

André Küster Simic, Janek Schönfeldt



Transformation der Sekundärstahlroute

Technische, wirtschaftliche und personalwirtschaftliche
Herausforderungen mit Fokus auf die neuen Bundesländer

Ein Projekt der Stiftung Neue Länder in der Otto Brenner Stiftung
Frankfurt am Main 2023

Eine Studie der Stiftung Neue Länder in der
Otto Brenner Stiftung

Herausgeber:

Otto Brenner Stiftung

Jupp Legrand

Wilhelm-Leuschner-Straße 79

D-60329 Frankfurt/Main

Tel.: 069-6693-2810

Fax: 069-6693-2786

E-Mail: info@otto-brenner-stiftung.de

Autoren:

Q & A Banner · Küster Unternehmensberatung GmbH

Papenhuder Str. 13

22087 Hamburg

Prof. Dr. André Küster Simic

kuester@qunda.de

(+49) 40-30 60 59 97 0

Janek Schönfeldt

schoenfeldt@qunda.de

(+49) 40-30 60 59 97 40

Redaktion:

Andreas Knoll, SNL

Satz und Gestaltung:

Isabel Grammes, think and act

Titelbild:

Collage unter Verwendung der Icons von
[sevector/AdobeStock.com](https://www.sevector.com)

Redaktionsschluss:

26. Juni 2023

Hinweis zu den Nutzungsbedingungen:

Diese Veröffentlichung darf nur für nichtkommerzielle Zwecke im Bereich der wissenschaftlichen Forschung und Beratung und ausschließlich in der von der Otto Brenner Stiftung veröffentlichten Fassung – vollständig und unverändert! – von Dritten weitergegeben sowie öffentlich zugänglich gemacht werden.

Für die Inhalte sind die Autorinnen und Autoren verantwortlich.

Exemplare dieser Veröffentlichung können als PDF-Datei geladen werden:

<https://www.otto-brenner-stiftung.de/publikationen-snl>

Kontakt: info@otto-brenner-stiftung.de

Vorwort

Inzwischen dürfte es unstrittig sein, dass die Transformation der Wirtschaft zu einer nachhaltigen, ressourcenschonenden und umweltverträglichen Produktionsweise fundamentale Auswirkungen hat. Energieintensive Branchen wie beispielsweise die Chemie-, die Zement- und die Stahlindustrie sind in besonderer Weise davon betroffen. Die Auswirkungen betreffen aber nicht nur die Art und Weise der Produktion und die Frage, wie die benötigten Energiemengen überhaupt gewonnen werden können. Unzweifelhaft wird die Transformation auch erhebliche Auswirkungen haben auf die Beschäftigten in diesen Branchen, auf deren Arbeitsweise etwa und beispielsweise die erforderlichen Qualifikationen.

Die Stahlindustrie ist mit ihren vielfältigen Vorprodukten das Rückgrat industrieller Wertschöpfungsketten in Deutschland: Zwar beschäftigen die Betriebe der Stahlindustrie unmittelbar „nur“ rund 90.000 Arbeitnehmer – aber über die sich anschließenden Wertschöpfungsketten hängen bis zu vier Millionen Beschäftigte in den nachgelagerten stahlintensiven Branchen von ihr ab. In den Neuen Bundesländern ist insbesondere die überwiegend mittelständisch geprägte Sekundärstahlindustrie vertreten (sie gewinnt Stahl aus Schrott, nicht aus Erz und stellt so auch einen bedeutenden Akteur der Kreislaufwirtschaft dar). In Ostdeutschland ist sie als Zulieferer für zahlreiche weiterverarbeitende Branchen ein bedeutender regionaler Motor für Wertschöpfung, Beschäftigung und Wohlstand.

Um internationalen Vereinbarungen und nationalen Klimaschutzverpflichtungen nachzukommen, stehen auch die Unternehmen der Sekundärstahlindustrie in den Neuen Bundesländern vor der Aufgabe, ihre Produktionsprozesse ohne Verlust der Wettbewerbsfähigkeit zu verändern und deren Dekarbonisierung zu beschleunigen. Hieraus ergeben sich zahlreiche technische, wirtschaftliche und personalwirtschaftliche Herausforderungen, die bereits heute aktiv von den Unternehmen angegangen werden (müssen). Darüber hinaus wird es auf gezielte industriepolitische Maßnahmen ankommen, die die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen in der Transformationsphase flankieren müssen.

Hohe Strombedarfe und die Nutzung von Erdgas entlang der Prozesskette sind heute wesentliche Emissionsquellen bei der Sekundärstahlerzeugung. Für eine „grüne“ Sekundärstahlerzeugung werden künftig vor allem Strom zu wettbewerbsfähigen Preisen aus erneuerbaren Energien, „grüner“ Wasserstoff und eine entsprechende und geeignete Energieinfrastruktur benötigt. Die anstehende Transformation muss aber auch sozial gelingen: Die Arbeitsplätze in der ostdeutschen Stahlindustrie tragen entscheidend zum Wohlstand und zur regionalen Wertschöpfung bei. Sie zeichnen sich häufig auch durch gute Arbeitsbedingungen, tarifliche Regelungen und eine gelebte Mitbestimmungskultur aus.

Die Studie der Stiftung Neue Länder (SNL) wirft einfürend einen Blick auf die zu erwartende Entwicklung der Wasserstoffversorgung und beleuchtet anschließend die technischen und wirtschaftlichen Implikationen einer „grünen“ Transformation der Sekundärstahlindustrie. Auf der Basis dieser Ergebnisse wird der Versuch unternommen, spezifische Auswirkungen der Transformation auf die Sekundärstahlindustrie der Neuen Bundesländer herauszuarbeiten – mögliche Standortvorteile wie eventuell auch Nachteile werden beleuchtet. Eine Analyse der personalwirtschaftlichen Herausforderungen und möglicher Auswirkungen auf Beschäftigte und Beschäftigung schließt sich an. Handlungsempfehlungen bilden den Abschluss der Studie.

Die Untersuchung der SNL erhebt nicht den Anspruch, eine breite und ausgreifende wissenschaftliche Arbeit zu sein. Vielmehr wenden wir uns an den interessierten Laien mit dieser verständlichen und praktischen Handreichung. Die Informationen der Studie richten sich besonders an betriebliche und (arbeitsmarkt-)politische Akteure. Stiftung und Autoren hoffen, dass die Analyse helfen kann, sich den Herausforderungen der Transformation zu stellen und diesen mit betrieblichen Erfolgen zu begegnen.



Jupp Legrand

Geschäftsführer der Otto Brenner Stiftung (OBS)/Stiftung Neue Länder (SNL)
Frankfurt am Main und Berlin, im Juli 2023

Inhalt

1	Einleitung und Forschungsfragen	6
1.1	Methodische Vorgehensweise und Daten	8
2	Ausblick auf die Entwicklung der Wasserstoffversorgung	10
2.1	Technologische Pfade für die Wasserstoffelektrolyse.....	11
2.2	Einflussfaktoren auf die Wasserstoffversorgung	13
2.3	Einschätzungen zu wesentlichen Entwicklungsstufen der Wasserstoffversorgung	15
3	Technische und wirtschaftliche Herausforderungen der grünen Transformation der Sekundärstahlroute	26
3.1	Relevanz der Sekundärstahlroute für die neuen Bundesländer und technische Herausforderungen der grünen Transformation.....	26
3.2	Prognosen zu zukünftigen Stahlproduktionsmengen und deren Produktionsrouten in Deutschland	32
3.3	Wirtschaftliche Herausforderungen der grünen Transformation	35
3.4	Zwischenfazit	38
4	Personalwirtschaftliche Herausforderung der grünen Transformation der Sekundärroute	40
4.1	Grundlagen und personalwirtschaftliche Herausforderungen.....	40
4.2	Beschäftigungseffekte und Qualifikationserfordernisse	43
5	Zusammenfassung und Ableitung von Handlungsempfehlungen	45
	Literaturverzeichnis	49
	Verzeichnis der Abbildungen	51
	Hinweise zu den Autoren	52
	Anhang 1: Interviewleitfaden und Fragebogen Modul „Wasserstoff“ aus der HBS-Studie „H ₂ -Transformation der Stahlindustrie und des Energieanlagenbaus“	53
	Anhang 2: Interviewleitfaden und Fragebogen zur Sekundärstahlroute.....	55

1 Einleitung und Forschungsfragen

Die Europäische Union möchte 2050 verbindlich klimaneutral werden, Deutschland bereits 2045. Das Erreichen der Klimaziele weltweit ist für bestehende und zukünftige Generationen entscheidend für eine lebenswerte Welt. Die grüne Transformation der Wirtschaft ist hierbei ein entscheidender Faktor. Häufig wird in der Literatur beschrieben, wie die grüne Transformation technisch gelingen kann und mit welchen (volks-)wirtschaftlichen Kosten sie verbunden ist.

Die Transformation muss aber auch sozial gelingen. Industrielle Arbeitsplätze in Deutschland und Europa tragen entscheidend zum Wohlstand bei. Sie zeichnen sich häufig durch gute Arbeitsbedingungen und tarifliche Regelungen sowie in Teilen durch eine gelebte Mitbestimmungskultur aus. Daher ist die grüne Transformation auch eine personalwirtschaftliche – eine menschliche – Herausforderung. Diesem Umstand wird bisher zu wenig Rechnung getragen.

Zunächst einmal geht es um technologische und wirtschaftliche Fragen, die Verfügbarkeit von ausreichend grünem Strom und grünem Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen. Diese Kurzstudie greift die Ergebnisse der Studie „H₂-Transformation der Stahlindustrie und des Energieanlagenbaus“, erschienen in Working Paper Forschungsförderung Nummer 240 der Hans-Böckler-Stiftung (Herausgeber), auf und legt den Fokus auf die Transformation der Sekundärstahlroute (auch „Elektrostahlroute“) mit einem besonderen Blick auf die neuen Bundesländer in Deutschland.

Im Gegensatz zur Primärstahlindustrie, in der die klassische Hochofenroute durch die wasserstoffbasierte Direktreduktion mit anschließender Einschmelzung, häufig in Elektrolichtbogenöfen, ersetzt wird, wird die Transformation der Sekundärstahlindustrie zu keinem vollständigen Technologiewechsel führen. Dennoch geht die Transformation mit signifikanten Herausforderungen in allen Unternehmensbereichen einher. Die unmittelbar von der Transformation betroffenen Produktionsbereiche können in die zwei Teilbereiche „Stahlwerk“ und „Weiterverarbeitung“ untergliedert werden.

Für die Transformation zahlreicher Industrien, so auch der Sekundärstahlroute, wird grüner Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen benötigt. Voraussetzung hierfür sind günstige Gesteungskosten – also letztlich grüner Strom zu wettbewerbsfähigen Preisen und effiziente Transportwege. Die Fragen, wo zukünftig Elektrolyse mit grünem Strom stattfinden wird und wie die Versorgung mit Wasserstoff erfolgen kann, werden in der vorliegenden Studie am Beispiel deutscher Stahlunternehmen mit Schwerpunkt auf die Sekundärroute diskutiert.

Neben den technischen werden auch die ökonomischen Rahmenbedingungen am Beispiel der Sekundärstahlroute beleuchtet. Die grüne Transformation erfordert auch von Unternehmen der Sekundärroute größere Investitionen (Capex) und erhöht anfänglich die Produktionskosten (Opex) im Vergleich zu den aktuellen Kosten und ist somit zunächst aus einzelwirtschaftlicher Sicht mit wirtschaftlichen Herausforderungen verbunden.

Durch partielle Förderung der Capex und temporären Ausgleich erhöhter Opex, u. a. durch sog. Contracts for Difference (CfD), können diese Belastungen reduziert und für die Unternehmen tragbar gestaltet werden. Aber auch die Nachfrage wird unterstützend wirken, z. B. durch das Entstehen von grünen (Leit-)märkten oder den generellen Trend zu grünen Produkten. Allerdings ist zu beachten, dass zahlreiche Unternehmen im internationalen Wettbewerb stehen. Europäische und deutsche Unternehmen müssen trotz Kosten für die grüne Transformation gleiche Wettbewerbsbedingungen, ein sog. „Level Playing Field“, im Vergleich zu internationalen Unternehmen vorfinden, die möglicherweise nicht oder nur eingeschränkt derartigen Regelungen unterliegen.

Gezielte Industriepolitik ist für den Erhalt der europäischen und deutschen Industrie und somit für das Verhindern des sog. Carbon-Leakage entscheidend. Der Stahlindustrie mit ihren rd. 89.000 Beschäftigten (Statistisches Bundesamt, 2022) kommt eine hervorgehobene Bedeutung zu, da sie am Beginn zahlreicher Wertschöpfungsketten mit bis zu 4 Millionen Beschäftigten entlang der Ketten steht (Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2022).

Eine Abgrenzung der Primär- und Sekundärstahlroute erfolgt in der amtlichen Statistik nicht. Nach eigener Analyse öffentlich zugänglicher Daten der Primärstahlroute lassen sich implizit für die Sekundärstahlroute rund 25.000 Beschäftigte ableiten. Geht man von einer Gleichverteilung im Hinblick der Beschäftigung in Bezug auf die Produktionsmenge aus,

so dürften bis zu 1,2 Millionen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Deutschland entlang der Wertschöpfungsketten der Sekundärroute beschäftigt sein.

Entlang von volkswirtschaftlichen Wertschöpfungsketten kommt der Sekundärstahlindustrie also eine bedeutende Rolle für den Industriestandort Deutschland zu. Während Standorte der Primärstahlroute vor allem in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und im Saarland zu finden sind, erfolgt die Sekundärstahlproduktion zu großen Teilen auch in den neuen Bundesländern. Eine genaue Abgrenzung der Beschäftigung fällt auf Basis öffentlich zugänglicher Daten schwer. Eine genauere Betrachtung der Produktionsstandorte (Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2022) führt zu der Einschätzung, dass rund 30 % der Beschäftigung der Sekundärstahlindustrie auf die neuen Bundesländer entfällt.

Im Hinblick auf die grüne Transformation der Stahlindustrie scheint die wissenschaftliche und politische Debatte verstärkt auf die Primärstahlerzeugung abzielen. Die Sekundärroute ist tendenziell eher mittelständisch geprägt. Die vorliegende Studie soll mit ihrem Fokus auf die Sekundärstahlroute die Diskussion zur Primärstahlroute abrunden und den Blick auf die Stahlindustrie komplettieren.

Die vorliegende Studie adressiert Leitfragen, die nachfolgend aufgeführt werden. Einige Fragen sind bereits in anderen Studien betrachtet worden. Die Aussagen und Prognosen sollen aber methodisch durch Expert:innen beleuchtet und durch eigene Analysen ergänzt werden. Gemeinsam dienen die Analysen als

Ausgangsbasis zur Ableitung wesentlicher Herausforderungen und Handlungsempfehlungen für die Sekundärstahlroute.

Wie kann zukünftig eine wettbewerbsfähige Wasserstoffversorgung in Deutschland gesichert werden und welche Risiken sind zu berücksichtigen?

- Wo und mit welchen Verfahren wird zukünftig grüner Wasserstoff wettbewerbsfähig produziert werden und wie sehen wettbewerbsfähige Transportwege aus?
- Kann eine deutsche Wasserstoffproduktion wettbewerbsfähig und in welchem Maße wird Deutschland abhängig von Wasserstoffimporten sein?
- Welche Risiken werden in Verbindung mit der Wasserstoffversorgung gesehen und wie sehen erforderliche industriepolitische Leitplanken auch für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft aus?

Wie kann die deutsche Sekundärstahlroute erfolgreich grün transformiert werden und welche Risiken sind zu berücksichtigen?

- Wie sieht der technische Transformationspfad der Sekundärstahlroute aus und was sind die wesentlichen Herausforderungen?
- Wie kann eine Versorgung der deutschen Sekundärstahlindustrie mit wettbewerbsfähigem grünem Wasserstoff grundsätzlich erfolgen? Wie sieht der Übergangspfad aus?
- Welche Auswirkungen wird die Transformation auf Produktionsmengen in der Sekundärstahlroute haben?

- In welchem Umfang sind Capex- und Opex-Steigerungen zu erwarten, wovon hängen diese ab und inwieweit muss hier staatliche Förderung einsetzen?
- Gibt es spezielle Herausforderungen für Standorte in den neuen Bundesländern?
- Welche Risiken werden in Verbindung mit der Transformation der Sekundärstahlindustrie gesehen und wie sehen erforderliche industriepolitische Leitplanken aus?

Ergeben sich durch die grüne Transformation der Sekundärstahlindustrie Beschäftigungseffekte und veränderte Qualifikationsanforderungen?

- Welche personalwirtschaftlichen Herausforderungen gehen mit der grünen Transformation einher?
- Welche Auswirkungen hat die Transformation auf Beschäftigung?
- Welche Qualifikationen der Mitarbeitenden sind erforderlich?
- Gibt es spezielle Herausforderungen für Standorte in den neuen Bundesländern?

Wir möchten ausdrücklich der Stiftung Neue Länder in der OBS und der Hans-Böckler-Stiftung für die Förderung sowie allen Expert:innen für ihren Beitrag zur Studie danken.

1.1 Methodische Vorgehensweise und Daten

Zur Erarbeitung der Ergebnisse der Studie soll auf mehrere Methoden zurückgegriffen werden. In einem ersten Arbeitsschritt wird ein

systematischer Literatur-Review zu den Fragestellungen für den Hochlauf der Wasserstoffindustrie sowie für die grüne Transformation der Sekundärstahlroute aufbereitet und analysiert. Aufbauend auf dem Review wurden Expert:inneninterviews durchgeführt.

Die Interviews dienen zum einen dazu, Aussagen und Prognosen bisheriger Studien aus Expertensicht zu beleuchten und zum anderen für die Sekundärstahlroute Einflussfaktoren und technische sowie wirtschaftliche Herausforderungen für die Transformation zu identifizieren. Darüber hinaus sollen neue Erkenntnisse zu personalwirtschaftlichen Herausforderungen, insbesondere zu Beschäftigung und Qualifikationserfordernissen für die Sekundärstahlindustrie gewonnen werden. Einen besonderen Dank für ihren Beitrag zur Studie möchten wir an alle Expert:innen aussprechen. Bei der Auswahl wurde bewusst darauf geachtet, dass multiple Perspektiven, Wahrnehmungen und Interessenspositionen vertreten sind. Im Rahmen der Studie „H₂-Transformation der Stahlindustrie und des Energieanlagenbaus“ wurden Interviews mit 25 Expert:innen geführt, davon:

- 10 Expert:innen aus dem Bereich Primärstahl/Anlagenbau (Arbeitgeber)
- 12 Expert:innen aus dem Bereich Primärstahl/Anlagenbau (Mitbestimmung)

- 1 Experte aus dem Bereich Wissenschaft
- 3 Experten aus Gewerkschaften/Verbänden

Auf diese Interviews wird vorwiegend zur Beschreibung der Entwicklung im Wasserstoffmarkt zurückgegriffen: 7 der 25 Expert:innen wurden im Hinblick auf die Wasserstofftransformation interviewt. Darüber hinaus wurden ergänzende Interviews mit Expert:innen aus dem Bereich der Sekundärstahlerzeugung geführt:

- 6 Expert:innen aus dem Bereich Sekundärstahl (Arbeitgeber)
- 4 Expert:innen aus dem Bereich Sekundärstahl (Mitbestimmung)

Die Befragungen wurden im Zeitraum von November 2021 bis März 2023 durchgeführt. Von den sieben Befragungen zum Wasserstoffmodul wurden drei vor Beginn des Ukrainekrieges und vier danach durchgeführt. Sämtliche Interviews zur Sekundärstahlroute wurden nach dem Beginn des Ukrainekrieges durchgeführt. Als Interviewform wurde ein strukturierter Ansatz mithilfe eines Leitfadens gewählt. Da ein strukturierter Ansatz bei den Interviews verfolgt wurde, wurden die Ergebnisse mit Hilfe von Ergebnisprotokollen festgehalten und keine qualitative Inhaltsanalyse z. B. nach Mayring (Mayring, 2015) durchgeführt.

2 Ausblick auf die Entwicklung der Wasserstoffversorgung

Dieser Abschnitt ist aus der Studie „H₂-Transformation der Stahlindustrie und des Energieanlagenbaus“ übernommen worden. Wie im vorangegangenen Kapitel erwähnt, ist die Wasserstoffversorgung zu wettbewerbsfähigen Preisen ein entscheidender Faktor für die Dekarbonisierung und geht über die Grenzen einzelner Sektoren hinaus.

Für den Industriesektor ist Wasserstoff für die Transformation von zentraler Bedeutung. Viele Ersatztechnologien, wie bspw. die Direktreduktion in der Stahlindustrie, sind aus technischer Sicht bereits vorhanden. Eine vollständig klimaneutrale Produktion ist aber nur unter Verwendung von grünem Wasserstoff möglich, der zum heutigen Zeitpunkt nicht in ausreichenden Mengen zur Verfügung steht. Insgesamt hängt die Dekarbonisierung der Sektoren in unterschiedlichem Maße vom Rohstoff Wasserstoff ab.

In der Energiewirtschaft ist der Ausstieg aus der Kohleverstromung einer der großen Hebel. Als klimafreundliche Ersatztechnologien ist der Ausbau von Wind- und Solarstromanlagen in großem Maßstab erforderlich. Langfristig müssen ebenfalls die weniger CO₂-intensiven aber immer noch CO₂-reichen erdgasbasierten Verfahren ersetzt werden. Hierfür ist die Verwendung von Wasserstoff im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung („Power-to-Heat“) ein möglicher Hebel für die direkte Nutzung von Strom zur Wärme- und Dampferzeugung.

Auch im Verkehrssektor kommt Wasserstoff, aller Voraussicht nach, eine entscheidende Rolle zu. Gemäß Fit-for-55 Paket der EU-Kommission sollen innerhalb Europas ab

2035 ausschließlich Null-Emissionsfahrzeuge produziert werden. Im Bereich der PKW hat sich in den vergangenen Jahren abgezeichnet, dass das Elektrofahrzeug den klassischen Verbrennungsmotor vollständig ersetzen könnte. Wasserstoff kommt im Verkehrssektor aufgrund von eingeschränkten Batteriekapazitäten im Bereich von größeren Fahrzeugen, wie bspw. im schweren Gütertransport, eine hohe Bedeutung zu. So ist neben dem Aufbau der Ladeinfrastruktur auch der parallele Aufbau von Wasserstofftankstellen für Schwerlasttransporter auf Straßen des Transeuropäischen Netzwerks (TEN-T) ein Bestandteil des Fit-For-55 Pakets.

Die Dekarbonisierung entlang der Sektoren ist somit eng an die günstige oder treffender wettbewerbsfähige Wasserstoffverfügbarkeit geknüpft, womit wiederum zahlreiche weitere technologische und auch wirtschaftliche Herausforderungen einhergehen. Im wissenschaftlichen Diskurs finden sich bereits eine Vielzahl von Analysen, die einen möglichen Hochlauf der Wasserstoffversorgung in Deutschland skizzieren, die betrachteten Einflussfaktoren und getroffenen Annahmen können aber stark variieren.

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der Expert:inneninterviews zum Hochlauf der Wasserstoffversorgung in Deutschland denjenigen gegenübergestellt werden, die in der „Meta-studie zu den technischen, technologischen und wirtschaftlichen Parametern für die Umstellung der deutschen Stahlindustrie auf eine emissionsarme Stahlproduktion auf Basis von grünem Wasserstoff“ (Ludwig-Bölkow-System-

technik GmbH, 2022) im Auftrag des Deutschen Wasserstoff und Brennstoffzellen-Verbands (DWV) erarbeitet wurden.

2.1 Technologische Pfade für die Wasserstoffelektrolyse

Nach dreijähriger Debatte stellt die EU-Kommission im Februar 2023 die Definition von grünem Wasserstoff in Form von zwei delegierten Rechtsakten vor, in denen auch Ziele definiert werden. Bis 2030 sollen in Europa 10 Millionen Tonnen Wasserstoff produziert und dafür rund ein Viertel des gesamten in Europa produzierten Stroms verwendet werden.

Einer der Rechtsakte (Europäische Kommission, 2023) beschreibt die Berechnungsmethodik der Lebenszyklustreibhausgasemissionen von sog. „renewable fuels of non-biological origin“ (RFNBOs), einschließlich vor- und nachgelagerter Emissionen (Scope 3 Emissionen). Zu den RFNBOs gehört auch Wasserstoff. Der zweite Rechtsakt (Europäische Kommission, 2023) definiert, unter welchen Bedingungen die RFNBOs als erneuerbare Brennstoffe angesehen werden können. Folgende Bedingungen können hervorgehoben werden:

- Ab dem Jahr 2028 soll der Strom für grünen Wasserstoff nur aus erneuerbaren Quellen stammen, die jünger als 36 Monate sind und nicht öffentlich gefördert wurden. Elektrolyseure müssen somit mit neuen (zusätzlichen) Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien betrieben werden. Auf diese Weise sollen Anreize für die Energie-

wende gegeben und gleichzeitig eine Überlastung der Stromnetze vermieden werden.

- Strom und Wasserstoff müssen in derselben Stromgebotszone sowie bis 2029 im selben Monat und ab 2030 derselben Stunde erzeugt werden. Zu Zeiten, in denen der Strompreis unter 20 Euro pro Megawattstunde liegt, kann auch anderer Strom aus dem Netz bezogen werden. Es soll gewährleistet werden, dass erneuerbarer Wasserstoff nur zu Zeiten und an Orten erzeugt wird, an denen ausreichend erneuerbare Energien zur Verfügung stehen.
- Zwischen dem Stromerzeuger und dem Wasserstoffherzeuger muss es einen festen Abnahmevertrag für Strom („Power Purchase Agreement“, kurz „PPA“) geben.

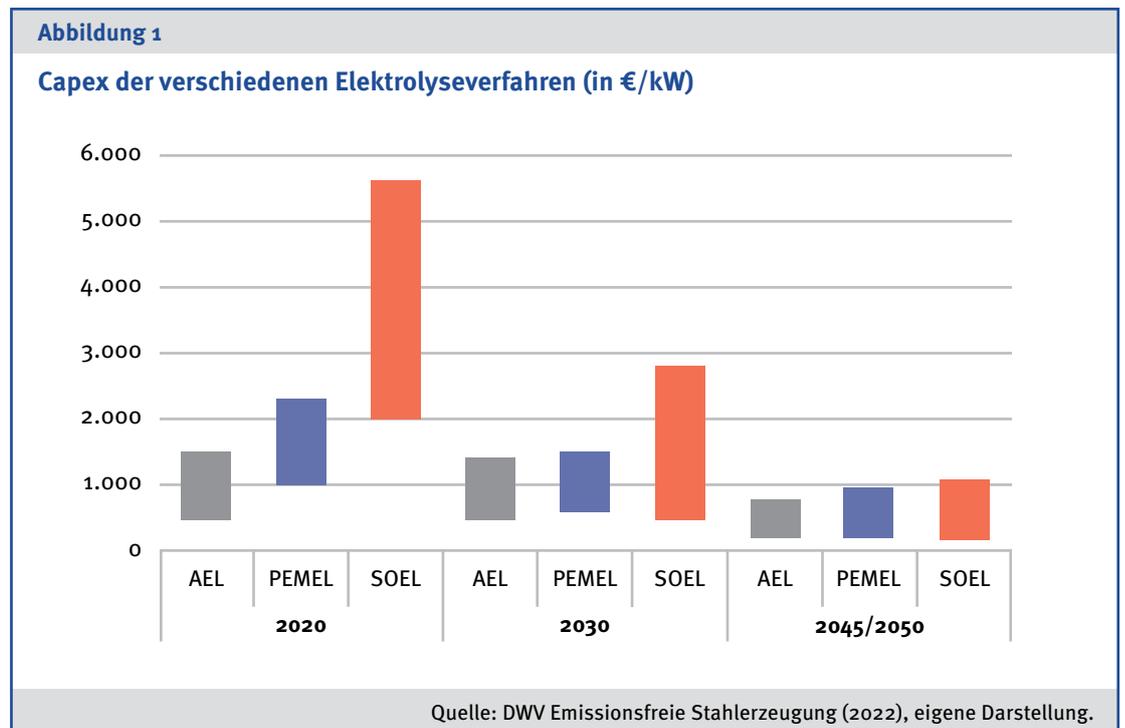
Die Produktion von grünem Wasserstoff unterliegt also restriktiven Anforderungen. Es gibt aber auch Ausnahmen von der Erzeugung in einer Stromgebotszone, z. B. Zonen in denen mehr als 90 Prozent der Elektrizität aus erneuerbaren Quellen stammt (bspw. Nordschweden) oder für Stromgebotszonen, in denen im Durchschnitt weniger als 18 Gramm Kohlendioxid je Megajoule anfallen. Letztere Ausnahmeregelung bevorzugt Stromnetze mit einem hohen Anteil an Atomstrom (bspw. das Netz in Frankreich).

Technologisch kann die Wasserstoffelektrolyse durch verschiedene Verfahren erfolgen. Hervorzuheben sind dabei drei wesentliche Verfahren, die zum aktuellen Zeitpunkt allerdings an unterschiedlichen Entwicklungspunkten stehen.

Das im industriellen Maßstab anwendbare und wohl etablierteste Verfahren zur Wasserstoffelektrolyse ist die alkalische Elektrolyse („AEL“), bei der die Elektrolyse durch Eintauchen von Metallelektroden in eine alkalische wässrige Lösung erfolgt. Vorteile dieser Technologie bestehen durch geringe Investitionskosten (keine Verwendung von seltenen Edelmetallen) und Langzeitstabilität, allerdings besteht eine gewisse Anfälligkeit gegenüber Lastschwankungen. Das AEL-Verfahren bietet sich also für große Kapazitäten an Standorten mit konstanter Stromversorgung an.

Eine höhere Flexibilität in Bezug auf Lastschwankungen bietet hingegen das Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse-Verfahren („PEMEL“ oder auch „PEM“). Bei diesem Verfahren wird an Stelle einer Lauge eine

Säure verwendet. Um die Elektroden vor Korrosion zu schützen ist daher der Einsatz von Edelmetallen notwendig, was höhere Investitionskosten im Vergleich zum AEL-Verfahren zur Folge hat (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. und Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, 2019). Dieses Verfahren ist technologisch noch nicht so weit ausgereift wie das AEL-Verfahren und tendenziell mit höheren Kosten für Forschung und Entwicklung verbunden. Nach übereinstimmender Einschätzung der befragten Expert:innen kann davon ausgegangen werden, dass das PEMEL-Verfahren bzgl. Investitionskosten in etwa 10-15 Jahren „auf Augenhöhe“ mit dem AEL-Verfahren liegt. Das steht im Einklang mit anderen Analyseergebnissen (vgl. auch Abb. 1).



Ein drittes, aber aus technologischer Sicht noch unausgereiftes Verfahren zur Wasserstoffelektrolyse, ist die Hochtemperaturelektrolyse („SOEL“). Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass durch die Verwendung von hohen Temperaturen ein Teil der benötigten Energie zur Spaltung des Wassers (bzw. in diesem Fall Wasserdampf) aus Wärme bereitgestellt werden kann, was einen geringeren Stromverbrauch zur Folge hat.

Dieses Verfahren bietet sich somit u. a. für Industriestandorte an, an denen die entstehende Wärme aus anderen Produktionsprozessen für die Elektrolyse genutzt werden könnte (z. B. in der Stahlindustrie). Durch die notwendigen Temperaturen wird für das Hochfahren dieser Elektrolyseanlagen allerdings im Vergleich zu den anderen Technologien auch mehr Zeit benötigt. Da beim SOEL-Verfahren noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsaufwand besteht, ist mit einer Implementierung dieser Technologie im industriellen Maßstab, nach Einschätzung der Expert:innen und den Ergebnissen der in folgender Abbildung wiedergegebenen Metastudie, vermutlich erst in 20 bis 30 Jahren zu rechnen.

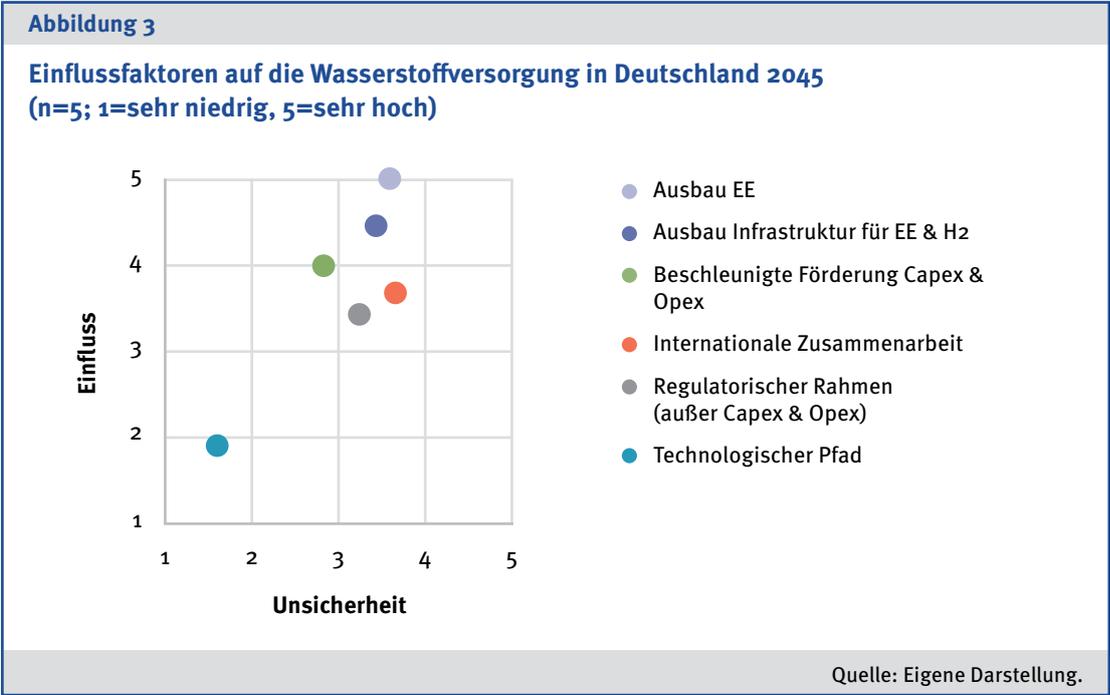
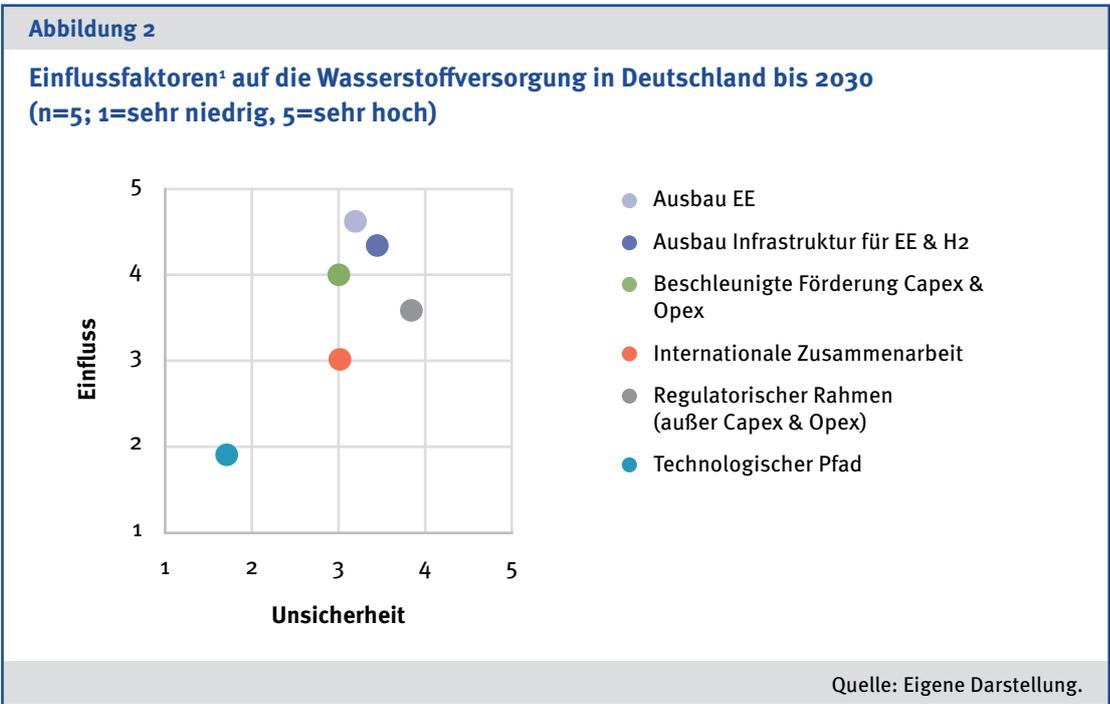
Im Hinblick auf den technologischen Pfad für die Wasserstoffelektrolyse besteht also eine hohe Sichtbarkeit. Perspektivisch ist damit zu rechnen, dass ein Technologie-Mix je nach Anwendungsgebiet des benötigten Wasserstoffs entstehen wird. So eignet sich die etablierte AEL-Elektrolyse bspw. gut für große Mengen an Standorten mit konstanter Versorgung mit Strom aus erneuerbaren Energien, die PEMEL-Elektrolyse ist hingegen flexibler ein-

setzbar und die SOEL-Elektrolyse könnte perspektivisch insbesondere an Industriestandorten Verwendung finden.

2.2 Einflussfaktoren auf die Wasserstoffversorgung

Im Rahmen der Interviews wurden die wesentlichen Einflussfaktoren für die Wasserstoffversorgung in Deutschland, differenziert nach den Aufsatzjahren 2030 und 2045 abgefragt. Die von den Expert:innen identifizierten Einflussfaktoren wurden entlang der Kriterien „Einfluss“ und „Unsicherheit“ jeweils auf einer Skala von 1 („sehr niedrig“) bis 5 („sehr hoch“) gewürdigt.

Wie im vorherigen Abschnitt bereits angedeutet, zeichnet sich der technologische Pfad entlang der drei wesentlichen Elektrolysetechnologien bereits durch eine hohe Sichtbarkeit aus, gleichwohl besteht insbesondere für die PEMEL- und die SOEL-Technologie weiterhin Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Sowohl im Zeitraum bis 2030 als auch im darauffolgenden Zeitraum bis 2045 (Abb. 2 und Abb. 3) gibt es Kriterien mit einem hohen Einfluss und zum Teil auch hoher Unsicherheit. Sie beziehen sich insbesondere auf den Ausbau der Infrastruktur (bspw. Pipelines und Stromnetze) und den Ausbau der erneuerbaren Energien sowie entsprechende Rahmenbedingungen und Förderungen für Investitionen und (temporär) Betriebskosten. Durch den steigenden Wasserstoffbedarf gewinnt internationale Zusammenarbeit im Zeitverlauf tendenziell an Bedeutung.



¹ Hinweis: Hier und im Folgenden wurde der „technologische Pfad“ den Expert:innen als Einflussfaktor vorgegeben.

Die von den Expert:innen benannten Einflussfaktoren und deren Einordnung stehen im Einklang mit Einschätzungen im wissenschaftlichen Diskurs. Als wesentliche Hemmnisse für eine (emissionsarme) Wasserstoffversorgung werden dabei insbesondere folgende Kriterien in den Mittelpunkt gestellt (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, 2022):

- Verzögerter Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland und Flächenverfügbarkeit
- Fehlende (Import-)Infrastruktur für Wasserstoff
- Mangelnde Wettbewerbsfähigkeit für grünen Wasserstoff
- Unzureichende Marktentwicklung und Mengenverfügbarkeit für (grünen) Wasserstoff

Trotz der hohen Sichtbarkeit des technologischen Pfades für die (grüne) Wasserstoffproduktion bestehen weiterhin aus Sicht der Expert:innen große industriepolitische Herausforderungen und damit einhergehende Unsicherheiten. Einen hohen Einfluss auf eine erfolgreiche Implementierung einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland werden unter anderem die Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien zu wettbewerbsfähigen Preisen und wirtschaftliche Anreize für den Ausbau der Elektrolysekapazitäten sowie die notwendige Infrastruktur zur Durchleitung von Wasserstoff und Strom einnehmen.

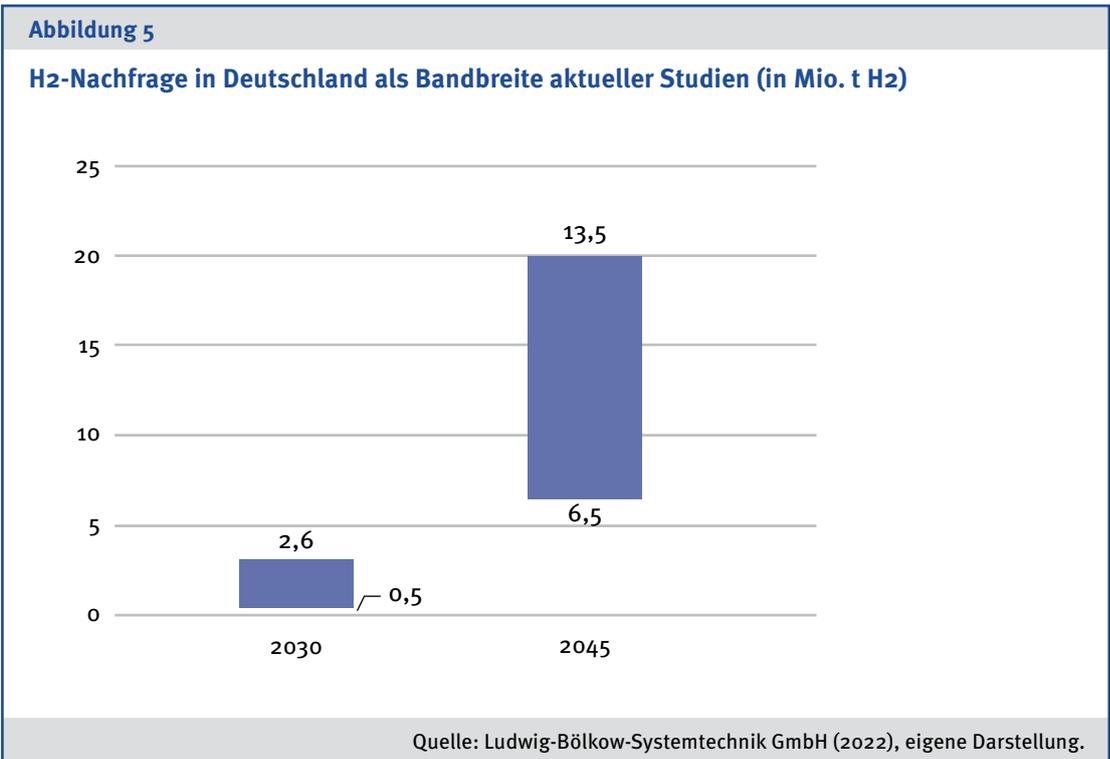
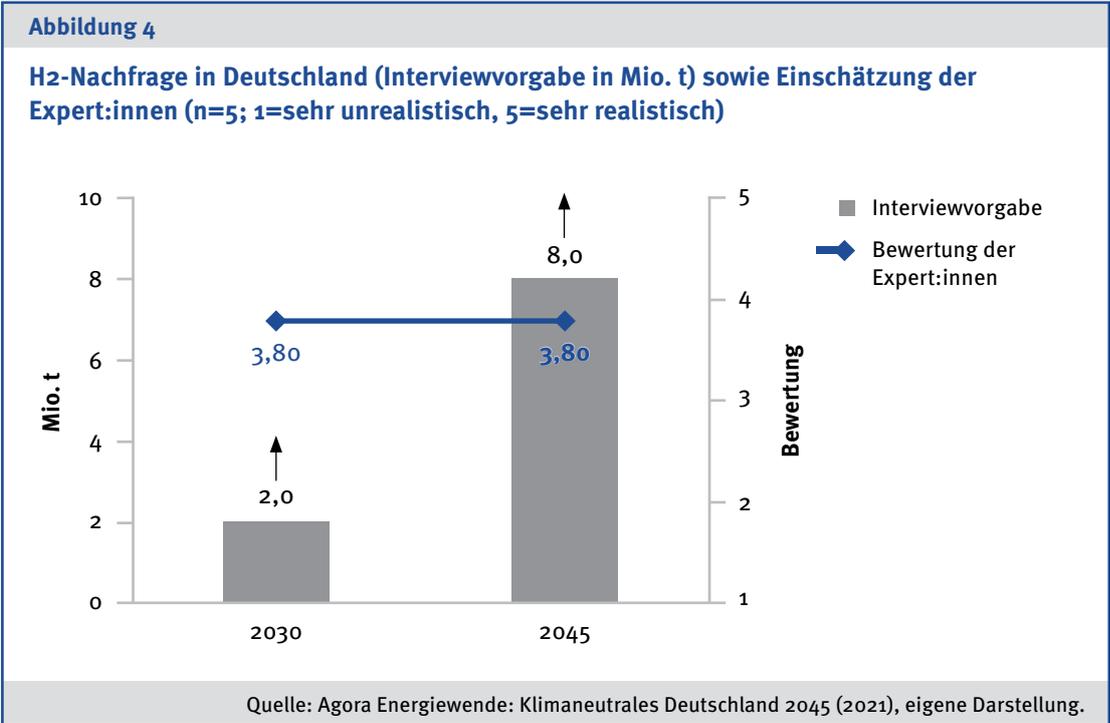
2.3 Einschätzungen zu wesentlichen Entwicklungsstufen der Wasserstoffversorgung

In einem zweiten Prognose-Teil der Interviews wurden Detailfragen zur H₂-Versorgung aufgeführt. Zum Teil wurden als Diskussionsgrundlage konkrete Daten und Prognosen aus aktuellen Studien als Eckpunkte vorgegeben, ergänzt um qualitative Fragen.

Für die Wasserstoffnachfrage in Deutschland wurden im Rahmen der Interviews für 2030 2,0 Mio. t und für 2045 8,0 Mio. t als Referenzpunkte vorgegeben, zu denen die Expert:innen ihre persönliche Einschätzung auf einer Skala von 1-5 (1=sehr unrealistisch, 5=sehr realistisch) abgeben sollten. Die Einschätzung lag dabei im Durchschnitt für beide Aufsatzjahre bei 3,80, also eher „realistisch“, obwohl von den Expert:innen eine eher höhere Nachfrage erwartet wird (vgl. Abb. 4).

Die Ergebnisse der Metastudie untermauern diese Einschätzung. Für 2030 wurde in den untersuchten Studien eine Bandbreite in Höhe von 0,5 bis 2,6 Mio. t ermittelt (vgl. Abb. 5).

Die Einschätzung der Expert:innen liegt zwar am oberen Ende dieser Bandbreite, allerdings wurden einige der Befragungen vor dem Krieg in der Ukraine und der damit verbundenen Unsicherheit in Bezug auf die Gasversorgung erstellt. So kommt Erdgas als Übergangslösung in vielen Sektoren eine tragende Rolle zu, für Klimaneutralität muss langfristig aber auch Erdgas durch Wasserstoff ersetzt werden. Zunehmende Unsicherheiten im Hinblick auf Erdgas wirken sich also auf das betrachtete Aufsatzjahr 2030 aus.



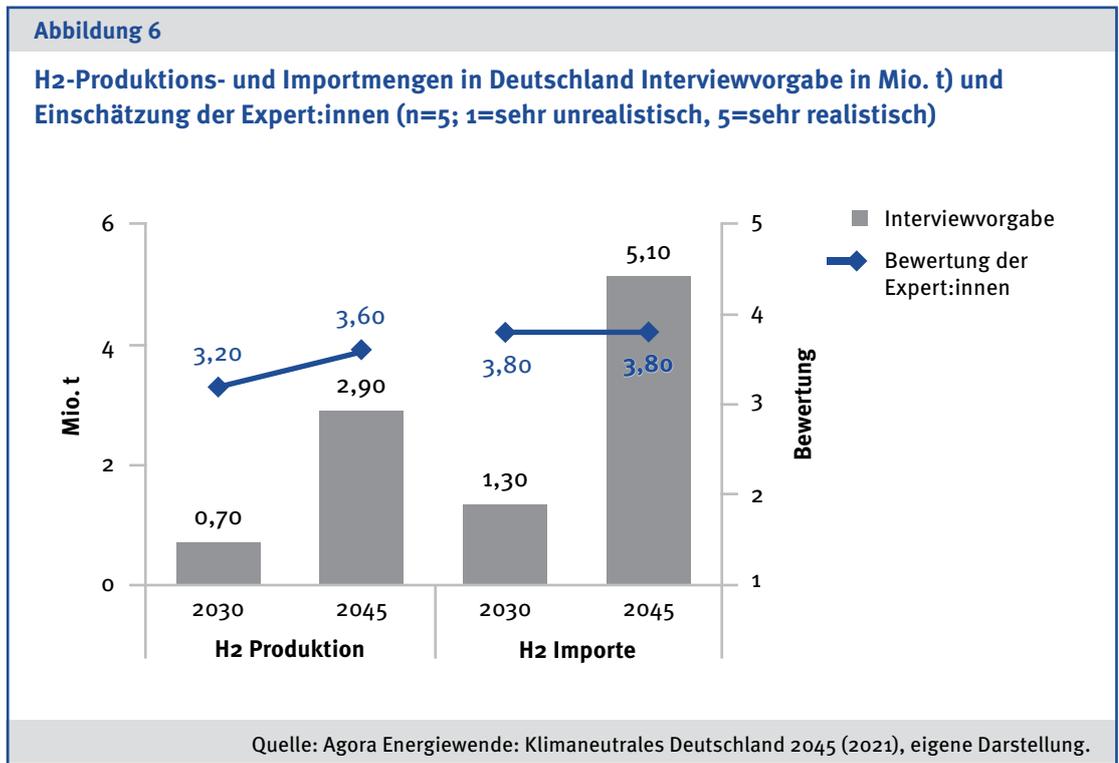
Eine tendenziell höhere Wasserstoffnachfrage in den kommenden Jahren erscheint also realistisch. Für 2045 liegt die Interviewvorgabe mit 8,0 Mio. t hingegen am unteren Ende der Bandbreite.

Die Wasserstoffnachfrage in Deutschland wird auch perspektivisch zu einem großen Teil über Importe gedeckt werden müssen. Der Anteil der Produktion in Deutschland und der Importe (Abb. 6) wurde von den Expert:innen insgesamt als realistisch eingeschätzt, im Detail wurden hingegen unterschiedliche Meinungen vertreten. Als kritisch eingeschätzt wurde insbesondere eine möglicherweise nicht ausreichende Wasserstoffinfrastruktur (Elektrolysekapazitäten sowie Pipelineinfrastruktur) bis 2030. Folge wäre eine Unterversorgung mit

Wasserstoff. Wie zuvor im Rahmen der wesentlichen Einflussfaktoren erörtert, ist also eine weiterhin hohe Prognoseunsicherheit zu konstatieren.

Auch Vorgaben in Bezug auf Elektrolysekapazitäten in Deutschland wurden als „realistisch aber eher konservativ“ eingeschätzt.

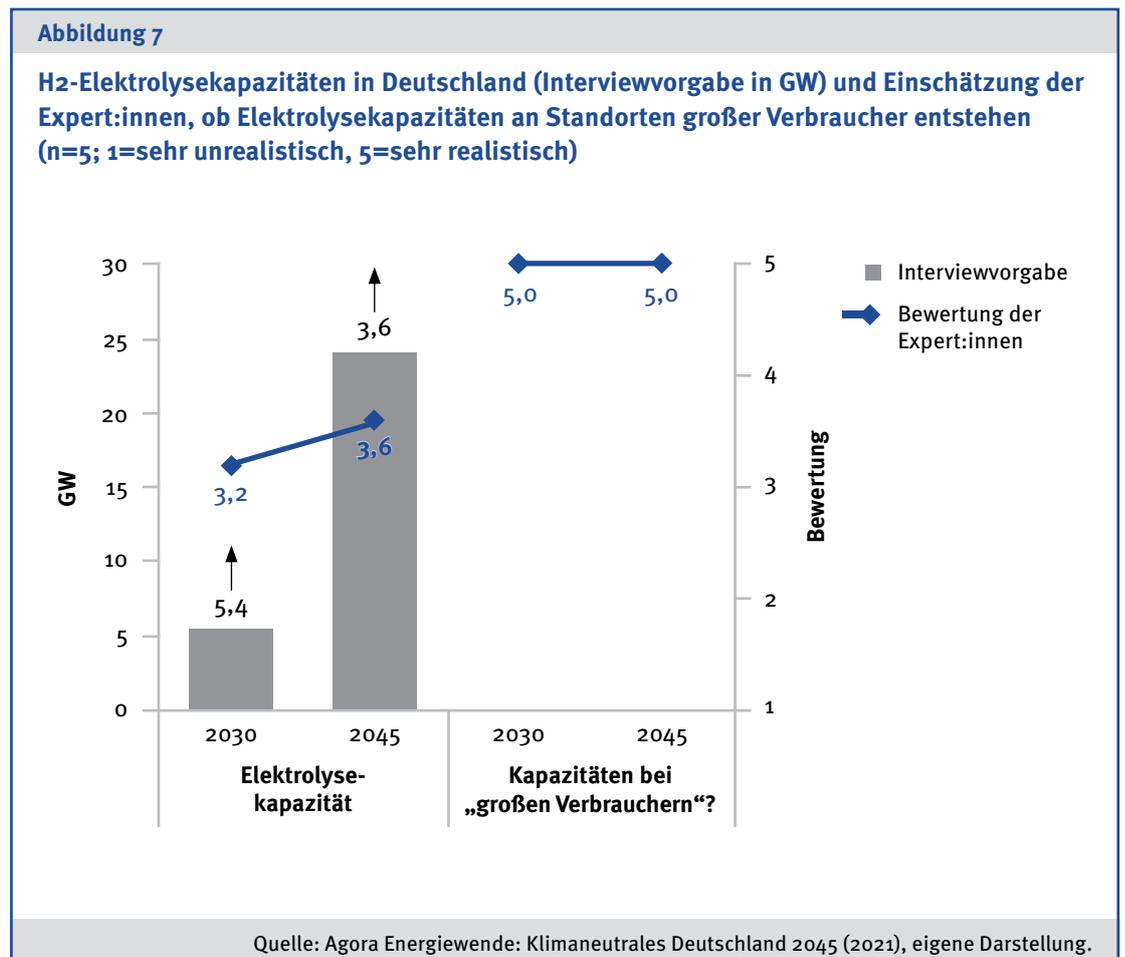
Unterstrichen wird das dadurch, dass die Bundesregierung ihr ursprüngliches Ziel (und in den Interviews als Referenzpunkt genutztes Ziel) von 5,4 GW bis 2030 gemäß nationaler Wasserstoffstrategie mittlerweile im Rahmen des Koalitionsvertrags auf 10 GW erhöht hat (Sozialdemokratische Partei Deutschlands (SPD), Bündnis 90/Die Grünen, Freie Demokratische Partei (FDP), 2021). Die Erhöhung der Kapazitätsziele für die Wasserstoffelektrolyse



auf 10 GW von der Bundesregierung wurde also auch vor dem Hintergrund des Krieges in der Ukraine und entsprechend steigenden Unsicherheiten in Bezug auf die Übergangslösung Erdgas als richtig erachtet.

Ferner schätzen alle befragten Expert:innen es als sehr realistisch ein, dass Elektrolysekapazitäten an Standorten großer Verbraucher entstehen werden. Somit käme es vermutlich zunächst zu Insellösungen. So werden bspw. in der Stahlindustrie erste (Pilot-)Projekte, wie die Hochtemperaturelektrolyseanlage der

Salzgitter AG im Rahmen des Projektes GrInHy 2.0 vorangetrieben (Salzgitter AG, 2022). In einem weiteren, zeitlich durchaus parallelen Schritt, würden nach Einschätzung der Expert:innen Elektrolysekapazitäten durch eine bessere Anbindung an offshore Windanlagen vermehrt in Küstennähe entstehen. Folge könnte eine partielle innerdeutsche Verschiebung von Industriestandorten sein. Dennoch muss natürlich eine infrastrukturelle Anbindung an die Wasserstoffverbraucher erfolgen.



Eine Übersicht der zuvor erörterten Determinanten in Bezug auf die Wasserstoffversorgung in Deutschland kann Abbildung 8 entnommen werden. Nach Einschätzung der Expert:innen besteht insbesondere eine höhere Nachfrage im Vergleich zu der Vorgabe aus den Interviews. Verstärkender Faktor ist die momentan vorherrschende Gasknappheit, ausgelöst durch den Krieg in der Ukraine. Klar ist, dass diese Nachfrage zu einem großen Teil über Importe gedeckt werden muss.

Im Rahmen der Interviews wurden den Expert:innen vor diesem Hintergrund weitere qualitative Fragen gestellt, insbesondere im Hinblick auf mögliche Herkunftsregionen der notwendigen Wasserstoffimporte (Abb. 9). So bieten sich für Importe vor allem Regionen mit konstanter und kostengünstiger (wettbewerbsfähiger) Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien an, optimalerweise in geographischer Nähe zum Verwendungsstandort in Deutschland. Regional sind nach Einschätzung der Expert:innen insbesondere südeuropäische und

Abbildung 8

Zusammenfassende Einschätzung der Expert:innen anhand der ausgewählten Determinanten

Determinante	2030			2045		
	Vorgabe	Einschätzung	Tendenz	Vorgabe	Einschätzung	Tendenz
H2 Nachfrage in Deutschland	2,0 Mio. t	3,80	↗	8,0 Mio. t	3,80	↗
H2 Produktion in Deutschland	0,7 Mio. t	3,20	→	2,9 Mio. t	3,60	→
H2 Importe nach Deutschland	1,3 Mio. t	3,80		5,1 Mio. t	3,80	
Elektrolysekapazität in Deutschland	5,4 GW	3,20	→	24,0 GW	5,00	→
Entstehen Kapazitäten an Standorten „großer Verbraucher“?	–	5,00		–	5,00	–

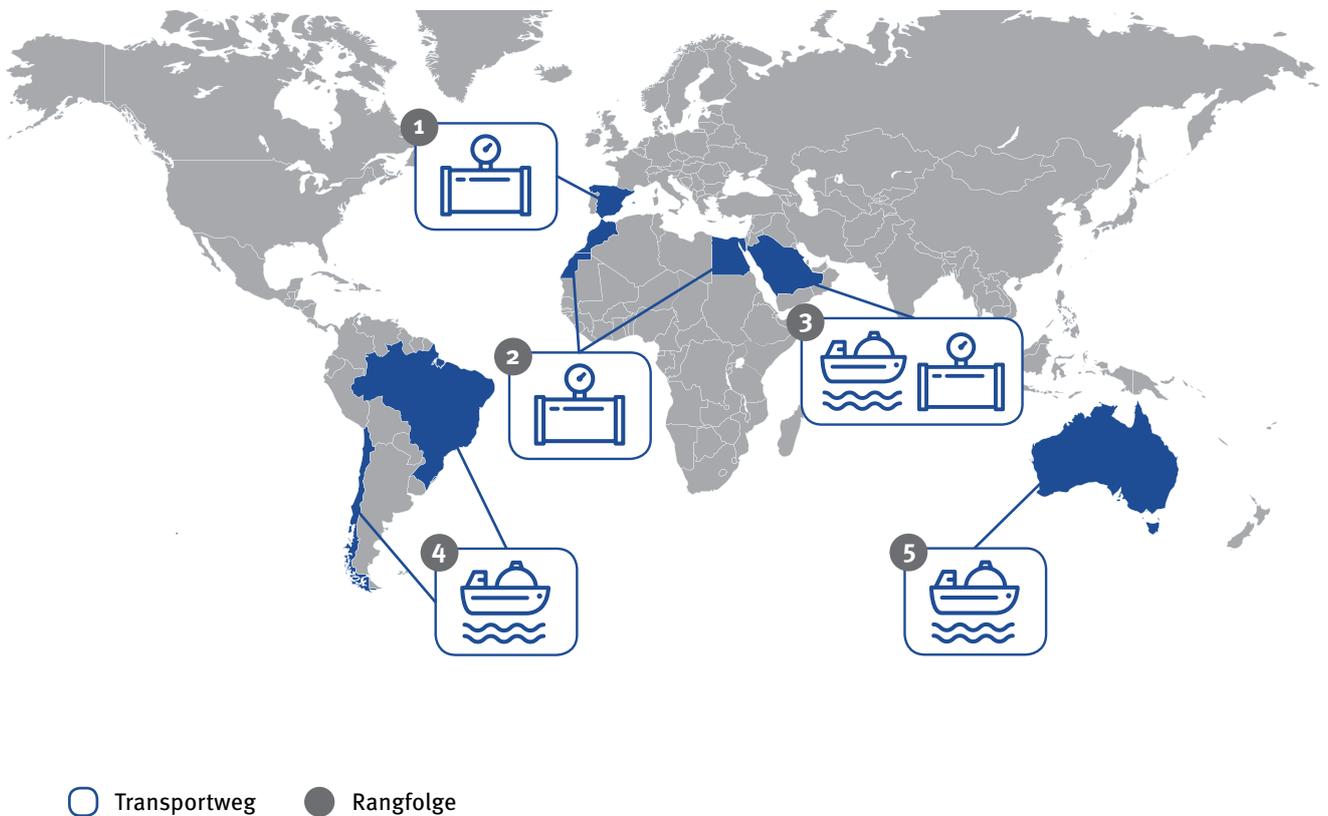
Quelle: Eigene Darstellung.

nordafrikanische Standorte besonders günstig gelegen. Deutschland ist also auch langfristig auf den Import von großen Anteilen des benötigten Wasserstoffs angewiesen. Daher müssen internationale Wasserstoffpartnerschaften mit Ländern eingegangen werden, in denen Strom aus erneuerbaren Energien in großen Mengen und kostengünstig verfügbar ist.

Wegen des kostengünstigen Transports mittels Pipeline sind südeuropäische und nordafrikanische Länder die favorisierten Standorte. Mittelfristig könnte benötigter Wasserstoff auch aus weiter entfernten Regionen wie bspw. südamerikanischen Ländern oder auch Australien per Schiff bezogen werden.

Abbildung 9

Länder/Regionen und Transportweg für H₂ Importe (schematisch)

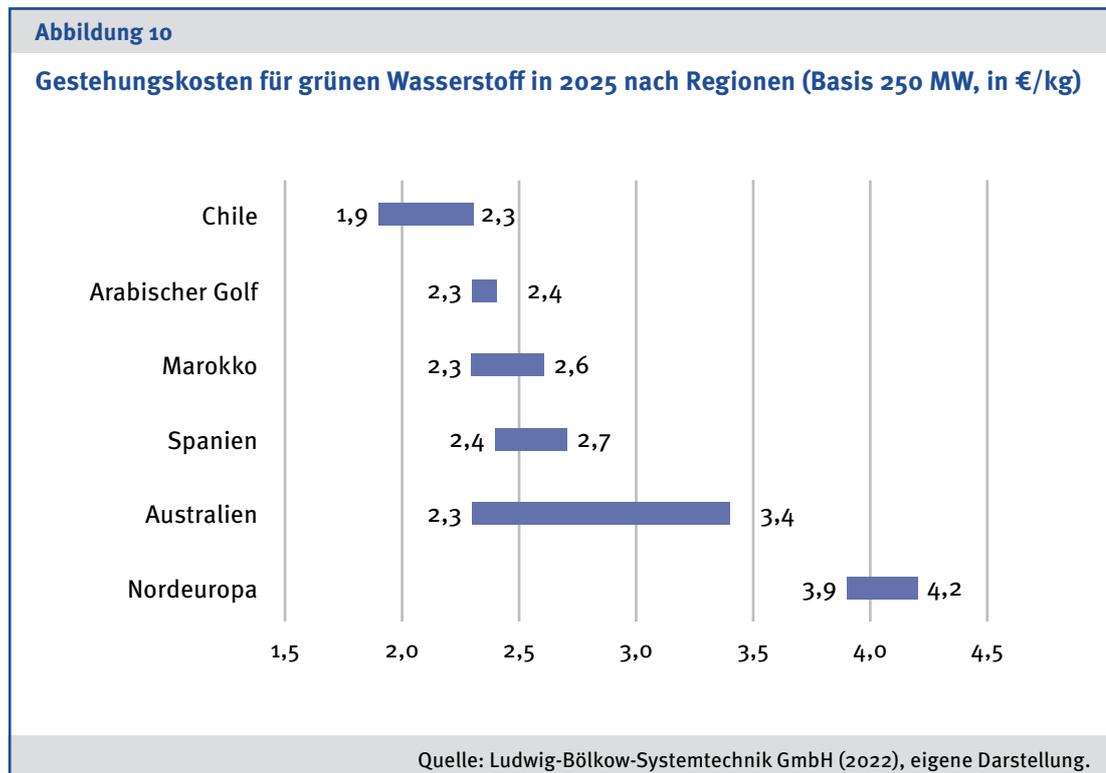


Quelle: Eigene Darstellung.

Prognosen zu Gestehungskosten, also den Herstellkosten², für grünen Wasserstoff entlang ausgewählter Herkunftsregionen, die sich nach Einschätzung der Expert:innen für Wasserstoffimporte anbieten, können Abbildung 10 entnommen werden. Basis für diese Prognosen ist jeweils das Jahr 2025 sowie eine Elektrolysekapazität von 250 GW. Die dargestellte Prognose soll nachfolgend als Ausgangsbasis für eine indikative überschlägige Einordnung der Wettbewerbsfähigkeit des in Deutschland produzierten Wasserstoffs dienen.

Neben den Gestehungskosten sind Transportkosten für Wasserstoffimporte nach Deutschland ein wesentliches Kriterium. Wasserstoff kann sowohl per Pipeline als auch per Schiff (bspw. in flüssiger Form oder in Form von Ammoniak) transportiert werden. Da Pipelines für den Transport von Erdgas bereits bestehen, können diese, sofern es sich anbietet, sukzessive für den Wasserstofftransport umgebaut und erweitert werden.

Andere Abschnitte der notwendigen Pipelineinfrastruktur müssen hingegen neu gebaut werden. Dazu gehört die Anbindung von

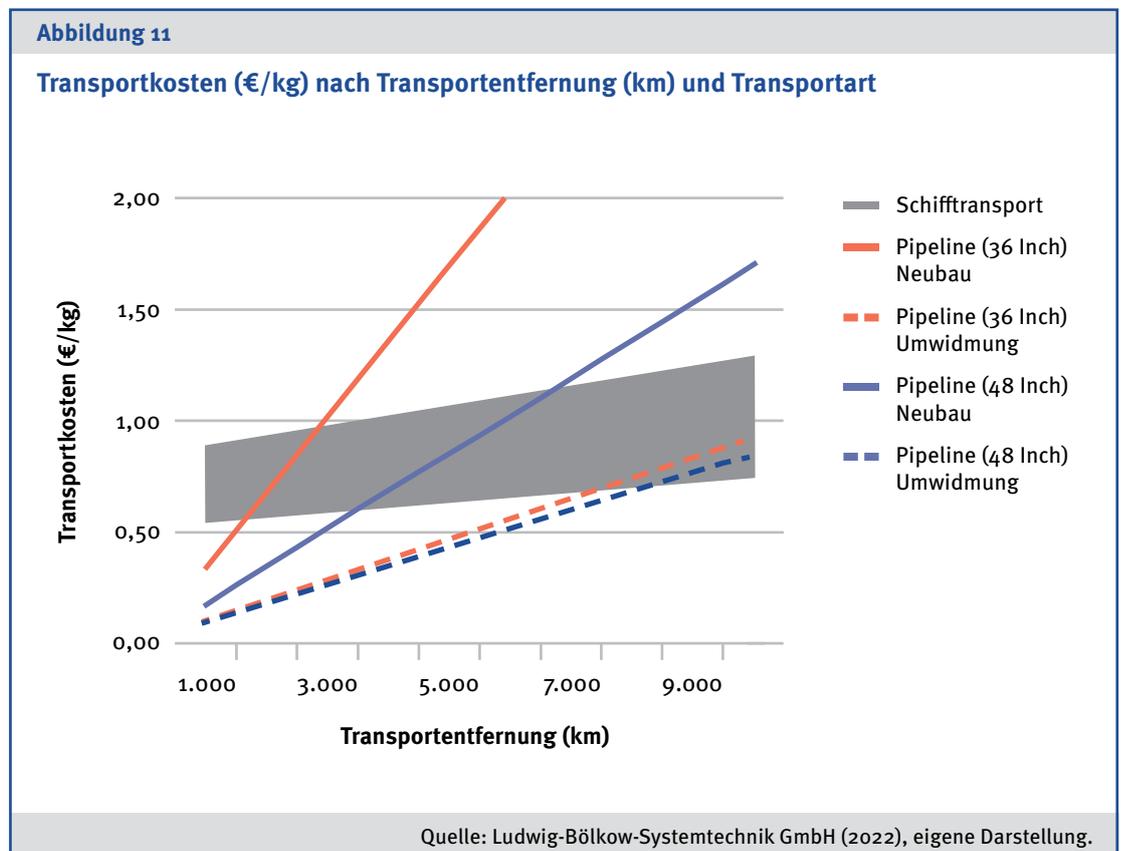


² Bei grünem Wasserstoff Kosten für den Strombezug, Kosten für die eingesetzten Rohstoffe (Wasser) sowie Kosten für den Elektrolyseur, die sich wiederum in Kapital- und Betriebskosten aufgliedern. Einfluss auf die Kapitalkosten nehmen Lebensdauer des Elektrolyseurs, anfallende Zinsen sowie Anzahl an Volllaststunden. Die Betriebskosten werden durch den Wirkungsgrad des Elektrolyseurs beeinflusst.

H₂-ready-LNG-Terminals an das Netz, aber auch der weitere Ausbau des zukünftigen europäischen Wasserstoff-Pipelinennetz (European Hydrogen Backbone). Für einen zügigen Ausbau der Pipelineinfrastruktur wird es auch auf einen verlässlichen Regulierungsrahmen ankommen.

Eine Abschätzung der Transportkosten nach Transportentfernung und Transportart auf Basis der eingangs erwähnten Metastudie wird in Abbildung 11 dargestellt. Nach dieser groben Abschätzung ist ein Schiffftransport im Vergleich zum Neubau einer Pipeline erst ab ca. 4.000 km kostengünstiger, bei Umwidmung einer bestehenden Pipeline sind es hingegen ca.

7.000 km. Der Ausbau einer geeigneten Pipeline-Infrastruktur in Deutschland und Europa ist demnach ein wesentliches Kriterium für wettbewerbsfähige Wasserstoffpreise. Da zunächst in vielen Bereichen Erdgas als wesentliches Übergangsmedium genutzt werden wird, ist die Befähigung von Erdgaspipelines, die perspektivisch auch Wasserstoff transportieren können, sicherzustellen. Im Rahmen der Interviews wurde als ein wesentliches Hemmnis des Ausbaus auf die komplexen Genehmigungsverfahren verwiesen, die den Ausbau z. T. deutlich verzögern können. Es muss also ebenso geprüft werden, wie Genehmigungsverfahren verschlankt und beschleunigt werden können.

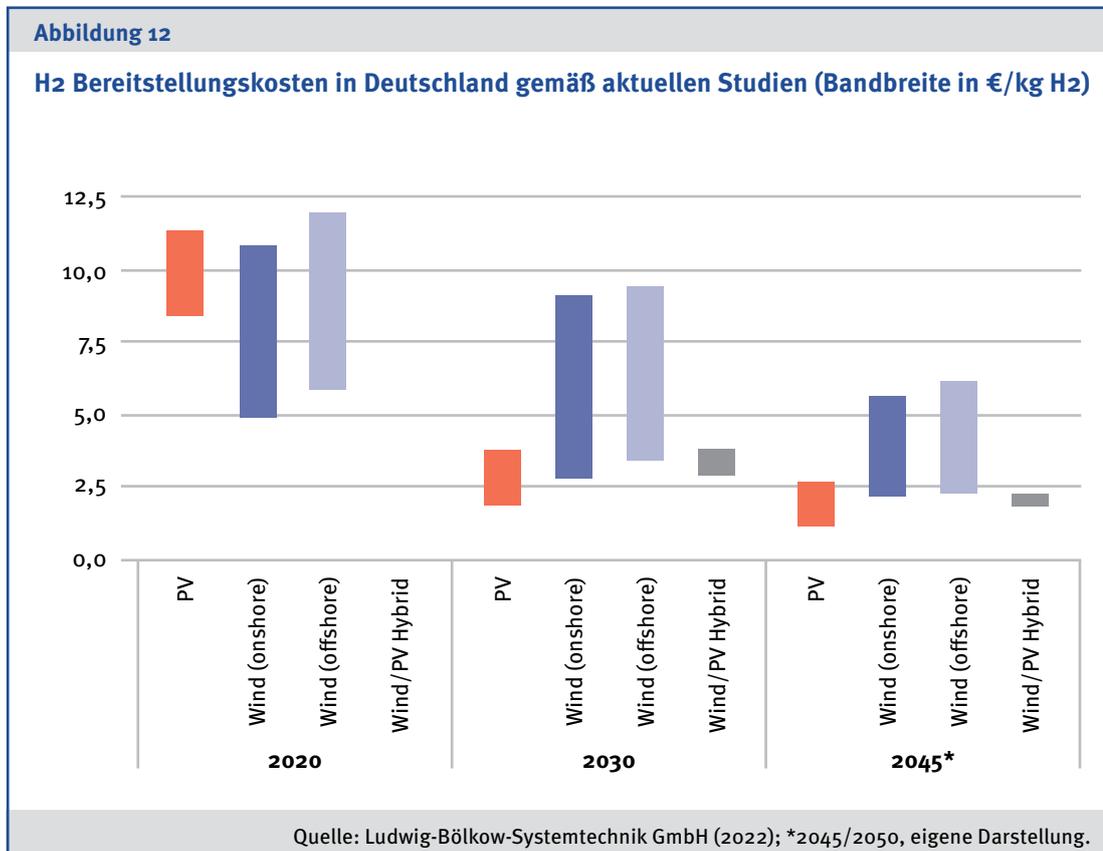


Im wissenschaftlichen Diskurs liegen bereits zahlreiche Prognosen zu Wasserstoff-Bereitstellungskosten (Gestehungs- und Transportkosten) in Deutschland vor. Wie aus Abbildung 12 ersichtlich ist, ergeben sich hohe Bandbreiten und somit hohe Prognoseunsicherheiten.

Die Technologie der Stromgewinnung kann dabei vor dem Hintergrund der Bereitstellungskosten differenziert werden, auch wenn in dieser Betrachtung (vereinfacht) ausschließlich die Produktion von grünem Wasserstoff auf Basis von Strom aus erneuerbaren Energien gewürdigt wird. So ergeben sich tendenziell höhere Bereitstellungskosten bei Verwendung von Windenergie im Vergleich zu Photovoltaik (PV).

Auf Basis der erörterten Gestehungs- und Transportkosten entlang ausgewählter Regionen und der im wissenschaftlichen Diskurs vielfältig prognostizierten Bereitstellungskosten von in Deutschland produziertem Wasserstoff, lässt sich die Wettbewerbsfähigkeit von letzterem zumindest näherungsweise grob skizzieren (Abb. 13). Wesentlichen Einfluss auf die Bereitstellungskosten hat dabei die Transportart. Beim Schifftransport ist anzunehmen, dass der Wasserstoff in flüssiger Form (LH₂) oder in Form von Ammoniak (NH₃) transportiert wird.

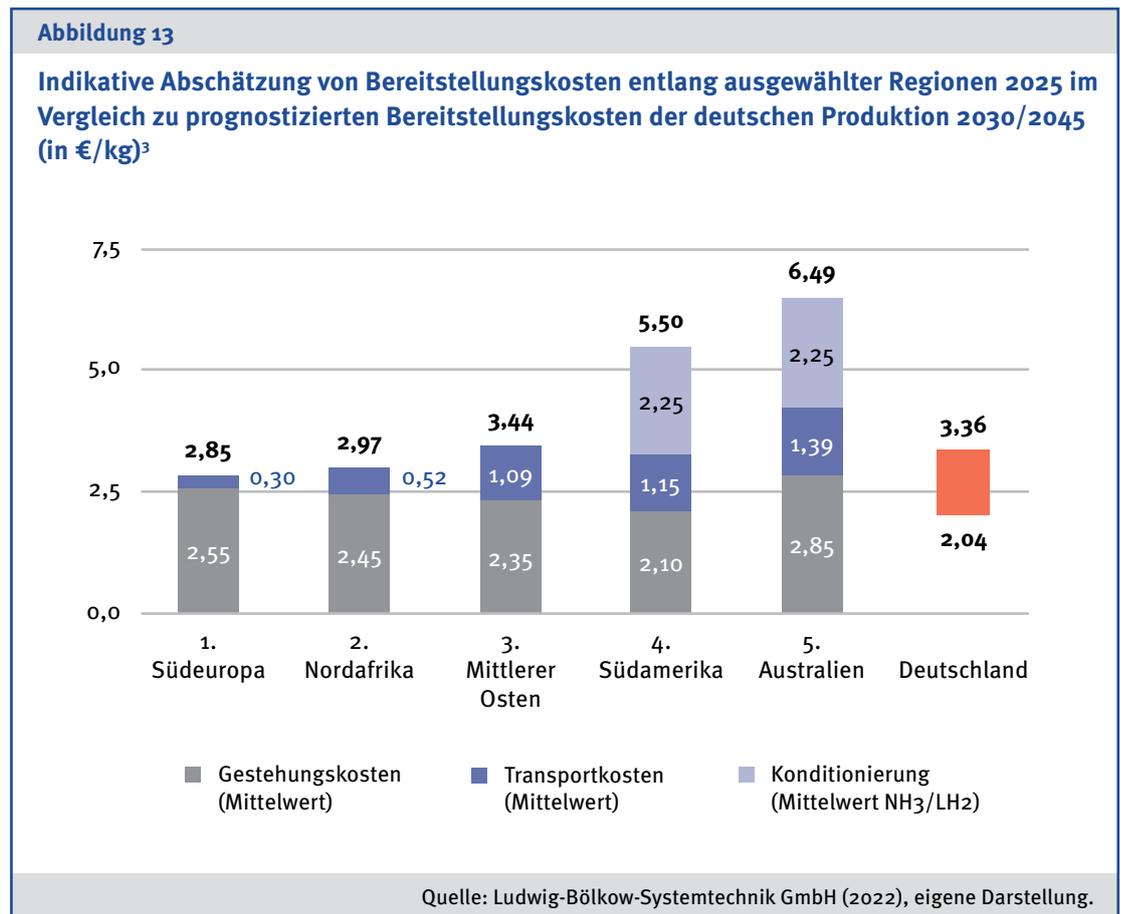
Ursächlich dafür sind insbesondere das geringere Volumen im Vergleich zum gasförmigen Wasserstoff und ebenso technische Hinter-



gründe wie bspw. die Möglichkeit, klassische Container/Transportbehältnisse verwenden zu können. Der Nachteil liegt hingegen bei der energieintensiven Konditionierung im Anschluss an den Transport. Temporär können Wasserstoffimporte per Schiff also als Option zur Bewältigung der Nachfrage dienen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die hohe Nachfrage nach Wasserstoff in

Deutschland zu einem großen Teil über Importe gedeckt werden muss. Nähergelegene Produktionsstandorte können mit Pipelines angebunden werden, aus weiter entfernten Regionen, wie bspw. Südamerika oder Australien, müsste Wasserstoff per Schiff importiert werden, was mit vergleichsweise hohen Transport- und Konditionierungskosten verbunden ist.



³ Wesentliche Annahmen: Pipeline-Transportkosten Durchschnittswert Neubau/Umwidmung sowie 36/49 Inch, Transportweg entspricht (näherungsweise) der Luftlinie. Schiff-Transportkosten entsprechend Durchschnittswert der zuvor dargestellten Bandbreite entlang der Entfernung, Transportweg (näherungsweise) bei Transport nach Rotterdam über den Seeweg gemäß classic.searoutes.com. Konditionierungskosten gemäß LBST nach Gas for Climate & Guidehouse, Deutschland Mittelwert Bandbreite Wind/PV Hybrid 2030 und 2045 auf Basis DWV Emissionsfreie Stahlerzeugung.

Zumindest aufgrund der Versorgungssicherheit bietet es sich an, möglichst nah oder sogar direkt an den Standorten eigene Elektrolysekapazitäten in möglichst hohem Umfang zu errichten, obgleich die Anbindung von H₂-ready-LNG-Terminals an das Netz, aber auch der weitere Ausbau des European Hydrogen Backbone weiterhin von zentraler Bedeutung sind.

Erste Elektrolysekapazitäten werden vermutlich in Form von Insellösungen und vermutlich mit räumlichem Bezug zu großen Verbrauchern entstehen. Perspektivisch könnten große Elektrolysestandorte in Deutschland vermehrt

an Küstenstandorten in Norddeutschland entstehen. Hier böten sich möglicherweise auch Standorte im Mecklenburg-Vorpommern an.

Für intakte Wertschöpfungsketten in Deutschland wird man zeitnah große Mengen an Wasserstoff benötigen. Ziel muss es also sein, eine möglichst hohe Unabhängigkeit von Drittstaaten durch den Aufbau eigener Kapazitäten zu generieren. Klar ist aber, dass eine Wasserstoffwirtschaft in Deutschland nur wettbewerbsfähig sein kann, wenn große Mengen von Strom aus erneuerbaren Energien zu wettbewerbsfähigen Preisen verfügbar sind.

3 Technische und wirtschaftliche Herausforderungen der grünen Transformation der Sekundärstahlroute

3.1 Relevanz der Sekundärstahlroute für die neuen Bundesländer und technische Herausforderungen der grünen Transformation

Einführend wird hier zunächst auf die Ausführungen aus der Studie „H₂-Transformation der Stahlindustrie und des Energieanlagenbaus“ zurückgegriffen.

Die Sekundärstahlroute (Elektrolichtbogenofen-Route) ist neben der Primärstahlproduktion (Hochofen-Konverter-Route) das zweite wesentliche technologische Verfahren, das aktuell für die Rohstahlproduktion angewendet wird. Etwa 30 % oder 12 Mio. t der jährlichen Rohstahlproduktion in Deutschland werden über die Sekundärroute erzeugt (Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2022). Da das Verfahren auf Stahlschrott basiert, ist die Qualität (oder „Güte“) des eingesetzten Schrotts maßgeblich für die erzeugte Güte des Rohstahls. Qualitativ hochwertiger Stahlschrott ist allerdings nur begrenzt verfügbar und nach Einschätzung der Expert:innen auch zukünftig der wesentliche Engpass für Steigerungen der Produktionsmenge in Deutschland.

Bei der Sekundärstahlproduktion wird vorsortierter Stahlschrott im Elektrolichtbogenofen (EAF) eingeschmolzen und zu neuem Rohstahl verarbeitet. Der Schmelzprozess erfolgt bei Temperaturen von bis zu 3.500 Grad Celsius. Diese Temperaturen entstehen größtenteils durch Zufuhr elektrischer Energie über Graphitelektroden, die den Lichtbogen erzeugen. Darüber hinaus wird ein weiterer Teil der benötigten Energie (rd. 6 %) über erdgasbasierte

Brenner zugeführt. Dies beschleunigt den Schmelzprozess und sorgt für stabile Temperaturen im Elektrolichtbogenofen. Unerwünschte chemische Bestandteile werden durch Zufuhr von Sauerstoff gebunden, wodurch eine Schlacke entsteht.

Nachdem eine Schmelztemperatur von ca. 1.700 Grad Celsius erreicht ist, wird der flüssige Stahl in eine vorgewärmte Pfanne gegossen. Dieser Vorgang wird als Abstich bezeichnet. Im Pfannenofen findet schließlich der metallurgische Prozess durch Zugabe von Legierungselementen wie Mangan, Silicium oder Chrom statt. Schließlich kann der Stahl (bspw. im Stranggussprozess) in Formen wie Brammen oder Knüppel gegossen werden (Industrie Energieforschung, 2021).

Die Wirtschaftsvereinigung Stahl veröffentlicht jährlich einen schematischen Überblick zu den Produktionsstandorten der Stahlindustrie in Deutschland (Abbildung 14). Daraus ist zu erkennen, dass die Sekundärstahlindustrie in den neuen Bundesländern im Vergleich zur Primärstahlroute stärker vertreten ist. So lagen in 2021 6 der 21 Standorte (29 %) der Sekundärstahlerzeugung in den neuen Bundesländern. Die Primärstahlindustrie ist hingegen unterrepräsentiert (17 %). Die Unternehmen der Sekundärstahlindustrie sind im Vergleich zu denen der Primärstahlroute tendenziell mittelständisch geprägt.

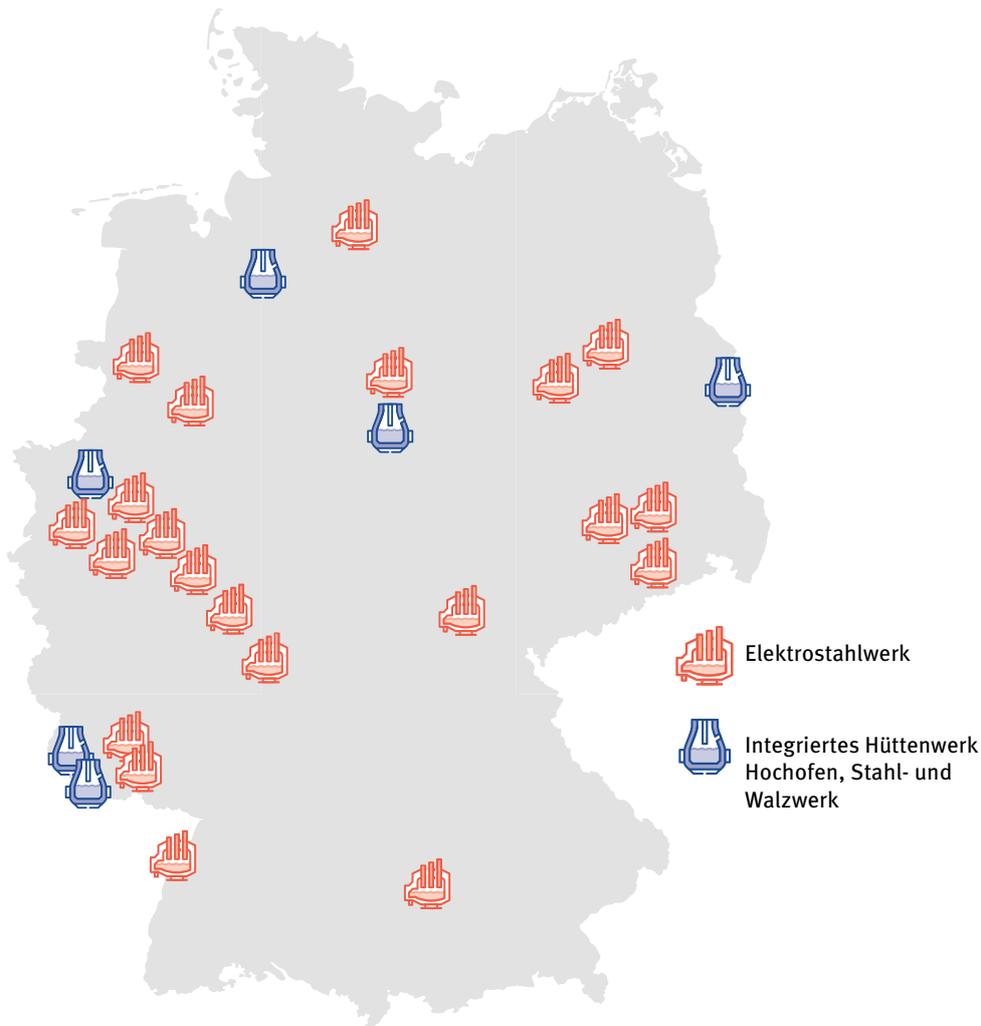
Ein Vorteil der Sekundärstahlerzeugung im Vergleich zu der Primärstahlerzeugung ist der niedrigere Ausstoß von Treibhausgasemissionen. Da die benötigte Energie im Elektrolichtbogenofen zum Großteil durch die

Stromzufuhr erzeugt wird, hängt der Emissionswert maßgeblich vom zugrundeliegenden Strommix ab. Aktuellen Studien zufolge liegen die indirekten Emissionen der Sekundärstahlproduktion durch die Verwendung von Strom

bei rd. 3,5 Mio. t CO₂ pro Jahr. Hinzu kommen weitere 0,2 Mio. t pro Jahr an direkten Emissionen durch Zuführung anderer Energieträger wie Erdgas und den prozessbedingten Kohlenstoffabbau an den Elektroden.

Abbildung 14

Standorte der Stahlerzeugung in Deutschland 2021



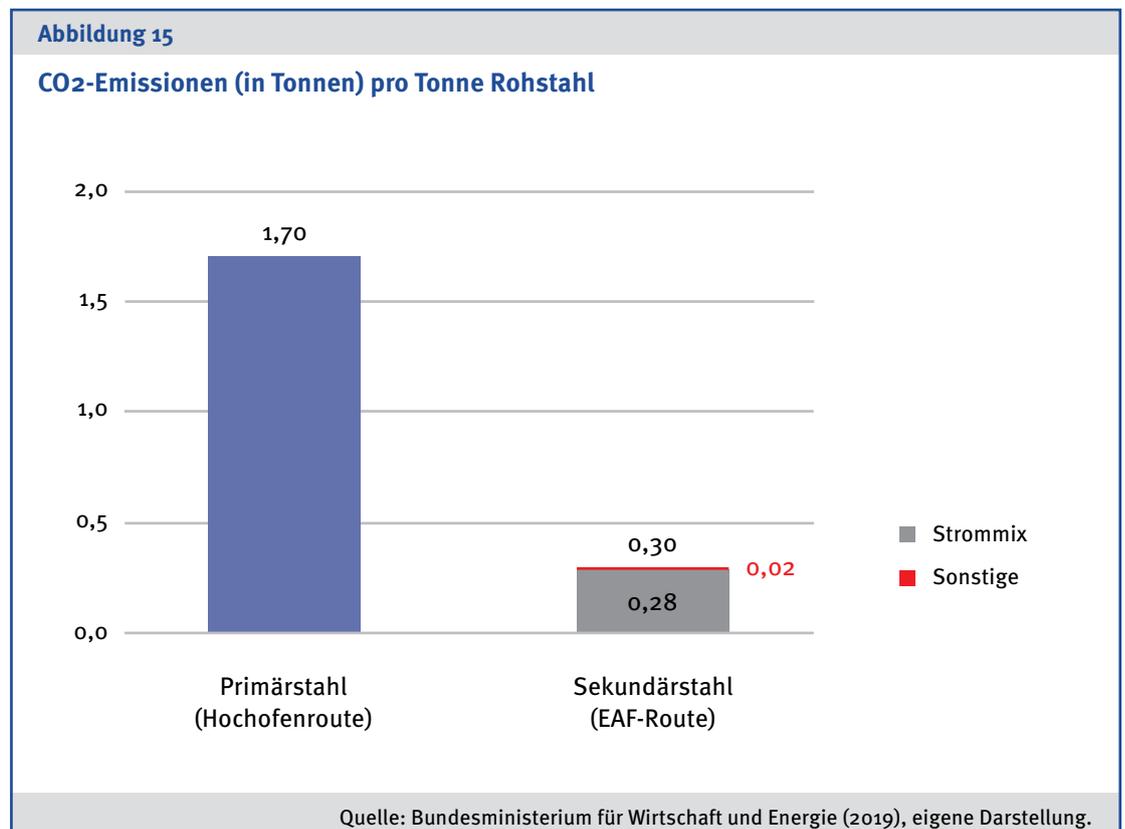
Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl (2022), eigene Darstellung.

Bei einer jährlichen Produktionsmenge von ca. 12 Mio. t Stahl über die Sekundärstahlroute ergeben sich demnach Emissionen in Höhe von rd. 0,3 Tonnen CO₂ pro Tonne Elektrostahl, von denen 95 % auf den Strommix zurückzuführen sind. Im Vergleich dazu ist die Primärstahlerzeugung über die Hochofen-Konverter-Route mit Emissionen von rd. 1,7 Tonnen CO₂ pro Tonne Rohstahl über 80 % emissionsintensiver (Abb. 15).

Der weitaus größte Hebel für die Emissionsreduktion in der Sekundärstahlerzeugung besteht also darin, den Anteil des grünen Stroms sukzessive zu erhöhen. Da Elektrostahlwerke aktuell keine oder aufgrund der erheblichen Strombedarfe, die vergleichbar mit dem Strombedarf einer Kleinstadt sind, nur geringe Anteile

des benötigten Stroms selbst erzeugen und eine konstante Stromversorgung gewährleistet werden muss, ist eine „passive“ Transformation über den deutschen Strommix notwendig. Eine eigene grüne Stromerzeugung in größerem Umfang dürfte nicht in Frage kommen.

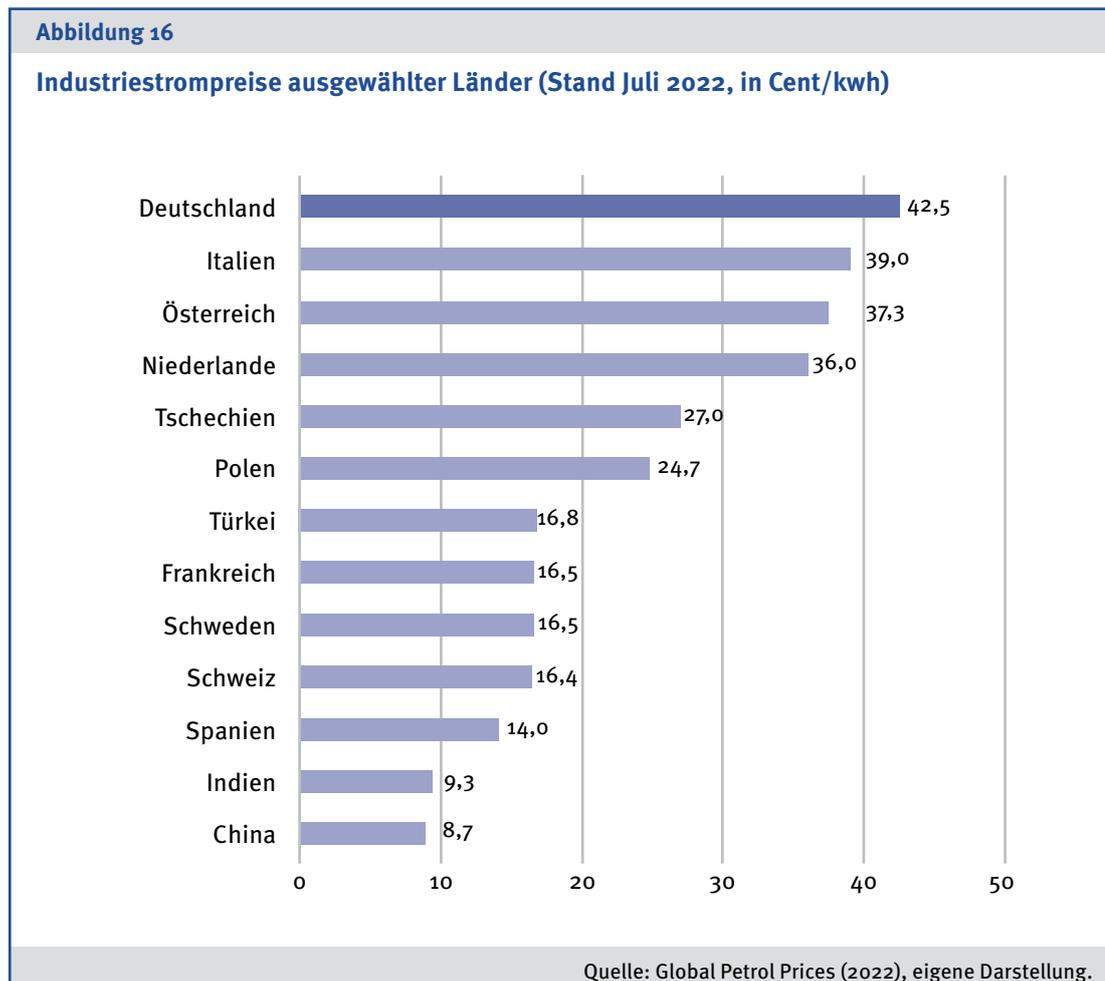
Vor dem Hintergrund der Energiewende in Deutschland sind wettbewerbsfähige Industriestrompreise eine große Herausforderung. Abbildung 16 stellt die Industriestrompreise in Deutschland (Stand Juli 2022) denen anderer ausgewählter Länder gegenüber. Es zeigt sich, dass Deutschland (weiterhin) im Vergleich die höchsten Industriestrompreise hat. Für die Sekundärstahlunternehmen ergeben sich damit erhebliche Wettbewerbsnachteile im Vergleich zu anderen Standorten wie bspw. Frankreich oder China.



Zu beachten ist, dass diese Darstellung zeitpunktbezogen ist (Juli 2022). So wurden in zahlreichen Ländern verschiedene Entlastungsmechanismen wie Preisdeckel und Steuerentlastungen eingeführt, die nur schwer vergleichbar sind. Zusätzlich unterscheiden sich auch die Zeitpunkte, an denen diese Mechanismen in den verschiedenen Ländern eingeführt wurden. Zum Beispiel wurde die Strompreisbremse in Spanien bereits im Mai 2022 eingeführt, während entsprechende Effekte für Länder wie Italien oder auch Deutschland in dieser Darstellung noch nicht erfasst sind.

Die jährlichen Stromkosten für den Betrieb der Elektrolichtbogenöfen in Deutschland und der mit den hohen Industriestrompreisen verbundene Wettbewerbsnachteil lassen sich auf dieser Basis, zumindest exemplarisch für Juli 2022, indikativ abschätzen.

So werden für die Produktion einer Tonne Stahl etwa 400 kWh an elektrischem Strom benötigt (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2019). Insgesamt ergeben sich für die Unternehmen der Sekundärstahlproduktion in Deutschland also geschätzte Strombedarfe für den Betrieb der Elektrolichtbogenöfen

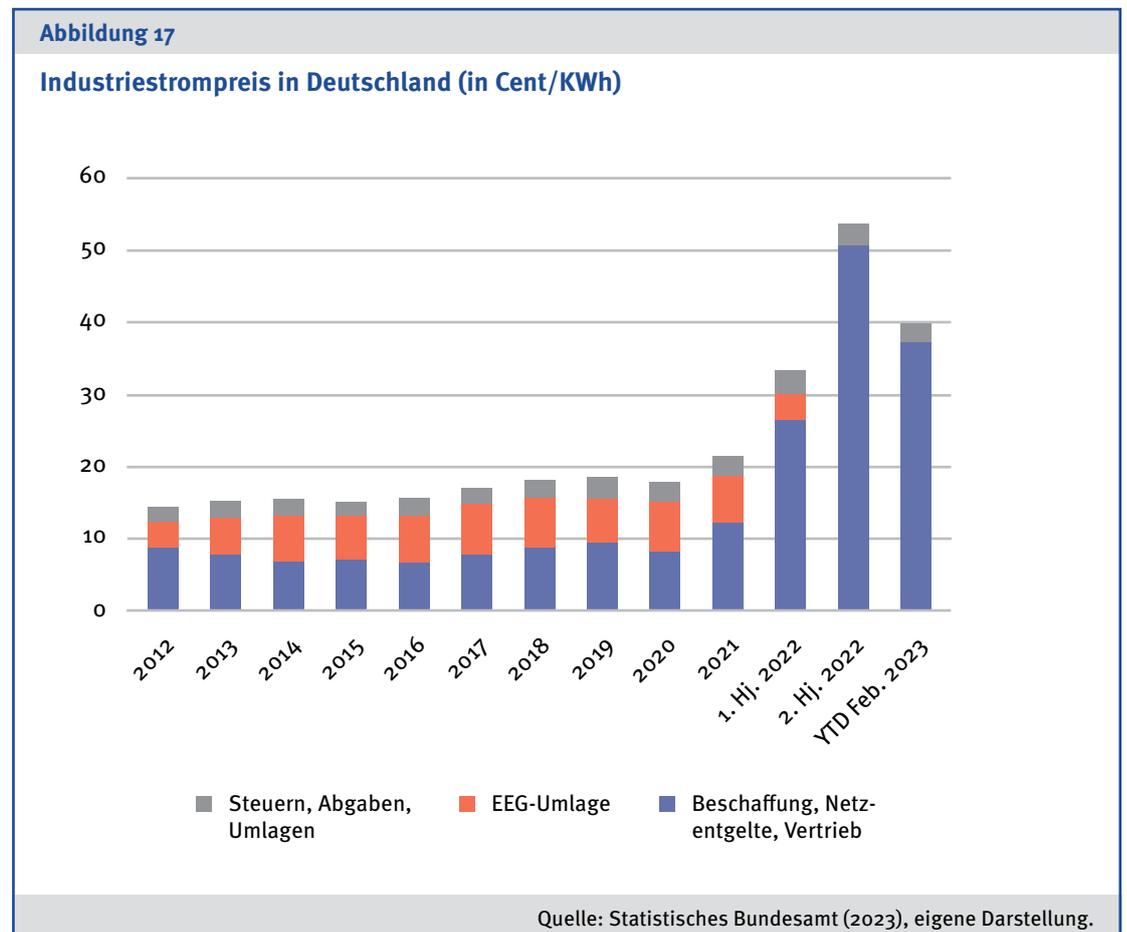


von rd. 5 TWh. Es ergeben sich auf Basis Stand Juli 2022 geschätzte Stromkosten in Höhe von rd. 2,1 Mrd. €. Die Kosten sind etwa 150 % höher als in der Türkei (also ergibt sich ein Kostennachteil von 1,3 Mrd. € oder gut 100 € pro Tonne) und knapp 400 % höher als bei einer Produktion in China (also ein Kostennachteil von 1,7 Mrd. € oder knapp 140 € pro Tonne).

Der deutsche Industriestrompreis ist durch den Krieg in der Ukraine im Jahr 2022 drastisch angestiegen (Abb. 17). Ein Industriestrompreis von 42,5 Cent/KWh (Juli 2022) führt bei den Sekundärstahlunternehmen in Deutschland zu einer Erhöhung der jährlichen Stromkosten

von über einer Milliarde Euro im Vergleich zum zweiten Halbjahr 2021. Um die Wettbewerbsfähigkeit weiterhin gewährleisten zu können, muss dieser Entwicklung industriepolitisch entgegengewirkt werden.

Auch Industriegewerkschaften bewerten diese Entwicklung Anfang 2023 als erhebliche Gefahr für die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen und fordern einen Industriestrompreis – zumindest für energieintensive Unternehmen – der dem europäischen Vergleich standhält (IG Metall, IGBCE, IG Bau, 2023). Ein Industriestrompreis für energieintensive Unternehmen wurde ebenso von den



befragten Expert:innen eingefordert. Nach deren Ansicht müsse der kurzfristige Benchmark zumindest dem europäischen Vergleich standhalten, langfristig aber auch international über Europa hinaus wettbewerbsfähig sein. Ein wettbewerbsfähiger Industriestrompreis muss langfristig auf einer günstigen Erzeugung von (grünem) Strom basieren und nicht auf Förderungen oder Segmentierungen.

Durch die Zuführung von Zuschlagstoffen, vor allem Kohle, entstehen CO₂-Emissionen. Diese Zuschlagstoffe sind wichtig für die Schlackenbildung und ein signifikanter Effizienztreiber im Produktionsverfahren. Die verwendete Kohle kann nach Angabe der Expert:innen durch „Biokohle“ ersetzt werden, die im Vergleich zur herkömmlichen Kohle aber viermal teurer ist.

Dem für die Hilfsbrenner im Elektrolichtbogenofen sowie zur Erwärmung der Pfannen verwendeten Erdgas können schrittweise steigende Anteile an Wasserstoff beigemischt werden. Aktuell werden pro Tonne Stahl im Elektrolichtbogenofen etwa 0,8 kg Erdgas für den Brennerbetrieb benötigt. Da Erdgas im Vergleich zu Wasserstoff einen geringeren Heiz- bzw. Brennwert pro Gewichtseinheit aufweist, wären schätzungsweise 0,3 kg Wasserstoff pro Tonne Stahl notwendig (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020)⁴. Bei einer Sekundärstahlproduktion von rd. 12 Mio. Tonnen pro Jahr entspricht dies überschlägig einem Wasserstoffbedarf von rd. 18.000 Tonnen pro Jahr im Elektrostahlwerk. Hinzu kommen Wasserstoffbedarfe in der Weiterverarbeitung.

Bei der Zuführung von Wasserstoff ergeben sich allerdings technische Herausforderungen. So ist ein anteiliges Beimischen von Wasserstoff zu Erdgas aus technischen Gründen nur zu einem geringen Prozentsatz möglich. Daher müssen perspektivisch bspw. Brennertechnik, Steuerungstechnik, Zuführungs- und Abgastechnik sowie Sicherheitstechnik für die Verwendung von Wasserstoff vorbereitet werden. Dies erfordert von Seiten der Unternehmen wiederum Investitionen – eine nähere Erläuterung erfolgt später in diesem Abschnitt. Ebenso müssen bestehende Gasleitungen für den Wasserstofftransport umgerüstet und weitere infrastrukturelle Investitionen (bspw. Anbindung an das Wasserstoffnetz) getätigt werden. Aus technischer Sicht müssen dabei noch Einzelheiten, wie der Einfluss von Wasserstoff (bzw. Wasser) auf das Mauerwerk im Elektrolichtbogenofen geprüft werden.

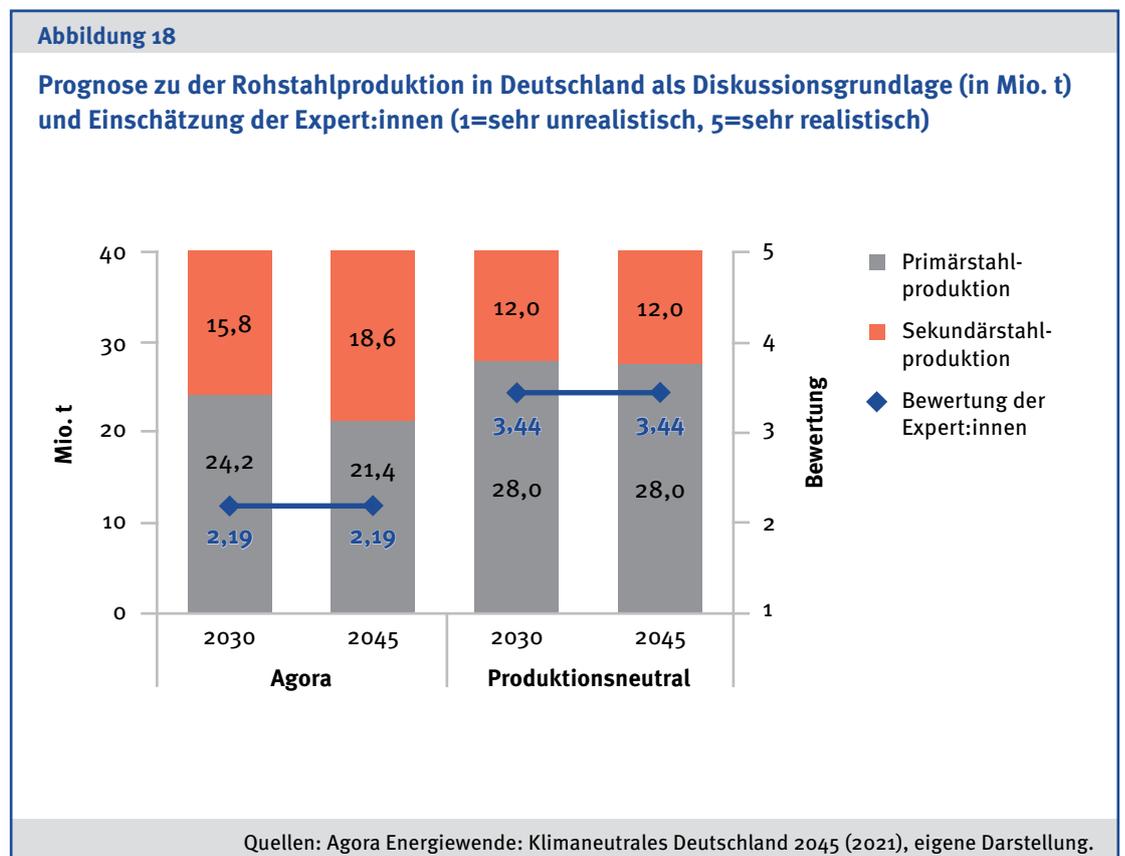
Die Verfügbarkeit von Wasserstoff setzt für die Sekundärstahlindustrie eine geeignete Transportinfrastruktur voraus. Nach Angabe der befragten Expert:innen werden für die Elektrostahlwerke und die Weiterverarbeitung derart große Mengen an Wasserstoff benötigt, dass der Wasserstoff zwingend mittels Pipeline transportiert werden muss. Die neuen Bundesländer könnten hierbei möglicherweise einen Standortvorteil haben, da in den vergangenen Jahren mehr in die Infrastruktur investiert wurde als in westlichen Bundesländern.

⁴ Wesentliche Annahmen: 48 KWh Erdgas/Tonne Stahl, Durchschnittlicher Heizwert Erdgas pro kg =12,2 KWh, Heizwert Wasserstoff=33,33 KWh/kg, 12,6 Mio. t Sekundärstahlproduktion

Vor allem in der Hochlaufphase könnte sich eine geographische Nähe zum European Hydrogen Backbone als Standortvorteil erweisen. Der nordische und baltische Korridor (Pipeline von Finnland über Estland, Lettland, Litauen und Polen nach Deutschland) dürfte für die neuen Bundesländer entscheidend sein. Für die Anbindung der einzelnen (Sekundärstahl-) Unternehmen an den nordisch-baltischen Korridor ist auf deutscher Seite die ONTRAS Gastransport GmbH der zuständige Fernleitungsnetzbetreiber. Sofern nicht bereits geschehen, bietet sich hier ein fortlaufend enger Austausch zwischen Unternehmen und Fernleitungsnetzbetreiber an.

3.2 Prognosen zu zukünftigen Stahlproduktionsmengen und deren Produktionsrouten in Deutschland

In den Interviews der Studie „H2-Transformation der Stahlindustrie und des Energieanlagenbaus“ wurden wesentliche Eckpunkte der grünen Transformation der Primärstahlroute mit den Expert:innen diskutiert und bewertet. Auch die Expert:innen der Sekundärstahlroute haben sich hierzu qualitativ geäußert. Als Diskussionsgrundlage wurde zum Teil auf Referenzpunkte anderer Studien, wie beispielweise „Klimaneutrales Deutschland 2045“ der Agora Energiewende aus dem Jahr 2021 zurückgegrif-



fen. Für die prognostizierte Rohstahlproduktion in Deutschland sind als Referenz zwei unterschiedliche Vorgaben, einmal ein Szenario „nach Agora“ (Agora Energiewende, 2021) und ein „produktionsneutrales“ Szenario, für die Aufsatzjahre 2030 und 2045 gemacht worden (vg. Abb. 18).

Die Rohstahlproduktion beträgt sowohl im produktionsneutralen als auch im Agora-Szenario jeweils in Summe 40 Mio. t, also eine Menge, die mit der Produktionsmenge in den vergangenen Jahren vergleichbar ist. Allerdings kommt es im produktionsneutralen Szenario zu keiner Verschiebung der Produktionsmenge von der Primär- zur Sekundärstahlroute. Die Primärstahlproduktion beläuft sich auf 28 Mio. t pro Jahr, anders als bei dem Agora-Szenario, in dem die Sekundärstahlroute zu Lasten der Primärroute an Bedeutung gewinnt.

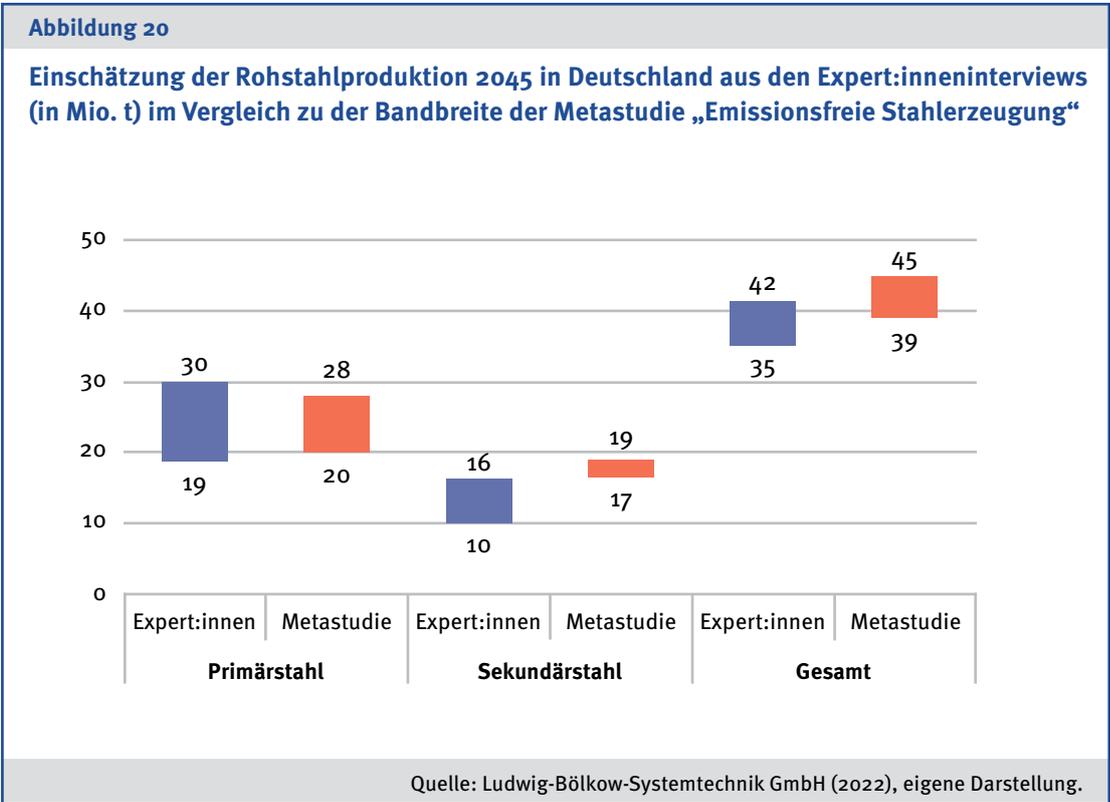
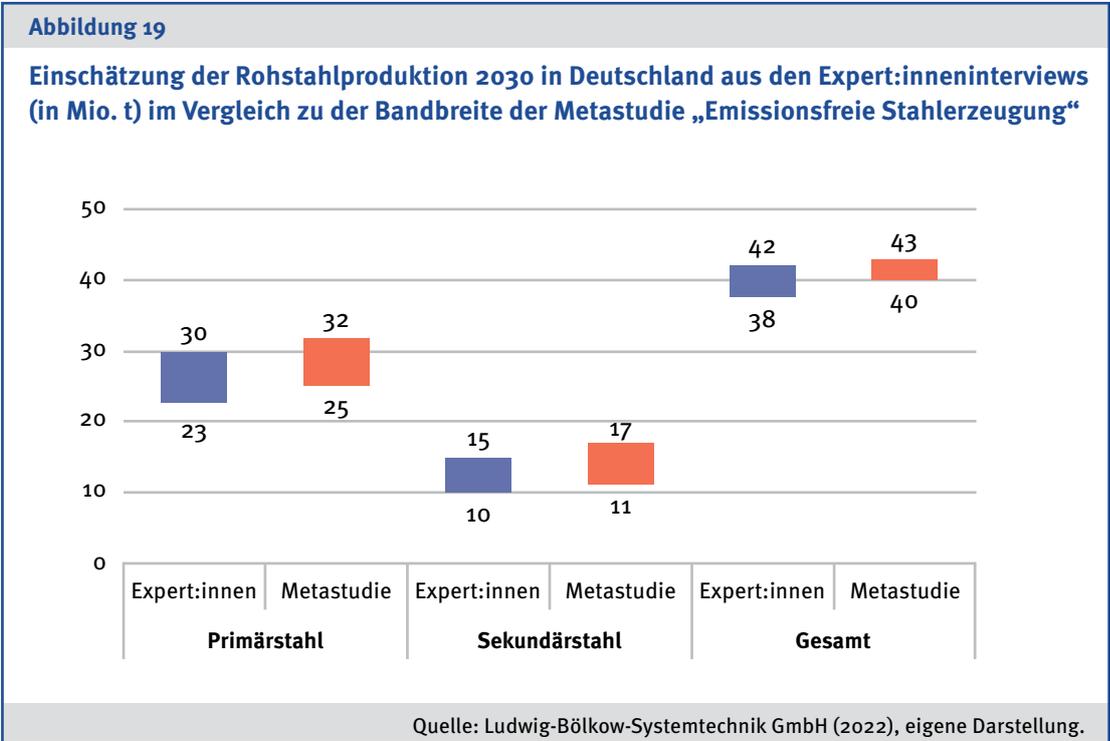
Dass es zu keiner Verschiebung bei gleichbleibender Produktionsmenge kommt, wurde von Expert:innen als „eher realistisch“ eingeschätzt, wobei eine hohe Unsicherheit besteht. Die Vorgabe auf Basis der Prognose von Agora wurde hingegen als „eher unrealistisch“ eingeschätzt. Wesentlicher Kritikpunkt an der angenommenen Verschiebung der Produktionsmenge von der Primär- auf die Sekundärroute ist, dass hierfür keine ausreichenden Mengen an qualitativ hochwertigem Schrott verfügbar sind. Eine Verschiebung in geringerem Ausmaß wurde hingegen von einigen Expert:innen als durchaus realistisch eingestuft.

Der Abgleich der Ergebnisse aus den Interviews zu der Bandbreite der Metastudie (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, 2022)

in Bezug auf die Produktionsmenge zeigt, dass ein in Summe (weitestgehend) produktionsneutrales Szenario auch im wissenschaftlichen Diskurs als realistisch eingeschätzt wird (Abb. 19 und Abb. 20). Auch für 2045 liegt die Interviewvorgabe für die Primärstahlproduktion im produktionsneutralen Szenario mit 28,0 Mio. t weiterhin in der Bandbreite, allerdings am oberen Ende.

Insgesamt zeigt sich also ein mit der Metastudie übereinstimmendes Bild. Auch in den sekundärstahlspezifischen Interviews wurde die Schrottverfügbarkeit als wesentliches Hemmnis zur Steigerung der Elektrostahlproduktion aufgeführt. Die Einschätzungen zur Entwicklung zukünftiger Produktionsmengen auf der Sekundärroute variierten aber deutlich. So gingen einige Expert:innen davon aus, dass eine Steigerung der Produktionsmenge durchaus realistisch ist, da auch bei den Primärstahlunternehmen im Rahmen der Transformation Elektrolichtbogenöfen benötigt werden und durch steigende Recyclingaktivitäten es zu einer leichten Produktionssteigerung kommen könnte. Die Steigerung erfolgte aber nach der Einschätzung der Expert:innen in geringerem Ausmaß als in der Studie der Agora Energiewende angenommen. Eine Steigerung auf rund 15,8 Millionen Tonnen (siehe Abbildung 18) wäre realistisch, allerdings nicht bis 2030, sondern bis 2045.

Andere Expert:innen kamen zu der Einschätzung, dass die Gesamtproduktionsmenge aufgrund von ungeeigneten Rahmenbedingungen in Deutschland sinken wird und auch die Sekundärstahlindustrie von dieser Entwick-

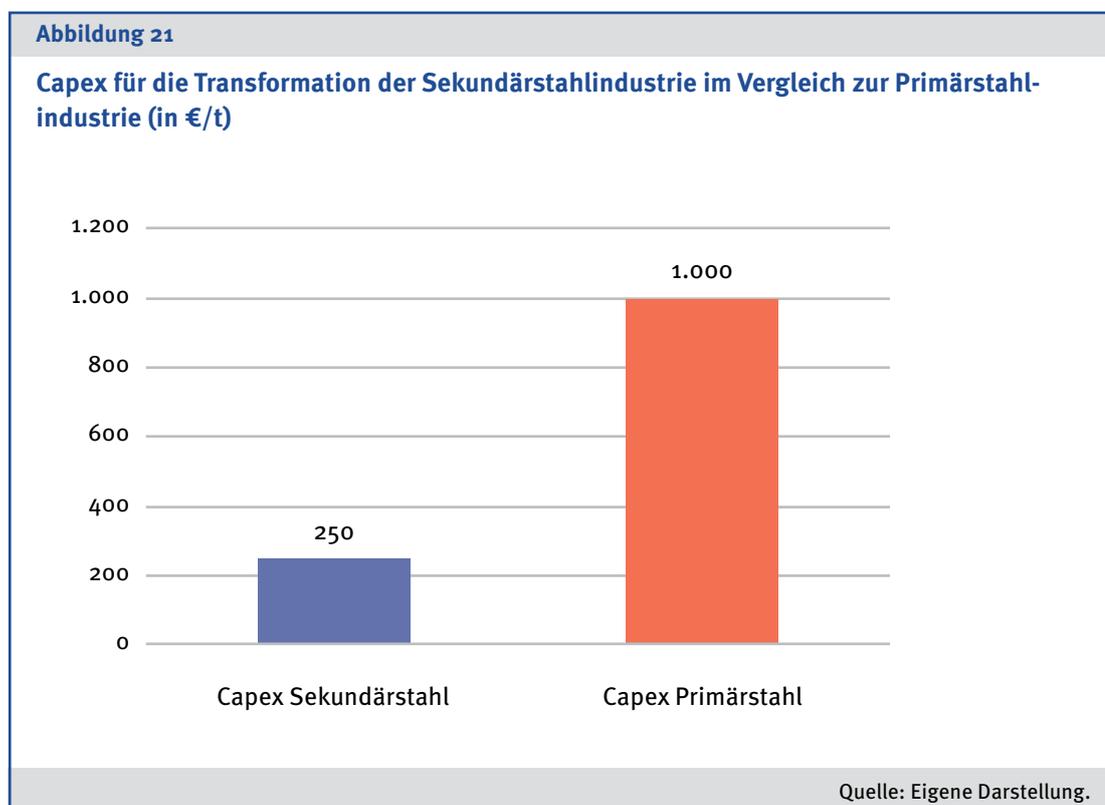


lung betroffen sein wird. Wesentlichen Einfluss haben die hohen und aktuell im europäischen Vergleich nicht wettbewerbsfähigen Energiekosten in Deutschland. Ein weiterer Treiber auf der Zeitachse sind steigende CO₂-Kosten. Demnach wäre eine Teilverlagerung der deutschen Produktionsmenge in das inner- oder außereuropäische Ausland denkbar.

3.3 Wirtschaftliche Herausforderungen der grünen Transformation

In der Sekundärstahlindustrie könnten durch die Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energien Emissionen bereits erheblich gesenkt werden. Für eine vollständig klima-

neutrale Sekundärstahlproduktion sind aber zusätzliche Investitionen in den Stahlwerken notwendig. Nach Einschätzung der Expert:innen sind diese notwendigen Investitionen signifikant. So werden pro Tonne Sekundärstahl 250 € für transformative Investitionen benötigt. Für einzelne Unternehmen der Branche führt dies zu Investitionsbedarfen im dreistelligen Millionenbereich. Auch im Vergleich zur Primärstahlindustrie (ca. 1.000 € pro Tonne), in der die Hochöfen vollständig durch Direktreduktionsanlagen ersetzt werden müssen, zeigt sich, dass in der Sekundärstahlindustrie ebenfalls erhebliche finanzielle Mittel für die Transformation aufgewendet werden müssen (Abbildung 21).



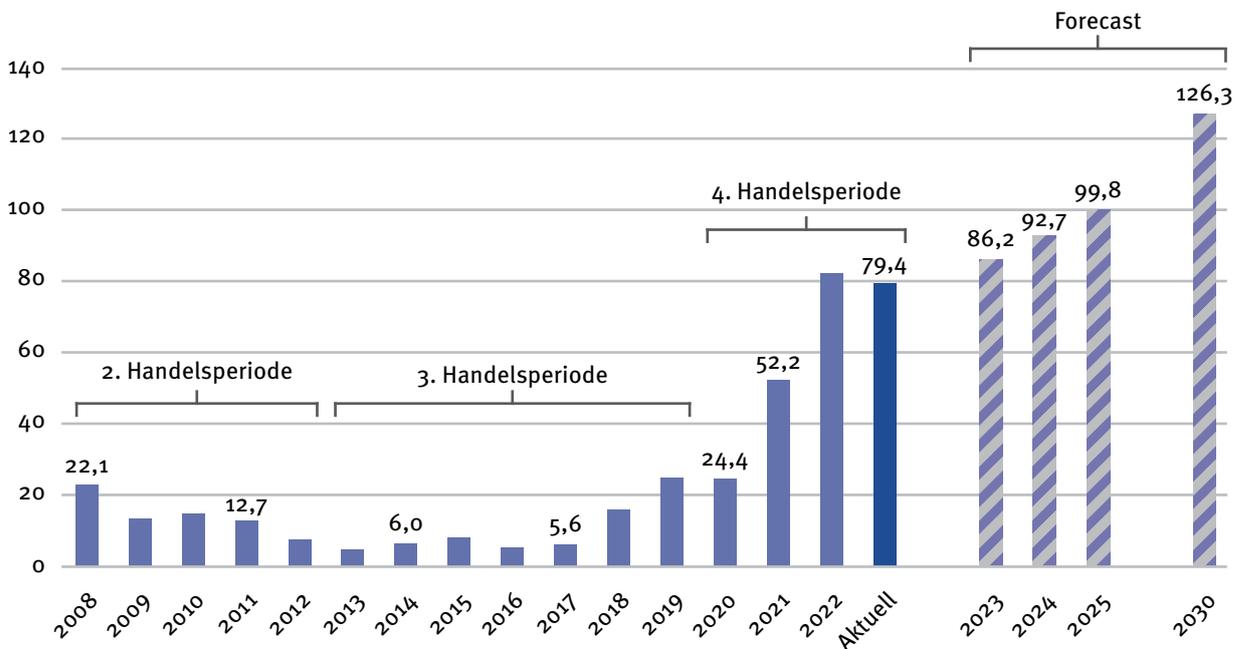
Auch die operativen Kosten werden durch Verwendung von grünem Strom und perspektivisch der Verwendung von grünem Wasserstoff steigen. Hinzu kommen fortlaufend steigende CO₂-Kosten im Rahmen des europäischen Emissionshandels (Abbildung 22), die direkt und indirekt z.B. über Strompreise wirken können. Der Preis für die Emissionszertifikate ist in den letzten Jahren hauptsächlich durch eine Kombination von politischen und wirtschaftlichen Faktoren stark angestiegen. So lag der Preis für ein EUA-Zertifikat in 2020

bei rund 24 €/t CO₂, im Januar 2023 waren es hingegen bereits rund 80 €/t CO₂ und für die kommenden Jahre wird ein Preis von etwa 100 €/t CO₂ prognostiziert.

Die befragten Expert:innen waren zum Teil aber der Ansicht, dass operative Mehrkosten im Rahmen der Transformation einen noch höheren Stellenwert für die Wettbewerbsfähigkeit einnehmen könnten als die notwendigen Investitionen. Sowohl die operativen Mehrkosten im Vergleich zu den aktuellen Produktionskosten als auch die benötigten Investitionen

Abbildung 22

Durchschnittlicher EUA-Preis p.a. sowie Forecast (in €/t | „Aktuell“ Stand Januar 2023)



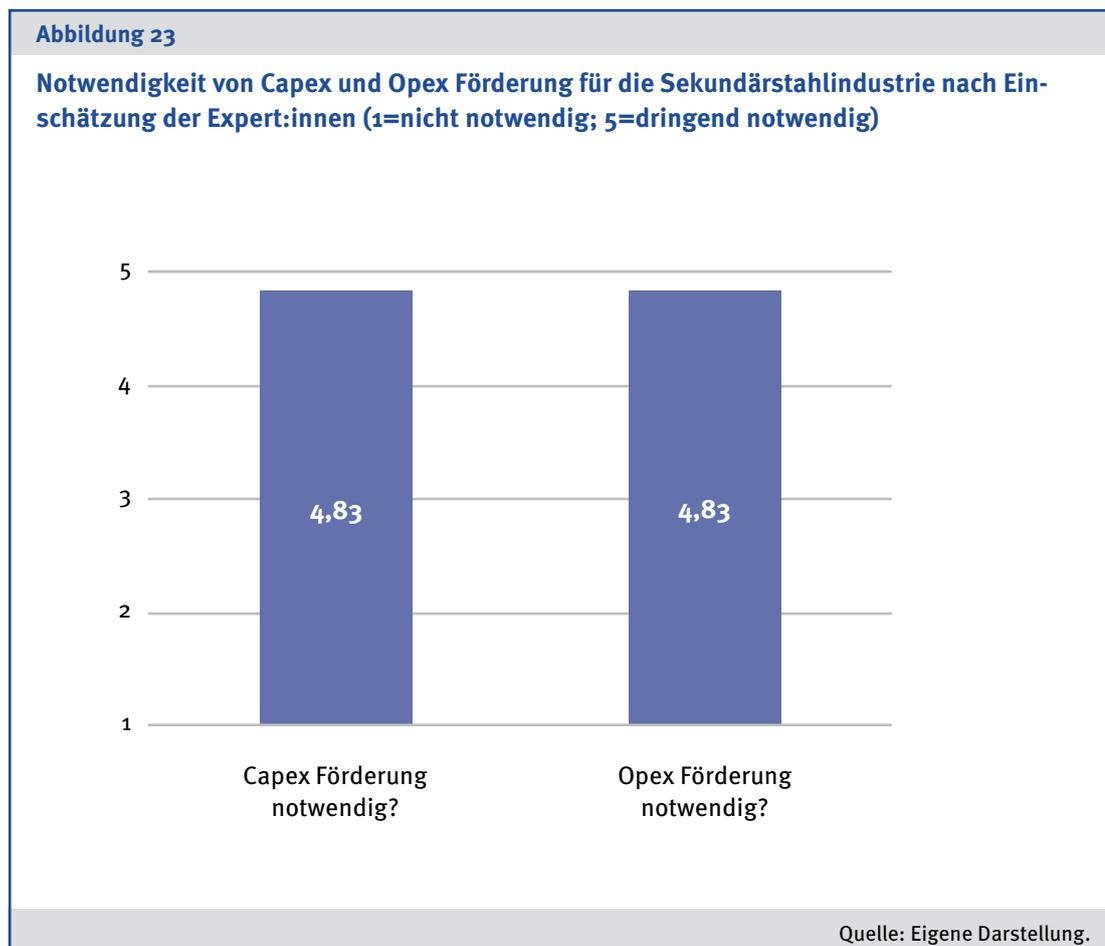
Quellen: S&P global (2022), eigene Darstellung.

sind aus Sicht der Expert:innen nicht ohne (temporäre) staatliche Förderung darstellbar (Abbildung 23). Eine Verknüpfung der Förderungen für Capex und Opex ist bei den ersten Förderanträgen in der Primärstahlindustrie zum Teil bereits enthalten.

Im Rahmen von IPCEI-Projekten (Important Project of Common European Interest) wird die sog. Barwertlücke von Projekten gefördert, d. h. es werden die kapitalisierten zusätzlichen Capex und Teile der prognostizierten erhöhten Opex, die nicht an den Markt weitergegeben

werden können, gefördert. Allerdings dürften sich, zumindest auf Basis des aktuellen (Energie)Preisniveaus und somit bei der Förderung noch nicht abgebildeten erhöhten Opex, weitere Förderbedarfe für Opex über die sog. Carbon Contracts for Difference (CCfD) ergeben. Die Förderung der Barwertlücke schafft aber langfristig Rahmenbedingungen, die es erlauben, erste Investitionsentscheidungen in die Transformation zu treffen.

Ein an die IPCEI-Förderung der Primärstahlindustrie angelehnter Mechanismus bietet sich



auch für die Sekundärstahlindustrie an und sollte industriepolitisch in Betracht gezogen werden. Opex Förderungen in Form von Carbon Contracts for Difference können ein weiteres (temporäres) Mittel zum Ausgleich von Mehrkosten sein. Aus wirtschaftlicher Sicht sollten auch für die Abnehmer und letztlich den Verbraucher Anreize geschaffen werden, einen höheren Preis zu bezahlen (grüne Leitmärkte). Hierzu bedarf es einer sachgerechten Definition von grünem Stahl und der Information der Kunden.

Als Endabnehmerindustrien für grünen Stahl könnten sich die Automobilindustrie, die Energiebranche und im Querschnitt die öffentliche Beschaffung anbieten. Aufgrund der hohen Wertschöpfungstiefe sind die zusätzlichen Kosten für die Verwendung von grünen Werkstoffen in der Automobilindustrie nur mit moderaten Zusatzkosten verbunden. So ist der in einem PKW durchschnittlich verbaute Anteil an Stahl für rd. 25 % der CO₂-Emissionen in der Herstellphase verantwortlich. Die Umstellung auf grünen Stahl führt hingegen lediglich zu zusätzlichen Kosten in Höhe von weniger als 1,5 % pro PKW. Mit einem Anteil von etwa 80 % an den CO₂-Emissionen des enthaltenen grauen Stahls im Herstellungsprozess und zusätzlichen Kosten in Höhe von 3-6 % bei der Verwendung von grünem Stahl erscheinen die zusätzlichen Kosten für Offshore-Windenergieanlagen ebenso moderat (Deutscher Wasserstoff und Brennstoffzellen Verband, 2021). Neben den grünen Leitmärkten im Automobil- und Energiesektor könnte auch die öffentliche Beschaffung ein wesentlicher Absatzmarkt für grünen Stahl sein.

3.4 Zwischenfazit

Für die Sekundärstahlindustrie ergeben sich signifikante transformative Herausforderungen (Abb. 24). Den weitaus größten Hebel für die Emissionsreduktion stellt die Stromerzeugung dar. Überschlägig können über 90 % der im Produktionsprozess bis hin zum Gussstahl anfallenden Emissionen passiv über den fortlaufend zu erhöhenden Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien im deutschen Strommix vermieden werden. Eine signifikante Eigenstromproduktion an den Standorten erscheint vor dem Hintergrund der hohen Strombedarfe unrealistisch. Die Sekundärstahlroute ist somit von einer erfolgreichen Transformation der Stromwirtschaft und insbesondere der Verfügbarkeit von Strom zu wettbewerbsfähigen Preisen abhängig.

Neben Strom kommt der Verfügbarkeit von Erdgas und perspektivisch auch Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen eine besonders große Rolle zu. Einen Wettbewerbsnachteil im Vergleich zu anderen europäischen Ländern stellt möglicherweise der Atomausstieg in Deutschland dar.

Die Transformation stellt die Unternehmen vor große finanzielle Herausforderungen. Obwohl kein vollständiger Technologieaustausch erforderlich ist, werden für die Transformation bereits im Stahlwerk geschätzte Capex in Höhe von 250 €/t Rohstahl benötigt. Hinzu kommen Investitionsbedarfe in der Weiterverarbeitung. Teilweise stehen die Unternehmen der Sekundärstahlindustrie demnach vor Investitionen im dreistelligen Millionenbereich.

Hervorzuheben ist die mittelständische Prägung der Branche und die Bedeutsamkeit für intakte volkswirtschaftliche Wertschöpfungsketten.

Ebenso können die höheren Opex noch nicht vollständig an Kunden weitergegeben werden. Staatliche Capex- und Opex-Förderungen, wie sie in der Primärstahlindustrie begonnen wurden, müssen nach Ansicht der Expert:innen auch in der Sekundärstahlindustrie in die politische Debatte eingeführt und umgesetzt werden. Da Förderungen nur ein temporäres Instrument sein können, müssen parallel grüne Leitmärkte entstehen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Sekundärstahlroute vor großen transformativen Herausforderungen steht, die auch industriepolitisch flankiert werden sollten. Die Verfügbarkeit von Erdgas, Strom aus erneuerbaren Energien und perspektivisch grünem Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen ist auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse aus den Interviews größter Unsicherheitsfaktor. Aus technischer Sicht gibt es einige Herausforderungen, die technischen Grundzüge der Transformation sind hingegen klar vorgezeichnet. Für die Umsetzung scheinen Capex- und Opex-Förderungen aber eine unabdingbare Voraussetzung zu sein.

Abbildung 24

Herausforderungen für die Sekundärstahlindustrie nach Einschätzung der Expert:innen

Wesentliche Herausforderungen für die Sekundärstahlindustrie

(„adressiert“ | „offen“ | „kritisch“)



Technologie

(anteilige Beimischung von H₂ bei bestehenden Anlagen und vollständige Verwendung bei neuen Anlagen)



Förderung von Capex und Opex

(Ersatzinvestitionen, Preisnachteil Grünstrom vs. Graustrom und H₂ vs. Erdgas)



Strom, Gas, H₂

(kostengünstige – wettbewerbsfähige – Versorgung mit grünem Strom, Erdgas und H₂)

Quelle: Eigene Darstellung.

4 Personalwirtschaftliche Herausforderung der grünen Transformation der Sekundärroute

4.1 Grundlagen und personalwirtschaftliche Herausforderungen

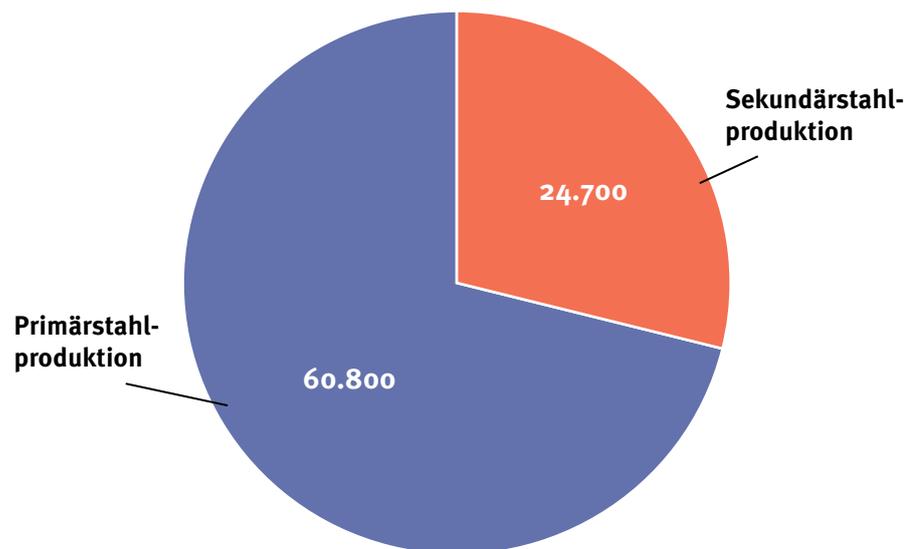
In der deutschen Stahlindustrie waren im Jahr 2021 rd. 89.000 Menschen direkt beschäftigt (Statistisches Bundesamt, 2022), von denen schätzungsweise 24.700 Beschäftigte der Sekundärstahlproduktion zuzuordnen sind (Abbildung 25). Wie eingangs beschrieben, kommt auch der Sekundärstahlindustrie eine hervorgehobene Bedeutung zu, da sie, wie die gesamte Stahlindustrie, am Beginn zahlreicher Wertschöpfungsketten steht. Die Sekundärstahlindustrie ist wiederum in den neuen Bundesländern überproportional vertreten.

Abbildung 26 stellt einen (vereinfachten) schematischen Überblick zu den Funktionsbereichen der Sekundärstahlerzeugung dar. Dabei wurde für die jeweiligen Bereiche qualitativ die Betroffenheit durch die Transformation auf Basis der Experteninterviews abgeschätzt.

Die Befragung hat verdeutlicht, dass grundsätzlich alle Unternehmensbereiche von der Transformation betroffen sind. Im Elektrostahlwerk ist der größte Hebel zur Reduktion von CO₂-Emissionen die Verwendung von grünem Strom, die keine direkten Implikationen auf den Produktionsprozess mit sich bringt. Um die Emissionen vollständig zu reduzieren, ist aber zudem der Einsatz neuer Rohstoffe wie

Abbildung 25

Beschäftigung in der Stahlindustrie 2021 (in FTE)

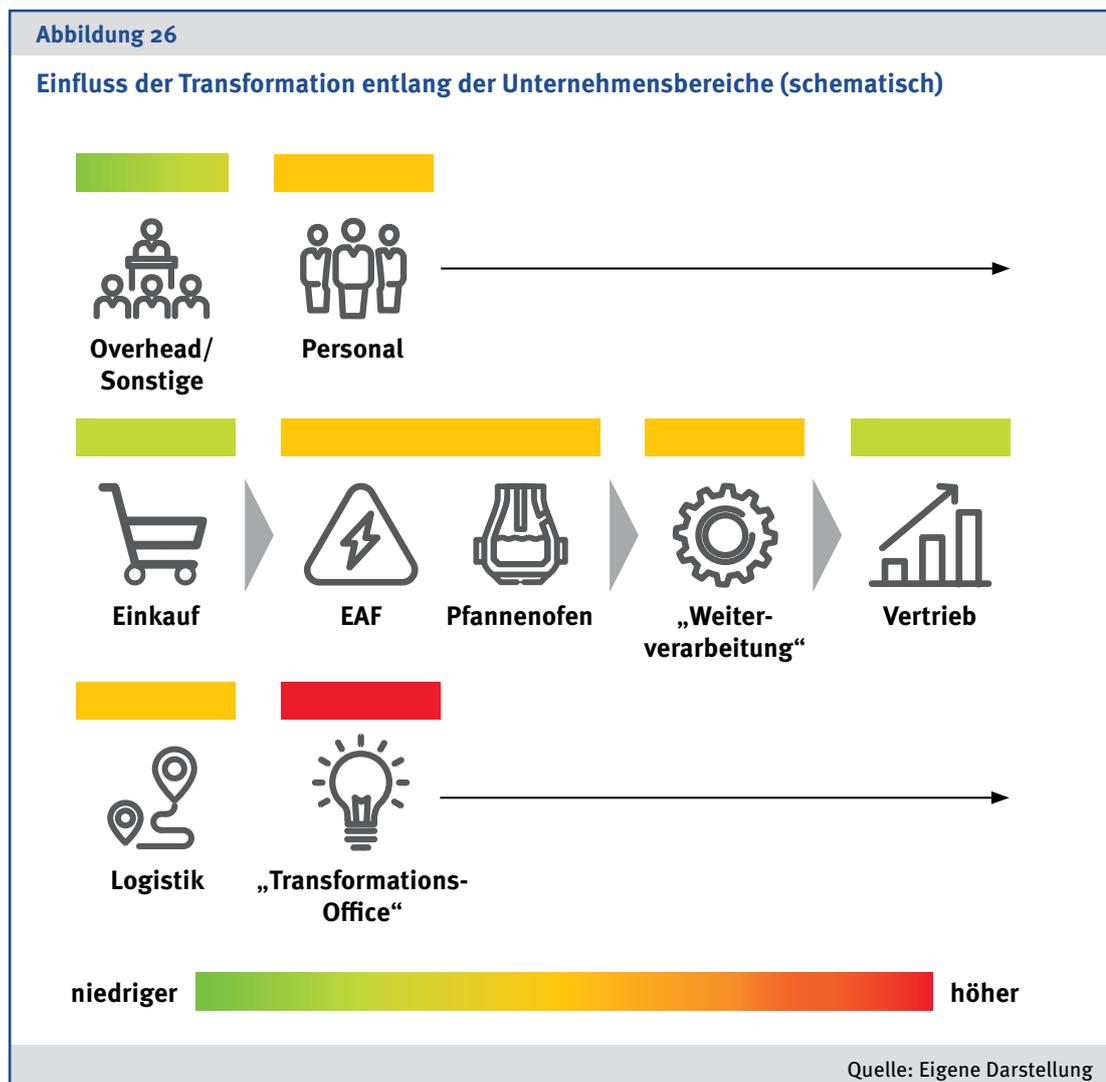


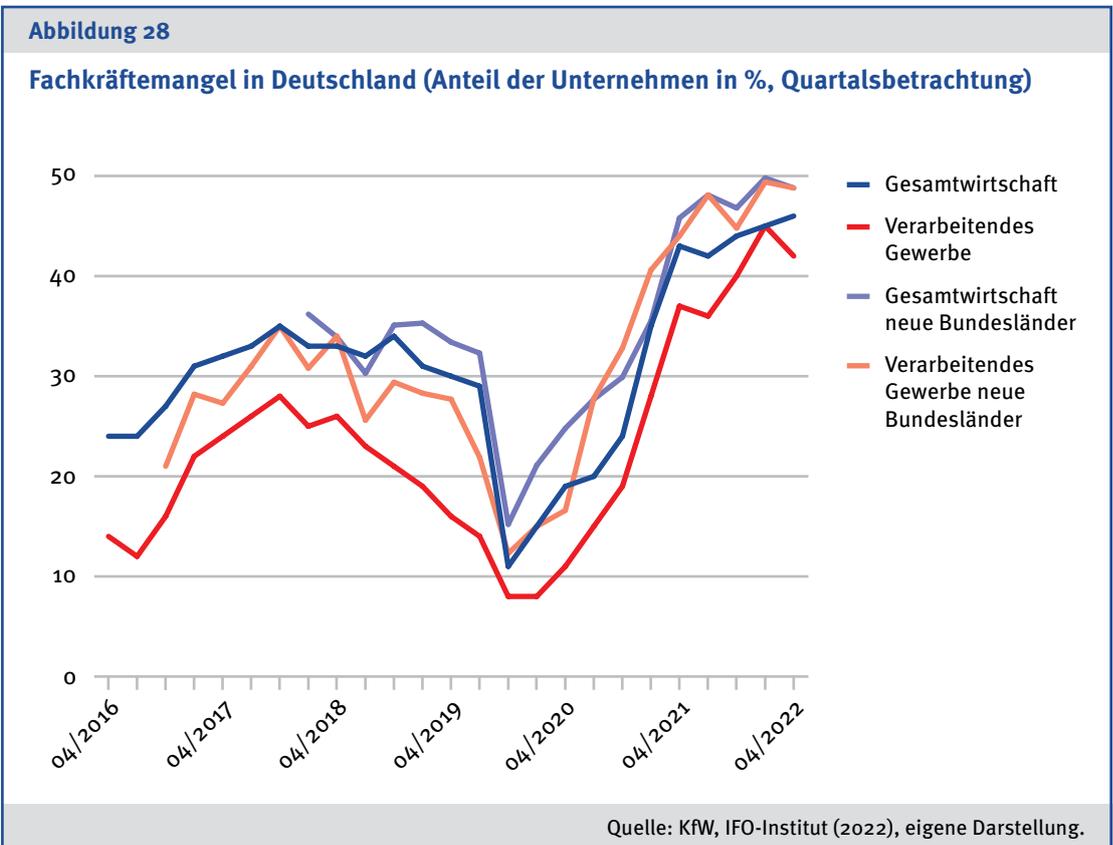
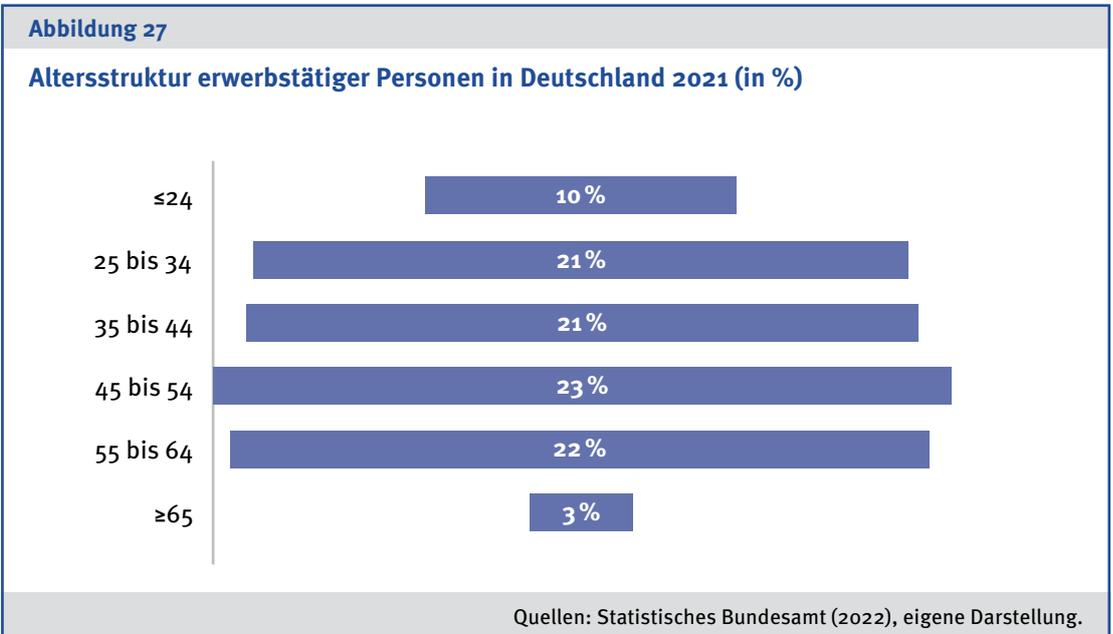
Quellen: Statistisches Bundesamt (2022), eigene Darstellung.

Wasserstoff notwendig. Dies führt einerseits zu technischen Implikationen für die Mitarbeitenden an den Anlagen, andererseits sind auch Bereiche wie Einkauf und Logistik betroffen.

In der Weiterverarbeitung steht man ebenfalls vor der Herausforderung, die erdgasbetriebenen Walzwerköfen durch wasserstoffbasierte Öfen zu ersetzen. Andere Abteilungen, wie HR im Hinblick auf Personalmanagement und Qualifikationserfordernisse sowie mög-

licherweise ein begleitendes Transformationsoffice, werden durch die Transformation beansprucht. Im Hinblick auf ein mögliches Transformationsoffice ist aber die mittelständische Prägung der Branche zu berücksichtigen. Während große Konzerne aus anderen Industriebranchen die Transformation auch von personeller Seite mit Projektstrukturen begleiten, könnten transformative Maßnahmen im Mittelstand zu einer Aufgabe für Führungskräfte werden.





Ferner ist die Altersstruktur der Mitarbeitenden zu berücksichtigen. Gemäß Statistischem Bundesamt waren im Jahr 2021 25 % der erwerbstätigen Personen in Deutschland 55 Jahre alt oder älter (Abb. 27). Der planmäßige Renteneintritt dieser geburtsstarken Jahrgänge erfolgt zum Großteil also während der Transformationsphase und führt zu Personalbedarfen.

Die Altersstruktur der Erwerbstätigen findet ihr Pendant in dem Fachkräftemangel in Deutschland (Abb. 28). Im vierten Quartal 2016 gaben rd. 14 % der Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe einen Mangel an qualifiziertem Fachpersonal an. Nach einem zwischenzeitlichen Hoch von 28 % im zweiten Quartal 2018, konnte eine Entspannung beobachtet werden, bis mit dem Beginn der COVID-19-Pandemie Anfang 2021 ein Allzeithoch festzustellen war. Gemäß Umfrage des IFO-Instituts gaben im Juli 2022 rd. 57 % der Produzenten von Metallerzeugnissen an, nur schwer fachkundiges Personal finden zu können. Allein im Handwerk fehlen schätzungsweise 250.000 Menschen (IFO-Institut, 2022).

Im gesamten Zeitraum zwischen Q4 2016 und Q4 2022 lag der Fachkräftemangel im verarbeitenden Gewerbe in den neuen Bundesländern über dem bundesweiten Durchschnitt. Diese Differenz bewegte sich im Betrachtungszeitraum zwischen +3 Prozentpunkten (Q1 2019) bis hin zu +13 Prozentpunkten (Q1 bis Q3 2021).

Für die Gesamtwirtschaft ist ein ähnlicher Trend festzustellen. Ein (leicht) stärker ausgeprägter bundesweiter Fachkräftemangel im Vergleich zu den neuen Bundesländern war

lediglich im ersten Quartal 2019 festzustellen. Bei allen sonstigen Betrachtungszeitpunkten gab es einen stärkeren Fachkräftemangel in den neuen Bundesländern, in einer Bandbreite von +0,1 Prozentpunkten (Q3 2022) bis hin zu +8 Prozentpunkten (Q1 2022).

Der stärker ausgeprägte Fachkräftemangel in den neuen Bundesländern wurde durchweg von den Expert:innen bestätigt, auch von denen, die an westdeutschen Standorten tätig sind. Eine detaillierte Erläuterung soll im nachfolgenden und abschließenden Kapitel erfolgen.

4.2 Beschäftigungseffekte und Qualifikationserfordernisse

In der Sekundärstahlindustrie wird die Transformation zu keinem vollständigen Technologieaustausch führen. Aus technischer Sicht ergeben sich durch die Verwendung von Wasserstoff als Erdgasersatz im Stahlwerk und in der Weiterverarbeitung sowie in der Instandhaltung dieser Bereiche Herausforderungen, aber nach Einschätzung der Expert:innen keine unmittelbaren Implikationen auf die Anzahl der Beschäftigten.

Vor diesem Hintergrund sind bei einer produktionsneutralen Transformation keine direkten Beschäftigungseffekte zu erwarten. Verändert sich die Produktionsmenge auf der Sekundärroute nicht, so wird es nur über Produktivitätsfortschritt zu Beschäftigungsabbau kommen. Eine Chance aus Sicht der Sekundärroute ergäbe sich, wenn die Produktionsmenge zu Lasten der Primärroute steigen würde.

Die größte Gefahr im Hinblick auf Beschäftigung ergibt sich mittelbar durch die wirtschaftlichen Herausforderungen der Transformation. Die hohen Energiepreise des deutschen Standorts im europäischen und weltweiten Vergleich können dazu führen, dass deutsche Sekundärstahlunternehmen nicht länger wettbewerbsfähig sind. Dieser Entwicklung muss industriepolitisch entgegengewirkt werden. Die Verfügbarkeit von grünem Strom und perspektivisch grünem Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen ist der wesentliche Einflussfaktor für den Erhalt von Beschäftigung in der Sekundärstahlindustrie und entlang der Wertschöpfungskette. Transformative Beschäftigungseffekte in der Sekundärstahlindustrie korrelieren also mit der Produktionsmenge, für die industriepolitische Maßnahmen zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen entscheidend sind.

Eine weitere Gefahr stellt der deutschlandweite und besonders in den neuen Bundesländern ausgeprägte Fachkräftemangel dar. Besonders in den neuen Bundesländern hat der Fachkräftemangel bereits einschneidende Konsequenzen. In vielen Bereichen muss der Scope bereits heute durch gezielte Ansprache ausländischer Fachkräfte erweitert werden, um den Personalbedarf zu decken.

Vor allem die Schichtarbeit scheint bei jüngeren Menschen im gesamten Bundesgebiet zunehmend unbeliebt zu sein. Flexible Arbeitsbedingungen in anderen Branchen wie mobiles Arbeiten und flexible Arbeitszeiten stellen einen Mehrwert für die Beschäftigten dar. Dieser Mehrwert kann in der Sekundärstahlindustrie häufig nicht in diesem Maße geboten werden.

Umso entscheidender ist es, in Anbetracht der Altersstruktur der Belegschaften und des vorherrschenden Fachkräftemangels, die Zukunftsaussichten der grünen Sekundärstahlindustrie mit sicheren und gut bezahlten Arbeitsplätzen hervorzuheben. In der Sekundärstahlindustrie wird also das Corporate Branding, z. B. als Unternehmen an der Speerspitze der grünen Transformation, zukünftig eine bedeutendere Rolle spielen müssen.

In der Transformationsphase werden aber auch Qualifizierungsmaßnahmen für das bestehende Personal erforderlich sein.

Aktuelle Qualifizierungsmaßnahmen fokussieren die Energieeffizienz und sind somit nicht unmittelbar auf die Transformation zurückzuführen. Zukünftig müssen aber durchaus transformative Qualifikationsmaßnahmen ergriffen werden. Mitarbeitende im Stahlwerk, der Weiterverarbeitung, der Instandhaltung und dem Einkauf sind zum Thema Wasserstoff zu qualifizieren und der Vertrieb muss darauf vorbereitet werden, grünen Stahl adäquat zu bewerben und Pricing-Modelle anzupassen. Dies sind nur einige der zahlreichen Beispiele für Qualifizierungsmaßnahmen.

Unternehmensinterne und externe Seminare sowie Training on the Job scheinen als Fortbildungsmethoden geeignet, da die Qualifizierungszeit vermutlich im Rahmen von einigen Tagen pro Mitarbeiter liegen wird. Nichtsdestotrotz führen auch diese Maßnahmen in Gänze zu Mehrkosten in der Transformationsphase. Es muss davon ausgegangen werden, dass diese Qualifizierungsmaßnahmen zumindest für den größten Teil der Belegschaft durchzuführen sind.

5 Zusammenfassung und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Zusammenfassend sollen die zu Beginn der Studie aufgeworfenen Leitfragen beantwortet und Handlungsempfehlungen abgegeben werden.

Wie kann die zukünftige wettbewerbsfähige Wasserstoffversorgung in Deutschland gesichert werden und welche Risiken sind zu berücksichtigen?

- Im Hinblick auf den technologischen Pfad für die Wasserstoffelektrolyse besteht eine hohe Sichtbarkeit. Für die Polymer-Elektrolyt-Membran – aber vor allem für die Hochtemperaturelektrolyse bestehen weiterhin Forschungs- und Entwicklungsbedarfe. Ebenso müssen alle technologischen Verfahren zur Wasserstoffelektrolyse im industriellen Maßstab (GW-Bereich) skaliert werden.
- Nach Einschätzung der Expert:innen wird die Wasserstoffnachfrage in Deutschland voraussichtlich über der Interviewvorgabe von 2,0 Mio. t in 2030 und 8,0 Mio. t in 2045 liegen. Entscheidend ist der Aufbau von signifikanten Elektrolysekapazitäten in der Nähe von großen Verbrauchern und in küstennahen Regionen in Deutschland (bspw. Mecklenburg-Vorpommern) als Ergänzung zu notwendigen größeren Importen.
- Ein signifikanter Anteil der Wasserstoffbedarfe wird über Importe gedeckt werden müssen, dafür sind diversifizierte internationale Wasserstoffpartnerschaften einzugehen. Als Kooperationspartner für Deutschland bieten sich aus wirtschaftlicher Sicht nahegelegene Standorte mit einer hohen Verfügbarkeit von (kostengünstigem) Strom aus erneuerbaren Energien an (bspw. Südeuropa und Nordafrika sowie mittlerer Osten).
- Der Ausbau der Transportinfrastruktur muss vorangetrieben werden. Dazu gehört die H₂-Befähigung von LNG-Terminals und deren Anbindung an das Netz, der weitere Ausbau des zukünftigen europäischen Wasserstoff-Pipelinennetzes (European Hydrogen Backbone) sowie außereuropäischer Versorgungsnetze.
- Im Hinblick auf die Versorgungssicherheit bietet es sich auch an, Elektrolysekapazitäten in Deutschland zu errichten. Das Kapazitätsziel für die Wasserstoffelektrolyse von 10 GW bis 2030 sollte vor dem Hintergrund der hohen Bedarfe überprüft werden. Neben Insellösungen an Produktionsstandorten kommen vor allem Kapazitäten in den Küstenregionen in Betracht.
- Grüner Wasserstoff unterliegt gemäß Definition der EU-Kommission strengen Anforderungen, wie dem Prinzip der Zusätzlichkeit und der zeitlich-geographischen Korrelation. Hier sollte über eine Erweiterung der Ausnahmen, z. B. im Hinblick auf die räumliche Nähe nachgedacht werden.
- Die Zukunftsfähigkeit von Deutschland als Industriestandort wird maßgeblich von der Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien und Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen abhängen. Neben Investitionsanreizen und staatlichen Förderungen – bspw. im Rahmen von Wasserstoff-

IPCEI für Erzeugung, Infrastruktur und Nutzung beim Endverbraucher – muss es ebenso zu weniger bürokratischen Hemmnissen und beschleunigten Genehmigungsverfahren kommen.

- Aus gewerkschaftlicher Sicht ist die Versorgung mit wettbewerbsfähigem grünem Wasserstoff, aber auch mit wettbewerbsfähigem Strom und kurz- sowie mittelfristig mit Erdgas von entscheidender Bedeutung für Beschäftigung und gute Arbeitsbedingungen.

Wie kann die deutsche Sekundärstahlroute erfolgreich grün transformiert werden und welche Risiken sind zu berücksichtigen?

- Der weitaus größte Hebel zur Reduktion der CO₂-Emissionen bei der Sekundärstahlherstellung ist die Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energien. Da Elektrostahlwerke erhebliche Strombedarfe haben, ist ein signifikanter Anteil zur Deckung des Bedarfs durch Eigenstromproduktion nicht darstellbar. Der grüne Strom muss von Dritten über das Stromnetz zu wettbewerbsfähigen Preisen bezogen werden.
- Grundsätzlich bestehen in den alten und neuen Bundesländern die gleichen Herausforderungen in Bezug auf die Stromversorgung. Da die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien schwerpunktmäßig in Norddeutschland angesiedelt ist, ist ein Nord-Süd-Gefälle zu beobachten. Der Ausbau der Nord-Süd-Stromtrassen muss ebenso wie der Ausbau von Speichermedi-

en forciert werden. Aufgrund von verstärkter Investitionstätigkeit in den vergangenen Jahren könnten die neuen Bundesländer allenfalls einen leichten Standortvorteil gegenüber den alten Bundesländern haben.

- Aktive Maßnahmen im Stahlwerk sind im Hinblick auf die erdgasbasierten Hilfsbrenner im Elektrolichtbogenofen, die Vorwärmung der Pfannen (sofern diese erdgasbasiert erfolgt) sowie bei der Verwendung von weiteren Einsatzstoffen (z. B. „Biotkohle“) zu ergreifen. Darüber hinaus werden auch die Brenner in Weiterverarbeitungsschritten sukzessiv auf Verwendung von Wasserstoff umgestellt werden müssen. Diese notwendigen Schritte sind aus technischer Sicht bereits heute möglich, es mangelt allerdings an der Verfügbarkeit von Wasserstoff.
- Beim Hochlauf der Wasserstoffproduktion in Deutschland ist zunächst von Insellösungen auszugehen, die sich verstärkt an den Standorten großer Verbraucher orientieren werden. Letztlich werden erhebliche Elektrolysekapazitäten – auch vor dem Hintergrund der notwendigen Zusätzlichkeit und der zeitlich – geographischen Korrelation an Standorten mit günstigem Zugang zu Strom aus erneuerbaren Energien entstehen (z. B. in Küstenregionen wie Mecklenburg-Vorpommern). Da der dort produzierte Wasserstoff mengenbedingt zwingend mittels Pipeline zu den Elektrostahlwerken transportiert werden muss, könnte sich in der Hochlaufphase eine geographische Nähe zum European Hydrogen Backbone

als Standortvorteil erweisen. Dem nordisch-baltischen Korridor (Pipeline von Finnland über Estland, Lettland, Litauen und Polen nach Deutschland) dürfte für die neuen Bundesländer eine besondere Bedeutung zukommen.

- In der Sekundärstahlindustrie werden erhebliche Capex in Höhe von überschlägig 250 €/t für die Transformation benötigt. Die Investitionen sind von einer tendenziell mittelständisch geprägten Branche zu tragen. Eine besondere Facette ergibt sich vor dem Hintergrund dieser Studie dadurch, dass Unternehmen der Sekundärroute vergleichsweise häufig in den neuen Bundesländern liegen.
 - Staatliche Capex-Förderungen erscheinen ebenso erforderlich, wie temporäre Förderungen für erhöhte Opex. Zusätzliche Kosten für die Transformation können nicht – oder zumindest nicht vollständig an Kunden weitergegeben werden. Eine Förderung nach dem Vorbild der IPCEI-Förderung (ggf. in Kombination mit Carbon Contracts for Difference) kann ein sinnvolles Instrument zur Schaffung von Investitionssicherheit darstellen.
 - Parallel muss die Nachfrage nach grünem Stahl und die Entwicklung grüner Leitmärkte forciert werden. Voraussetzung sind die Definition von grünem Stahl und die Transparenz für den Kunden. Durch die hohe Wertschöpfungstiefe, möglicherweise aber auch veränderte Kundenanforderungen, könnten sich die Automobil- und Windkraftindustrie als Abnehmer für grünen Stahl anbieten.
- Ergeben sich durch die grüne Transformation der Sekundärstahlindustrie Beschäftigungseffekte und veränderte Qualifikationsanforderungen?**
- In der Sekundärstahlindustrie sind ca. 24.700 Personen direkt beschäftigt, die Bedeutung der Branche geht aber weit über die eigenen Grenzen hinaus. In stahlintensiven Branchen sind nach Schätzung der Wirtschaftsvereinigung Stahl rund 4,0 Millionen Menschen beschäftigt. Anteilig zur Produktionsmenge wären demnach in der Wertschöpfungskette entlang der Sekundärroute rund 1,2 Millionen Mitarbeitende beschäftigt.
 - Beschäftigungseffekte in der Sekundärstahlroute sind, anders als in der Primärstahlindustrie, nicht technologisch bedingt, sondern hängen stark von der Produktionsmenge ab. Hier gibt es Chancen aber auch Risiken. Die Chance besteht darin, dass die Sekundärroute (allerdings zu Lasten der Primärroute) an Bedeutung gewinnt. Risiken ergeben sich aus einer verringerten Wettbewerbsfähigkeit aufgrund von nicht wettbewerbsfähigen Strom- oder Wasserstoffpreisen.
 - Eine sehr große Herausforderung ist zudem der bundesweite und verstärkt in den neuen Bundesländern auftretende Fachkräftemangel. Intensiviert wird diese Entwicklung zukünftig durch das vermehrte Ausscheiden der Mitarbeitenden aus den geburtsstarken Jahrgängen. An Sekundärstahlstandorten in den neuen Bundeslän-

dern wird bei der Suche nach fachkundigem Personal bereits ein verstärkter Fokus auf den ausländischen Arbeitsmarkt gerichtet. In den alten Bundesländern sind sinkende Bewerbungen auf Ausbildungsplätze ein Warnsignal. Insgesamt scheint sich der Arbeitsmarkt in Deutschland zu einem Arbeitnehmermarkt gewandelt zu haben.

- Schichtarbeit scheint bei jüngeren Menschen zunehmend unbeliebt und ein Ausschlusskriterium bei der Berufswahl zu sein. Die grüne Transformation kann einen positiven Effekt bei der Akquise von neuem Personal haben. In der Sekundärstahl-

industrie wird das Corporate Branding, z. B. als Unternehmen an der Speerspitze der grünen Transformation mit sicheren und gut bezahlten Arbeitsplätzen zukünftig eine bedeutsame Rolle einnehmen.

- Die Transformation führt darüber hinaus zu Qualifikationsbedarfen der bestehenden Belegschaft. Diese erstrecken sich voraussichtlich über das gesamte Unternehmen. Nach Ansicht der Expert:innen sind unternehmensinterne und externe Seminare sowie Training on the Job geeignete Fortbildungsmethoden. Die Qualifizierungszeit wird vermutlich im Rahmen von einigen Tagen pro Mitarbeiter liegen.

Literaturverzeichnis

Agora Energiewende. (2021). *Klimaneutrales Deutschland 2045 – Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann.*

Agora Energiewende, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut. (2021). *Klimaschutzverträge für die Industrietransformation – Analyse zur Stahlbranche.*

boerse.de. (2023). *boerse.de*. Abgerufen am 14. Februar 2023 von <https://www.boerse.de/historische-kurse/Co2-Emissionsrechtepreis/XC000AoC4KJ2>

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. (2020). *Merkblatt zur Ermittlung des Gesamtenergieverbrauchs.*

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). (2021). *Eckpunkte für eine Förderrichtlinie Klimaschutzverträge zur Umsetzung des Pilotprogramms „Carbon Contracts for Difference“.*

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (2021). *Bericht der Bundesregierung zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie.*

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2019). *Energiewende in der Industrie.*

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2021). *IPCEI Wasserstoff: Gemeinsam einen Europäischen Wasserstoffmarkt schaffen.*

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2023). *FAQ-Liste zur Strompreisbremse.*

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft. (2022). *BDEW-Strompreisanalyse Juli 2022.*

Classic Searoutes. (27. September 2022). *classic.searoutes.com*. Von <https://classic.searoutes.com/routing?speed=13&panama=true&suez=true&kiel=true&rivers=block&roads=block>

Council of the European Union. (2022). <https://www.consilium.europa.eu>. Abgerufen am 08. November 2022 von <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/06/29/fit-for-55-council-reaches-general-approaches-relating-to-emissions-reductions-and-removals-and-their-social-impacts/>

Deutscher Bundestag. (2021). *Bundesklimaschutzgesetz – Entwurf eines Ersten Gesetzes zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes.*

Deutscher Wasserstoff und Brennstoffzellen Verband. (2021). *Grüner Stahl – Die Wasserstoffrevolution der Stahlindustrie – Eckpunktepapier.*

Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband. (2022). <https://www.dwv-info.de/>. Abgerufen am 31. August 2022 von <https://www.dwv-info.de/event/5-fachdialog-power-to-x-technologien-und-anwendungen-10-gw-elektrolyse-kapazitaeten-bis-2030-wie-sieht-der-weg-dahin-aus/>

Europäische Kommission. (2021). *Mitteilung der Kommission Kriterien für die Würdigung der Vereinbarkeit von staatlichen Beihilfen zur Förderung wichtiger Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse mit dem Binnenmarkt.*

Europäische Kommission. (2022). *IPCEI: EU-Kommission gibt grünes Licht zur Förderung von Wasserstofftechnologie – auch in Deutschland.*

Europäische Kommission. (2023). *Delegated regulation for a minimum threshold for GHG savings of recycled carbon fuels.*

- Europäische Kommission. (2023). *Delegated regulation on Union methodology for RFNBOs*.
- Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. und Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH. (2019). <https://www.ffe.de/>. Abgerufen am 31. August 2022 von <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/elektrolyse-die-schluesselftechnologie-fuer-power-to-x/>
- Global Petrol Prices. (2022). *Globalpetrolprices.com*. Abgerufen am 16. Februar 2023 von https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/
- IFO-Institut. (August 2022). <https://www.ifo.de/>. Abgerufen am 24. August 2022 von <https://www.ifo.de/pressemitteilung/2022-08-02/fachkraeftemangel-steigt-auf-allzeithoch>
- IG Metall, IGBCE, IG Bau. (2023). (Pressemitteilung) *Arbeitsplätze in Gefahr: Industriegewerkschaften fordern bezahlbaren Strom für energieintensive Branchen*.
- Industrie Energieforschung. (2021). <https://www.industrie-energieforschung.de/>. Abgerufen am 07. September 2022 von https://www.industrie-energieforschung.de/news/de/optilbo_sekundaerstahl_energieeffizient_herstellen_technologieoffensive_wasserstoff
- Industrieverband Massivumformung. (2022). „Carbon Footprint Calculator“: *FRED mit neuen Funktionen, neuem Design, neuen Zielgruppen*.
- KfW, IFO-Institut. (2022). *Fachkräftebarometer*.
- Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH. (2022). *Metastudie zu den technischen, technologischen und wirtschaftlichen Parametern für die Umstellung der deutschen Stahlindustrie auf eine emissionsarme Stahlproduktion auf Basis von grünem Wasserstoff*.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse – Grundlagen und Techniken*.
- Roland Berger. (2021). *Hydrogen transportation – The key to unlocking the clean hydrogen economy*.
- S&P global. (2022). *Carbon Pricing, In Various Forms, Is Likely To Spread In The Move To Net Zero*.
- Salzgitter AG. (2021). *Geschäftsbericht 2021*.
- Salzgitter AG. (2022). <https://salcos.salzgitter-ag.com>. Abgerufen am 31. August 2022 von <https://salcos.salzgitter-ag.com/de/grinhy-20.html>
- Sozialdemokratische Partei Deutschlands (SPD), Bündnis 90/Die Grünen, Freie Demokratische Partei (FDP). (2021). *Koalitionsvertrag 2021-2025*.
- Statistisches Bundesamt. (2022). *Erwerbsbeteiligung*.
- Statistisches Bundesamt. (2022). *Produktionswert, -menge, -gewicht und Unternehmen der Vierteljährlichen Produktionserhebung: Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis (9-Steller)*.
- Statistisches Bundesamt. (2022). *WZ08-24.1 und 24.2*.
- Statistisches Bundesamt. (2023). *Daten zur Energiepreisentwicklung*.
- Thyssenkrupp AG. (2021). *Geschäftsbericht 2020/21*.
- Wirtschaftsvereinigung Stahl. (2022). *Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2021*.

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Capex der verschiedenen Elektrolyseverfahren (in €/kW)	12
Abbildung 2:	Einflussfaktoren auf die Wasserstoffversorgung in Deutschland bis 2030 (n=5; 1=sehr niedrig, 5=sehr hoch)	14
Abbildung 3:	Einflussfaktoren auf die Wasserstoffversorgung in Deutschland 2045 (n=5; 1=sehr niedrig, 5=sehr hoch)	14
Abbildung 4:	H ₂ -Nachfrage in Deutschland (Interviewvorgabe in Mio. t) sowie Einschätzung der Expert:innen (n=5; 1=sehr unrealistisch, 5=sehr realistisch)	16
Abbildung 5:	H ₂ -Nachfrage in Deutschland als Bandbreite aktueller Studien (in Mio. t H ₂)	16
Abbildung 6:	H ₂ -Produktions- und Importmengen in Deutschland Interviewvorgabe (in Mio. t) und Einschätzung der Expert:innen (n=5; 1=sehr unrealistisch, 5=sehr realistisch)	17
Abbildung 7:	H ₂ -Elektrolysekapazitäten in Deutschland (Interviewvorgabe in GW) und Einschätzung der Expert:innen, ob Elektrolysekapazitäten an Standorten großer Verbraucher entstehen (n=5; 1=sehr unrealistisch, 5=sehr realistisch)	18
Abbildung 8:	Zusammenfassende Einschätzung der Expert:innen anhand der ausgewählten Determinanten	19
Abbildung 9:	Länder/Regionen und Transportweg für H ₂ Importe (schematisch)	20
Abbildung 10:	Gestehungskosten für grünen Wasserstoff in 2025 nach Regionen (Basis 250 MW, in €/kg)	21
Abbildung 11:	Transportkosten (€/kg) nach Transportentfernung (km) und Transportart.....	22
Abbildung 12:	H ₂ Bereitstellungskosten in Deutschland gemäß aktuellen Studien (Bandbreite in €/kg H ₂)	23
Abbildung 13:	Indikative Abschätzung von Bereitstellungskosten entlang ausgewählter Regionen 2025 im Vergleich zu prognostizierten Bereitstellungskosten der deutschen Produktion 2030/2045 (in €/kg)	24
Abbildung 14:	Standorte der Stahlerzeugung in Deutschland 2021	27
Abbildung 15:	CO ₂ -Emissionen (in Tonnen) pro Tonne Rohstahl	28
Abbildung 16:	Industriestrompreise ausgewählter Länder (Stand Juli 2022, in Cent/kWh)	29
Abbildung 17:	Industriestrompreis in Deutschland (in Cent/kWh)	30
Abbildung 18:	Prognose zu der Rohstahlproduktion in Deutschland als Diskussionsgrundlage (in Mio. t) und Einschätzung der Expert:innen (1=sehr unrealistisch, 5=sehr realistisch)	32
Abbildung 19:	Einschätzung der Rohstahlproduktion 2030 in Deutschland aus den Expert:inneninterviews (in Mio. t) im Vergleich zu der Bandbreite der Metastudie „Emissionsfreie Stahlerzeugung“	34
Abbildung 20:	Einschätzung der Rohstahlproduktion 2045 in Deutschland aus den Expert:inneninterviews (in Mio. t) im Vergleich zu der Bandbreite der Metastudie „Emissionsfreie Stahlerzeugung“	34
Abbildung 21:	Capex für die Transformation der Sekundärstahlindustrie im Vergleich zur Primärstahlindustrie (in €/t)	35

Abbildung 22:	Durchschnittlicher EUA-Preis p.a. sowie Forecast (in €/t „Aktuell“ Stand Januar 2023	36
Abbildung 23:	Notwendigkeit von Capex und Opex Förderung für die Sekundärstahlindustrie nach Einschätzung der Expert:innen (1=nicht notwendig; 5=dringend notwendig).....	37
Abbildung 24:	Herausforderungen für die Sekundärstahlindustrie nach Einschätzung der Expert:innen.....	39
Abbildung 25:	Beschäftigung in der Stahlindustrie 2021 (in FTE)	40
Abbildung 26:	Einfluss der Transformation entlang der Unternehmensbereiche (schematisch).....	41
Abbildung 27:	Altersstruktur erwerbstätiger Personen in Deutschland 2021 (in %).....	42
Abbildung 28:	Fachkräftemangel in Deutschland (Anteil der Unternehmen in %, Quartalsbetrachtung).....	42

Hinweise zu den Autoren

Prof. Dr. Küster Simic, André, ist geschäftsführender Gesellschafter der Q&A Banner · Küster Unternehmensberatung GmbH, sowie Professor für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre mit dem Schwerpunkt Unternehmensrechnung an der HSBA Hamburg School of Business Administration.

Schönfeldt, Janek, ist Mitarbeiter der Q&A Banner · Küster Unternehmensberatung GmbH.

Anhang

Anhang 1: Interviewleitfaden und Fragebogen Modul „Wasserstoff“ aus der HBS-Studie „H₂-Transformation der Stahlindustrie und des Energieanlagenbaus“ (Working Paper Nummer 260, November 2022)

A. Szenarien

1. Identifizierung von Einflussfaktoren ohne Vorgaben

- Was sind Ihrer Meinung nach (stichwortartig) die Haupteinflussfaktoren zur Sicherstellung der Wasserstoffversorgung in Deutschland (ggf. differenziert nach den Aufsatzjahren 2030 und 2045)?
- Bitte ordnen Sie die von Ihnen ausgewählten Haupteinflussfaktoren zur Sicherstellung der Wasserstoffversorgung (ggf. differenziert nach den Aufsatzjahren 2030 und 2045) anhand folgender Kriterien ein:
 - ▶ „Unsicherheit“ (hoch/niedrig)
 - ▶ „Einfluss“ (hoch/niedrig)

2. Identifizierung von Einflussfaktoren mit Vorgaben

- Bitte ordnen Sie die folgenden Einflussfaktoren zur Sicherstellung der Wasserstoffversorgung anhand folgender Kriterien ein:
 - ▶ „Unsicherheit“ (hoch/niedrig)
 - ▶ „Einfluss“ (hoch/niedrig)
 - a. Technologischer Pfad (z. B. PEM-, Hochtemperatur-Elektrolyse etc.)
 - b. Verfügbarkeit grüner Strom
 - c. Infrastruktur (Importe, Transport (Pipeline, Schiff) etc.)
 - d. Industriepolitik (Fördermittel etc.)
 - e. „Geschwindigkeit von Rahmenbedingungen“ (Industriepolitik, Genehmigungsverfahren ...)

B. Prognosen/Diskussion zu Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen

1. Standorte

- Bitte schätzen Sie: In welcher Höhe entstehen bis zu den Jahren 2030 und 2045 weltweit Elektrolysekapazitäten (in GW)?
- Nennen Sie drei Einflussfaktoren der Rangfolge nach, die für die Standortwahl entscheidend sind.

2. H2-Angebot und Nachfrage in Deutschland

Tabelle 1
Wasserstoff Nachfrage und Erzeugung pro Jahr in Deutschland in TWh¹

	2018	2030	2045
H2-Nachfrage²	<1 TWh	63 TWh (2 Mio. t)	265 TWh (8 Mio. t)
H2-Produktion in Deutschland	<1 TWh	19 TWh (0,6 Mio. t)	96 TWh (2,9 Mio. t)
(Erforderliche) Inländische Elektrolysekapazität³		5,4 GW	24,0 GW
H2-Importe nach Deutschland	<1 TWh	44 TWh (1,3 Mio. t)	169 TWh (5,1 Mio. t)

- Für wie realistisch erachten Sie die Prognosen in Bezug auf die H2-Nachfrage in 2030 und 2045 in Deutschland auf einer Skala von 1-5 (1 sehr unrealistisch, 5 sehr realistisch)? Falls Sie es als nicht realistisch einschätzen, wie hoch ist Ihre Prognose für die beiden Jahre? Begründen Sie kurz Ihre abweichende Einschätzung.
- Für wie realistisch erachten Sie die Prognosen im Hinblick auf die H2-Produktion in 2030 und 2045 in Deutschland auf einer Skala von 1-5 (1 sehr unrealistisch, 5 sehr realistisch)? Falls Sie es als nicht realistisch einschätzen, wie hoch ist Ihre Prognose für die beiden Jahre? Begründen Sie kurz Ihre abweichende Einschätzung.
- Korrespondierend und ergänzend: Für wie realistisch erachten Sie die Prognose zur Bandbreite der inländischen Elektrolysekapazitäten auf einer Skala von 1-5 (1 sehr unrealistisch, 5 sehr realistisch)? Falls Sie es als nicht realistisch einschätzen, wie hoch ist Ihre Prognose für die beiden Jahre? Begründen Sie kurz Ihre abweichende Einschätzung.
- Geben Sie für Deutschland 5 Bundesländer in einer Rangordnung an, in denen Elektrolysekapazitäten entstehen werden.
- Für wie realistisch auf einer Skala von 1-5 (1 sehr unrealistisch, 5 sehr realistisch) schätzen Sie ein, dass die Elektrolysekapazitäten an Standorten großer Verbraucher, wie bspw. Zement- oder Stahlindustrie, entstehen?

1 Quelle: Agora Energiewende: Klimaneutrales Deutschland 2045 (2021)

2 33,33 TWh entsprechen 1 Tonne Wasserstoff

3 Annahme gemäß Agora Energiewende: 3.500 Volllaststunden in 2030, 4.000 Volllaststunden in 2045

3. Wasserstoff Importe nach Deutschland

- Für wie realistisch erachten Sie die Prognosen im Hinblick auf Importe (siehe Tabelle 1) in 2030 und 2045 nach Deutschland auf einer Skala von 1-5 (1 sehr unrealistisch, 5 sehr realistisch)? Falls Sie es als nicht realistisch einschätzen, wie hoch ist Ihre Prognose für die beiden Jahre?
- Nennen Sie drei Regionen der Rangfolge nach, aus denen Deutschland 2030 und 2045 Wasserstoff beziehen wird. Geben Sie dazu den jeweiligen Transportweg qualitativ an.
- Nennen Sie fünf Länder der Rangfolge nach, aus denen Deutschland 2030 und 2045 Wasserstoff beziehen wird. Geben Sie dazu den Transportweg qualitativ an.

4. Sonstiges

- Nennen Sie fünf Hauptforderungen an die Politik im Hinblick auf die Wasserstoffversorgung.
- Gibt es noch wesentliche Punkte, die Sie ergänzen wollen?

Anhang 2: Interviewleitfaden und Fragebogen zur Sekundärstahlroute

1. Identifizierung von Einflussfaktoren

- Bitte ordnen Sie die folgenden Einflussfaktoren in Bezug auf die Implementierung einer „grünen“ Stahlproduktion auf der Sekundärroute (Elektroroute) anhand folgender Kriterien ein:
 - ▶ „Unsicherheit“ (hoch/niedrig)
 - ▶ „Einfluss“ (hoch/niedrig)
 - a. „Technologischer Pfad“ (Hilfsbrenner, Walzwerköfen, Rohre ...)
 - b. Förderungen Capex und Opex
 - c. Kostengünstige (wettbewerbsfähige) Verfügbarkeit von Strom
 - d. Kostengünstige (wettbewerbsfähige) Verfügbarkeit von Erdgas
 - e. Kostengünstige (wettbewerbsfähige) Verfügbarkeit von Wasserstoff
 - f. „Geschwindigkeit von Rahmenbedingungen außer Capex/Opex-Förderung“ (Genehmigungsverfahren ...)
 - g. Sonstige?

2. Prognose / Diskussion zu Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen

2.1. Szenarien zur Produktion von Rohstahl in Deutschland

Als Diskussionsgrundlage sollen zwei Szenarien dienen:

- „Produktionsneutrales-Szenario“
- „Agora-Energiewende-Szenario“

Tabelle 1			
Annahmen zu Produktionsmengen im Rahmen der zwei Szenarien			
Annahme	2019	2030	2045
Produktionsneutrales Szenario			
Rohstahlproduktion	40 Mio. t	40 Mio. t	40 Mio. t
davon Sekundärstahlproduktion	12 Mio. t	12 Mio. t	12 Mio. t
Agora-Energiewende-Szenario			
Rohstahlproduktion	40 Mio. t	40 Mio. t	40 Mio. t
davon Sekundärstahlproduktion	12 Mio. t	15,8 Mio. t	18,6 Mio. t

- Für wie realistisch erachten Sie die angegebenen Produktionsmengen im „produktionsneutralen Szenario“ auf einer Skala von 1-5 (1 sehr unrealistisch, 5 sehr realistisch)? Bitte begründen Sie Ihre Antwort.
- Für wie realistisch erachten Sie die angegebenen Produktionsmengen im „Agora-Energiewende-Szenario“ in Deutschland auf einer Skala von 1-5 (1 sehr unrealistisch, 5 sehr realistisch)? Bitte begründen Sie Ihre Antwort.
- Falls Sie beide Szenarien als unrealistisch einschätzen, wie hoch ist Ihre Prognose zur Höhe der Rohstahlproduktion über die Sekundärroute in den Jahren 2030 und 2045?
- Was sind die drei größten Gefahren der Rangfolge nach für einen Rückgang der Rohstahlproduktion über die Sekundärroute in Deutschland? Gibt es Besonderheiten für die neuen Bundesländer?
- Nennen Sie fünf Hauptforderungen an die Politik im Hinblick auf eine grüne Stahlproduktion. Gibt es besondere Forderungen im Hinblick auf die neuen Bundesländer?

2.2. Technologien

- Wo und in welcher Höhe entstehen entlang des Produktionsprozesses in der Sekundärstahlerzeugung und im Walzwerk CO₂-Emissionen?
- Welche Investitionen müssen getätigt werden, um CO₂-Emissionen zukünftig zu vermeiden?

2.3. Energieversorgung und -verwendung

- Wie viel Strom (in MWh/TWh) wird für die Rohstahlproduktion im Elektrolichtbogenofen benötigt (pro x t bspw. pro 1 Mio. t) und wie viel in Weiterverarbeitungsstufen (Walzwerk, Beschichtung...pro x t)?
- Wie hoch ist aktuell der Anteil von „grünem“ Strom (Strom aus erneuerbaren Energien) in ihrem Unternehmen (absolut oder in %)? Wie hoch wird der Anteil 2030 voraussichtlich sein?
- Wird auf dem Werksgelände des Elektrostahlwerks (bzw. „vor Ort“) von Ihrem Unternehmen oder einem Kooperationspartner Strom produziert?
 - ▶ Falls ja, in welcher Höhe (absolut und prozentual) und wofür wird dieser verwendet?
 - ▶ Falls nein, wird eine Eigenstromproduktion (ggf. in Zusammenarbeit mit einem Kooperationspartner) für die Zukunft angestrebt?
- Wie sicher ist aus Ihrer Sicht die (wettbewerbsfähige) Stromversorgung im Jahr 2030 auf einer Skala von 1-5 (1=sehr unsicher, 5=sehr sicher)?
- Wie sicher ist aus Ihrer Sicht die (wettbewerbsfähige) Wasserstoffversorgung im Jahr 2030 auf einer Skala von 1-5 (1=sehr unsicher, 5=sehr sicher)?
- Wie viel Erdgas (in MWh/TWh) wird für die Rohstahlproduktion im Elektrolichtbogenofen benötigt (pro x t bspw. pro 1 Mio. t) und wie viel in Weiterverarbeitungsstufen? Wie sieht hier der technologische Transformationspfad aus? Wie hoch wäre der Wasserstoffbedarf bei Umstellung der Brenner und Öfen?
- In welchem Umfang (in %) lassen sich bis 2030 Effizienzen im Energiebereich (Strom und Gas separat) heben ohne technologische Veränderungen?

2.4. Finanzielle Situation sowie Capex und Opex

- Wie hoch ist die EBIT-Marge vom Umsatz in ihrem Unternehmen in „üblichen“ Jahren oder alternativ im Jahr 2021 (in %)?
- Wie hoch ist der Anteil der Energiekosten in ihrem Unternehmen (absolut und in % des Umsatzes) im Jahr 2022?
 - ▶ Inwieweit konnten Energiekosten im Jahr 2022 an Kunden weitergegeben werden (absolut und in % des Umsatzes)?
 - ▶ Inwieweit konnten staatliche Maßnahmen Ihr Unternehmen im Jahr 2022 in Bezug auf Energiekosten entlasten (absolut und in % des Umsatzes)?

- Bitte schätzen Sie: Wie hoch ist der Anteil der Energiekosten in ihrem Unternehmen (absolut und in % des Umsatzes) in den Jahren 2030 und 2045?
- Bitte schätzen Sie: Wie hoch müsste der Industriestrompreis in Deutschland sein (in Cent pro kWh), damit die deutsche Sekundärstahlindustrie langfristig wettbewerbsfähig ist? Welche Maßnahmen müssen dafür ergriffen werden?
- Capex:
 - ▶ Bitte schätzen Sie: In welcher Höhe fallen Capex für die grüne Transformation in Ihrem Unternehmen an (in €/t)?
 - ▶ Für wie erforderlich erachten Sie staatliche Capex-Förderungen auf einer Skala von 1-5 (1 nicht erforderlich, 5 dringend erforderlich)? Falls Sie es als erforderlich ansehen: In welcher Höhe werden staatliche Förderungen für Capex benötigt?
- Opex:
 - ▶ Bitte schätzen Sie: In welcher Höhe würden Opex für „grünen“ Sekundärstahl die Opex in Ihrem Unternehmen per heute übersteigen (in €/t oder %)?
 - ▶ Für wie erforderlich erachten Sie staatliche Opex-Förderungen auf einer Skala von 1-5 (1 nicht erforderlich, 5 dringend erforderlich)? Falls Sie es als erforderlich ansehen: In welcher Höhe werden staatliche Förderungen für Opex benötigt?
- Gibt es im Hinblick auf Capex-/Opex-Förderungen Besonderheiten in den „neuen Bundesländern“?

3. Auswirkungen auf Beschäftigung und Qualifikationsanforderungen an die Mitarbeitenden

- Ist vor dem Hintergrund der grünen Transformation mit direkten Beschäftigungseffekten zu rechnen (bspw. Auf- oder Abbau von Personal in bestimmten Unternehmensbereichen oder Anlagen)? Wenn ja, welche Bereiche sind betroffen?
- Wie sind die personalwirtschaftlichen Herausforderungen des grünen Wandels (z. B. Mitarbeitergewinnung, Fachkräftemangel, Corporate Branding ...)? Gibt es Besonderheiten in den neuen Bundesländern?
- In welchen Unternehmensbereichen müssen im Rahmen der grünen Transformation Qualifizierungsmaßnahmen für die Mitarbeitenden ergriffen werden? Gibt es Besonderheiten in den neuen Bundesländern?
- Wie viele Mitarbeitende (FTE) müssen transformationsbedingt in Ihrem Unternehmen qualifiziert werden (wenn möglich entlang der Unternehmensbereiche) und wie hoch ist der Zeitaufwand?

Stiftung Neue Länder

Die Stiftung zur Förderung arbeitsmarktpolitischer Vorhaben in den neuen Bundesländern, kurz **Stiftung Neue Länder (SNL)**, ist eine nicht rechtsfähige Stiftung in Verwaltung der Otto Brenner Stiftung.

Sie unterstützt Vorhaben in den neuen Bundesländern mit folgenden Schwerpunkten:

- Projekte zur Reintegration von Langzeitarbeitslosen auf den Arbeitsmarkt.
- Projekte zur Berufsorientierung von Schülern.
- Projekte zur Vermeidung von Ausbildungsabbrüchen/Begleitung von Auszubildenden.
- Studien zu den Themen demographischer Wandel und Fachkräftesicherung.
- Studien zu arbeitsmarktpolitischen Aspekten von Transformationsprozessen.

Ausgewählte Publikationen der **Stiftung Neue Länder**



zusammengetragen und aufgeschrieben von Rohnstock Biografien
Arbeitslos, aber nicht wehrlos!
Der Verein Neue Arbeit Chemnitz: Engagiert für die Menschen in Sachsen



Holle Grünert, Christina Buchwald
Integration von Langzeitarbeitslosen – gemeinsam aktiv
Ergebnisse aus der wissenschaftlichen Begleitung eines Modellprojektes im Landkreis Leipzig



Alrun Fischer, Sissy Morgenroth
Strukturpolitische Instrumente der Nachwendzeit
Schlussfolgerungen für die Gestaltung von Transformation heute



Antje Blöcker, Klaus Dörre, Madeleine Holzschuh (Hrsg.)
Auto- und Zulieferindustrie in der Transformation
Beschäftigtenperspektiven aus fünf Bundesländern



Katrin Nicke, Gregor Holst u. a.
Batterierecycling als Beschäftigungsperspektive für die Lausitz
Ansätze einer arbeits- und beschäftigungsorientierten Regionalentwicklungsstrategie

Weitere Infos zur Stiftung Neue Länder (SNL), den SNL-Projekten und den SNL-Publikationen (inkl. Bestellung bzw. Download) unter:

<https://www.otto-brenner-stiftung.de/stiftung-neue-laender-snl/>

André Küster Simic, Janek Schönfeldt

Transformation der Sekundärstahlroute

Technische, wirtschaftliche und personalwirtschaftliche Herausforderungen mit Fokus auf die neuen Bundesländer