berufesuche/de/index_berufesuche.php/profile/apprenticeship/857plo, zuletzt abgerufen am 26.03.2023

Bundesministerium für Justiz (2005). Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung. Energiewirtschaftsgesetz – ENWG vom 07.07.2005, BGBl. Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/ Zuletzt aufgerufen am 02.04.2023.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWi (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt aufgerufen am 29.04.2022

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWi (2017) Strom 2030: Langfristige Trends – Aufgaben für die kommenden Jahre – Ergebnisbericht zum Trend 7: Moderne KWK – Anlagen produzieren den residualen Strom und tragen zur Wärmewende bei. BMWi, Berlin

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWi (2011): Energiekonzept-2010. Für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Hg. von Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=5, zuletzt abgerufen am 05.04.2023.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, BMWK (2022): Fortschrittsbericht zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie. Online verfügbar unter: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2022/fortschrittsbericht-wasserstoffstrategie-nws.pdf?__blob=publicationFile Zuletzt abgerufen am 24.03.2023.

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2023): Das Gebäudeenergiegesetz. Online verfügbar unter: <https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/bauen/energieeffizientes-bauen-sanieren/gebäudeenergiegesetz/gebäudeenergiegesetz-artikel.html>, zuletzt aufgerufen am 27.03.2023.

Bundesnetzagentur (2020): Regulierung von Wasserstoffnetzen – Bestandsaufnahme. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/Wasserstoff/Wasserstoffpapier.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 03.04.2023.

Bundesregierung (2022): Generationenvertrag für das Klima. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672#:~:text=Klimaschutzgesetz%20Generationenvertrag%20f%C3%BCr%20das%20Klima,65%20Prozent%20gegen%C3%BCber%201990%20sinken.,> zuletzt geprüft am 20.12.2022.

Bundesregierung (2021): Klimaschutzgesetz 2021. Generationenvertrag für das Klima. Hg. v. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>, zuletzt aktualisiert am 31.07.2022, zuletzt aufgerufen am 31.07.2022.

Bundesverband der deutschen Heizungsindustrie (2019). Brennstoffzellenheizung: Schlüsseltechnologie für die Wärmewende auf Erfolgskurs. Pressemitteilung. Online verfügbar unter: <https://www.bdh-industrie.de/presse/pressemeldungen/artikel/brennstoffzellenheizung-schlüsseltechnologie-fur-die-waermewende-auf-erfolgskurs> Zuletzt abgerufen am 17.04.2023.

Bundesverband der deutschen Heizungsindustrie, 2022. Brennstoffzellen-Systeme für Strom und Wärme im Gebäude. Positionspapier Brennstoffzellen-Systeme für Strom und Wärme im Gebäude. Online verfügbar unter: [BDH Brennstoffzellen fuer Strom und Waerme 112022.pdf \(bdh-industrie.de\)](https://www.bdh-industrie.de/BDH_Brennstoffzellen_fuer_Strom_und_Waerme_112022.pdf) Zuletzt abgerufen am 08.04.2023.

Dahoe, A.E.; Molkov, V.V. (2007): On the development of an International Curriculum on Hydrogen Safety Engineering and its implementation into educational programmes. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 32 (8), S. 1113–1120. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2006.07.006

Clausen, Jens; Fichter, Klaus; Kern, Florian; Schmelzle, Frieder (2022): Policy Insights Wasserstoff. Online verfügbar unter <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2022/09/Policy-Insights-Wasserstoff.pdf>, zuletzt geprüft am 06.04.2023.

Dena (2018): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende – Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050 Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Berlin. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf.

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (Hg.) (2021): Technische Regel, Arbeitsblatt DVGW 260 (A). Gasbeschaffenheit. Online verfügbar unter https://shop.wvgw.de/leseprobe/510700_lp_G_260_2021_09.pdf, zuletzt geprüft am 04.04.2023.

Dispan, Jürgen (2016): Branchenanalyse Heizungsindustrie. Strukturwandel, Entwicklungstrends, Herausforderungen. In: Study, 304 (2016). Online verfügbar unter https://www.boeckler.de/fpdf/HBS-006334/p_study_hbs_304.pdf, zuletzt aufgerufen am 27.03.2023.

Dörr, Holger; Kröger, Kerstin; Graf, Frank; Köppel, Wolfgang; Burmeister, Frank.; Nitschke-Kowsky, Petra et al. (2016): Untersuchungen zur Einspeisung von Wasserstoff in ein Erdgasnetz. Hg. v. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH. Bonn. Online verfügbar unter https://www.dvgw-ebi.de/medien/dvgw-ebi/2_themen/publikationen/2016-nov-ewp-doerr.pdf.

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., DVGW (2018): TRGI: Standardwerk für Gasinstallationen. Hg. v. wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH. Bonn. Online verfügbar unter <https://trgi.de/>, zuletzt aktualisiert am 02.04.2023, zuletzt aufgerufen am 02.04.2023.

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V., DVGW (2020). H2 vor Ort. Wasserstoff über die Gasverteilnetze für alle nutzbar machen. Hrg.: DVGW, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. Bonn. Online verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/themen/energiewende/wasserstoff-und-energiewende/h2vorort> Zuletzt aufgerufen am 23.02.2023

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V., DVGW (2021). Erstmals 20 Prozent Wasserstoff im Gasnetz. Online verfügbar unter:
<https://www.dvgw.de/der-dvgw/aktuelles/presse/presseinformationen/dvgw-presseinformation-vom-28102021-start-h2-beimischung-in-gasnetze>
Zuletzt aufgerufen am 23.02.2023

energie-experten.org (2023): Das leise Aus der Brennstoffzellenheizung. Hg. v. energie-experten.org. Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.energie-experten.org/news/das-leise-aus-der-brennstoffzellen-heizung>, zuletzt aktualisiert am 14.01.2023, zuletzt geprüft am 17.04.2023.

Engelmann, Peter; Köhler, Benjamin; Meyer, Robert; Dengler, Jörg; Herkel, Sebastian; Bürger, Veit et al. (2021): Systemische Herausforderung der Wärmewende. Abschlussbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-04-26_cc_18-2021_waermewende.pdf, zuletzt geprüft am 14.04.2022.
Energiewirtschaftsgesetz https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/

Euro Heat and Power (2019): Wasserstoff-BHKW vervollständigt die Speicherkette. Hg. v. VDE VERLAG GMBH. Offenbach am Main. Online verfügbar unter <https://www.energie.de/euroheatpower/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/wasserstoff-bhkw-vervollstaendigt-speicherkette/np/2>, zuletzt aktualisiert am 30.03.2023, zuletzt aufgerufen am 30.03.2023.

Fraunhofer IWES/IBP (2017): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. Hg. v. <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/waermewende-2030-1/>.

Matzen, Christoph; Lenz, Ann-Kathrin (2021): Wasserstoff zur Dekarbonisierung des Wärmesektors. Studie. Hg. v. DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. Online verfügbar unter <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g202101-h2-waermemarkt-abschlussbericht.pdf>, zuletzt aufgerufen am 03.06.2022.

Gerbert, Philipp; Herholt, Patrick; Burchardt, Jens; Schönberger, Stefan; Rechenmacher, Florian; Kirchner, Almut et al. (2018): Klimapfade für Deutschland. BDI. Online verfügbar unter <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/>, zuletzt geprüft am 24.01.2023

Gerhardt, Norman; Bard, Jochen; Kneisk, Tanja; Schmitz, Richard; Beil, Michael; Pfennig, Maximilian (2020): Wasserstoff im zukünftigen Energiesystem: Fokus Gebäudewärme. Studie zum Einsatz von H₂ im zukünftigen Energiesystem unter besonderer Berücksichtigung der Gebäudewärmeversorgung. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE. Studie im Auftrag des IZW e.V. Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik. Hannover. Online verfügbar unter https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Studien-Reports/FraunhoferIEE_Kurzstudie_H2_Gebaeudewaerme_Final_20200529.pdf, zuletzt geprüft am 02.08.2022.

Ifeu; Fraunhofer IEE; Consentec (2018): Wert der Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. Online verfügbar unter:
https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2017/Heat_System_Benefit/143_Heat_System_benefits_WEB.pdf,
Zuletzt aufgerufen am 4.12.2022

Initiative Brennstoffzelle (2022): Brennstoffzelle: Strom und Wärme maximal effizient. Online verfügbar unter: <https://gas.info/fileadmin/Public/PDF-Download/brennstoffzelle-waermeerzeugung.pdf> Zuletzt abgerufen am 17.04.2023

Lenz, Volker; Hegele, Daniel; Baur, Frank; Fishedick, Manfred; Alter, Niels; Szarka, Nora (2017): Wärme aus Biomasse. Grundlegende Schritte für eine nachhaltige, effiziente und zukunftsweisende Nutzung der Bioenergie für den Erfolg der Energiewende in Deutschland. AG Wärmemarkt des BMWi Forschungsnetzwerkes Bioenergie /Förderprogramms "Energetische Biomassenutzung. Online verfügbar unter https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/media/4_AGs_Methoden/Hintergrundpapier_AG-Waermemarkt.pdf, zuletzt aufgerufen am 02.04.2023.

Matzke Georgina (2023). Brennstoffzellen: Hersteller im Überblick. Heizungsfinder (Hg.) Online verfügbar unter: <https://www.heizungsfinder.de/brennstoffzelle/brennstoffzellenhersteller#hinweise-zur-auswahl-einer-brennstoffzellenheizung> Zuletzt abgerufen am 17.04.2023

H2Skills (2022): Branchenübergreifende Bedarfsanalyse für Qualifizierungsangebote im Wasserstoff-Kontext in Nord-Ost-Niedersachsen. IHK Lüneburg-Wolfsburg; HWK Braunschweig-Lüneburg-Stade. Online verfügbar unter <https://www.wasserstoff-niedersachsen.de/wp-content/uploads/2022/09/H2Skills-Bedarfsanalyse-Qualifizierung-Wasserstoff.pdf>, zuletzt geprüft am 10.11.2022.

Meyer, Robert; Herkel, Sebastian; Kost, Christoph (2021): Die Rolle von Wasserstoff im Gebäudesektor: Vergleich technischer Möglichkeiten und Kosten defossilisierter Optionen der Wärmeerzeugung. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK). Potsdam. Online verfügbar unter <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-wasserstoff-im-gebauedesektor/#zusammenfassung>, zuletzt geprüft am 03.08.2022.

Müller-Syring, Gert; Henel, Marco. (2014): Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusive aller assoziierten Anlagen. Hg. v. DVGW, Deutscher Verein des Wasser- und Gasfachs. Online verfügbar unter https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g1_02_12.pdf. Zuletzt abgerufen: 3.6.2022

Müller-Syring, Gert.; Feller, Florian. (2022): Interview zu H2vorOrt mit Florian Feller, Vorsitzender bei H2vorOrt, und Gert Müller-Syring, Geschäftsführer der DBI Gas und Umwelttechnik GmbH, Ressort Engineering & Consulting. gwf-Gas- und Energie, 10/2022, S.36-41. Hrsg: DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH; DBI – Gasthechnologisches Institut gGmbH Freiberg; Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches.

Netze-BW (2022): Wasserstoffinsel Öhringen. Verfügbar unter: <https://www.netze-bw.de/unsernetz/netzinnovationen/wasserstoff-insel> Zuletzt abgerufen am 27.01.2023

Ökoinstitut e.V.; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (2022): Durchbruch für die Wärmepumpe. Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-04_DE_Scaling_up_heat_pumps/A-EW_273_Waermepumpen_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 04.04.2023.

Prognos; Öko-Institut; Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. Hg. v. Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf, zuletzt abgerufen am 25.02.2023.

Quaschnig, Volker (2016): Sektorkopplung durch die Energiewende. Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung. Hg. v. Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.volker-quaschnig.de/publis/studien/sectorkopplung/Sektorkopplungsstudie.pdf>, zuletzt geprüft am 18.06.2022.

Runst, Petrik, and Jana Ohlendorf (2015). Die Rolle des Handwerks auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand. Göttingen: Volkswirtschaftliches Institut für Mittelstand und Handwerk an der Universität Göttingen, 2015. <https://doi.org/10.3249/2364-3897-gbh-1>

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

Skiba, Richard (2020): Competency Standards for Emerging Hydrogen Related Activities. In: Open Journal of Safety Science and Technology 10 (02), S. 42–52. DOI: 10.4236/ojsst.2020.102004.

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

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

Statistisches Bundesamt (2023): Produktion von Wärmepumpen in den ersten drei Quartalen 2022 um 49% gegenüber Vorjahreszeitraum gestiegen. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/03/PD23_N014_42_51.html, zuletzt aktualisiert am 03.03.2023, zuletzt aufgerufen am 26.03.2023.

STEEG, St; HELMRICH, R.; MAIER, T.; SCHROER, Ph.; MÖNNING, A.; WOLTER, M.; SCHNEEMANN, Ch.; ZIKA, G (2022). Die Wasserstoffwirtschaft in Deutschland: Folgen für Arbeitsmarkt und Bildungssystem. Eine erste Bestandsaufnahme. Bonn 2022. URL: <https://lit.bibb.de/vufind/Record/DS-779809> (Stand: 25.01.2022)

Thomsen, Jessica; Herkel, Sebastian; Lenz, Matthias (2022): Erste Ableitungen aus der "Bottom-Up Studie zu Pfadoptionen einer Effizienten und sozialverträglichen Dekarbonisierung des Wärmesektors" mit Blick auf die kommunale Wärmeplanung und die Rolle von Wasserstoff. Zwischenbericht zum Projekt Bottom-Up Studie zu Pfadoptionen einer effizienten und sozialverträglichen Dekarbonisierung des Wärmesektors im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrates. Hg. v. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) und Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE). Freiburg, Kassel. Online verfügbar unter https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/2022-06-30_NWR-Waermestudie_Zwischenergebnisse_FhG.pdf.

Thomsen, Jessica; Kost, Christoph; Wanapinit, Natapon; Meyer, Robert; Ulfers, Jan; Bavia Bampi, Bruno et al. (2022): Bottom-Up Studie zu Pfadoptioen einer effizienten und sozialverträglichen Dekarbonisierung des Wärmesektors. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Endbericht. Hg. v. Fraunhofer ISE und Fraunhofer IEE. Freiburg, Kassel. Online verfügbar unter https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2022/221222_Bottom_Up_Studie_final-1.pdf, zuletzt aufgerufen am 25.02.2023.

Umweltbundesamt, UBA (2022). Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme#warmeverbrauch-und-erzeugung-nach-sektoren> Zuletzt abgerufen am 2.12.2022

Umweltbundesamt, UBA (2023): Ökodesign-Richtlinie. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/oekodesign/oekodesign-richtlinie#grundkonzept-der-okodesign-richtlinie>, zuletzt aktualisiert am 02.04.2023, zuletzt aufgerufen am 02.04.2023.

Viessmann (2023). Brennstoffzellenheizungen von Viessmann. Online verfügbar unter <https://www.viessmann.de/de/produkte/brennstoffzelle/vitovalor-familie.html> Zuletzt abgerufen am 18.04.2023.

Westenergie (2022). Holzwickede rüstet um – und zwar auf Wasserstoff. Online verfügbar unter: <https://www.westenergie.de/de/landingpage/wasserstoff/h2howi.html> Zuletzt abgerufen am 27.01.2023

Wietschel, M.; Zheng, L.; Arens, M.; Hebling, C.; Ranzmeyer, O.; Schaadt, A.; Hank, C.; Sternberg, A.; Herkel, S.; Kost, C.; Ragwitz, M.; Herrmann, U.; Pfluger, B. (2021): Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Karlsruhe, Freiburg, Cottbus: Fraunhofer ISI, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IEG (Hrsg.).

Wietschel, Martin; Plötz, Patrick; Klobasa, Marian; Müller-Kirchenbauer, Joachim; Kochems, Johannes; Hermann, Lisa et al. (2018): Sektorkopplung – Was ist darunter zu verstehen? In: Zeitschrift für Energiewirtschaft (43), S. 1–10.

Zentralverband des Deutschen Handwerks, ZDH (2020): Handwerkszählung 2020. Online verfügbar unter: <https://www.zdh.de/ueber-uns/fachbereich-wirtschaft-energie-umwelt/statistik/handwerkszaehlung/handwerkszaehlung-2020/> Zuletzt abgerufen am 20.04.2023.

Zentralverband Sanitär, Heizung, Klima, ZVSHK (2022). Fachbereiche der SHK Organisation [Online]. Online verfügbar unter: <https://www.zvshk.de/fachbereiche/> Zuletzt abgerufen am 4.12.2022

Zinke, Gert (2022): Sektoranalyse: Erzeugung, Speicherung und Transport von Wasserstoff. Eine Untersuchung im Rahmen des Projekts „H2PRO: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“. Online: https://res.bibb.de/vet-repository_780890, zuletzt abgerufen am 07.04.2023

Zukunft Gas e.V. (2017): Brennstoffzellen-Heizung: Marktentwicklung liegt im Plan. Online verfügbar unter: <https://www.presseportal.de/pm/112647/3769966> Zuletzt abgerufen am 17.04.2023.

Anhang

Aussagen von Gesprächspartner/innen im Rahmen der Vorgespräche, thematisch sortiert. (Zur Anonymisierung ist den Gesprächspartner/innen ein Code zugeordnet; die Bezeichnungen der Funktionen enthalten sowohl die männliche als auch die weibliche Form)

Aussage	Gesprächs- partner/i n (Code)	Funktion Gesprächspartner/in	Art der Einrichtung
Allgemeines zur direkten Verbrennung von Wasserstoff (H₂-Beimischung oder H₂ in Reinform)			
Es zeichnet sich ab, dass Leitungen (des Verteilnetz) inkl. Bauteile wasserstoffgeeignet sind. (Der geringere Heizwert von Wasserstoff kann durch schnelleres Fließverhalten ausgeglichen werden).	I	Referent/in	Verband
Für zukünftige Netz-Umrüstungen ist es wichtig, dass die Endgeräte mit Wasserstoff funktionieren, bevor Wasserstoff eingeleitet wird.	II	Projektleiter/in	Netzbetreiber
Für H ₂ -Beimischung ist die Frage wichtig, ob sich die Eigenschaften des Gases ändern (Wobbe-Index). Je mehr Wasserstoff, desto mehr verschiebt sich die Explosionsgrenze (bei Methan zwischen 4%-16%; bei Wasserstoff zwischen 4% und 75%).	IV	Abteilungsleiter/in	Netzbetreiber
Das Wissen wird derzeit über Firmenschulungen verbreitet.	XII	Bereichsleiter/in	Verband
Teilnehmende einer Schulung für die Anwendung von Wasserstoff im Verteilnetz sind aus verschiedenen Berufsgruppen: Mechatroniker, Elektroniker, IT-Systemtechniker, etc. mit diversen Zusatzqualifikationen.	III	Betriebsleiter/in	Netzbetreiber
Schulungsinhalte für die Anwendung von Wasserstoff im Verteilnetz: Theorie (1.Tag), Praxisteil an der freigelegten Wasserstoffinfrastruktur mit Blasensetzen, inklusive Inertisierung, Gas freimachen, Hausanschluss setzen, Arbeiten an der Gasdruckanlage mit 100% Wasserstoff.	III	Betriebsleiter/in	Netzbetreiber
DVGW-Regelwerk ist "Bibel" für Aus- und Weiterbildung. Dieses Regelwerk wurde erweitert, so dass Beimischung von 20% Wasserstoff miteingeschlossen ist.	IV	Abteilungsleiter/in	Netzbetreiber
Umfang und Tiefe von Schulung und Ausbildung für die Umrüstung von Erdgasnetzen sind zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht klar, da die Fachkräfte ja auch mit 100% Wasserstoff arbeiten müssen (Übergabestation).	IV	Abteilungsleiter/in	Netzbetreiber, Netzbetreiber
Anforderung für Rohrleitungsbau			
Der Rohrleitungsbau an sich stellt keine Herausforderung für die Umstellung auf Wasserstoff dar.	V	Keine Information	Verband
Die in GW 301 zitierten technischen Regeln (für Rohrleitungsbau) werden schrittweise ausdrücklich auch auf Wasserstoff umgestellt, ohne dass sich in Bezug auf den	V	Betriebsleiter/in	Verband

Rohrleitungsbau grundlegend neue Anforderungen ergeben (siehe z. B. G 452-2). Der Auftraggeber gibt die Spezifikation für die zu bauende Leitung vor.			
Verwendung von Wasserstoff bedeutet für Rohrleitungsbauer keine wesentlichen Änderungen.	VI	Geschäftsführer/in	Verband
Das Schweißverfahren für den Rohrleitungsbau ändert sich durch Wasserstoff nicht. Die großen Unterschiede im Schweißen entstehen durch das Material: a) Kunststoff, Polyethylen oder b) Stahl. Bei Leitungen, die in Betrieb sind, gilt: wenn Wasserstoff transportiert wird, kann gar nicht geschweißt werden.	VI	Geschäftsführer/in	Verband
Schweißen wird in Ausbildung nicht vertieft gelernt, sondern im Beruf.	VI	Geschäftsführer/in	Verband
Dichtungen sind nicht immer wasserstoffgeeignet, aber das ist für Rohrleitungsbauer unerheblich, da die Dichtungen vom Armaturenhersteller bereitgestellt werden.	VI	Geschäftsführer/in	Verband
Wasserstoff hat kleinere Moleküle, verteilt sich deshalb mehr als andere Substanzen und kann in Material eindringen, das porös ist. Dies kann für den Leitungsbau problematisch sein. Deshalb müssen Rohrleitungsbauer/innen genauer schweißen, wenn es sich um eine Leitung handelt, die Wasserstoff transportiert.	VII	Vertrieb	Industrie
Wasserstofftauglichkeit Endgeräte			
Wasserstoff-Wissen spielt für Hersteller sehr wohl eine Rolle	IX	Head of Technical Innovation Management	Industrie
Wasserstofftaugliche Geräte sollen sich in Schnittstellenbereichen nicht von den konventionellen unterscheiden (Botschaft: „der Handwerker findet seine alte Welt vor“).	IX	Head of Technical Innovation Management	Industrie
Spezifisches „Wasserstoffwissen“ ist erforderlich an Schnittstellen	IX	Head of Technical Innovation Management	Industrie
Zeithorizont: ab ca. 2025 können die Hersteller Geräte für die Nutzung von reinem Wasserstoff bauen – ab diesem Zeitpunkt müssen die Kenntnisse in die Breite gehen, von den Ingenieuren zu denen die fertigen.	IX	Head of Technical Innovation Management	Industrie
Für jedes neue Gerät gibt es Schulungsbedarf, das macht der Installateur beim Hersteller. (Für Gasgeräte ca. 10.000 Herstellertypen).	I	Referent	Verband
Schulungsbedarf entsteht, wenn 100% Wasserstoff verwendet wird. Die Frage ist, ob dies in die TRGI hineingeschrieben werden kann oder ob man ein gesondertes Regelwerk braucht.	I	Referent	Verband
Aufgabe für Schornsteinfeger: sie kennen die Endgeräte der Kunden und prüfen diese 1 x pro Jahr. Sie stellen in Zukunft fest, wie Wasserstofftauglich das Gerät ist. Eigentlich muss	II	Projektleiter/in	Netzbetreiber

auch der Netzbetreiber die Geräte kennen, aber das ist in der Praxis oft anders.			
Prüfung von Wasserstofftauglichkeit der Geräte erfolgt durch die Hersteller (weil sie die Geräte am besten kennen). In der Praxis wird der Gerätetyp mit den Kennzahlen durchgegeben.	II	Projektleiter/in	Netzbetreiber
Wasserstoff für Kraft-Wärme-Kopplung			
Kraft-Wärme-Kopplung (für Brennstoffzelle und BHKW) ist bereits seit 20 Jahren auf dem Markt, hat sich aber nicht verbreitet („kein Durchbruch“)	VIII	Unternehmensbereichsleiter/in	Bildungseinrichtung
Brennstoffzellenheizgeräte werden in der Regel mit Erdgas betrieben, weil es zur Verfügung steht.	VIII	Unternehmensbereichsleiter/in	Bildungseinrichtung
Hersteller müssen sich nicht anpassen, denn technische Geräte (Erdgasgeräte) müssen angeschlossen werden entsprechend TRGI.	XI	Projektleiter/in	Bildungseinrichtung
Erst wenn ein Markt entsteht (d.h. Geräte in Serienreife kommen) investieren Hersteller in Wissen – erst danach geht es auf die Handwerksbetriebe über.	XI	Projektleiter/in	Bildungseinrichtung
Nachfrage nach Schulungen zu Brennstoffzellen-Heizung ist niedrig.	XI	Projektleiter/in	Bildungseinrichtung
Installateur kommt mit Wasserstoff nicht in Berührung, sondern Kundendienst.	XI	Projektleiter/in	Bildungseinrichtung
Verwendung von Wasserstoff bringt keine wesentlichen Änderungen für die Fachkräfte, aber erfordert Grundlagenkenntnisse zu Wasserstoff.	XI	Projektleiter/in	Bildungseinrichtung
Wasserstoffkenntnisse sind vor allem für die Hersteller wichtig.	XI	Projektleiter/in	Bildungseinrichtung
Wasserstoff-Wissen sollte für die Branche quer zu den Berufen als Modul angeboten werden.	XIV	CTO, Anlagenhersteller	Industrie
Wasserstoffbasierter Stromspeicher			
Markt für wasserstoffbasierte Stromspeicher-Anlagen (zum Beispiel der Marke Picea) ist ein Nischenmarkt, daher ist die Bedeutung für SHK sehr gering. Priorität vor Wasserstoff hat Wärmepumpe – dies sollte in der SHK-Ausbildung verankert sein.	X	Geschäftsführer/in	Handwerksbetrieb
Wissen für SHK-Berufe kann mit einer Spezialschulung zu Wasserstoff abgedeckt werden.	XIII	Geschäftsführer Handwerksbetrieb	Handwerksbetrieb

Stromspeicher-Anlagen auf Wasserstoffbasis (Picea) werden in Bildungsstätten nicht für Schulungen zur Verfügung stehen, weil zu teuer. Die Entwicklung wird dauern.	VIII	Unternehmensbereichsleiter	Bildungseinrichtung
Sonstiges			
Industriekaufleute haben auch wichtige Rolle	XII	Bereichsleiter/in	Verband