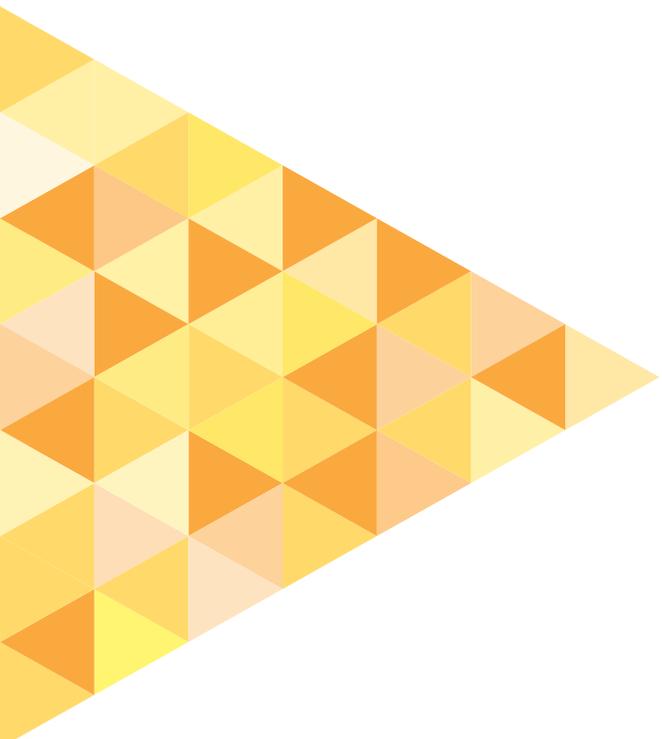


Inga Schad-Dankwart

Sektoranalyse: Wasserstoff in der Stahlindustrie

Eine erste Bestandsaufnahme zu technologischen Veränderungen und neuen Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung im Rahmen des Projektes „H2Pro: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“



BIBB Discussion Paper

Zitiervorschlag:

Schad-Dankwart, Inga: Sektoranalyse : Wasserstoff in der Stahlindustrie - eine erste Bestandsaufnahme zu technologischen Veränderungen und neuen Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung im Rahmen des Projektes „H2Pro: Wasserstoff - Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“. Version 1.0 Bonn, 2023. Online: https://res.bibb.de/vet-repository_781673.



© Bundesinstitut für Berufsbildung, 2023

Version 1.0
September 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-781673-4

Sektoranalyse: Wasserstoff in der Stahlindustrie – eine erste Bestandsaufnahme zu technologischen Veränderungen und neuen Anforderungen in der Fachkräftequalifizierung im Rahmen des Projektes „H2Pro: Wasserstoff – Ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende“

Inga Schad-Dankwart*

Abstract

Wasserstoff als klimafreundlicher Energieträger ist von großer Bedeutung für die Energiewende. Insbesondere für die Dekarbonisierung der Stahlindustrie birgt Wasserstoff ein großes Potenzial, da er als Alternative zur Kohle eingesetzt werden kann.

Um den Wandel erfolgreich zu gestalten, sind neben den benötigten finanziellen Mitteln insbesondere qualifizierte Fachkräfte notwendig. Die Fragen, ob und wie sich Arbeitsaufgaben und Qualifizierungsbedarfe in Ausbildungsberufen durch den Einsatz von Wasserstoff verändern und welche Handlungsbedarfe für die berufliche Aus- und Weiterbildung daraus bestehen, ist bisher kaum diskutiert. Daher hat das BMBF das BIBB beauftragt, den Qualifizierungsbedarf dual ausgebildeter Fachkräfte im Umgang mit Wasserstoff zu ermitteln und daraus Handlungsbedarfe für die Aus- und Weiterbildung abzuleiten. Die vorliegende Sektoranalyse ist eine von insgesamt fünf Teilanalysen. Sie beschäftigt sich mit der Frage nach Qualifizierungsbedarfen in dualen Ausbildungsberufen aufgrund der technologischen Umstellung in der Stahlindustrie.

* Inga Schad-Dankwart: Bundesinstitut für Berufsbildung

Abkürzungsverzeichnis

BIBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
H ₂	Wasserstoff
KLDB	Klassifikation der Berufe
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
THG	Treibhausgasemissionen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sektoren innerhalb des Projekts „Wasserstoff als Zukunftsthema für die berufliche Bildung“	9
Abbildung 2: Herstellung von Roheisen in der integrierten Hochofenroute	15
Abbildung 3: Standorte der Stahlerzeugung	16
Abbildung 4: Treibhausgasemissionen in Deutschland.....	17
Abbildung 5: Unterschied zwischen DRI und Hochofenroute.....	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Typische in Frage kommende Ausbildungsberufe für den Teilprozess „Anlagen planen und entwickeln“	23
Tabelle 2: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Technischer/Technische Produktplaner/in .	23
Tabelle 3: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Technischer/Technische Systemplaner/in FR Stahl- und Metallbautechnik	24
Tabelle 4: Typische in Frage kommende Ausbildungsberufe im Kontext des Errichtens der Anlagen	25
Tabelle 5: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan der industriellen Metallberufe	26
Tabelle 6: Typische in Frage kommende Ausbildungsberufe im Kontext der technischen Überprüfung und Inbetriebnahme.....	26
Tabelle 7: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Mechatroniker/in	27
Tabelle 8: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Industriemechaniker/in.....	28
Tabelle 9: Typische in Frage kommende Ausbildungsberufe im Kontext des Betriebens der Anlage	29
Tabelle 10: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Verfahrenstechnologe/in Metall Fachrichtung Eisen- und Stahlmetallurgie, Nichteisenmetallurgie	30
Tabelle 11: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Industriemechaniker/in.....	31
Tabelle 12: Ausbildungsberufe im Kontext der Überwachung der Anlagen	32
Tabelle 14: exemplarische Verweise auf Weiterbildungsangebote	35

Inhalt

Abstract	1
Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis	3
Das Wichtigste in Kürze.....	5
1 Zielstellung der Sektoranalyse und Einordnung innerhalb des H2PRO-Projekts	7
2 Vorgehen bei der Sektoranalyse	9
3 Gesellschaftliche, wirtschaftliche und technische Einordnung der Wasserstoffnutzung.....	10
4 Bedeutung und Struktur der Stahlerzeugung	11
4.1 Wirtschaftliche Bedeutung der Stahlindustrie und Eingrenzung des Sektors	11
4.2 Stahlherstellung.....	13
4.3 Die Stahlindustrie im Kontext der Klimadiskussion.....	16
5 Produkte und Technologien im Wasserstoffkontext	18
6 Teilprozesse, Aufgabencluster und Berufe entlang der Wertschöpfungskette	20
6.1 Identifizierung einschlägiger Ausbildungsberufe und Bildung von Hypothesen	22
6.1.1 Einschlägige Ausbildungsberufe entlang der Teilprozesse.....	23
6.1.2 Identifizierung einschlägiger Ausbildungsberufe in vor- und nachgelagerten Teilprozessen.....	33
6.1.3 Qualifikationsanpassung durch erweiterte Sicherheitsaspekte?.....	33
7 Schulungs- und Weiterbildungsangebote als Indikator für Qualifikationsbedarfe/Qualifikationsstrategien.....	34
8 Erste Schlussfolgerungen zur Einschätzung notwendiger möglicher ordnungsrelevanter Qualifikationsbedarfe/Diskussion der Ergebnisse und weiterer Forschungsbedarf.....	36
9 Literaturverzeichnis.....	38

Das Wichtigste in Kürze

„Das Wasser ist die Kohle der Zukunft. Die Energie von morgen ist Wasser, das durch elektrischen Strom zerlegt worden ist. Die so zerlegten Elemente des Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff, werden auf unabsehbare Zeit hinaus die Energieversorgung der Erde sichern.“

Was Jule Verne bereits im Jahr 1870 vorausgesagt hat, ist für das Gelingen der Energiewende heute von großer Bedeutung. In allen Bereichen des Lebens, aber insbesondere in Bereichen der Schwerindustrie, in denen große Mengen an Co₂-Emissionen entstehen, wird Wasserstoff als der Energieträger der Zukunft betrachtet. Wird dieser mit grünem Strom hergestellt, können die klimaschädlichen Emissionen um ein Vielfaches reduziert und die Klimaziele von 2050 erreicht werden. Die aufgrund des rasant fortschreitenden Klimawandels drängende Notwendigkeit einer Energiewende wurde durch die Energiekrise – ausgelöst durch den russischen Angriffskrieg im Jahr 2022 – verstärkt. Dies hat zu einem zusätzlichen Aufschwung in der Forschung und Entwicklung zum Thema Wasserstoff und den Einsatzmöglichkeiten geführt. In vielen Bereichen gibt es bereits heute Technologien, die anstatt auf Gas oder Öl, auf Wasserstoff basieren.

In der Stahlindustrie gilt Wasserstoff nach dem aktuellen technologischen Stand als einzige Alternative zur Kohle. Durch den Einsatz von Wasserstoff kann Kohle als Reduktionsmittel abgelöst sowie Erdgas als zusätzliche Energiequelle ersetzt und Stahl in Zukunft klimafreundlich hergestellt werden. Doch für eine erfolgreiche Umstellung sind nicht nur ausreichend finanzielle Mittel und der für die Umstellung notwendige politische Rahmen Voraussetzung, sondern auch Fachkräfte, die durch die passenden Qualifikationen den Wandel kompetent begleiten und vorantreiben können. Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) beauftragt, von Oktober 2021 bis September 2024 mögliche Qualifizierungsbedarfe auf dem Niveau dual ausgebildeter Fachkräfte zu ermitteln, die ggf. durch den Einsatz von Wasserstoff und damit verbundene Veränderungen in Tätigkeiten von Fachkräften auftreten. Im Rahmen des Projektes „H₂PRO: Wasserstoff als Zukunftsthema für die berufliche Bildung“ (H₂Pro) werden die Sektoren Stahl, Chemie, Mobilität und Logistik sowie Wärme und Wasserstofferzeugung in Hinblick auf Veränderungen durch den Einsatz von Wasserstoff näher betrachtet und die daraus möglicherweise entstehenden Qualifikationsanpassungsbedarfe abgeleitet.

Die hier vorliegende Sektoranalyse konzentriert sich auf die Stahlindustrie. Neben einer kurzen Erläuterung bezüglich der Branche selber, der Technologieumstellung und den damit antizipierten Veränderungen an den betroffenen Arbeitsplätzen, dient dieser Schritt insbesondere der näheren Einschränkung des Forschungsgegenstandes und der Bildung erster Hypothesen bezüglich Qualifikationsanpassungsbedarfen.

Ein beispielhafter Abgleich mit möglichen Anforderungen an Fachkräfte und den bereits in der Ausbildung verankerten Kompetenzen lässt vermuten, dass in den stahlspezifischen Berufen keine grundsätzlich neuen Qualifikationsbedarfe entstehen. Diese Annahme bezieht sich insbesondere auf ordnungsrelevante Anpassungen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass keinerlei Anpassungsmaßnahmen auf Umsetzungsebene notwendig werden. Diese können z. B. in Form von Schulungsmaßnahmen, die entweder durch innerbetriebliche Maßnahmen oder externe Schulungsangebote abgedeckt werden, stattfinden. So sollten Fachkräfte, die direkt oder indirekt mit Wasserstoff in Berührung kommen, mit dem Thema im Allgemeinen, der Bedeutung von Wasserstoff für die Stahlproduktion im Speziellen und den damit verbundenen Sicherheitsrisiken vertraut gemacht werden. Die Verankerung von allgemeinen Inhalten rund um das Thema Wasserstoff kann somit durchaus sinnvoll sein. Auch im Hinblick auf die Sicherheitsaspekte müssen die Fachkräfte geschult sein. Um ein genaueres Bild wiedergeben zu können, ob sich die in diesem Schritt getroffenen Annahmen bestätigen lassen und in welchem Umfang und auf welcher Ebene Anpassungs- und Schulungsbedarfe notwendig werden, bedarf es weiterer Forschungsschritte im Projekt.

1 Zielstellung der Sektoranalyse und Einordnung innerhalb des H2PRO-Projekts

Mit der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) setzt die Bundesregierung den Rahmen für den Markthochlauf von Wasserstoff-Technologien und für den Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur (BMWi 2020) in Deutschland. Denn ohne die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger 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 u. a. 2018).

Für die Realisierung des von der NWS anvisierten Markthochlaufs der Wasserstoffwirtschaft werden auf allen Ebenen Fachkräfte gebraucht (STEEG u. a. 2022).

Wasserstoffanwendungen bringen in verschiedenen Sektoren die Einführung neuer Technologien sowie die Restrukturierung von Produktionszusammenhängen mit sich. Weitgehend unbekannt ist, wie sich die Verbreitung von Wasserstoffanwendungen und der Aufbau entsprechender Wertschöpfungsketten auf Arbeit, Beschäftigung und den damit verbundenen Qualifikationsbedarf auswirken.

Zur Frage, welche Berufe auf mittlerer Ebene betroffen sind und wo Qualifikationsbedarfe bestehen, liegen bislang keine tiefergehenden Erhebungen vor. Ersten Einschätzungen nach deckt die duale Berufsausbildung mit ihrer Breite sowie ihrer Orientierung auf flexibles Handeln in unterschiedlichen Arbeitssituationen bereits einen weiten Teil der Arbeitsanforderungen in Wasserstoffkontexten ab. (KRICHEWSKY-WEGENER/ABEL/BOVENSCHULTE 2020).

Zu erwarten ist, dass sich die Nachfrage nach Fachkräften für wasserstoffbezogene Tätigkeiten in den einzelnen Branchen und Regionen je nach Marktreife der Technologien und Umfang der Wasserstoffaktivitäten zeitlich und regional ungleichmäßig entwickelt.

Aufgrund der verbesserten Möglichkeiten zur Sektorenkopplung durch Wasserstoff ist auch zu erwarten, dass nicht nur die Nachfrage nach Wasserstoffkompetenzen im engeren Sinne, sondern nach Fachkräften für die Arbeit an vernetzten Energiesystemen bzw. infrastrukturellen Schnittstellen insgesamt steigt (GRIMM/JANSER/STOPS 2021; FLECKENSTEIN 2022). Qualifizierte Fachkräfte, die die Anlagen herstellen, ihr tägliches Funktionieren sichern, wichtige Innovationsbeiträge liefern und letztendlich auch den Produktionsprozess entlang der Anlagen begleiten, sind für einen reibungslosen Wasserstoff-Hochlauf und die damit je nach Sektor verbundene Prozessveränderungen unverzichtbar. Umso mehr ist eine differenziertere Untersuchung dazu notwendig, welche Qualifikationsanforderungen an Fachkräfte durch den Einsatz von Wasserstoff in verschiedenen Bereichen der Wirtschaft entstehen. Das Projekt soll hierzu Aufschluss bieten. Folgende Fragen stehen im Fokus des Projektes:

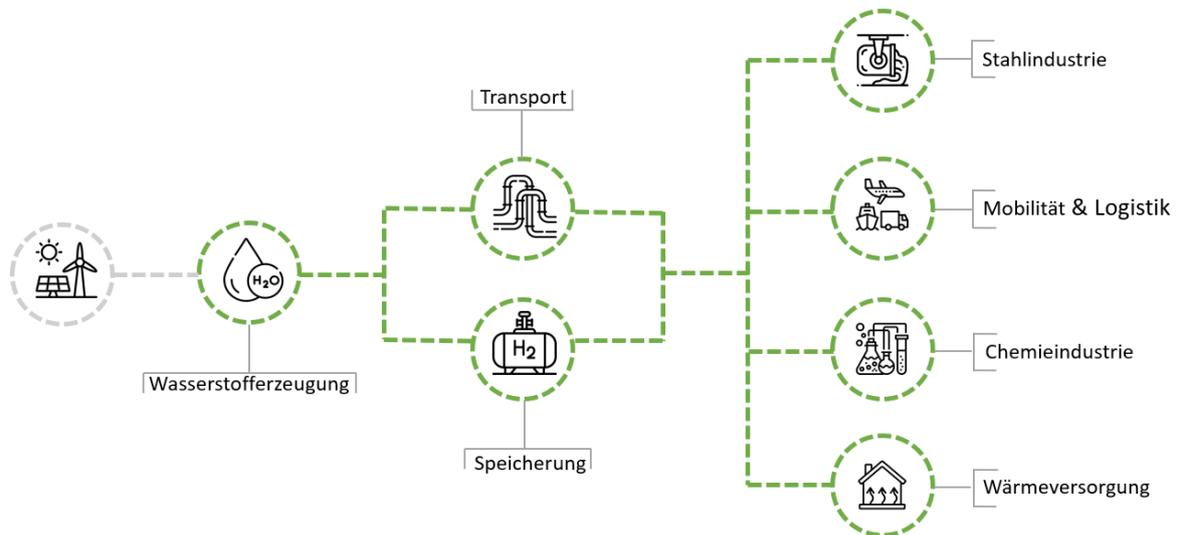
1. Welche Ausbildungsberufe und Weiterbildungsstrategien sind auf der mittleren Fachkräfteebene für die Umsetzung der Wasserstoffstrategie von besonderer Bedeutung?
2. Welche insbesondere qualitativen Qualifikationsbedarfe werden voraussichtlich zusätzlich entstehen?
3. Sind bereits im ausreichenden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

Ziel der Sektoranalyse ist es zunächst, eine erste kontextbezogene Annäherung an „den Aufgabenwandel und die Inhalte von Arbeitsaufgaben“ (SPÖTTL 2005) im Untersuchungsfeld (Sektor) zu erfassen. Sie dient insbesondere der Eingrenzung des Untersuchungsfeldes.

Auf Grundlage der Sektoranalyse werden erste Annahmen erarbeitet, die es im weiteren Forschungsverlauf zu überprüfen und zu vertiefen gilt. Auch trägt sie dazu bei, die weiteren Forschungsinstrumente zu präzisieren und Zugänge für Fallstudien zu erhalten (SPÖTTL 2005; SPÖTTL/WINDELBAND 2006). Die Zwischenergebnisse der Sektoranalyse basieren in erster Linie auf intensiven Literatur- und Internetrecherchen, ersten allgemeinen Gesprächen mit Expertinnen und Experten aus Verbänden, Wissenschaft und Unternehmen sowie vereinzelt Betriebsbesichtigungen. Die vorliegende Untersuchung mit dem Fokus auf die Stahlindustrie ist eine von insgesamt fünf Sektoranalysen im H2PRO-Projekt.

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

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



Quelle: eigene Darstellung

2 Vorgehen bei der Sektoranalyse

Das Untersuchungsdesign umfasst drei zeitlich hintereinandergeschaltete Arbeitsschritte:

- Sektoranalysen der fünf Untersuchungsfelder Wasserstoffherzeugung, Chemieindustrie, Stahlindustrie, Mobilität, Wärmeversorgung,
- Leitfadengestützte Experteninterviews,
- Arbeitsprozessorientierte Betriebsfallstudien.

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

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

Es werden erste Tätigkeits- und Aufgabenfelder beschrieben und berufsprofilbezogene Abgrenzungsfragen beantwortet. Zudem werden erste Annahmen bezüglich Qualifizierungsbedarfe getroffen.

3 Gesellschaftliche, wirtschaftliche und technische Einordnung der Wasserstoffnutzung

Mit dem im Jahr 2021 verschärften Bundes-Klimaschutzgesetz hat sich Deutschland verpflichtet, seine Treibhausgasemissionen bis 2030 um 65 Prozent gegenüber 1990 zu senken und bis 2045 treibhausgasneutral zu werden. Grüner Wasserstoff gilt als wichtiger Baustein zu Erreichung der Klimaziele, da seine energetische und stoffliche Nutzung teils alternativlose Wege zur CO₂-Vermeidung eröffnet. Die im Juni 2020 vorgestellte Nationale Wasserstoffstrategie bildet den politischen Rahmen, um den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft durch Förderung unterschiedlicher Handlungsfelder umfassend voranzubringen (BMWi 2020). Das in der Strategie festgehaltene Ausbauziel von 5 GW Elektrolysekapazität im Jahr 2030 wurde mit dem Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung auf 10 GW verdoppelt (SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, FDP 2021).

In der Transformation des Energiesystems bieten Wasserstoff und seine Folgeprodukte dort eine vielversprechende Perspektive, wo der Einsatz direkt- bzw. batterieelektrischer Systeme technisch nicht möglich oder wirtschaftlich unvorteilhaft ist. Insbesondere Verkehrssegmente wie der Langstreckentransport, die Schifffahrt oder der Flugverkehr können über die Rückverstromung in der Brennstoffzelle oder die Verbrennung synthetischer Kraftstoffe auf Wasserstoffbasis (E-Fuels) von fossilen Antriebslösungen entkoppelt werden (SHELL DEUTSCHLAND/WUPPERTAL INSTITUT 2017; FRAUNHOFER IPT 2021). In der Wärmeversorgung ist der Einsatz von Wasserstoff technisch zwar möglich, jedoch bieten andere Technologien ökonomische und energiebilanzielle Vorteile, weswegen die tatsächlichen Anwendungspotenziale hier kontrovers diskutiert werden (MEYER/HERKEL/KOST 2021).

In industriellen Herstellungsverfahren für Stahl oder Chemieerzeugnisse kann die stoffliche Wasserstoffnutzung dagegen entscheidend dazu beitragen, fossile Roh- und Hilfsstoffe zu ersetzen und damit verbundene Prozessemissionen zu vermeiden.

Insgesamt bieten Power-to-X-Technologien – d.h. die Umwandlung von Strom in gasförmigen Wasserstoff und daran anknüpfend synthetisches Methan (Power-to-Gas) oder die Weiterverarbeitung zu flüssigen Kohlenwasserstoffen (Power-to-Liquid) – die Möglichkeit, die Infrastrukturen der Energiewirtschaft, Mobilität und Industrie tiefgehend zu verknüpfen (Sektorenkopplung) und eine ganzheitliche Versorgung mit erneuerbaren Energien zu erreichen. Zudem ermöglicht Wasserstoff durch seine flexiblen Herstellungsoptionen eine effizientere Systemintegration erneuerbarer Energien, bspw. wenn überschüssige Strommengen in besonders windstarken oder sonnigen Phasen nicht ins Netz eingespeist werden können.

Je nach Annahmen in entsprechenden Szenarien, beziffern Prognosen die Bandbreite des Wasserstoffbedarfs auf ca. 50 bis 120 TWh im Jahr 2030 und ca. 400 bis 700 TWh im Jahr 2045 (ARIADNE 2021; BMWi 2020; PROGNOSES/ÖKO-INSTITUT/WUPPERTAL-INSTITUT 2021). Mit dem politisch anvisierten Ziel

von 10 GW Elektrolysekapazität 2030 könnten rund 28 TWh dieses Bedarfs aus heimischer Produktion gedeckt werden. Daraus ergeben sich zum einen hohe Importbedarfe und die Notwendigkeit zum Aufbau internationaler Infrastrukturen, Märkte und Partnerschaften (MÖNNING u. a. 2022; ACATECH/LEOPOLDINA/UNION DER DEUTSCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN 2022). Zum anderen setzt das Ziel einer umfangreichen inländischen Produktion grünen Wasserstoffs den erheblichen Ausbau erneuerbarer Energien voraus.

4 Bedeutung und Struktur der Stahlerzeugung

Stahl als Werkstoff findet sich in fast allen Bereichen des täglichen Lebens wieder. Nicht nur in der industriellen Anwendung spielt Stahl eine bedeutende Rolle – auch im privaten Bereich ist Stahl von besonderer Bedeutung. So sind z. B. gerade im Bauwesen Stahlkonstruktionen kaum mehr wegzudenken. Und auch Fahrzeuge wie Autos, Fahrräder oder Züge sind ohne Stahl nicht vorstellbar. Oftmals sind es nicht mal die Endprodukte, die stahlintensiv sind – vielmehr steckt der Stahl in der Herstellung, Lagerung oder im Transport, wodurch auch Produkte, die keinen Stahl enthalten, als stahlintensiv gelten können. Ein Leben sowie eine Wirtschaft ohne Stahl ist somit kaum mehr vorstellbar, weshalb die Stahlindustrie zu Recht als eine der Basisindustrien Deutschlands bezeichnet werden kann. Gerade auch im Kontext der ökologischen Transformation spielt Stahl eine bedeutende Rolle, da z. B. alleine für die deutsche Windindustrie jetzt schon fast jährlich eine Million Tonnen Stahl für neue Offshore- und Onshore-Windparks benötigt werden. Doch für die Primärerzeugung von Rohstahl wird Kohle eingesetzt, wodurch während des Schmelzprozesses im Hochofen große Mengen an CO₂ entstehen (HENSMANN/HAARDT/EBERT 2010). Während rauchende Schornsteine am Anfang der Industrialisierung noch für eine boomende Wirtschaft standen, sind sie heute eher ein Sinnbild für umweltbelastende Emissionen. Nicht zuletzt dadurch bedingt, hat die Stahlindustrie das Image des grauen Riesens bekommen. Durch die technologische Weiterentwicklung in den letzten Jahren hat sich jedoch gezeigt, dass die Stahlindustrie nicht grau bleiben muss, sondern grün werden kann. Denn durch den Einsatz von Wasserstoff kann die Stahlindustrie dekarbonisiert werden und somit einen entscheidenden Beitrag zu einer klimafreundlichen Industrie leisten.

4.1 Wirtschaftliche Bedeutung der Stahlindustrie und Eingrenzung des Sektors

Da Stahl in allen Bereichen und in verschiedenen Formen auftreten kann, muss für eine exakte Betrachtung des zu untersuchenden Bereiches eine Eingrenzung der hier beschriebenen Stahlindustrie vorgenommen werden. Hierzu werden die der amtlichen Statistik zu Grunde liegenden Wirtschaftszweigklassifikationen herangezogen. Gemäß diesen lässt sich die Eisen- und Stahlindustrie zu einem Großteil der Gruppe 24.10 „Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen“ zuordnen. „Diese Unterklasse umfasst u. a. die Direktreduktion von Eisenerz, die Herstellung von Roheisen in

flüssiger oder fester Form, die Umwandlung von Roheisen in Stahl, die Herstellung von Ferrolegierungen und die Herstellung von Stahlerzeugnissen“ (STATISTISCHES BUNDESAMT 2008). Darunter ist die direkte Weiterverarbeitung des Flüssigstahls in Stranggießanlagen oder im Blockguss, der wiederum in Walz- sowie Schmiedewerken bearbeitet wird, zu verstehen. Daraus resultieren in der Regel Flach- und Langstahlprodukte. Dieser erste Schritt der Stahlherstellung und -bearbeitung ist als besonders energieintensiv zu bezeichnen. Zudem entsteht insbesondere bei der Stahlherstellung der Großteil der klimaschädlichen Co₂-Emissionen.

Die Gruppen 24.2 bis 24.4 umfassen im Wesentlichen die weitere Ver- und Bearbeitung von Stahl, wie die Herstellung von Stahlrohren sowie die sonstige Bearbeitung von Eisen und Stahl. Da es sich hierbei im weiteren Sinne nicht mehr um den eigentlichen Prozess der Stahlproduktion handelt und der Energieverbrauch sowie der Emissionsausstoß im Vergleich geringer ist (SCHLEMMER/SCHIMMEL/ACHTELIK 2020), werden diese Bereiche im Rahmen der vorliegenden Analyse nur am Rande betrachtet. Im Fokus der Betrachtung steht somit die „Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen“ (WZ 24.1).

Nach Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl wurden in Deutschland im Jahr 2021 rund 40 Millionen Tonnen Rohstahl erzeugt (HÖMANN/WEIß 2021). Bei insgesamt 153 Millionen jährlicher Rohstahlerzeugung in der EU, macht dies rund 30 Prozent der europäischen Gesamtproduktion aus (EUROFER 2022). Weltweit ist Deutschland der siebtgrößte Stahlhersteller (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL 2020). Doch trotz der weltweiten Bedeutung sowie der allgemeinen Bedeutung von Stahl für die Wirtschaft, hat das Umsatzniveau der Stahlindustrie im Gegensatz zu den Jahren 2007/2008 erheblich abgenommen. Dies ist insbesondere der Weltwirtschaftskrise in 2009 geschuldet. Zwar stieg der Umsatz in 2017/2018 wieder an, jedoch musste die Stahlindustrie in Deutschland erneute Umsatzrückgänge auf Grund der Coronapandemie verzeichnen. So beläuft sich der Umsatzerlös aus dem Jahre 2020 auf rund 32,1 Milliarden Euro (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL 2022b). Ihre Rolle als Schlüsselbranche in Deutschland kommt der Stahlindustrie jedoch nicht unbedingt auf Grund ihres Wertschöpfungsanteils des Wirtschaftszweiges zu, sondern vielmehr auf Grund ihrer Bedeutung als Branche, die oftmals als Zulieferer am Anfang einer Wertschöpfungskette steht (LIMBERS 2016). Fast überall spielt Stahl eine bedeutende Rolle und ist wichtiger Bestandteil von Gebrauchs- und Industriegütern. Insbesondere die Automobilindustrie, der Maschinen- und Anlagenbau sowie das Bauhauptgewerbe gelten als besonders stahlintensive Sektoren (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL 2020). Die Bedeutung der Stahlindustrie erschließt sich somit nicht zwingend aus der Betrachtung von wirtschaftlichen Kennzahlen, sondern vielmehr aus der Verflechtung mit vor- und nachgelagerten Branchen (DÖHRN/JANßEN-TIMMEN 2012). Kommt es in der Stahlindustrie zu Produktionsengpässen, verzögern sich unweigerlich auch in verflochtenen Branchen die Abläufe.

4.2 Stahlherstellung

Die Stahlerzeugung umfasst zwei Pfade: den Primärpfad (Hochofenverfahren; Direktreduktionsverfahren) und den Sekundärpfad (Elektrolichtbogenverfahren). In der Primärerzeugung wird in einem sogenannten **Hochofen** zunächst aus Eisenerzen, Zuschlägen sowie Koks und Reduktionsmitteln wie Kohle, Öl oder Gas flüssiges Roheisen gewonnen. Im Anschluss daran wird im nachgeschalteten Sauerstoff-Konverterstahlwerk das Roheisen zu Rohstahl umgewandelt. Um die optimalen Produktionsbedingungen im Hochofenprozess (Durchgasung der Schüttsäule) zu erreichen, ist die Vorbereitung der Einsatzstoffe wichtig. In einem ersten Prozessschritt werden die Eisenerze durch das Sintern und Pelletieren für den Einsatz im Hochofen vorbereitet. Durch das teilweise Aufschmelzen und Wiedererstarren der Erzkörner entstehen größere Agglomerate, die auf Grund ihrer Beschaffenheit sauerstoffdurchlässiger werden als dies Eisenerze in ihrer Reinform sind. Während das Pelletieren meist beim Eisenerzproduzenten erfolgt, stehen die Sinteranlagen häufig auf den Geländen der Stahlproduzenten. Als weiterer wichtiger Einsatzstoff bei der Stahlproduktion gilt Hochofenkoks, der als Reduktionsmittel im Hochofen den im Eisenerz enthaltenen Sauerstoff entzieht. Unter Luftabschluss wird in Kokereien durch das Erhitzen bei 1000 bis 1300 Grad aus Kohle Koks hergestellt. Die während diesem Prozess entstehenden flüchtigen Bestandteile wie Koksofengas, Teer, Benzol, Schwefelwasserstoff und Ammoniak werden aufgefangen und anderweitig verwendet, so dass das Verfahren mittlerweile als umweltfreundlich bezeichnet werden kann (STAHLINSTITUT VDEH 2022). Alle zur Roheisenherstellung benötigten Stoffe, d. h. Eisenerzaggregate, Koks und Zuschlagstoffe, wie z. B. Kalk oder Dolomit, werden dann im weiteren Prozess im Hochofen aufgefüllt. Durch die Zuführung von Heißluft (ca. 1200 Grad) im unteren Teil des Hochofens vergast der im unteren Bereich vorliegende Kokskohlenstoff mit dem Sauerstoffgehalt der Luft zum Reduktionsgas Kohlenmonoxid. Dabei entstehen Temperaturen von bis zu 2200 Grad. Durch das aufsteigende Kohlenmonoxid wird der Sauerstoff im Eisen gebunden und die Reduktion der Erze erreicht. Zudem bilden die Begleitelemente der Einsatzstoffe eine flüssige Schlacke, die sich genau wie das Roheisen, im unteren Bereich des Hochofens sammelt. Durch ein Stichloch werden Roheisen und Schlacke aus dem Hochofen abgelassen, über ein feuerfestes Rinnensystem voneinander getrennt und zur weiteren Verarbeitung den jeweiligen Stellen zugeführt (STAHLINSTITUT VDEH 2022). Dort wird das Roheisen im Anschluss durch die Zuführung von reinem Sauerstoff von unerwünschten Stoffen, wie Silicium, Schwefel oder Phosphor, befreit und es entsteht Roheisen.

Neben der integrierten Hochofenroute zur Herstellung von Rohstahl gibt es zudem das **Elektrolichtbogenverfahren**, bei dem Stahlschrott zu Rohstahl verarbeitet wird. Hierbei wird recyclebarer Stahlschrott mithilfe von Strom im sogenannten Elektrolichtbogenofen zu neuem Stahl geschmolzen. Da Stahl ohne Qualitätsverlust immer wieder verwendet werden kann, gilt dieses Verfahren als besonders ressourcenschonend im Vergleich zum Hochofenverfahren als

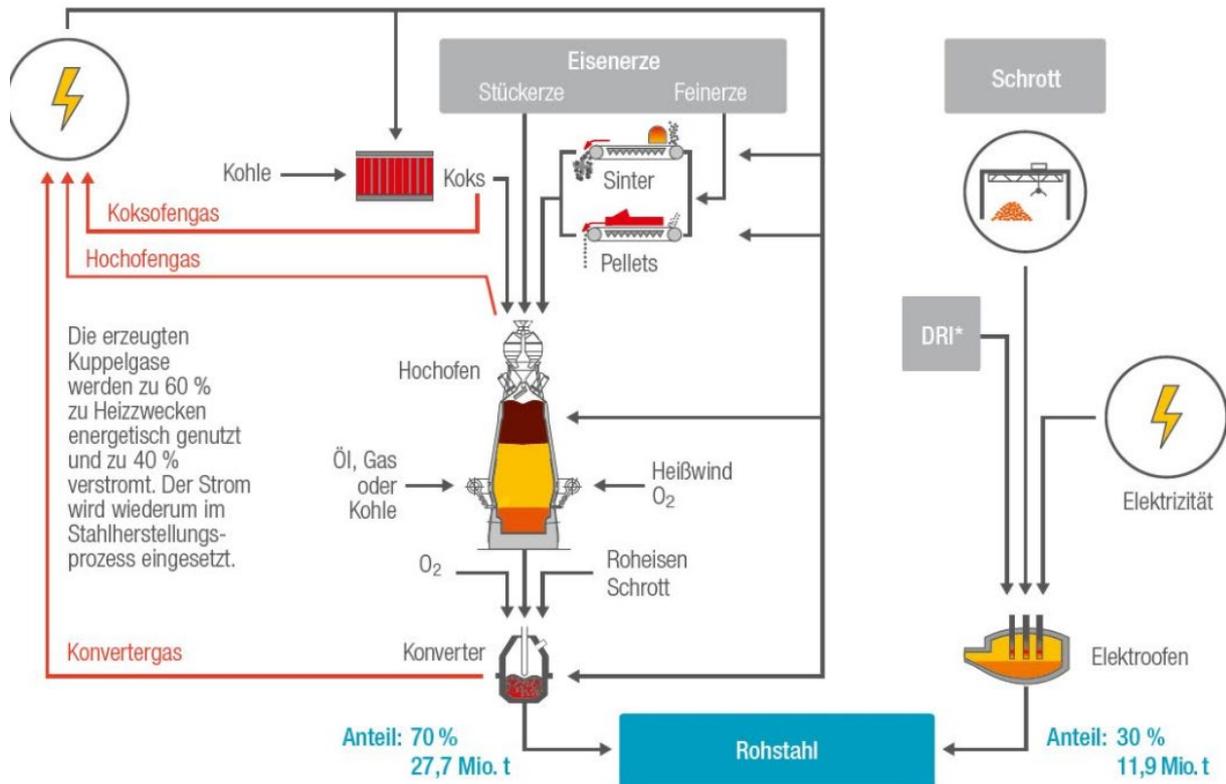
umweltfreundlich (LÖSCH/EBERHARD/ZESCH 2020). So fallen durch die Verwendung von Strom sowie die Zuführung anderer Energieträger wie Erdgas und den prozessbedingten Kohlestoffabbau an den Elektroden zwar direkte Emissionen an, jedoch ist die Stahlproduktion pro Tonne in der Hochofenroute über 80 Prozent emissionsintensiver als die Stahlproduktion im Elektrolichtbogenverfahren (SIMIC/SCHÖNFELDT 2022). Da das Verfahren jedoch als sehr energieintensiv gilt, wird hier insbesondere über den möglichen Einsatz von grünem Strom diskutiert. Auf Grund der begrenzten Mengen an Stahlschrott und des spezifischen Produktportfolios kann die Menge an Rohstahl, die durch dieses Verfahren gewonnen wird, jedoch nicht unbegrenzt gesteigert werden, weshalb in den letzten Jahren ein weiteres Verfahren zur Herstellung von Stahl entwickelt wurde.

Im sogenannten **Direktreduktionsverfahren** werden die pelletförmigen Eisenerze in einem Schachtofen unter Einsatz von Wasserstoff oder Erdgas reduziert. Da hierbei nicht die Temperaturen wie im Hochofen erreicht werden, erhält man am Ende des Prozesses einen sogenannten Eisenschwamm, der im Anschluss im Elektrolichtbogen oder im Schmelzofen zu Stahl weiterverarbeitet wird (für eine grafische Darstellung der Stahlherstellung in der Hochofenroute und im Direktreduktionsverfahren siehe Abbildung 2). Die Erzeugung von Eisenschwamm im Direktreduktionsverfahren ist keine ganz neue Technologie. So betreibt die ArcelorMittal Hamburg GmbH bereits seit vielen Jahren als einziges Stahlwerk in Westeuropa eine Direktreduktionsanlage. Dabei werden Eisenerzpellets statt mit Koks durch ein alternatives Reduktionsgas in metallisches Eisen umgewandelt. Das Reduktionsgas besteht schon heute aus rund 60 Prozent Wasserstoff, wodurch die Co₂-Emissionen um ein Vielfaches gesenkt werden konnten. Berechnungen zeigen, dass die spezifischen Emissionen der Direktreduktionsroute sogar dann erheblich niedriger sind als bei der Hochofenroute, wenn als Reduktionsgas 100 Prozent Erdgas eingesetzt wird (LÖSCH/EBERHARD/ZESCH 2020). Auch wenn aktuell noch kein Stahl auf Basis von grünem Wasserstoff in Deutschland hergestellt wird, zeigen die jahrelangen Erfahrungen mit der Stahlherstellung im Direktreduktionsverfahren, dass die technologische Umstellung der Stahlproduktion auf eine Direktreduktion unter Verwendung ausschließlich von grünem Wasserstoff zwar eine organisatorische Herausforderung darstellt, technologisch jedoch umsetzbar ist¹.

Insgesamt werden in Deutschland aktuell rund 70 Prozent des Primärstahls auf der Hochofenroute erzeugt, rund 30 Prozent als Sekundärstahl auf der schrottbasierten Elektrostahlroute. Die Herstellung von Stahl im Direktreduktionsverfahren ist zwar mittlerweile eine erprobte Technologie, spielt bisher jedoch in der Praxis auf Grund ihrer geringeren Wirtschaftlichkeit nur eine untergeordnete Rolle (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL 2020; LÖSCH/EBERHARD/ZESCH 2020; STAHLINSTITUT VDEH 2022).

¹ ArcelorMittal - Wasserstoff-Stahl: ArcelorMittal und HAW Hamburg legen Studie vor

Abbildung 2: Herstellung von Roheisen in der integrierten Hochofenroute

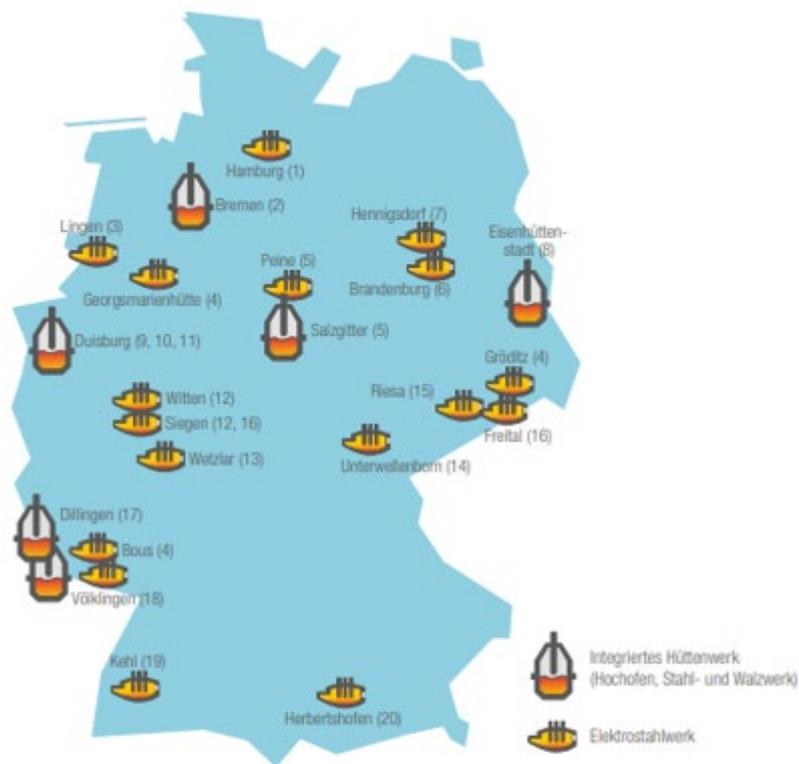


Quelle: (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL 2022a)

Zu den größten Stahlproduzenten in Deutschland zählen die thyssenkrupp Steel Europe AG (ca. 12 Mio. t.), die ArcelorMittal Germany Holding GmbH (rund 8 Mio. t) und die Salzgitter AG (rund 6,6 Mio. t) (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ 2022).

Aktuell findet die Stahlproduktion an rund 30 Standorten in Deutschland statt, wobei Duisburg als Standort in der Stahlproduktion deutlich heraussticht. Hier werden in den integrierten Hüttenwerken rund 35 Prozent der gesamten Menge an Rohstahl produziert (SCHLEMMER/SCHIMMEL/ACHTELIK 2020). Insgesamt gibt es in Deutschland sechs Standorte, an denen die Rohstahlerzeugung in integrierten Hüttenwerken erfolgt, sowie weitere 17 Standorte, an denen Rohstahl im Elektrolichtbogenverfahren hergestellt wird (Abbildung 3). An nur einem Standort wird Stahl im Direktreduktionsverfahren mit anschließendem Elektrolichtbogenverfahren produziert.

Abbildung 3: Standorte der Stahlerzeugung



Deutschland ist Standort für technologisch führende, hochwettbewerbsfähige Stahlhersteller.

- | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| (1) ArcelorMittal Hamburg | (8) ArcelorMittal Eisenhüttenstadt | (15) ESF Elbe-Stahlwerke Feralpi |
| (2) ArcelorMittal Bremen | (9) thyssenkrupp Steel Europe | (16) BGH Edelstahl |
| (3) Benteler | (10) HKM | (17) Dillinger Hüttenwerke |
| (4) Georgsmarienhütte | (11) ArcelorMittal Ruhrort | (18) Saarstahl |
| (5) Salzgitter | (12) Deutsche Edelstahlwerke | (19) Badische Stahlwerke |
| (6) Brandenburger Elektrostahlwerk | (13) Buderus Edelstahl | (20) Lech-Stahlwerke |
| (7) Hennigsdorfer Elektrostahlwerk | (14) Stahlwerk Thüringen | |

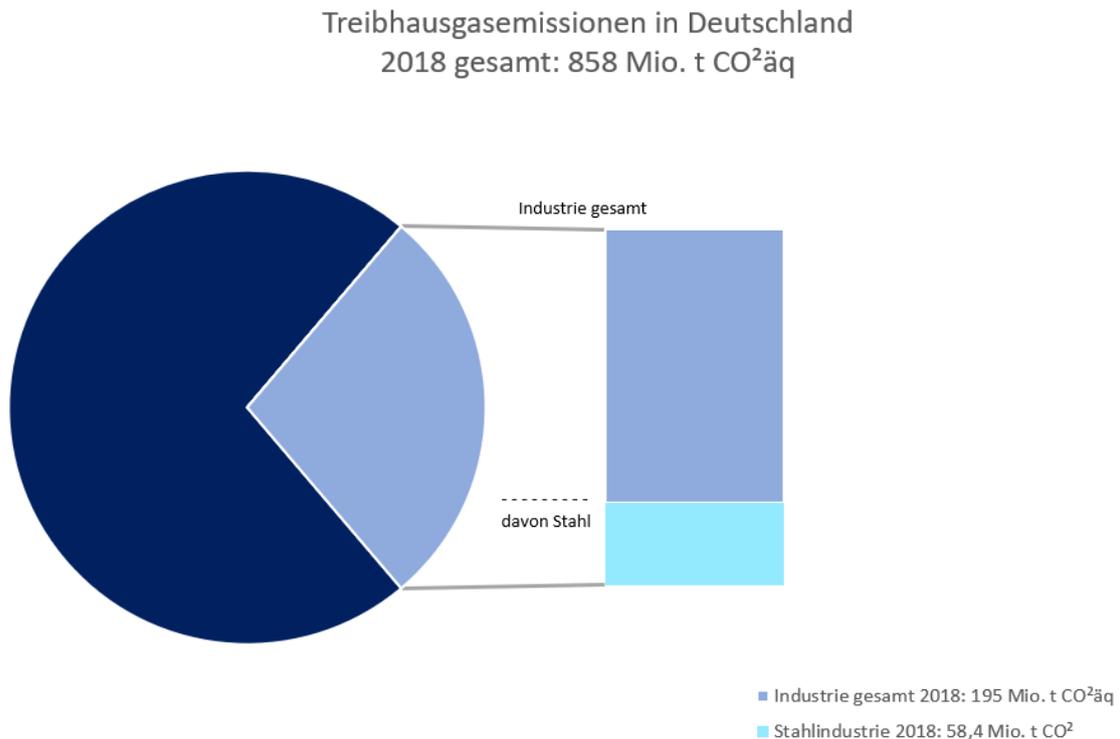
Quelle: WV Stahl

Quelle: (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL 2020)

4.3 Die Stahlindustrie im Kontext der Klimadiskussion

Seit Jahren haftet der Stahlindustrie das Image des „grauen Riesens“ an. Denn so wichtig Stahl als Werkstoff auch für alle Bereiche des wirtschaftlichen und privaten Lebens ist, so belastend sind auch die durch die Stahlproduktion hervorgerufenen Emissionen. So verursachte die Stahlindustrie im Jahr 2018 rund 30 Prozent der industriellen Co₂-Emissionen (siehe Abbildung 4). Insgesamt betrachtet macht die Stahlproduktion somit sechs Prozent der deutschlandweiten Co₂-Emissionen aus (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL 2020)).

Abbildung 4: Treibhausgasemissionen in Deutschland



Quelle: Bundesklimaschutzgesetz, UBA, DEHSt, VW Stahl, 2020

Betrachtet man den Gesamtprozess der Stahlproduktion in Hinblick auf unerwünschte Co₂-Emissionen, lässt sich insbesondere der durch den Einsatz von Koks in Gang gesetzte Reduktionsprozess im Hochofen als Verursacher der umweltbelastenden Abgase in der Stahlproduktion identifizieren (HARTBRICH 2022). Die Stahlproduktion im Elektrolichtbogenverfahren kann dagegen fast schon als umweltschonend bezeichnet werden, da die Co₂-Emissionen bei diesem Prozess um rund 75 Prozent niedriger sind als auf der Hochofenroute (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL 2022a). Insgesamt konnten in den letzten Jahren in der Stahlproduktion die unerwünschten Emissionen um ein Vielfaches gesenkt werden. So wurden Verfahren entwickelt, um unerwünschte Emissionen zu speichern und wiederzuverwenden „Smart Carbon Usage (SCU)“ ebenso wie Verfahren, die eine direkte Co₂-Vermeidung zum Ziel haben (Carbon Direct Avoidance (CDA)) (LÜNGEN 2021). Während es bei SCU-Verfahren vorwiegend darum geht, bei der Primärstahlgewinnung entstehende Prozessgase aufzufangen und in chemische Rohstoffe oder Brennstoffe umzuwandeln, geht es bei CDA-Verfahren um die direkte Reduktion durch z. B. die alternative Stahlgewinnung auf Schrottbasis oder den Austausch von Kohle und Koks durch alternative, umweltschonendere Reduktionsmittel. Auf dem Weg zu einer klimafreundlichen Stahlproduktion hat thyssenkrupp 2019 z. B. als erstes deutsches Unternehmen den Versuch gestartet, im laufenden Prozess statt Einblaskohle Wasserstoff in den

Hochofen einzublasen. Dadurch konnte an dieser Stelle im Produktionsprozess bis zu 20 Prozent Co₂ eingespart werden (THYSSENKRUPP 2019).

Der Versuch hat gezeigt, dass der Einsatz von Wasserstoff in der Stahlproduktion einen erheblichen Beitrag leisten kann, um klimafreundlich zu werden und der Stahl nicht grau bleiben, sondern grün werden kann. Der Versuch verdeutlicht jedoch auch, dass diese Vorgehensweise, ebenso wie alle bisher entwickelten Technologien bzw. Verfahren, die die Vermeidung von Co₂ oder die Wiederverwendung der klimafreundlichen Gase zum Ziel haben, ihre natürlichen Grenzen haben. So kann dadurch zwar die Gesamtmenge an Co₂-Emissionen reduziert werden, jedoch bedarf es einer vollständigen Technologieumstellung, um tatsächlich Co₂-freien Stahl zu produzieren. Um das laut des Klimaschutzgesetzes von 2021 von der Bundesregierung gesteckte Ziel zu erreichen, die Emissionen bis zum Jahr 2030 um 65 Prozent gegenüber 1990 zu senken und bis 2045 klimaneutral zu werden, ist eine vollständige Dekarbonisierung der Stahlindustrie notwendig (BUNDESREGIERUNG 2022). Nicht zuletzt aus diesem Grund hat Heinz Jörg Fuhrmann, Chef des Stahlkonzerns Salzgitter AG in einem Spiegel-Interview gesagt: „Wenn man die wasserstoffbasierte Stahlerzeugung mit anderen Branchen vergleicht, erhält man nirgendwo für das investierte Geld eine höhere Co₂-Reduktion (HONSEL 2021).“ Da nach dem aktuellen technischen Stand allein durch den vollständigen Ersatz der Kohle als Reduktionsmittel durch grünen Wasserstoff eine klimaneutrale Stahlproduktion ermöglicht werden kann, wird der Stahlindustrie im Rahmen der Wasserstoffstrategie der Bundesregierung eine bedeutende Stellung zugesprochen (BMW_i 2020).

5 Produkte und Technologien im Wasserstoffkontext

Für diese vollständige technologische Umstellung wurden sowohl in der Politik als auch in der Praxis bereits die ersten Weichen gestellt. Viele der Stahlunternehmen arbeiten bereits intensiv auf eine wasserstoffbasierte und somit umweltfreundliche Stahlproduktion hin. Während einige Unternehmen die stufenweise Umstellung von der Stahlproduktion im Direktreduktionsverfahren zunächst mit Erdgas und dann mit Wasserstoff planen, befassen sich andere direkt mit der Möglichkeit der Stahlproduktion mit Wasserstoff als Reduktionsmittel. Abhängig ist dies auch von der gewählten Technologie. Während es in einigen Fällen möglich ist, sowohl Erdgas als auch Wasserstoff für den Reduktionsprozess einzusetzen, sind andere Technologien weniger auf die Verwendung von alternativen Reduktionsgasen ausgerichtet (LÖSCH/EBERHARD/ZESCH 2020). Welche Wege bei der Umstellung bestritten werden, hängt dabei einzig und allein von unternehmensspezifischen Berechnungen und strategischen Entscheidungen ab.

Da neben der Herausforderung der technischen Umstellung, die Frage nach der Beschaffung des benötigten grünen Wasserstoffs steht, sind viele der aktuell laufenden Projekte nicht nur auf die Stahlproduktion an sich bezogen, sondern betreffen auch die Erzeugung von grünem Wasserstoff zur

sofortigen Verwendung in der Stahlproduktion. So schließen sich immer mehr Stahlhersteller mit Energieunternehmen zusammen und erschließen Möglichkeiten zur Gewinnung von grünem Wasserstoff direkt auf dem Werksgelände. Dadurch kommt es zunehmend auch zu einer Sektorenkopplung und einer prozessübergreifenden Sichtweise. Dies lässt sich besonders an einigen der aktuell laufenden Projekte erkennen.

Als eines der aktuell laufenden Pilotprojekte ist hier der Zusammenschluss der schwedischen Partnerunternehmen, des Stahlherstellers SSAB, des Eisenerzbergbaukonzerns LKAB sowie des Energieversorgers Vattenfall als Beispiel zu nennen. Gemeinsam mit den Partnerunternehmen ist es dem schwedischen Stahlhersteller gelungen, als erstes Unternehmen weltweit, vollständig fossilfreien Stahl zu erzeugen und auf den Markt zu bringen. Durch die enge Zusammenarbeit der in unterschiedlichen Sektoren tätigen Unternehmen wurde der Aufbau einer vollständig fossilfreien Wertschöpfungskette – von der Rohstoffgewinnung, über die Energiegewinnung bis hin zur Stahlproduktion – ermöglicht².

Aber auch andere Pilotprojekte machen deutlich, dass der Weg zu einer Dekarbonisierung vorwiegend im Zusammenschluss von Sektoren liegt: So rücken zunehmend auch deutsche Stahlhersteller, Windkraftanlagenbetreiber und Energieunternehmen näher. Zwar liegt der Schwerpunkt der Stahlunternehmen insbesondere in der Umstellung der Primärstahlproduktion (vom Einschmelzprozess im Hochofen hin zur Direktreduktion), jedoch spielt die Erzeugung von grünem Strom, die Umwandlung von Wasser in Wasserstoff sowie die Speicherung von grünem Wasserstoff meist eine ebenso wichtige Rolle in den vorangetriebenen Projekten aller großen Stahlunternehmen (die entsprechenden Projekte werden auf den Webseiten der Stahlunternehmen ausführlich beschrieben).

Eine Modellrechnung von z. B. Thyssenkrupp zeigt deutlich, dass für die vollständige Umstellung der Stahlproduktion hin zur Herstellung von grünem Stahl, Unmengen an Wasserstoff benötigt werden würden. So würde alleine der Duisburger Stahlproduzent 700.000 Tonnen Wasserstoff jährlich benötigen, was wiederum Strom aus 3.000 Windrädern entspricht³. Zur vollständigen Dekarbonisierung der Stahlproduktion in Deutschland wird aktuell ein jährlicher Bedarf von 2, 2 Millionen Tonnen grünem Wasserstoff prognostiziert (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL 2022c). Da eine so große Menge an grünem Wasserstoff nicht sofort zur Verfügung steht, stellen sich die meisten Stahlunternehmen auf eine schrittweise Umstellung durch Übergangstechnologie auf dem Weg zu einer klimaneutralen Stahlproduktion ein.

² Fossilfreie Stahlproduktion: Schwedisches Joint Venture Hybrid prescht voran (iwr.de)

³ Projekt H2Stahl - energiesystem-forschung.de

Auch wenn die Projekte und Strategien der Stahlkonzerne hin zu einer klimaneutralen Stahlproduktion voneinander abweichen, basieren sie alle auf ein und derselben Idee: Weg von der Kohle, hin zu Wasserstoff als Reduktionsmittel. Einig sind sich die Unternehmen auch in dem Punkt, dass die technologische Umstellung und somit die Dekarbonisierung der Stahlindustrie nur durch die richtigen politischen Rahmenbedingungen, dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft sowie der Schaffung der notwendigen Infrastruktur gelingen kann⁴.

6 Teilprozesse, Aufgabencluster und Berufe entlang der Wertschöpfungskette

Die Stahlindustrie befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel. Durch die sich abzeichnende grüne Transformation und den damit verbundenen Technologiewechsel kommt es zu erheblichen Umwälzungen, wodurch Änderungen in Arbeitspraktiken und Arbeitsabläufen zu erwarten sind. Damit die Umstellung gelingen kann, müssen betroffene Fachkräfte rechtzeitig qualifiziert und auf die Veränderungen vorbereitet werden. Gut ausgebildete Fachkräfte sind der Schlüssel zu einer erfolgreichen technologischen Transformation. Für eine erste Einschätzung, ob die aktuell gültigen Qualifikationen den in der Praxis entstehenden Bedarf abdecken, oder ob ggf. eine Anpassung von bestehenden Kompetenzprofilen vorgenommen werden muss, bedarf es einer näheren Betrachtung der Arbeitsplätze, Arbeitsaufgaben und Tätigkeiten. Hierfür werden die von der technologischen Umstellung betroffenen dualen Ausbildungsberufe entlang der Prozesskette in der Stahlproduktion ermittelt, erste Annahmen über mögliche Veränderungen getroffen und anhand eines ersten beispielhaften Abgleichs mit entsprechenden Stellen in den jeweiligen Ausbildungsordnungen eventuelle Anpassungsbedarfe identifiziert. Im Rahmen des weiteren methodischen Vorgehens soll darauf aufbauend geklärt werden, ob

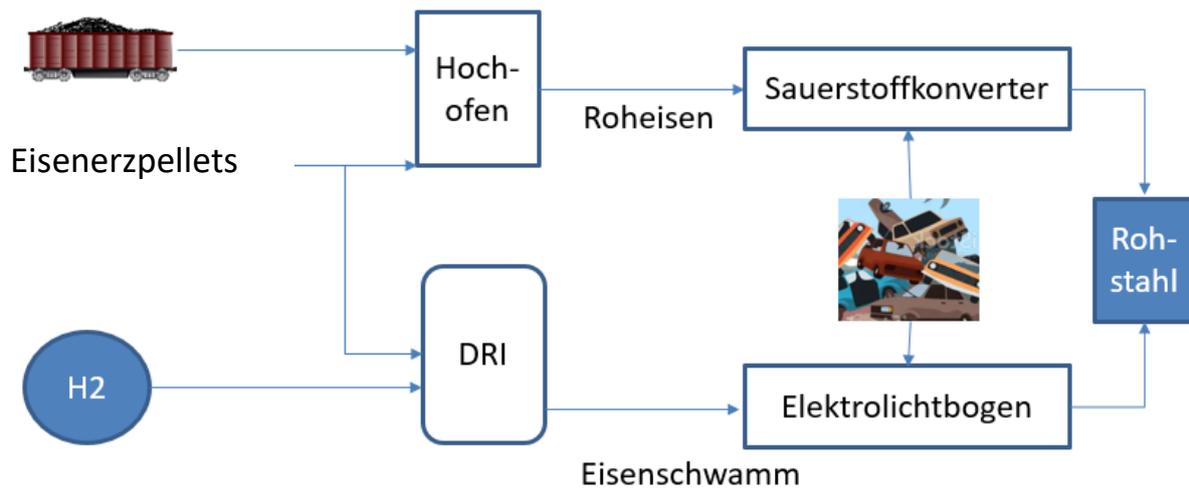
- diese Auswahl zutreffend ist,
- die Fachkräfte von Veränderungen betroffen sind,
- die heutigen Berufsprofile die Qualifikationsanforderungen innerhalb der zu erfüllenden Arbeitsaufgaben ausreichend abdecken,
- zusätzliche Qualifikationsbedarfe erkennbar werden und auf welchem Wege sie vermittelt werden können.

Der für diesen Sektor zu betrachtende Prozess betrifft vereinfacht dargestellt die Herstellung von Rohstahl, einmal im Hochofenprozess und ein andermal im Direktreduktionsverfahren. Der Prozess

⁴ Die vorliegende Sektoranalyse erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit der laufenden Projekte bei Stahlunternehmen. Die hier angeführten Projekte wurden nur beispielhaft herausgegriffen.

der Rohstahlherstellung im Elektrolichtbogenverfahren kann vernachlässigt werden, da es hierbei weniger um eine technologische Umstellung geht, die die Tätigkeiten der Fachkräfte in der Stahlproduktion betreffen, als vielmehr um die Frage, welcher Strom in Zukunft für das Betreiben des Elektrolichtbogens verwendet wird.

Abbildung 5: Unterschied zwischen DRI und Hochofenroute



Quelle: eigene Darstellung

Wie im Kapitel 4.2 beschrieben und in Abbildung 5 dargestellt, liegen die Veränderungen, die sich durch den Einsatz von Wasserstoff in der Stahlproduktion ergeben, im Wesentlichen in der Produktion von Roheisen (Schmelzprozess unter dem Einsatz von Kohle) oder von Eisenschwamm (Direktreduktion mit Wasserstoff). Da die weitere Bearbeitung des Eisenschwamms zu Rohstahl in dem seit Jahren erprobten Elektrolichtbogenverfahren erfolgt und dieses, wie weiter oben beschrieben ist, nur geringfügig von der technologischen Umstellung betroffen ist, kann eine Veränderung der Arbeitsprozesse und die sich dadurch ergebende Anpassungsbedarfe in den Qualifikationsprofilen der an dieser Stelle tätigen Fachkräfte ausgeschlossen werden. Vorgelagerte Schritte, wie die Rohstoffgewinnung, -verarbeitung und Energieerzeugung fallen gemäß der Wirtschaftszweigklassifikationen in eine andere Gruppe, weshalb die in diesem Schritt betroffenen dualen Ausbildungsberufe ebenfalls zunächst nicht weiter betrachtet werden. Jedoch sollte im Blick behalten werden, dass sich Stahlkonzerne zunehmend mit Energieunternehmen zu Konsortien zusammenschließen, um eine effiziente Energiegewinnung sowie die Herstellung von Wasserstoff zu ermöglichen. Durch diese sich abzeichnende Sektorenkopplung kann eine Verschmelzung von Prozessschritten und die dadurch ggf. notwendige Neuschneidung von Qualifikationsprofilen nicht ausgeschlossen werden. Da sich derartige Verbindungen aktuell jedoch noch im Aufbau befinden, können zu diesem Zeitpunkt keine qualifizierten Aussagen zu möglichen Veränderungsbedarfen

getroffen werden. Eine in diese Richtung geführte Diskussion kann zu einem anderen Forschungszeitpunkt jedoch durchaus von Interesse sein.

6.1 Identifizierung einschlägiger Ausbildungsberufe und Bildung von Hypothesen

In dem nachfolgenden Abschnitt werden den Teilschritten, bei denen sich eine Veränderung durch die technologische Umstellung abzeichnet, Ausbildungsberufe zugeordnet, die auf Grund ihrer Profilierung für die jeweiligen Arbeitsaufgaben in der Stahlgewinnung in Frage kommen. Hierfür wurde zunächst eine Internetrecherche über ausgeschriebene Ausbildungsberufe bei Stahlunternehmen durchgeführt. Exemplarisch werden in den jeweiligen Abschnitten Auszüge aus den Ausbildungsordnungen betrachtet, um die zu vermittelnden Ausbildungsinhalte auf ihre Eignung für die zur Stahlproduktion mit Wasserstoff benötigten Kompetenzen hin zu überprüfen. Da die technologische Umstellung in der Stahlproduktion nicht nur eine Prozessveränderung, sondern eine Umstellung auf vollständig neue Anlagen beinhaltet, erscheint in einem ersten Schritt die Betrachtung der Ausbildungsprofile entlang der Teilprozesse für die hier durchgeführte Hypothesenbildung zielführend:

1. Anlagen planen und entwickeln,
2. Anlagen errichten,
3. Anlagen überprüfen und in Betrieb nehmen,
4. Anlagen betreiben⁵,
5. Anlagen überwachen,
6. Anlagen instandhalten.

Anschließend werden nochmal alle in der Stahlindustrie angebotenen Ausbildungsberufe angeführt. Dabei werden die Tätigkeitsprofile der jeweiligen Fachkräfte vor der Fragestellung betrachtet, inwieweit sie sich durch den Einsatz von Wasserstoff in der Stahlindustrie verändern könnten. Werden keine Veränderungen angenommen, können durch den Einsatz von Wasserstoff entstehende Qualifikationsanpassungsbedarfe ausgeschlossen werden. Die hierbei aufgestellten Hypothesen sind jedoch rein theoretischer Natur und müssen im weiteren Verlauf einer empirischen Validierung unterzogen werden. Sie dienen als Grundlage für die nächsten Forschungsschritte und sollten auch nur als eine solche verstanden werden.

⁵ Hierunter wird auch die Prozessüberwachung verstanden

6.1.1 Einschlägige Ausbildungsberufe entlang der Teilprozesse

Für das Planen und Entwickeln von Direktreduktionsanlagen, egal ob für die ausschließliche Verwendung von Wasserstoff oder den Einsatz alternativer Gase, kommen Fachkräfte auf mittlerer Ebene mit folgenden Ausbildungsberufen (siehe Tabelle 1) in Betracht (Anmerkung: es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben).

Tabelle 1: Typische in Frage kommende Ausbildungsberufe für den Teilprozess „Anlagen planen und entwickeln“

Teilprozess	Aufgabencluster	Typische in Frage kommende Ausbildungsberufe
Anlagen planen und entwickeln	Anfertigen von technischen Unterlagen für die Herstellung und Planung von Anlagen, Erstellen und Anwenden technischer Dokumente, Anwenden branchenspezifischer Normen und Richtlinien.	Technischer Systemplaner/Technische Systemplanerin – Alle Fachrichtungen Technischer Produktdesigner/ Technische Produktdesignerin - FR Maschinen- und Anlagenkonstruktion (Industrie und Handel)

Technische Systemplaner/innen als auch Technische Produktdesigner/innen können als Querschnittsberufe bezeichnet werden, die sich in unterschiedlichen Branchen wiederfinden. Fachkräfte mit dieser Ausbildung entwickeln, entwerfen und konstruieren Anlagen und Systeme nach geltenden Normen und Vorschriften für ganz unterschiedliche Bedarfe. Dementsprechend liegt der Schwerpunkt der Ausbildung auf der Vermittlung von Fähigkeiten, Kenntnissen und Fertigkeiten, die die angehenden Fachkräfte befähigen, Maschinen und Anlagen jeglicher Art zu konstruieren. Der Einsatz von Materialien und die notwendigen Einhaltung von Sicherheitsaspekten sowie Normen und Vorschriften für Anlagen und Systeme jeglicher Art findet dabei ausreichend Berücksichtigung. Welche Anlagen und Systeme sie entwickeln und konstruieren, hängt dabei von dem ausbildenden Betrieb ab. Durch die technikoffenen Formulierungen in der Ausbildungsordnung ist der nötige Spielraum für die Vermittlung der Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten im Kontext unterschiedlicher Technologien gegeben.

Für eine beispielhafte Darstellung siehe Tabelle 2 und Tabelle 3).

Tabelle 2: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Technischer/Technische Produktplaner/in

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten

2.3	Entwerfen, Ausarbeiten und Berechnen von Bauteilen und Baugruppen (§ 4 Absatz 2 Abschnitt B Nummer 2.3)	<ul style="list-style-type: none"> a) funktions-, fertigungs-, beanspruchungs-, montage- und prüfgerechte Anforderungen an Konstruktionen berücksichtigen b) Designvorgaben nach technischen und funktionalen Gesichtspunkten beachten c) Bauteile und Halbzeuge nach Vorgaben und technischen Unterlagen auswählen d) Verwendung von Norm- und Kaufteilen berücksichtigen e) Werkstoffanforderungen und -eigenschaften berücksichtigen f) Toleranzen, Passungen und Oberflächen festlegen g) Detailkonstruktionen anfertigen h) konstruktive Änderungen vornehmen i) Füge- und Verbindungstechniken berücksichtigen j) Berechnungen zur Mechanik, insbesondere Geschwindigkeit, Kräfte und Kräftezerlegung sowie Drehmoment und Reibung, durchführen k) Festigkeitsberechnungen, insbesondere der Flächenpressung, Zug-, Druck- und Scherbeanspruchung, durchführen l) Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad berechnen m) Datensätze erstellen und Datenqualität im n) unterschiedliche Datenformate austauschen und anwenden
-----	---	--

Tabelle 3: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Technischer/Technische Systemplaner/in FR Stahl- und Metallbautechnik

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten
3	Berücksichtigung von bauphysikalischen Anforderungen (§ 14 Absatz 2 Abschnitt D Nummer 3)	<ul style="list-style-type: none"> a) Wärme- und Schallschutzanforderungen konstruktiv berücksichtigen b) Brandschutzanforderungen konstruktiv berücksichtigen c) Witterungs- und Umgebungseinflüsse konstruktiv berücksichtigen d) einschlägige Normen und Vorschriften berücksichtigen

Aus dieser Beobachtung lässt sich die folgende Annahme ableiten: Für die hier genannten Berufe ergeben sich zunächst keine ordnungsrelevanten Anpassungsbedarfe in der Qualifikation. Einfach ausgedrückt, bekommen die Fachkräfte während ihrer Ausbildung alle notwendigen Kompetenzen vermittelt, die sie befähigen, sowohl einen klassischen Hochofen zu entwickeln und zu konstruieren, als auch eine Direktreduktionsanlage. Die hierfür notwendigen Kompetenzen sind nicht bezogen auf den zu konstruierenden Gegenstand, sondern auf die Fähigkeit der Planung und Konstruktion im Allgemeinen.

Auf die Berufe des Anlagenbaus, die im Teilprozess „Errichtung der Anlagen“ zum Tragen kommen, trifft im Grunde das Gleiche zu, wie bei den Berufen im Teilprozess „Planen und Errichten“. Auch hier handelt es sich im Wesentlichen um breit aufgestellte Querschnittsberufe, die in vielen Wirtschaftsbereichen, sowohl im Handwerk als auch in der Industrie, ausgebildet und eingesetzt werden. Auf Grund der vielfältigen Einsatzgebiete sind die zu vermittelnden Fähigkeiten, Kenntnisse und Fertigkeiten in den Ausbildungsordnungen besonders technikoffen formuliert. Angelehnt an die von (ZINKE 2022) vorgenommene Zuordnung, werden die bei der Errichtung von Anlagen beteiligten Ausbildungsberufe gemäß der Unterscheidung Fertigung, Montage und Programmierung betrachtet (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Typische in Frage kommende Ausbildungsberufe im Kontext des Errichtens der Anlagen

Teilprozess	Aufgabencluster	Typische, in Frage kommende Berufe
Anlagen errichten	Fertigung	Anlagenmechaniker/Anlagenmechanikerin (Industrie und Handel) Industriemechaniker/Industriemechanikerin (Industrie und Handel) Zerspanungsmechaniker/Zerspanungsmechanikerin (Industrie und Handel) Mechatroniker/Mechatronikerin (Industrie und Handel) Elektroanlagenmonteur/Elektroanlagenmonteurin (Industrie und Handel) Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerin für Betriebstechnik (Industrie und Handel) Fachinformatiker/Fachinformatikerin (Industrie und Handel) Feuerungs- und Schornsteinbauer/Feuerungs- und Schornsteinbauerin (IH) Werkzeugmechaniker/Werkzeugmechanikerin (IH)
	Montage	Anlagenmechaniker/Anlagenmechanikerin (IH) Mechatroniker/Mechatronikerin (IH) Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerin für Betriebstechnik (Industrie und Handel) Fachinformatiker/Fachinformatikerin (Industrie und Handel) Gerüstbauer/Gerüstbauerin (Hw, IH) Konstruktionsmechaniker/Konstruktionsmechanikerin (IH)
	Programmieren, Parametrieren	Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerin für Betriebstechnik (Industrie und Handel) Fachinformatiker/Fachinformatikerin (Industrie und Handel) Mechatroniker/Mechatronikerin (Industrie und Handel)

Auch wenn es sich grundsätzlich bei den klassischen Hochöfen um andere Anlagen als Direktreduktionsanlagen handelt, kann angenommen werden, dass sich die Art und Weise des

Errichtens der Anlagen im Wesentlichen nicht unterscheidet. Insbesondere deshalb, da zu diesem Zeitpunkt die Anlage noch nicht in Betrieb ist und die Fachkräfte daher mit den unterschiedlichen Gasen nicht in Berührung kommen.

Besonderheiten ergeben sich jedoch aus den Eigenschaften und Anforderungen der jeweiligen Stoffe (Fluide, Liquide, Granulate oder Gase), die in diesen Anlagen später hergestellt, transportiert und gespeichert werden. Sie stellen besondere Anforderungen an die Werkstoffe sowie die Qualität der Komponenten und Systeme, welche die Auszubildenden lernen, zu beachten.

Die zu bewältigenden Arbeitsaufgaben stützen sich meist auf technische Vorgaben von Dritten. Die Ausbildungsordnungen der einschlägigen Berufe sind gleichzeitig ausreichend technikoffen formuliert, so dass basierend auf der allgemeinen beruflichen Handlungsfähigkeit der Fachkräfte erwartet werden kann, dass gestellte Aufgaben grundsätzlich bewältigt werden (siehe hierzu beispielhaft Tabelle 5). Zudem geht es in der Ausbildung der genannten Berufe darum, den angehenden Fachkräften derartige Kompetenzen zu vermitteln, dass sie in der Lage sind, unterschiedliche Anlagen unter Beachtung jeglicher Vorschriften und Normen einzurichten und zu montieren. Je nach Ausbildungsbetrieb werden diese jedoch anlagenspezifisch vermittelt. Eine produktspezifische Wissensanpassung ist somit nicht auszuschließen, jedoch wird diese vermutlich auf Umsetzungsebene erfolgen. Von einer Qualifikationsanpassung auf Ordnungsebene wird dagegen nicht ausgegangen.

Tabelle 5: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan der industriellen Metallberufe

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten
16	Bauteile und Einrichtungen prüfen (§ 7 Absatz 1 Nummer 17)	<ul style="list-style-type: none"> a) Bauteile und Einrichtungen unter Beachtung technischer Unterlagen und technischer Rahmenbedingungen prüfen oder in Betrieb nehmen b) Regelungs- und Steuerungseinrichtungen sowie Sicherheitseinrichtungen auf Funktion prüfen c) Sichtprüfverfahren, insbesondere Farbeindring- oder Magnetpulverprüfung, an Schweißnähten durchführen d) Behälter, Rohrsysteme oder Anlagenteile durch Druckprobe auf Dichtheit prüfen e) Prüfprotokolle erstellen

Auch im Teilprozess „Anlagen überprüfen und in Betrieb nehmen“ sind eher Querschnittsberufe aus dem Maschinen- und Anlagenbau, sowie Elektrotechnische und IT-Berufe von Relevanz.

Tabelle 6: Typische in Frage kommende Ausbildungsberufe im Kontext der technischen Überprüfung und Inbetriebnahme

Teilprozess	Aufgabencluster	Typische in Frage kommende Berufe
		Anlagenmechaniker/Anlagenmechanikerin (Industrie und Handel)

Anlagen überprüfen und in Betrieb nehmen		Industriemechaniker/Industriemechanikerin (Industrie und Handel) Zerspanungsmechaniker/Zerspanungsmechanikerin (Industrie und Handel) Mechatroniker/Mechatronikerin (Industrie und Handel) Elektroanlagenmonteur/Elektroanlagenmonteurin (Industrie und Handel) Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerin für Betriebstechnik (Industrie und Handel) Fachinformatiker/Fachinformatikerin (Industrie und Handel) Feuerungs- und Schornsteinbauer/Feuerungs- und Schornsteinbauerin (IH) Werkzeugmechaniker/Werkzeugmechanikerin (IH)
		Anlagenmechaniker/Anlagenmechanikerin (IH) Mechatroniker/Mechatronikerin (IH) Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerin für Betriebstechnik (Industrie und Handel) Fachinformatiker/Fachinformatikerin (Industrie und Handel) Gerüstbauer/Gerüstbauerin (Hw, IH) Konstruktionsmechaniker/Konstruktionsmechanikerin (IH)
	Programmieren, Parametrieren	Elektroniker für Betriebstechnik/Elektronikerin für Betriebstechnik (Industrie und Handel) Fachinformatiker/Fachinformatikerin (Industrie und Handel) Mechatroniker/Mechatronikerin (Industrie und Handel)

Ein beispielhafter Abgleich mit entsprechenden Ausbildungsordnungen zeigt auch hier, dass die zu vermittelnden Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kompetenzen so technikoffen formuliert sind, dass die Art der zu in Betrieb nehmenden Anlage keinen Einfluss auf die Qualifikationsbedarfe haben sollte.

Tabelle 7: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Mechatroniker/in

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
20	Inbetriebnehmen und Bedienen mechatronischer Systeme (§ 3 Absatz 2 Nummer 20)	a) Schutz gegen direktes Berühren prüfen b) Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen, insbesondere Fehlerstromschutzeinrichtungen, prüfen, Isolations-, Erdungs- und Schleifenwiderstände messen c) mechanische und elektrische Sicherheitsvorrichtungen, insbesondere NOT-AUS-Schalter, sowie Meldesysteme auf ihre Wirksamkeit prüfen d) Hilfs- und Steuerstromkreise einschließlich zugehöriger Signal- und Befehlsgeber für Mess-,

		<p>Steuer- und Überwachungseinrichtungen prüfen und in Betrieb nehmen</p> <p>e) Hauptstromkreise prüfen und schrittweise in Betrieb nehmen, Betriebswerte messen, Sollwerte einstellen</p> <p>f) Fluidikeinrichtungen in Betrieb nehmen</p> <p>g) Beweglichkeit, Dichtheit, Laufruhe, Umdrehungsfrequenz, Druck, Temperatur und Verfahrswege prüfen und einstellen</p> <p>h) Befestigung, Energieversorgung, Schmierung, Kühlung und Entsorgung prüfen und sicherstellen</p> <p>i) Programme und Daten laden und sichern, Programmablauf prüfen und anpassen</p> <p>j) Signalübertragungssysteme, insbesondere Feldbusse, prüfen und in Betrieb nehmen</p> <p>k) mechatronische Systeme in Betrieb nehmen, Funktionsprüfung durchführen</p> <p>l) Schutzmaßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit prüfen</p> <p>m) Systemparameter bei der Inbetriebnahme ermitteln, mit vorgegebenen Werten vergleichen und einstellen</p> <p>n) Maschinen und Systeme bedienen, Probelauf bei Nenn- und Grenzwerten durchführen</p>
--	--	---

Tabelle 8: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Industriemechaniker/in

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
14	Sicherstellen der Betriebsfähigkeit von technischen Systemen (§ 11 Abs. 1 Nr. 14)	<p>a) Störungen an Maschinen und Systemen unter Beachtung der Schnittstellen feststellen und Fehler eingrenzen</p> <p>b) Störungs- und Fehlerursachen feststellen, die Möglichkeiten ihrer Beseitigung beurteilen und die Instandsetzung oder Verbesserung durchführen oder veranlassen</p> <p>c) Anlagen und Systeme inspizieren, Betriebsbereitschaft sicherstellen</p> <p>d) Funktionsfähigkeit von Maschinen und Systemen durch Steuern, Regeln und Überwachen der Arbeitsbewegungen und deren Hilfsfunktionen sicherstellen oder verbessern</p> <p>e) Schutz- und Sicherheitseinrichtungen anwenden und deren Funktion prüfen</p>

Die Beispiele demonstrieren, dass in den Ausbildungsordnungen technischer Berufe die entsprechend notwendigen Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten beschrieben sind, die in der Ausbildung bezogen auf betriebliche Bedarfe zur Inbetriebnahme von Anlagen – vollständig oder auf Teilaspekte begrenzt – umgesetzt werden.

Beim **Betreiben der Anlage**, d. h. des Hochofens oder der Direktreduktionsanlage, handelt es sich – neben Aufgaben wie z. B. dem Öffnen und Schließen des Stichloches am Hochofen sowie der Entnahme von Roheisen- und Schlackenproben – im Grunde um einen automatisierten Prozess, der von einem sogenannten Leitstand aus begleitet wird⁶. Sollten Störungen an der jeweiligen Anlage auftreten, führen diese im Normalfall ebenfalls zu Fehler- oder Warnmeldungen im Leitstand. Ob die jeweiligen Fachkräfte, die zur Behebung möglicher Störungen befugt sind, im Leitstand selber sitzen oder aber im Störfall gerufen werden, hängt von der jeweiligen Entscheidung des Unternehmens ab.

Tabelle 9: Typische in Frage kommende Ausbildungsberufe im Kontext des Betriebes der Anlage

Teilprozess	Aufgabencluster	Typische in Frage kommende Ausbildungsberufe
Anlagen betreiben	Betreiben	Chemielaborant/Chemielaborantin Maschinen- und Anlagenführer/in; Elektroniker/Elektronikerin in Automatisierungstechnik; Werkstoffprüfer/Werkstoffprüferin Verfahrenstechnologe/Verfahrenstechnologin Metall Fachkraft für Metalltechnik Informationselektroniker/Informationselektronikerin Industriemechaniker/Industriemechanikerin Mechatroniker/in

Entscheidend für diesen Teilprozess ist nicht nur das reine Betreiben der Anlage selber, sondern auch und vermutlich insbesondere die Überwachung des eigentlichen Produktionsprozesses, d. h. des Einschmelzprozesses des Eisenerzes. Auch wenn die Prozesse automatisiert ablaufen, brauchen die Fachkräfte ausreichende Kenntnisse über den Ablauf und die Zusammensetzung, um bei ggf. auftretenden Fehlern reagieren zu können. Die hierfür notwendigen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse werden insbesondere in dem Ausbildungsberuf Verfahrenstechnologe/in Metall der Fachrichtung Eisen- und Stahlmetallurgie, Nichteisenmetallurgie vermittelt. Umgangssprachlich werden diese Fachkräfte auch als „Stahlkocher“ bezeichnet, da sie ebenfalls für die Probe des Roheisens (im Hochofenprozess) oder des Eisenschwamms (in der Direktreduktion), den sogenannten Abstich verantwortlich sind. Da es sich somit um einen für die Stahlindustrie bedeutenden Beruf handelt, soll ein exemplarischer Blick auf die zu vermittelten Fertigkeiten, Fähigkeiten und Kenntnisse geworfen werden (siehe Tabelle 10).

⁶ Für eine umfangreiche Analyse der Tätigkeiten in diesem Teilprozess bedarf es zusätzlicher Arbeitsplatzbegehungen.

**Tabelle 10: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Verfahrenstechnologe/in Metall
Fachrichtung Eisen- und Stahlmetallurgie, Nichteisenmetallurgie**

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten
6	Steuern von Produktionsprozessen (§ 4 Absatz 2 Nummer 6)	<ul style="list-style-type: none"> a) Ablaufpläne anwenden; b) Einsatzstoffe, Vormaterialien und Hilfsstoffe auswählen und dabei Kundenanforderungen und weitere Verarbeitung berücksichtigen; c) Produktionsanlagen beschicken; d) Produktionsprozesse überwachen und optimieren und Materialfluss sicherstellen; e) Stofffluss bei der Erzeugung von Produkten verfolgen und Prozessdaten erfassen; f) Überwachungs-, Mess- und Kommunikationseinrichtungen bedienen; g) Prozessdaten auswerten und Maßnahmen zur Prozessoptimierung einleiten und dokumentieren; h) energierelevante Anlagenteile überwachen und Verbrauch und Energieeffizienz einschätzen; i) Energieverluste vermeiden; j) Störungen im Stofffluss feststellen und dokumentieren und Maßnahmen zu deren Beseitigung ergreifen
7	Beeinflussen von chemischen Vorgängen (§ 4 Absatz 2 Nummer 7)	<ul style="list-style-type: none"> a) chemische Prozesse in den Produktionsverfahren, insbesondere Oxidations- und Reduktionsvorgänge, unterscheiden und beurteilen; b) Wirkungen der chemischen Prozesse auf das Produkt, auf den Ablauf des Verfahrens und auf die Umwelt beurteilen und beeinflussen; c) Säuren, Laugen, Emulsionen, Salze und deren Lösungen unter Beachtung des Arbeits- und Umweltschutzes handhaben; d) gas-, dampf- und staubförmige Emissionen erkennen, ihre Bedeutung beurteilen und Maßnahmen zur Emissionsreduzierung einleiten; e) Funktionsfähigkeit von Abluft- und Abwasserreinigungsanlagen prüfen und bei Störungen Maßnahmen zur Störungsbeseitigung einleiten

Bei der Betrachtung des hier angeführten, exemplarischen Auszugs lässt sich erkennen, dass die für die Überwachung der Herstellung von Eisenschwamm im Reduktionsverfahren notwendigen Kompetenzen grundsätzlich ebenso vermittelt werden wie die notwendigen Kompetenzen für die Prozessüberwachung im Oxidationsverfahren. Das liegt insbesondere daran, dass das Reduktionsverfahren in der Stahlerzeugung nicht neu ist und somit grundlegende Kenntnisse hierüber in der Ausbildung bereits vermittelt werden sollten. Eine geringfügige Änderung in der

Ausbildungsordnung zur Bestärkung dieser Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten, sowie die Vermittlung von Kenntnissen bezüglich der Eigenschaften und des Umgangs mit Wasserstoff im Generellen kann zwar nicht ausgeschlossen werden, scheint jedoch auf den ersten Blick für die Handlungsfähigkeit nicht dringend notwendig. Anhand dieser ersten, theoretischen Betrachtung kann jedoch des Weiteren nicht eingeschätzt werden, ob ggf. neue Tätigkeiten hinzukommen oder andere wegfallen. Dies wird sich in der weiteren Entwicklung und im Voranschreiten der technologischen Umsetzung zeigen.

Treten Fehler an der Anlage selber während des Produktionsprozesses auf, werden unter anderem Industriemechaniker/innen zur Fehlerbehebung gerufen. Ein beispielhafter Auszug aus der Ausbildungsordnung des Industriemechanikers/der Industriemechanikerin zeigt, dass auch in diesem Beruf die Vermittlung von allgemeinen Kompetenzen zentral ist, die Industriemechaniker/innen befähigen sollen, jegliche Anlage zu überprüfen und Fehler zu beheben (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan für den Beruf Industriemechaniker/in

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
14	Sicherstellen der Betriebsfähigkeit von technischen Systemen (§ 11 Abs. 1 Nr. 14)	<ul style="list-style-type: none"> a) Störungen an Maschinen und Systemen unter Beachtung der Schnittstellen feststellen und Fehler eingrenzen b) Störungs- und Fehlerursachen feststellen, die Möglichkeiten ihrer Beseitigung beurteilen und die Instandsetzung oder Verbesserung durchführen oder veranlassen c) Anlagen und Systeme inspizieren, Betriebsbereitschaft sicherstellen d) Funktionsfähigkeit von Maschinen und Systemen durch Steuern, Regeln und Überwachen der Arbeitsbewegungen und deren Hilfsfunktionen sicherstellen oder verbessern e) Schutz- und Sicherheitseinrichtungen anwenden und deren Funktion prüfen

Die Beispiele demonstrieren, dass in den Ausbildungsordnungen technikkoffen die entsprechend notwendigen Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten beschrieben sind, die in der Ausbildung bezogen auf betriebliche Bedarfe – vollständig oder auf Teilaspekte begrenzt – umgesetzt werden. Bei welchen Anlagen ein Industriemechaniker im Störfall Reparaturen vornimmt, ist somit nicht relevant für das Kompetenzprofil. Da die Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten allerdings im Kontext des Ausbildungsbetriebes vermittelt werden, können – je nach Ausrichtung der beruflichen Praxis – auch hier Anpassungen im Prozess der Arbeit notwendig werden. Diese wären jedoch nicht weiter ordnungsrelevant.

Egal wie groß oder klein eine Anlage ist, stellt die Aufrechterhaltung der Sicherheit eine wesentliche Aufgabe dar. Diese Tätigkeiten fallen in den Teilprozess der „Anlagenüberwachung“. Hierbei kommt es insbesondere auf die Absicherung der Anlage sowie den Schutz vor äußeren Störungen und Gefährdungen an. In diesem Teilprozess ist die Kenntnis der betroffenen Fachkräfte über spezielle Sicherheitsvorschriften, insbesondere abhängig von den eingesetzten Gasen und Stoffen in der zu überwachenden Anlage, eine Grundvoraussetzung.

Weiterführende Maßnahmen (Gefahrenabwehr und Gefahrenvorbeugung) unterliegen speziell qualifizierten Fachkräften. Einerseits betrifft das die reale Gefährdung durch äußere Angriffe, andererseits die virtuelle Gefährdung, z.B. durch Cyberangriffe.

Unter anderem sind hierfür folgende Ausbildungsberufe von besonderer Bedeutung (Tabelle 12).

Tabelle 12: Ausbildungsberufe im Kontext der Überwachung der Anlagen

Teilprozess	Aufgabencluster	Berufe
Anlagen überwachen	Überwachen der Sicherheit der Anlagen im Rahmen des Regelbetriebs, Störungen und Havarien vermeiden, bei Störfällen handeln IT-Sicherheit und Cyberabwehr Gefahren abwehren und vorbeugen (vorbeugender Brandschutz)	Fachinformatiker/Fachinformatikerin - FR Digitale Vernetzung (Industrie und Handel) Werkfeuerwehrmann/Werkfeuerwehfrau (IH)

Es kann davon ausgegangen werden, dass die entsprechenden Fachkräfte über unterschiedliches Wissen verfügen müssen, je nach der zu überwachenden Anlage. Bezogen auf deren Handeln im Umgang mit Anlagen, geben die Ausbildungsordnungen nur einen generellen Rahmen. Auch hier sind die Ausbildungsordnungen technikoffen geschrieben, so dass Fachkräfte in der Lage sein sollten, jegliche Anlagen zu überwachen. Spezifisches Wissen kann über Schulungen und Fortbildungen vermittelt werden. Für Werkfeuerwehrlaute liegt z. B. ein Leitfaden im Umgang mit Wasserstoff vor (vgl. (AGBF 2008), den die Fachkräfte befolgen müssen, wenn sie mit Wasserstoff in Berührung kommen.

Da für den Teilprozess der Anlageninstandhaltung zudem ebenfalls Querschnittsberufe entsprechend dem Teilprozess „Anlagen errichten“ zum Einsatz kommen, kann auch hier von einem ordnungsrelevanten Qualifikationsanpassungsbedarf nicht ausgegangen werden.

Auf Grund dieser Betrachtung kann das Zwischenfazit gezogen werden, dass durch den Einsatz von Wasserstoff in der Stahlindustrie erstmal kein grundsätzlicher Ordnungsbedarf entsteht. Dies bedeutet

jedoch nicht, dass keine Anpassungen auf betrieblicher Ebene notwendig werden, d. h. veränderte Schwerpunktsetzungen, Lernaufträge und Projekte sowie kleine innerbetriebliche Schulungen, die dazu dienen, den Fachkräften die Neuerungen der Anlagen und des Herstellerprozesses sowie die Eigenschaften von „Wasserstoff“ zu erläutern. Insbesondere von Schulungen in Hinsicht auf Sicherheitsmaßnahmen kann ausgegangen werden. Solche Maßnahmen führen jedoch nicht unweigerlich zu Qualifikationsanpassungsmaßnahmen auf Ordnungsebene.

6.1.2 Identifizierung einschlägiger Ausbildungsberufe in vor- und nachgelagerten Teilprozessen

Neben den oben aufgeführten Ausbildungsberufen, die entlang der Teilprozesse (Anlagen planen und entwickeln, Anlagen einrichten, Anlagen überprüfen und in Betrieb nehmen, Anlagen betreiben, Anlagen überwachen und Anlagen instandhalten) lassen sich weitere Ausbildungsberufe in der Stahlindustrie identifizieren, die von der Umstellung der Hochofentechnik auf die Direktreduktion auf Basis von Wasserstoff betroffen sind. Dies sind insbesondere vor- und nachgelagerte Berufe aus dem kaufmännischen sowie logistischen Bereich. Wie bereits im Teilprozess „Anlagen überwachen“ aufgezeigt, lassen sich Berufe identifizieren, die für die Gewährleistung der Sicherheit im laufenden Betrieb verantwortlich und durch die Umstellung und die damit verbundenen Veränderungen bezüglich Sicherheitsvorschriften betroffen sind.

Während sich bei den Letztgenannten auf den ersten Blick kleinere Veränderungen vermuten lassen (vgl. Kapitel 6.1.3), lassen sich ordnungsrelevante Anpassungsbedarfe in den kaufmännischen Berufen ausschließen. Zwar kann sich z. B. der Bedarf an benötigten Rohstoffen verändern, jedoch ist der Gegenstand des Einkaufs für die Ausführung der Tätigkeit notwendigen Kompetenzen irrelevant. Hier geht es um Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse, die sich auf die kaufmännischen Prozesse selber beziehen, nicht auf den Gegenstand selber. Schließlich sind kaufmännisch ausgebildete Fachkräfte befähigt, in Betrieben jeglicher Art zu arbeiten.

Im Falle der Logistikberufe, wie z. B. der Fachkraft für Lagerlogistik oder dem Eisenbahner/der Eisenbahnerin im Betriebsdienst FR Lokführer und Transport könnten sich kleinere Veränderungen in Hinblick auf Sicherheitsaspekte beim Transport oder der Lagerung von Wasserstoff ergeben. Aber auch hier sei darauf hingewiesen, dass bereits in der jetzigen Ausbildungsordnung Kompetenzen vermittelt werden, die dem Transport und der Lagerung von Gefahrgütern dienen. Da aktuell noch nicht absehbar ist, ob Wasserstoff direkt vor Ort produziert oder gelagert wird, oder wie er auf das Werksgelände gelangt und weil es sich um Querschnittsberufe handelt, werden diese Berufe wie die kaufmännischen Berufe für die Frage nach Qualifikationsanpassungen von Berufen der Stahlindustrie nicht weiter betrachtet.

6.1.3 Qualifikationsanpassung durch erweiterte Sicherheitsaspekte?

Da es sich bei Wasserstoff um ein hochexplosives Gas handelt und wasserstoffführende Anlagen entsprechend der Betriebsicherheitsverordnung (BetrSichV), (DEUTSCHER BUNDESTAG 2015, Anhang 2,

Abschnitte 3 und 4) überwachungsbedürftige Anlagen sind, kann es unter Umständen zu veränderten Sicherheitsaspekten kommen, die die Fachkräfte, die an den Anlagen arbeiten, beachten müssen. Für das Arbeiten an wasserstoffführenden Anlagen sowie für den Betrieb der Anlagen muss das Unternehmen für die Beschäftigten im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung geeignete Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung der speziellen Eigenschaften von Wasserstoff festlegen. Diese Gefährdungsbeurteilung liefert dem Arbeitgeber erste wichtige Informationen zu möglichen Qualifikationsanforderungen an die eingesetzten Fachkräfte. Für eine detaillierte Ausführung zu diesem Thema siehe ZINKE (2022).

Anpassungsbedarfe in den Qualifikationen der betroffenen Fachkräfte können somit nicht ausgeschlossen werden. Aktuellen Debatten und Entwicklungen zufolge, können diese Qualifikationsbedarfe durch interne Schulungen oder Angebote externer Weiterbildungsanbieter abgedeckt werden. Ob sich hieraus ggf. berufsspezifische Anpassungen ergeben, die sich in einem allgemeinen Qualifikationsbedarf äußern, lässt sich zu diesem Zeitpunkt nicht absehen, soll aber im weiteren Verlauf des Projekts untersucht werden.

7 Schulungs- und Weiterbildungsangebote als Indikator für Qualifikationsbedarfe/Qualifikationsstrategien

Aufgrund der Erwartung eines zukünftig sprunghaften Anstiegs in der Anwendung von grünem Wasserstoff und somit der erweiterten Wasserstofferzeugung, wächst die Nachfrage nach Qualifizierung. Bildungsanbieter offerieren erste Angebote für die Qualifizierung von Fachkräften im Kontext der Wasserstoffnutzung. Die Angebote sind inhaltlich und quantitativ in ständiger Entwicklung, weshalb an dieser Stelle kein vollständiges Bild der Bildungslandschaft wiedergegeben werden kann, sondern nur Beispiele angeführt werden können.

Neben zahlreichen akademischen Angeboten gibt es auch Einstiegs- und Sensibilisierungsmodule für nicht akademisch ausgebildete Fachkräfte, die mit Wasserstoff in Berührung kommen. Derartige Module thematisieren in der Regel die chemischen Eigenschaften, die technologischen Kontexte und die volkswirtschaftliche Bedeutung von Wasserstoff. Da sie eher allgemein gehalten und weniger auf spezielle Tätigkeiten ausgerichtet sind, dienen sie hauptsächlich der allgemeinen Kenntnisvermittlung, weniger der berufsspezifischen Befähigung (siehe hierzu ZINKE 2022).

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

Drei im Zuge der Recherchen gefundene Beispiele für Schulungsangebote werden in der folgenden Tabelle kurz vorgestellt (Tabelle 14).

Tabelle 13: exemplarische Verweise auf Weiterbildungsangebote

Anbieter	Titel	Beschreibung
TÜV Süd	Modulare Ausbildung im Bereich Wasserstofftechnologie – industrielle Anwendung	Das vierstufige Ausbildungssystem für die industrielle Anwendung der Wasserstofftechnologie vermittelt die erforderlichen Kenntnisse – je nachdem, welche Tätigkeit im Umgang mit Wasserstoffsystemen auszuüben sind. Im ersten Modul grundlegende Kenntnisse zu Wasserstoff, um sicher mit wasserstoffführenden Systemen und Anlagen umgehen zu können. Modul 2 beinhaltet den Aufbau einer Wasserstoffanlage, notwendige Kenntnisse, um festgelegte Arbeiten an Wasserstoffanlagen sicher ausführen zu können. Modul 3 vermittelt Grundlagen, um sicher an Wasserstoffanlagen zu arbeiten und Sicherheitskonzepte umzusetzen. Modul 4 thematisiert Sicherheitskonzepte für die Wasserstoffinfrastruktur einschließlich dem Prüfen und Freigeben (vgl. Infos zur modularen Ausbildung im Bereich Wasserstoff TÜV SÜD Akademie (tuvsud.com)).
HWK Ulm	Fachkraft im Umgang mit Wasserstoff	Drei Module mit Praxistag: Modul 1 – Eigenschaften von Wasserstoff, Grundlagen, inkl. Prüfung; Modul 2 – Systeme mit Wasserstoff und sicherer Aufbau, inkl. Prüfung; Modul 3 – Regeln im Umgang mit Wasserstoff, inkl. Prüfung (vgl. 5-FW-H2-FREI – Handwerkskammer Ulm (hwk-ulm.de))
DIHK (Weiterbildungs-GmbH)	Fachkraft für Wasserstoffanwendungen (IHK)	„Der sich in Entwicklung befindliche bundeseinheitliche IHK-Zertifikatslehrgang „Fachkraft für Wasserstoffanwendungen“ (IHK) schafft grundlegendes Wissen über die Wasserstofftechnologie als zukunftsweisender, klimafreundlicher Energieträger. Im Fokus steht hierbei das Verständnis für die Potenziale und vielfältigen Einsatzmöglichkeiten entlang der gesamten Wertschöpfungskette.“ (Quelle: Fachkraft für Wasserstoffanwendungen (IHK) Weiterbildung (ihk-kompetenz.plus))

Neben den eher allgemeinen Weiterbildungsmöglichkeiten zum Thema Wasserstoff gibt es in der Stahlindustrie sowie auch in anderen Bereichen eine Diskussion um Weiterbildungsbedarfe für klar definierte Kompetenzprofile (vgl. das von der Technischen Universität Dortmund verantwortete Projekt ESSA⁷). Hierfür ist ein genauer Abgleich der entstehenden Anforderungen an bestimmte Fachkräfte mit bestehenden Jobprofilen erforderlich. Wie jedoch in Kapitel 6 dargelegt, lässt sich aktuell noch kein konkreter Bedarf ermitteln. Da jedoch gerade in der Stahlindustrie die technologische Umstellung aktuell noch in der Erprobungsphase und außer in einem sehr geringen Umfang nicht in der Praxis ausgeführt wird, lassen sich Veränderungen und dadurch entstehende Qualifizierungsbedarfe nur aus der Theorie ableiten. Der tatsächliche Bedarf wird sich vermutlich erst zu einem späteren Zeitpunkt zeigen. Dennoch wird auch in der Stahlindustrie bereits jetzt über berufsspezifische Anpassungen diskutiert. So bietet z. B. die Niederrheinische Industrie- und Handelskammer Duisburg-Wesel-Kleve seit einiger Zeit Fachkräften die Möglichkeit, eine Zusatzqualifikation Wasserstoff zu absolvieren. Im Rahmen dieser Qualifikation werden Grundlagen zum Thema Wasserstoff vermittelt, Herstellungsverfahren und Speichermöglichkeiten besprochen, die Kursteilnehmer auf die Gefahren im Umgang mit Wasserstoff sensibilisiert, Schutzmaßnahmen und das Thema Arbeitssicherheit sowie ökonomische und ökologische Aspekte rund um das Thema Wasserstoff diskutiert. Auch der Einsatz von Wasserstoff als Reduktionsmittel in der Stahlproduktion sowie spezifische Aspekte beim Einsatz von Wasserstoff sind Teil der Zusatzqualifikation. Vorwiegend durch letztgenannte Inhalte sollen insbesondere angehende Fachkräfte der Stahlindustrie bereits heute auf das Arbeiten an mit Wasserstoff betriebenen Anlagen vorbereitet werden.

8 Erste Schlussfolgerungen zur Einschätzung notwendiger möglicher ordnungsrelevanter Qualifikationsbedarfe/Diskussion der Ergebnisse und weiterer Forschungsbedarf

Ein erster beispielhafter Abgleich bestehender Ausbildungsordnungen mit antizipierten Veränderungen in Berufsprofilen deutet aktuell auf keinen akuten, ordnungsrelevanten Anpassungsbedarf hin. Somit wird zwar zum jetzigen Zeitpunkt und aktuellem Kenntnisstand von keinem erhöhten und berufsspezifischen Weiterbildungsbedarf für bereits ausgebildete, sowie Anpassung in der Ausbildung für zukünftige Fachkräfte ausgegangen. Jedoch können Veränderungen im Qualifikationsbedarf nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Wie aus anderen Forschungsprojekten bekannt (BLANKART/SCHAD-DANKWART/BRETSCHNEIDER 2022), führen nicht nur Kompetenzveränderungen zu ordnungsrelevanten Anpassungsbedarfen, sondern auch u.a. geänderte

⁷ Projekt ESSA - Sozialforschungsstelle (sfs) - sfs - TU Dortmund (tu-dortmund.de)

Rechtvorschriften, ein betrieblich-struktureller Wandel oder das Zusammenwachsen sowie die Ausdifferenzierung von Berufen. Neben geänderten Rechtsvorschriften gerade im Hinblick auf die weiter oben angesprochenen Sicherheitsaspekte lassen sich bereits in einem frühen Stadium, bedingt durch die zunehmende Sektorenkopplung, betrieblich-strukturelle Veränderungen annehmen. Diese wiederum könnten dazu führen, dass Fachkräfte in Zukunft verstärkt Querschnittskompetenzen benötigen, die jetzt noch nicht ersichtlich sind. Ebenso kann eine Verschiebung von Aufgaben- und Tätigkeitsschwerpunkten sowie ein Zusammenwachsen von Berufsprofilen nicht ausgeschlossen werden. Betrachtet man die Qualifikationen von heute ausgebildeten Fachkräften im Einzelnen, lässt sich zwar sagen, dass die heutigen Fachkräfte ausreichend vorbereitet sind, die grüne Transformation der Stahlindustrie kompetent zu begleiten und zu unterstützen. Um Aussagen treffen zu können, wie sich ggf. Berufsprofile durch z. B. das Zusammenwachsen von Sektoren verändern und welche Bedarfe hieraus entstehen, müssen jedoch weitere Forschungsschritte in Form von Expertengesprächen und Arbeitsplatzbegehungen unternommen werden. Erst durch einen Einblick in die Praxis und Sichtung erster Umstellungen in der Praxis können valide Aussagen darüber getroffen werden, ob ein erhöhter Bedarf an Qualifizierungsmaßnahmen oder gar ein Anpassungsbedarf auf Ordnungsebene entsteht.

9 Literaturverzeichnis

ACATECH (Hrsg.); LEOPOLDINA (Hrsg.); UNION DER DEUTSCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. München 2022. URL: <https://www.acatech.de/publikation/wasserstoff/#:~:text=Der%20Bedarf%20an%20Wasserstoff%20und,etwa%20400%E2%80%93700%20Terawattstunden%20liegen.> (Stand: 03.10.2022)

AGBF (Hrsg.): Wasserstoff und dessen Gefahren. Ein Leitfaden für Feuerwehren 2008. URL: https://www.fwvbw.de/fileadmin/Downloads/Einsatz_Wasserstoffleitfaden.pdf (Stand: 06.09.2022)

ARIADNE (Hrsg.): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045. Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Potsdam 2021. URL: https://ariadneprojekt.de/media/2022/02/Ariadne_Szenarienreport_Oktober2021_corr0222.pdf (Stand: 04.10.2022)

BLANKART, S.; SCHAD-DANKWART, I.; BRETSCHNEIDER, M.: Das Alter von Ausbildungsordnungen als Indikator für den Modernisierungsbedarf anerkannter Ausbildungsberufe? In: BWP (2022) 4, S. 57-61

BMWf (Hrsg.): Die Nationale Wasserstoffstrategie 2020. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile (Stand: 29.04.2022)

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ (Hrsg.): Stahlindustrie 2022. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Branchenfokus/branchenfokus-stahl-und-metall-01.html> (Stand: 19.12.2022)

BUNDESREGIERUNG (Hrsg.): Generationenvertrag für das Klima 2022. URL: <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.> (Stand: 20.12.2022)

DENA (Hrsg.): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende - Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050 Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen. Berlin 2018. URL: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf

DÖHRN, Roland; JANßEN-TIMMEN, Ronald: Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Stahlindustrie 2012. URL: <https://www.econstor.eu/handle/10419/62149>

EUROFER (Hrsg.): Statistics 2022. URL: <https://www.eurofer.eu/statistics/> (Stand: 19.12.2022)

FLECKENSTEIN, Felix: Wasserstoff für eine klimaneutrale Niedersächsische Industrie. Impulspapier Nr. 02/2022. Hannover 2022. URL: https://www.aul-nds.de/fileadmin/user_upload/DGB-Reihe_Gerechter_Wandel-Nr._2_2022_-_Wasserstoff_fu__r_klimaneutrale_niedersa__chsische_Industrie.pdf (Stand: 03.10.2022)

FRAUNHOFER IPT (Hrsg.): The Relevance of Fuel Cells for Mobility Applications. Discussion Paper. Aachen 2021. URL: <https://www.ipt.fraunhofer.de/en/publications/whitepaper-trendreports-studies/relevance-of-fuel-cells-for-mobility-applications.html> (Stand: 20.09.2022)

GERBERT, Philipp; HERHOLT, Patrick; BURCHARDT, Jens; SCHÖNBERGER, Stefan; RECHENMACHER, Florian; KIRCHNER, Almut; KEMMLER, Andreas; WÜNSCH, Marco: Klimapfade für Deutschland 2018. URL: <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/> (Stand: 24.01.2023)

GRIMM, Veronika; JANSER, Markus; STOPS, Michael: Kompetenzen für die Wasserstofftechnologie sind schon jetzt gefragt. IAB-Kurzbericht 11/2021. Nürnberg 2021. URL: <https://doku.iab.de/kurzber/2021/kb2021-11.pdf> (Stand: 20.09.2022)

HARTBRICH, I.: Stahl: Diese Anlagentechnik wird bei Thyssenkrupp und Co. den Hochofen ablösen 2022. URL: <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/werkstoffe/direktreduktion-diese-anlagentechnik-wird-bei-thyssenkrupp-und-co-den-hochofen-abloesen/> (Stand: 20.12.2022)

HENSMANN, M.; HAARDT, S.; EBERT, D.: Emissionsfaktoren zur Eisen- und Stahlindustrie für die Emissionsberichterstattung 2010. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4362.pdf>

HÖMANN, R.; WEIß, N.: Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2021. URL: https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/WV-Stahl_Fakten-2021_RZ_Web_neu.pdf

HONSEL, G.: Wasserstoff und CO₂: Emissionen und Kosten senken 2021. URL: <https://www.heise.de/hintergrund/Wasserstoff-und-CO2-Emissionen-und-Kosten-senken-6002857.html> (Stand: 20.12.2022)

KRICHEWSKY-WEGENER, Lena; ABEL, Sebastian; BOVENSCHULTE, Marc: Skills Development for Hydrogen Economies – Damit aus einer Wasserstoffstrategie eine Wasserstoff- (weiter)bildungsstrategie wird. Working Paper of the Institute for Innovation and Technology. Berlin 2020. URL: https://www.iit-berlin.de/wp-content/uploads/2021/01/2020_11_iit-perspektive_Hydrogen-Economies.pdf (Stand: 25.01.2022)

LIMBERS, Jan: Volkswirtschaftliche Folgen einer Schwächung der Stahlindustrie in Deutschland 2016. URL: https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-01/20160331_prognos_wvstahl_gutachten_final_01.pdf

LÖSCH, O.; EBERHARD, J.; ZESCH, G.: Bewertung der Direktreduktion von Eisenerz mittels Elektrolyse-Wasserstoff 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/341255093_Bewertung_der_Direktreduktion_von_Eisenerz_mittels_Elektrolyse-Wasserstoff/citation/download (Stand: 23.11.2022)

LÜNGEN, H. B.: Wege zur Minderung von CO₂-Emissionen in der Eisen- und Stahlindustrie in Europa 2021. URL: https://vdeh.de/media/2021-03-30_luengen_wege_zur_minderung_von_co2-emissionen.pdf (Stand: 20.12.2022)

MEYER, Robert; HERKEL, Sebastian; KOST, Christoph: Die Rolle von Wasserstoff im Gebäudesektor: Vergleich technischer Möglichkeiten und Kosten defossilisierter Optionen der Wärmeerzeugung. Potsdam 2021. URL: <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-wasserstoff-im-gebauedesektor/#zusammenfassung> (Stand: 03.08.2022)

MÖNNING, Anke; RONSIEK, Linus; BECKER, Lisa; STEEG, Stefanie: Wasserstoffbasierte Transformation und die Auswirkungen auf den Importbedarf Deutschlands. BIBB Discussion Paper. Bonn 2022. URL: https://res.bibb.de/vet-repository_780209 (Stand: 30.11.2022)

PROGNOS (Hrsg.); ÖKO-INSTITUT (Hrsg.); WUPPERTAL-INSTITUT (Hrsg.): Klimaneutrales Deutschland 2045. Zusammenfassung 2021. URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf (Stand: 19.09.2022)

SCHLEMME, Jannik; SCHIMMEL, Matthias; ACHELNIK, Christian: Energiewende in der Industrie. Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor. Branchensteckbrief der Eisen- und Stahlindustrie 2020. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiewende-in-der-industrie-ap2a-branchensteckbrief-stahl.pdf?__blob=publicationFile&v=4

SHELL DEUTSCHLAND/WUPPERTAL INSTITUT (Hrsg.): Shell Wasserstoff-Studie - Energie der Zukunft? Hamburg 2017. URL: https://www.shell.de/about-us/newsroom/shell-hydrogen-study/_jcr_content/root/main/containersection-0/simple/call_to_action/links/item0.stream/1643541262215/1086fe80e1b5960848a92310091498ed5c3d8424/shell-wasserstoff-studie-2017.pdf (Stand: 14.06.2022)

SIMIC, André Küster; SCHÖNFELDT, Janek: H₂-Transformation der Stahlindustrie und des Energieanlagenbaus 2022. URL: https://www.boeckler.de/fpdf/HBS-008461/p_fofoe_WP_260_2022.pdf (Stand: 28.07.2023)

SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, FDP (Hrsg.): Mehr Fortschritt wagen. Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021. URL: https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf (Stand: 10.08.2022)

SPÖTTL, Georg: Sektoranalysen. In: RAUNER, Felix (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. Bielefeld 2005, S. 112-118

SPÖTTL, Georg; WINDELBAND, Lars: Berufswissenschaftlicher Ansatz zur Früherkennung von Qualifikationsbedarf 39 (2006) 3, S. 72-91

STAHLINSTITUT VDEH (Hrsg.): Roheisen- und Rohstahlerzeugung 2022. URL: <https://vdeh.de/stahlherstellung/kohlenstoffbasierte-stahlerzeugung/> (Stand: 19.12.2022)

STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.): Klassifikation der Wirtschaftszweige. URL: https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/Downloads/klassifikation-wz-2008-3100100089004-aktuell.pdf?__blob=publicationFile

STEEG, St; HELMRICH, R.; MAIER, T.; SCHROER, Ph.; MÖNNING, A.; WOLTER, M.; SCHNEEMANN, Ch.; ZIKA, G.: 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)

THYSSENKRUPP (Hrsg.): Weltpremiere in Duisburg: NRW-Wirtschaftsminister Pinkwart startet bei thyssenkrupp Versuchsreihe zum erstmaligen Einsatz von Wasserstoff im Hochofen 2019. URL: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/newsroom/pressemitteilungen/weltpremiere-in-duisburg.html> (Stand: 20.12.2022)

Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln. (Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV) 2015

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (Hrsg.): Stahl und Stahlproduktion 2022a. URL: <https://www.stahl-online.de/startseite/stahl-in-deutschland/stahl-und-stahlproduktion/> (Stand: 19.12.2022)

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (Hrsg.): Statistiken 2022b. URL: <https://www.stahl-online.de/startseite/stahl-in-deutschland/zahlen-und-fakten/> (Stand: 19.12.2022)

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (Hrsg.): Wasserstoff als Basis für eine klimaneutrale Stahlproduktion 2022c. URL: https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/20210809_Positionspapier_Wasserstoff-in-der-Stahlindustrie.pdf (Stand: 14.08.2023)

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (Hrsg.): Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2020 2020. URL: https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/WV-Stahl_Fakten-2020_rz_neu_Web1.pdf

ZINKE, Gert: Sektoranalyse: Erzeugung, Speicherung und Transport von Wasserstoff. Eine Untersuchung im Rahmen des Projektes "H2Pro: Wasserstoff - ein Zukunftsthema der beruflichen Bildung im Kontext der Energiewende" 2022. URL: https://res.bibb.de/vet-repository_780890 (Stand: 24.01.2023)

