



Grüner Stahl

Die Wasserstoffrevolution der Stahlindustrie

Eckpunktepapier

Juni 2021

A. Stahlindustrie emissionsfrei transformieren, grüne Wasserstoffindustrie aufbauen

Der Stahl der Zukunft wird mit grünem Wasserstoff produziert. Emissionsfreie Wasserstofftechnologien, innovative Produktionsverfahren und neue Wertschöpfungsketten sind Voraussetzungen für eine erfolgreiche Transformation der Stahlindustrie und sollen gleichzeitig den Aufbau einer grünen Wasserstoffindustrie in Deutschland ermöglichen. Eine grüne Stahlproduktion stärkt die Wettbewerbsfähigkeit und die Führungsrolle des Industriestandortes Deutschland in einer klimaneutralen Welt und sichert qualifizierte Industriearbeitsplätze.

Die deutsche Stahlindustrie ist weltweit führend in umweltschonenden Innovationen und Energieeffizienz und konnte ihre CO₂-Emissionen seit 1990 bereits um rund 23 % reduzieren. Die Stahlbranche will einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten und mit Hilfe von grünem Wasserstoff bis zur Mitte des Jahrhunderts nahezu emissionsfreie Stähle produzieren. Die Reform des Klimaschutzgesetzes zur anspruchsvollen CO₂-Emissionsminderung um 65 % bis 2030 gegenüber 1990 und zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2045 stellt die Stahlindustrie in Deutschland vor enorme Herausforderungen, ihre grüne Transformation zu beschleunigen.

Die heute genutzten konventionellen Verfahren nähern sich bei der CO₂-Reduzierung ihren theoretischen Optima. Für die weitere gravierende Senkung der Treibhausgasemissionen sind disruptive kostenintensive Technologiewechsel, ein Umstieg von Kokskohle auf Wasserstoff und übergangsweise Erdgas sowie ein Ausbau der Kreislaufwirtschaft unumgänglich. Vor allem muss die Hochofen-Route durch die wasserstoffbasierte DRI-Produktionsroute ersetzt werden.¹

Dabei wird der Sauerstoffanteil aus den Eisenerzen mithilfe von Wasserstoff in Direktreduktionsanlagen reduziert und der erzeugte Eisenschwamm (DRI²) anschließend zu Stahl weiterverarbeitet. Wird ausschließlich grüner Wasserstoff eingesetzt, lassen sich die CO₂-Emissionen nachhaltig nahezu vollständig auf Null senken.³⁴

Die Transformation des Stahlsektors kann nicht isoliert erfolgen. Neben den kapitalintensiven Investitionen in Technologien und Produktionsanlagen müssen auch die erneuerbaren Energien, die grüne Wasserstoffproduktion, die Stromnetze und die

¹ WV-Stahl, Fakten zur Stahlindustrie, 2019; 70 % des Rohstahls (29,7 Mio. t) wurden 2018 über die Hochofen-Konverter-Route erzeugt

² Direct Reduced Iron

³ Grüner oder erneuerbarer Wasserstoff ist Wasserstoff, der mit Strom aus erneuerbaren Energien gem. § 3 (21) EEG produziert wird.

⁴ Der Stahl kann langfristig nur dann als grün betrachtet werden, wenn der im DRI-Prozess verwendete Wasserstoff und der in anschließenden Verarbeitungsprozessen zu Rohstahl verwendete Strom erneuerbar sind.

Gasinfrastruktur in einem immensen Umfang und mit beschleunigtem Tempo entsprechend ausgebaut oder umgebaut werden.

Damit die ambitionierten Emissionsreduktionsziele erreicht werden können, muss jetzt gehandelt werden. Die heute getroffenen Investitionsentscheidungen für die Instandhaltung der bestehenden Hochöfen haben aufgrund der langen Reinvestitionszyklen von bis zu 20 Jahren Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen der nächsten Jahrzehnte.

Die erforderlichen klima- und energiepolitischen Rahmenbedingungen sowie wirksame Maßnahmen auf nationaler und europäischer Ebene zur Sicherstellung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der Stahlbranche und zum Aufbau einer grünen Wasserstoffindustrie müssen zügig umgesetzt werden.

Dieses Eckpunktepapier beschreibt die wesentlichen Faktoren für die radikale Transformation zu einer nahezu emissionsfreien Stahlproduktion auf Basis von grünem Wasserstoff.

Um die Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen, müssen die folgenden Voraussetzungen dringend geschaffen werden:

- Sicherer und wirtschaftlicher Zugang zu erneuerbarem Strom und grünem Wasserstoff

Flexible Konzepte für die Beschaffung von erneuerbarem Strom und grünem Wasserstoff, die Befreiung von Endverbraucherabgaben für erneuerbaren Strom für die Wasserstoffproduktion und ein einheitliches Zertifizierungssystem für grünen bzw. klimaneutralen Wasserstoff werden den Markthochlauf unterstützen.

Um den Markthochlauf von grünem Wasserstoff zu beschleunigen, hat die Bundesregierung per Verordnung bereits erste Anforderungen an die grüne Wasserstoffproduktion mittels Elektrolyse und die Befreiung des eingesetzten Stroms von der EEG-Umlage definiert. Dieser Rechtsrahmen muss jedoch langfristig abgesichert werden, um die Voraussetzungen für die notwendige Investitionssicherheit zu schaffen.

Bis die notwendigen EE-Anlagen und die Infrastruktur für die Produktion und den Transport ausreichender Mengen an grünem Wasserstoff ausgebaut sind, ist es wichtig, dass der grüne Wasserstoff den Sektoren zur Verfügung steht, in denen eine direkte Nutzung erneuerbaren Stroms nicht möglich ist, keine wirkliche Alternative zur Wasserstoffnutzung für die Erreichung der Klimaneutralität besteht und in denen der Einsatz von Wasserstoff die größte Hebelwirkung für die CO₂-Vermeidung besitzt. Der Einsatz von einer Tonne grünem Wasserstoff in der Stahlproduktion spart 26 t CO₂ im Vergleich zur klassischen Hochofenroute.

Während des Ausbaus der grünen Wasserstoffinfrastruktur müssen Übergangslösungen wie der Einsatz von Erdgas oder Erdgas/Wasserstoff-Beimischungen in der Stahlproduktion akzeptiert werden.

- Hochskalierung der Schlüsseltechnologien und konsequente Einführung der emissionsfreien Wertschöpfungskette zur wasserstoffbasierten Stahlerzeugung

Zur Revolutionierung der Stahlerzeugung durch grünen Wasserstoff ist der Aufbau umfangreicher Kapazitäten zur Wasserstofferzeugung, zum Wasserstofftransport und zur Wasserstoffspeicherung sowie von Direktreduktionsanlagen (DRP) und Aggregaten zum Einschmelzen des erzeugten DRI erforderlich. Zur Deckung des zusätzlichen Strombedarfs sind ein entsprechend schneller Ausbau der erneuerbaren Energien und Stromnetze in Deutschland sowie die Etablierung von Wasserstoff-Energiepartnerschaften für den Import von erneuerbarer Energie bzw. grünem Wasserstoff notwendig.

Insbesondere die Hochskalierung von hydrogen-ready Technologien für die Stahlproduktion benötigt eine unverzügliche und langfristig verlässliche haushaltsunabhängige finanzielle Unterstützung, um die technologischen Risiken für einzelne Unternehmen zu minimieren.

Alle Komponenten und technologischen Lösungen der innovativen Wertschöpfungskette zur emissionsarmen Stahlerzeugung mit grünem Wasserstoff sind schrittweise und konsequent einzuführen, wobei in der Übergangsphase sichergestellt werden muss, dass die eingesetzte Technik und Ausrüstung hydrogen-ready sind.

- Schaffung von Anreizen zur emissionsarmen Stahlherstellung und Aufbau von Leitmärkten für grünen Stahl

Als Voraussetzung der stufenweise erfolgenden Transformation und der Einführung klimafreundlicher Innovationen im Stahlsektor sollen sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebskosten (z. B. über Instrumente wie Carbon Contracts for Difference) so lange gefördert werden, bis durch die Schaffung geeigneter Regulierungen eine marktwirtschaftliche Nachfrage nach grünem Stahl entsteht. Die Nutzung bestehender finanzieller Förderinstrumente wie nationaler Förderprogramme, Horizont Europa, Partnerschaften, IPCEI und der ETS-Innovationsfonds sollen bestmöglich auf die finanzielle Unterstützung der Transformation des Stahlsektors ausgerichtet werden. Um Klimaneutralität bis 2045 zu ermöglichen, sollen zusätzliche Fördermittel zur Verfügung gestellt und gezielte Förderprogramme konzipiert werden. Dabei muss die kostenlose Zuteilung von Emissionszertifikaten im EU-ETS in der Einführungsphase des geplanten CO₂-Grenzausgleiches bestehen bleiben und erst nachfolgend schrittweise abgebaut werden.

Zudem könnte die Einführung einer verpflichtenden stufenweise ansteigenden Quote für grünen Stahl in den Verbrauchssektoren oder die Festlegung von Standards für in

Verkehr gebrachte Stähle eine vorhersehbare Nachfrage schaffen und die Entwicklung von Leitmärkten vorantreiben.

Für den Markthochlauf müssen Mechanismen zur Vermeidung von Investitionsrisiken und kostengünstige Finanzmittel für die sektorenübergreifende Dekarbonisierung zur Verfügung gestellt werden.

- Gestaltung einer fairen internationalen Wettbewerbsumgebung

Die Wettbewerbsfähigkeit eines CO₂-armen Stahlsektors muss sowohl in der Markteinführungsphase als auch in der Implementierungsphase aufrechterhalten werden. Während der Transformation muss weiterhin die konventionelle Stahlproduktionsroute weiterbetrieben werden können, da die Transformation stufenweise über die nächsten Jahrzehnte erfolgen wird. Darüber hinaus muss die CO₂-arme Stahlherstellung gegenüber Wettbewerbern bestehen können, die nicht nach diesen Standards produzieren und somit wirtschaftliche Vorteile haben. Der bestehende Carbon-Leakage-Schutz muss in vollem Umfang erhalten bleiben.

Um die wirtschaftlichen Nachteile der voranschreitenden Dekarbonisierung der europäischen Industrie im globalen Wettbewerb zu minimieren, muss die EU eine angemessene unterstützende industrie-, handels- und außenwirtschaftspolitische Strategie entwickeln. Die EU muss sicherstellen, dass importierter Stahl und importierte Stahlprodukte ebenfalls emissionsfrei und mit vergleichbaren Umwelt- und Arbeitsstandards produziert worden sind oder dementsprechend, bis mindestens zur wettbewerblichen Gleichstellung mit den emissionsarm produzierten Stahlprodukten, monetär belastet werden. Ein solcher Grenzausgleich darf jedoch das bewährte Instrument des Carbon-Leakage-Schutzes nur ergänzen, nicht jedoch ersetzen.

B. Herausforderungen und Chancen für die Stahlindustrie

Die Weltgemeinschaft hat sich 2015 im Übereinkommen von Paris dazu bekannt, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C und möglichst auf 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Die EU und Deutschland haben sich zunächst das ambitionierte Klimaschutzziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 bis 2050 um 80 bis 95 % zu reduzieren.

Mit dem Europäischen Green Deal vom Dezember 2019 hat die EU-Kommission einen Fahrplan vorgelegt, um bis 2050 Klimaneutralität in Europa zu erreichen und dabei das Emissionsminderungsziel für 2030 zu verschärfen. Im Dezember 2020 haben sich die EU-Staats- und Regierungschefs darauf verständigt, die EU-internen Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 % gegenüber 1990 zu senken.

Die Bundesregierung hat den Weg zur Klimaneutralität im Klimaschutzgesetz 2019 vorgezeichnet. In Reaktion auf das Urteil des Bundesverfassungsgerichtes und mit Blick auf das neue europäische Klimaziel 2030 hat die Bundesregierung ein Klimaschutzgesetz 2021 vorgelegt, in dem das THG-Minderungsziel für 2030 auf mindestens 65 % und das Minderungsziel für 2040 auf mindestens 88 % angehoben werden sowie die Klimaneutralität bis 2045 festgelegt wird. Auch die Sektorenziele werden anspruchsvoll angepasst.

Die deutliche Erhöhung der Klimaziele und die Verkürzung der Zeitspanne zur Klimaneutralität treiben die Stahlindustrie zur Beschleunigung ihrer grünen Transformation an, um ihre globale Position als führender Technologielieferant zum Erreichen der Klimaneutralität zu stärken.

Weitere Treiber für die emissionsfreie Transformation der Stahlindustrie sind die veränderten Kundenanforderungen und die steigende Nachfrage nach emissionsarm produzierten Stahlprodukten sowie das zunehmende Interesse von Investoren und der Öffentlichkeit an nachhaltigen Gütern.

Die Stahlindustrie, die für rund 6 % der CO₂-Emissionen in Deutschland verantwortlich ist, steht vor großen Herausforderungen, ihren Beitrag zum Klimaschutz zu leisten und gleichzeitig ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Eine spezifische Herausforderung für eine klimaneutrale Stahlindustrie besteht in den hohen Lebensdauern der kapitalintensiven Produktionsanlagen von oft mehr als 50 Jahren mit mehreren Investitionszyklen von ca. jeweils 20 Jahren für die Neuzustellung von Hochöfen. Eine weitere Besonderheit der Stahlproduktion ist, dass weite Teile der Emissionen aus Prozessemissionen bestehen, die bei den konventionellen Produktionsverfahren nicht vermieden oder weiter reduziert werden können.

Um eine weitestgehende Reduzierung der CO₂-Emissionen zu erreichen, ist eine Transformation der Primärstahlerzeugung unerlässlich, auch wenn zukünftig die Sekundärstahlerzeugung an Bedeutung gewinnen wird und die Potentiale der Kreislaufwirtschaft erschlossen werden. Die Stahlindustrie arbeitet hier vor allem an

Prozessen, bei denen, anders als heute, Eisenerze mit Wasserstoff statt mit Kohlenstoff bzw. Kohlenstoffmonoxid reduziert und anschließend zu Stahl weiterverarbeitet werden (Carbon Direct Avoidance, CDA). Aufgrund der nun schneller erfolgenden Transformation zur Klimaneutralität bis 2045 soll der Einsatz des CCU-Pfades (Carbon Capture and Utilisation) minimiert werden. Des Weiteren dürfen Übergangslösungen wie der Einsatz von Erdgas zur Direktreduktion nur für einen begrenzten Zeitraum genutzt werden, sofern die Direktreduktionsanlagen hydrogen-ready sind. Das Einblasen von klimaneutralem Wasserstoff in bestehende Hochöfen kann ebenfalls eine Übergangslösung zur unmittelbaren CO₂-Reduktion im Anlagenbestand sein.

Das Potenzial zur CO₂-Minderung bei der Stahlherstellung über die Hochofen-Route ist in Deutschland bereits technisch nahezu ausgereizt. In der Stahlindustrie sind signifikante CO₂-Minderungen fast nur noch durch radikale Veränderungen der Produktionsrouten zu erreichen. Gleichzeitig verursachen effektiv wirkende CO₂-Preise im EU-ETS Zusatzkosten, die die Branche durch weitere klassische THG-Einsparmaßnahmen nicht kompensieren kann, und die die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber außereuropäischen Wettbewerbern verschlechtern und das Carbon-Leakage-Risiko weiter vergrößern.⁵

Die Stahlindustrie in Deutschland (Roheisen und Stahl) emittierte im Jahr 2019 rund 58 Mio. t CO₂.⁶

Bis 2030 müssen zum Erhalt der aktuellen Produktionsmengen massive Investitionen in die Instandhaltung der Hochöfen vorgenommen werden. Hochöfen werden in Europa nicht mehr neu errichtet, aber eine Instandhaltung (Neuzustellung) für mehr als 100 Mio. € je Hochofen ist spätestens alle 20 Jahre erforderlich. Schätzungen zufolge erreichen bis 2030 rund 50 % der gesamten Primärerzeugungskapazität der Hochöfen, mit einer Jahresproduktion von zusammen ca. 18 Mio. t Roheisen in Deutschland, das Ende ihrer Hochofenreise.⁷ Vor diesem Hintergrund steht die deutsche Stahlindustrie in den nächsten Jahren vor Investitionsentscheidungen, die ihr wirtschaftliches Schicksal und die CO₂-Emissionen für die nächsten 20 Jahre determinieren.

Durch die Einführung innovativer Technologien und neuer Verfahren hat die deutsche Stahlindustrie jetzt die Chance, nachhaltige, gut bezahlte Industriearbeitsplätze in Deutschland sowie die weltweite Technologieführerschaft zu erhalten. Sollte beim anstehenden Reinvestitionszyklus, aufgrund fehlender industriepolitischer Strategien und regulatorischer Rahmenbedingungen, wieder ausschließlich in konventionelle Technologien investiert werden, drohen langfristig frühzeitige Schließungen von

⁵ BCG Klimapfade für Deutschland, 2019

⁶ VET-Bericht 2019

⁷ Agora Energiewende, Klimaneutrale Industrie, Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement, 2019

Produktionsstätten, hohe Kosten für Unternehmen und damit verbundene Arbeitsplatzverluste.

Aus diesen Gründen muss in Zukunft erheblich in klimaneutrale Technologien und Anlagen für eine nahezu emissionsfreie Stahlproduktion investiert werden, oder zumindest in solche, die hydrogen-ready sind.

Deutschland und die EU können und müssen eine Vorreiterrolle einnehmen und beweisen, dass eine Dekarbonisierung der Stahlproduktion technisch, wirtschaftlich und nachhaltig möglich ist. Nur wenn es gelingt, die Transformation der Stahlindustrie in Deutschland und der EU mit dem Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit zu verbinden, wird ein solcher Wandel auch zügig zu Nachahmern in anderen großen stahlerzeugenden Ländern führen.

C. Schlüsseltechnologie: Direktreduktion mit grünem Wasserstoff

Eine nahezu emissionsarme Stahlproduktion ist nur durch den Einsatz von grünem Wasserstoff in innovativen Produktionsprozessen möglich.

Zur Verminderung bzw. Vermeidung von CO₂-Emissionen können Eisenerze, statt im Hochofen (auf Basis von Koks bzw. Kohle), in einer sogenannten Direktreduktionsanlage mit grünem Wasserstoff als Reduktionsgas zu Eisenschwamm (Direct Reduced Iron, DRI) reduziert und anschließend unter Verwendung von erneuerbarem Strom zu Rohstahl weiterverarbeitet werden (Carbon Direct Avoidance, CDA). Die notwendige Menge an grünem Wasserstoff kann dabei sowohl direkt am Standort hergestellt oder über ein Pipeline-Netz bereitgestellt werden.

Die Direktreduktion von Eisenerzen mit Erdgas, dessen Hauptbestandteil Methan aus den Reduktionsmitteln Kohlenstoff und Wasserstoff besteht, Erdgas/Wasserstoff-Beimischungen und perspektivisch steigenden Anteilen an grünem Wasserstoff ist als Brückenlösung ab 2025 bis 2030 großtechnisch verfügbar. Wird ausschließlich grüner Wasserstoff eingesetzt, ist eine CO₂-Minderung von ca. 95 % gegenüber den CO₂-Emissionen der Hochofenroute möglich.

CO₂-Emissionen entstehen bei der Produktion über die DRI-EAF-Produktionsroute nur durch den Elektrodenabbrand sowie den Einsatz von Schäum-/Blaskohle, solange der benötigte Wasserstoff sowie der genutzte Strom erneuerbar erzeugt worden sind.

Im Vergleich zur Hochofenroute, bei der etwa 1,7 t CO₂/t Rohstahl emittiert werden, erzeugt die wasserstoffbasierte Direktreduktion keinerlei Emissionen, lediglich die anschließende Weiterverarbeitung im Schmelzaggreat erzeugt aus den genannten Gründen etwa 30 kg CO₂/t Rohstahl.⁸⁹ Hochgerechnet auf 29,7 Mio. t Rohstahl, die über die Hochofen-Route erzeugt werden, könnten die Emissionen der Stahlherstellung somit auf etwa 0,9 Mio. t CO₂ gesenkt werden.¹⁰¹¹

Die Stahlindustrie ist ein integraler Bestandteil zahlreicher Wertschöpfungsketten. Insbesondere die Autoindustrie, die Bauindustrie und der Maschinenbau sind in hohem Maße stahlintensiv. Eine Dekarbonisierung der industriellen Wertschöpfungsketten kann nur gelingen, wenn der Basiswerkstoff Stahl nahezu emissionsfrei produziert worden ist.

Laut der Nationalen Wasserstoffstrategie muss die Dekarbonisierung emissionsintensiver Industrieprozesse, insbesondere in der Stahl- und Chemieindustrie, mittels Wasserstoff und wasserstoffbasierter Rohstoffe aus PtX-Verfahren vorangebracht werden. Schätzungen zufolge würde zum Beispiel die Transformation der heimischen Stahlproduktion, hin zu einer treibhausgasneutralen

⁸ Agora Energiewende, Klimaneutrale Industrie, 2019

⁹ Marc Hölling, Matthias Weng, Sebastian Gellert 2017

¹⁰ WV-Stahl, Fakten zur Stahlindustrie 2019, 2020

¹¹ Eigene Berechnungen: 0,03 t CO₂/t Rohstahl x 29,7 Mio. t Rohstahl = 0,891 Mio. t CO₂

Produktion, bis 2050 über 80 TWh/a Wasserstoff bzw. durchschnittlich 2,2 Mio. t H₂ pro Jahr benötigen. Für dessen Produktion wird, je nach erneuerbaren Energiedargebot, eine Elektrolyseleistung von durchschnittlich ca. 28 GW benötigt.^{12,13} Die notwendige Elektrolysekapazität lässt sich weiter verringern, würde man teilweise (bis zu 40 %) auf die Hochtemperaturelektrolyse setzen, die, bezogen auf den LHV von Wasserstoff, einen Wirkungsgrad von >80 % aufweist.

Mit dem Handlungskonzept Stahl (2020) hat die Bundesregierung zum ersten Mal ein industriepolitisches Gesamtkonzept für den Stahlsektor vorgelegt, das einen umfassenden Rahmen für die Dekarbonisierung einer Branche setzt und die dafür erforderlichen Maßnahmen systematisch aufzählt.

Nun müssen den Worten und Absichtserklärungen konkrete Handlungen folgen. Die nächste Legislaturperiode wird bestimmen, wie Deutschland das neugesetzte Ziel der Klimaneutralität bis 2045 erreichen soll.

Als Maßnahme zur Beschleunigung des Markthochlaufs von grünem Wasserstoff hat die Bundesregierung erste Anforderungen an die Produktion von grünem Wasserstoff und dessen Befreiung von bzw. Reduzierung der EEG-Umlage definiert und zur Abstimmung an den Bundestag weitergeleitet.

Intelligente politische Instrumente werden benötigt, um die deutsche Wirtschaft zu modernisieren und sie nachhaltig und widerstandsfähig zu machen.

Der Weg zur Klimaneutralität ist eine Herausforderung für die Industrie, aber mit sektorübergreifender Zusammenarbeit und unterstützenden politischen Rahmenbedingungen zur Skalierung der Technologien und zur Sicherstellung des großflächigen Ausbaus der erneuerbaren Energieinfrastrukturen, kann die Transformation zur nahezu emissionsfreien, wasserstoffbasierten Stahlerzeugung vollzogen werden und einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der nationalen und EU-Klimaziele leisten.

¹² Annahme Wirkungsgrad Elektrolyse 65 %, 4000 Vollaststunden und unterer Heizwert (LHV) H₂ von 33,33 kWh / kg H₂:

$$\text{Wirkungsgrad } \eta = q_{\text{chem}} / q_{\text{el}} \rightarrow q_{\text{el}} = q_{\text{chem}} / \eta = 33,33 \text{ kWh}_{\text{H}_2} / 0,65 = 51,2 \text{ kWh}_{\text{el}} / \text{kg H}_2$$

Dies entspricht 0,0512 GWh_{el} / t H₂ bzw. 122880 GWh_{el} / 2,4 Mio. t H₂ (80 TWh und LHV)

$$P = W / t \rightarrow 122880 \text{ GWh}_{\text{el}} / 4000 \text{ h} = \mathbf{30,72 \text{ GW}}$$

$$\text{Annahme HHV und 80 TWh für 2,0 Mio. t H}_2: P = W / t \rightarrow 102400 \text{ GWh}_{\text{el}} / 4000 \text{ h} = \mathbf{25,60 \text{ GW}}$$

¹³ Durchschnittlicher Wasserstoffbedarf $((2,4 \text{ Mio. t} + 2,0 \text{ Mio. t}) / 2) = \mathbf{2,2 \text{ Mio. t}}$
Durchschnittliche Elektrolyseleistung $((30,72 \text{ GW} + 25,60 \text{ GW}) / 2) = \mathbf{28,16 \text{ GW}}$

D. Maßnahmen zum Markthochlauf von grünem Stahl

Die Stahlindustrie in Deutschland wird für eine CO₂-arme Primärstahlerzeugung auf Basis von grünem Wasserstoff, allein im Bereich der Rohstahlerzeugung, Investitionen im Umfang von rund 30 Mrd. Euro vornehmen müssen. Hinzu kommt die Mehrbelastung für die höheren operativen Kosten, insbesondere durch die zukünftige Energie- und Rohstoffversorgung der Stahlherstellungsprozesse.

Schätzungen zufolge beträgt der jährliche Strombedarf für eine nahezu emissionsfreie Stahlproduktion ca. 130 TWh und muss vollständig aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden.

Somit würde ein großer Teil des aktuell in Deutschland produzierten CO₂-freien Stroms benötigt, um mindestens 2,2 Mio. t grünen Wasserstoff bereitzustellen. Daher ist frühzeitig neben einem deutlichen Ausbau der erneuerbaren Energien und der Wasserstoffkapazitäten in Deutschland eine entsprechende Importstrategie für kostengünstigen grünen Wasserstoff erforderlich.

In den nächsten zehn Jahren wird sich ein globaler und europäischer Wasserstoffmarkt etablieren. Auf diesem Markt wird mit großer Wahrscheinlichkeit auch klimaneutraler Wasserstoff gehandelt werden. Aufgrund der engen Einbindung Deutschlands in die europäische Energieversorgungsinfrastruktur wird daher in der Übergangsphase auch klimaneutraler Wasserstoff in Deutschland eingesetzt werden.¹⁴

Neben dem umfassenden Ausbau der erneuerbaren Energien und der Schaffung von Elektrolysekapazitäten müssen die Strom- und Gasnetze entsprechend ausgebaut bzw. umgerüstet und notwendige Infrastruktur für den Transport von Wasserstoff bereitgestellt werden.

Nach derzeitigem Verständnis der HySteel-Cluster-Mitglieder sind die folgenden mittel- und langfristigen Maßnahmen für eine nahezu emissionsfreie Stahlproduktion auf Basis von grünem Wasserstoff im Jahr 2045 von Bedeutung:

1. Sicherer und wirtschaftlicher Zugang zu erneuerbarem Strom und grünem Wasserstoff

Durch die Umstellung auf die H₂-DRI Route wird der direkte und indirekte Strombedarf der Stahlindustrie deutlich steigen. Der Zugang zu ausreichend erneuerbaren Energieträgern wie Strom und daraus produzierter Wasserstoff, die zu wirtschaftlich tragfähigen Preisen verfügbar sein müssen, muss gewährleistet sein. Daher ist es erforderlich, den Ausbau der erneuerbaren Energien zu beschleunigen und dabei auch die Planung, die Genehmigung und die Umsetzungsverfahren auf allen staatlichen Ebenen für klimafreundliche Infrastruktur zu ermöglichen.

¹⁴ BMWi, Handlungskonzept Stahl, 2020

1.1 Strom aus zusätzlichen Erneuerbare-Energien-Anlagen

Eine zentrale Rahmenbedingung für die Sicherung der benötigten Mengen an grünem Wasserstoff ist die Verfügbarkeit des dafür erforderlichen zusätzlichen regenerativen Stroms, durch einen entsprechenden zusätzlichen Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und der notwendigen Flexibilitätsoptionen. Neben den Kapitalkosten für den Elektrolyseur bilden die Kosten für den Strombezug den größten Anteil an den Gesamtkosten der elektrochemischen Erzeugung von grünem Wasserstoff.

Daher ist die Entlastung von Letztverbraucherabgaben (EEG-Umlage, Offshore-Abgabe etc.) für erneuerbaren Strom zur grünen Wasserstoffherstellung eine wichtige Bedingung zum Markthochlauf des grünen Wasserstoffs. Die Bundesregierung hat per Verordnung die Anforderungen an den Strombezug zur Produktion von Wasserstoff und dessen gesetzliche Befreiung von der Zahlung der EEG-Umlage formuliert.

Dabei sind zwei alternative Fallkonstellationen vorgesehen. Zum einen soll es eine vollständige EEG-Umlagebefreiung für die Herstellung von grünem Wasserstoff durch Elektrolyse geben. Voraussetzung ist, dass nur Strom aus erneuerbaren Quellen eingesetzt wird, der nicht durch das EEG gefördert wird. Allerdings gelten die Anforderungen zur Produktion von grünem Wasserstoff nicht gleichermaßen für die Herstellung von Wasserstoff in stromkostenintensiven Unternehmen. Für solche Unternehmen ist die zu zahlende EEG-Umlage auf den hergestellten Wasserstoff, unabhängig vom Primärenergieträger, auf 15 % begrenzt.

Die Festlegung von Kriterien für den erneuerbaren Strom zur Produktion von grünem Wasserstoff sowie das gleichzeitige Fehlen solcher Kriterien für die EEG-Umlagebegrenzung für stromkostenintensive Unternehmen stellen erhebliche Wettbewerbsnachteile für die Herstellung von grünem Wasserstoff dar.

Daher sollen die parallel laufende Privilegierung und die doppelten Standards abgeschafft werden, um klare Investitionsanreize für die Produktion von grünem Wasserstoff zu setzen.

1.2 Einführung eines Zertifizierungssystems für die Herkunft von grünem Wasserstoff

Angesichts des entstehenden Wasserstoffmarktes muss die EU ein harmonisiertes und eindeutiges System von Wasserstoff-Herkunftsnachweisen entwickeln, das den Handel unter Beachtung des THG-Fußabdrucks der Wasserstoffproduktion ermöglicht. Ein Herkunftsnachweis muss die Primärenergiequellen und den THG-Fußabdruck des produzierten Wasserstoffs sowie weitere Merkmale ausweisen. Ein zuverlässiges und robustes System von Herkunftsnachweisen setzt voraus, dass die Herkunftsnachweise verfolgbar, nachvollziehbar, handelbar, transportierbar und letztlich auch vertrauenswürdig sind.

Ein zusätzliches Element, das zu berücksichtigen ist, ist die internationale Regelung für Importe und Exporte von Wasserstoff. Deutschland und die EU werden zunehmend auf Importe von Wasserstoff und Wasserstoffderivaten angewiesen sein, was ein weltweit funktionierendes System zur Bewertung des Kohlenstoffgehalts der Moleküle und der Nachhaltigkeitskriterien erforderlich macht. Die Herkunftsnachweise können dazu dienen, die Nachhaltigkeit von importiertem Wasserstoff oder Wasserstoffprodukten zu zertifizieren.

1.3 Grüner Wasserstoff zur Versorgung der Industriestandorte

Für die Versorgung der Industriestandorte mit emissionsarmen oder gänzlich emissionsfreien gasförmigen Energieträgern muss rechtzeitig die Belieferung (Transport) und die langfristige Speicherung großer Mengen grünen Wasserstoffs über das bestehende Erdgasnetz und die Gasnetzinfrastrukturen ermöglicht werden. Diese Maßnahmen müssen im Vorgriff auf die tatsächliche Nachfrage ergriffen werden, damit die Stahlindustrie den Umbau ihrer Stahlproduktionstechnologien veranlassen kann.¹⁵

Daher muss die Versorgung mit dem für die Stahlproduktion benötigten Wasserstoff über reine Wasserstoffnetze ermöglicht und angereizt werden. Hierzu sollte kosteneffizient vorrangig eine Umstellung bestehender Erdgasleitungen erfolgen, wo immer möglich und der Neubau nur, wenn er nötig ist. Die physische Beimischung von Wasserstoff ins Erdgasnetz ist demgegenüber nachrangig.

Entscheidend ist die schnelle Schaffung eines rechtssicheren regulatorischen Rahmens, der First Mover nicht durch zu hohe Risiken und prohibitive Netzkosten bestraft. Es müssen schnell europäisch einheitliche Regelungen für regulierten Netzzugang geschaffen werden. Insel-/Kombinationslösungen aus reguliertem und verhandeltem Zugang dürfen befristete Übergangslösungen sein.

Die Wasserstoffspeicher im industriellen Maßstab sind entscheidend für einen effizienten Betrieb der Stahlwerke. Dies gilt insbesondere für die stetige Zunahme des Anteils der volatilen erneuerbaren Stromerzeugung am deutschen Energiemix, da der Betrieb der Stahlwerke auf eine kontinuierliche witterungsunabhängige Wasserstoffversorgung angewiesen ist.

¹⁵ Gegenwärtig können bis 2 Vol.-% Wasserstoff, wenn sich Erdgastankstellen im betreffenden Gasnetz befinden, ansonsten bis zu 9,9 Vol.-% beigemischt werden. Bis zu einem Anteil von 20 Vol.-% sollten keine technischen Hindernisse zur Aufnahme von Wasserstoff in den bestehenden Gastransportleitungen eintreten.

2. Hochskalierung der Schlüsseltechnologien und konsequente Einführung der emissionsfreien Wertschöpfungskette zur wasserstoffbasierten Stahlerzeugung

Für eine vollständige Durchdringung der Direktreduktion mit grünem Wasserstoff und anschließender Aufschmelzung des reduzierten Eisens müssen innerhalb der kommenden 25 Jahre alle Verfahren der Hochofenroute komplett ersetzt werden. Damit verbunden ist die Stilllegung aller kohlebasierten Aggregate wie z. B. Hochöfen und insbesondere der Aufbau von umfangreichen Kapazitäten zur Wasserstoffherstellung, Direktreduktionsanlagen, Elektrolichtbogenöfen und Schmelzaggagaten.

Viele der für eine klimaneutrale wasserstoffbasierte Stahlproduktion benötigten Schlüsseltechnologien – wie beispielsweise DRI-Anlagen zur reinen wasserstoffbasierten Stahlerzeugung und großskalige Elektrolyse-Anlagen – sind gegenwärtig noch nicht in diesem Maßstab erprobt.

Die Politik sollte die notwendige Transformation durch eine deutlich verstärkte und zielorientiertere Förderung bei der Errichtung marktgängiger Anlagen und die Schaffung eines regulativen Rahmens, der Investitionen und Anwendung der Anlagen begünstigt, unterstützen.

Der Ausbau von Direktreduktionsanlagen, weiteren strombasierten Schmelzaggagaten und Elektrolichtbogenöfen könnte einen Beitrag zur Stabilität der Stromnetze leisten.

Die Direktreduktionsanlage könnte für wenige Stunden etwas gedrosselt bzw. geringfügig über der Nominalleistung gefahren oder in einen „Hot Standby“ Zustand versetzt werden. Hiermit würde die zugehörige Wasserstoffanlage als dominanter Stromverbraucher entsprechend moduliert. Allerdings wird dies im integrierten Stahlwerk in den anschließenden Prozessen zu Störungen im Ablauf führen und sollte nur in wenigen Ausnahmefällen geschehen. Ein „quasi-permanenter“ Teillastbetrieb über das Jahr ist wegen der höheren spezifischen Kosten nicht wirtschaftlich tragbar.

Eine deutlich höhere und einfache Flexibilisierung könnte durch eine lokale Wasserstoffspeicherung ermöglicht werden. Eine Speicherkapazität von 1 - 2 Stunden könnte hier eine interessante Lösung darstellen, um relativ kurzfristig große Leistungen vom Netz zu nehmen.

Ein weiteres Potenzial zum Beitrag zur Regelenergie liegt beim Elektrolichtbogenofen, da dieser in einem Batch-Prozess gefahren und dadurch schnell vollständig runtergefahren werden könnte. DRI aus der Direktreduktionsanlage kann einerseits direkt heiß (HDRI) in den EAF bzw. in das Schmelzaggagat chargiert werden, oder alternativ erst gelagert und dann kalt (CDRI) eingesetzt werden, mit entsprechenden

Energieverlusten durch das Abkühlen. Dies ermöglicht es, den EAF-Prozess bzw. Einschmelzprozess vom DRI-Prozess zu entkoppeln.

Durch den Ausbau von Direktreduktionsanlagen in Kombination mit Elektrolichtbogenöfen bzw. Schmelzaggregaten besteht theoretisch ein sehr hohes Potenzial zur Flexibilisierung und damit zur Stabilisierung der Stromnetze. Allerdings werden die einzelnen Produktionsschritte in einem integrierten Stahlwerk in einem kontinuierlichen und optimierten Prozess gefahren, sodass die flexible Betriebsweise zu begrenzen ist und Produktionsausfälle entsprechend kompensiert werden müssen. Zudem ist das zugehörige erweiterte Anlagenkonzept vorzusehen (e.g. Überkapazität Wasserstofferzeugung und -puffer).

2.1 DRI-Anlagen

Die Markteinführung der Direktreduktion mit 100 % Wasserstoff zur Stahlproduktion ist vor 2030 technisch machbar. Es existieren Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte; die Technologieentwicklung ist weit fortgeschritten und somit – durch den Aufbau der benötigten Infrastruktur – schnell skalierbar.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind die Neuinvestitionen in klimafreundliche Technologien stark von der erwarteten Anlagenlaufzeit und dem eventuell höheren Betriebsrisiko der neuen Verfahren abhängig.

Die CO₂-Vermeidungskosten des H₂-DRI-Verfahrens hängen stark von den Strom- bzw. Wasserstoffkosten ab und liegen 2030 in einer Spanne zwischen 99 - 490 €/t CO₂ deutlich über dem heutigen CO₂-Preisniveau im EU-ETS (Emissionshandelssystem).¹⁶¹⁷ Die Stahlunternehmen brauchen deshalb ein verlässliches Markteinführungsinstrument, um bis 2030 in die neuen Schlüsseltechnologien investieren zu können.

Bereits vor 2030 könnten zur Primärstahlerzeugung vermehrt Direktreduktionsanlagen als Ersatz für Hochöfen errichtet werden. Aufgrund der derzeit noch begrenzten Mengen an erneuerbarem Strom und Wasserstoff könnten diese Anlagen zunächst mit Erdgas bzw. Erdgas/Wasserstoffbeimischungen und später mit wachsenden Anteilen von grünem Wasserstoff betrieben werden.¹⁸ Auf diese Weise lässt sich ein volkswirtschaftlich tragfähiger Transformationsprozess realisieren.

Für die Verarbeitung des in Direktreduktionsanlagen erzeugten Eisenschwamms (DRI) zu Rohstahl müsste lediglich die Anzahl der Elektrolichtbogenöfen deutlich erhöht werden, um die größeren Mengen über diese Route produzieren zu können.

Alternativ zum Elektrolichtbogenofen lassen sich auch andere Schmelzaggregate einsetzen, welche ebenfalls einen Ausbaubedarf erfordern.

¹⁶ Agora Energiewende, Klimaneutrale Industrie, 2019

¹⁷ BCG, Klimapfade für Deutschland, 2019

¹⁸ Agora Energiewende, Klimaneutrales Deutschland, 2020

2.2 Erneuerbare Energien und Stromnetze

Der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland ist eine Grundvoraussetzung für die Dekarbonisierung des Industriesektors im Allgemeinen und des Stahlsektors im Besonderen und muss für alle Folgeprozesse höchste Priorität haben. Vor allem sind Anpassungen bei der Regulierung der Flächenausweisung notwendig.

Eine direkte oder indirekte Elektrifizierung vieler Prozesse ist bereits heute denkbar. Der Ausbau erneuerbarer Energien und der Stromnetze ist somit entscheidend dafür, ob eine CO₂-arme Stahlproduktion durch elektrifizierte Prozesse möglich ist.

Mit dem EEG 2021 wurden die Ausbauziele für erneuerbare Energien für 2030 erhöht, um die steigende Nachfrage an grünem Strom, teilweise auch für die Wasserstofferzeugung, decken zu können. Um diese Ziele zu erreichen, kommt es auf eine erhöhte Flächenverfügbarkeit und eine deutlich verbesserte Genehmigungssituation, insbesondere auch für Repoweringprojekte an. Die entscheidenden gesetzlichen Rahmenbedingungen für einen stärkeren EE-Ausbau werden somit über das EEG hinaus in landespolitischen Gesetzen und dem Bundesimmissionsschutzgesetz sowie dem Bundesnaturschutzgesetz gesetzt.

Die deutschen Stromnetze sollen ausgebaut und erweitert werden, um die Integration erneuerbarer Energien mit einer sicheren Stromversorgung zu gewährleisten. Die Anforderungen an die Stromnetze haben sich stark verändert und werden in den kommenden Jahren weiter steigen. Schwankende Einspeiseleistungen von Erneuerbare-Energien-Anlagen und die neue räumliche Verteilung der Stromerzeugung machen eine umfangreiche Anpassung der Netzinfrastruktur notwendig. Aber auch der gezielte Aufbau von Energiespeichern im Terrawattstunden-Umfang wird zukünftig für die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit ebenso notwendig sein.

Ein positives Signal ist die Änderung des Bundesbedarfsplangesetzes vom März 2021, mit der der Weg für den Ausbau des Stromübertragungsnetzes geebnet wird.

Der Ausbau der Erzeugung von erneuerbarem Strom und dessen Nutzung benötigen einen starken Impuls, zum Beispiel durch fortgesetzte Förderung und gegebenenfalls Maßnahmen im Bereich der Strom- und Netzbepreisung sowie eine umfassende Reform der staatlich induzierten Strompreisbestandteile.

2.3 Elektrolysekapazitäten

Vorläufige Schätzungen gehen davon aus, dass eine vollständige Umstellung der Hochofenroute (ca. 30 Mio. t Rohstahl/a) auf H₂-DRI-Route zu einem zusätzlichen Wasserstoffbedarf von rund 80 TWh/a bzw. 2,2 Mio. t im Jahr 2050 führen würde. Für dessen Produktion werden Elektrolysekapazitäten mit einer Gesamtleistung von ca. 28 GW benötigt.¹⁹

¹⁹ Siehe Fußnote 13

Im Rahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie wird eine inländische Wasserstoffproduktionskapazität von 5 GW bis 2030 angestrebt. Bei 4.000 Volllaststunden und einem Wirkungsgrad zwischen 62 - 65 % entspricht dies einer jährlichen Wasserstoffproduktion von 0,37 - 0,39 Mio. t H₂.²⁰

Mit dieser Wasserstoffmenge könnten theoretisch 5,0 - 5,3 Mio. Tonnen grüner Stahl produziert werden.²¹

Damit die benötigten Mengen an grünem Wasserstoff für die Stahlindustrie bis 2030 bzw. 2045 kosteneffizient bereitgestellt werden können, müssen die Elektrolysekapazitäten in Deutschland und in Ländern, die eine Pipeline-Anbindung an Deutschland haben, stark ausgebaut werden.

Insbesondere integrierte Stahlwerke bieten die Möglichkeit einer hocheffizienten Wasserstoffproduktion durch die Nutzung von Prozessabwärme. Diese kann zur Produktion von Niedertemperaturdampf genutzt werden, welcher wiederum mittels der Hochtemperaturelektrolyse (Solid Oxide Electrolysis (SOE)) effizient in Wasserstoff umgesetzt werden kann. Ein integriertes Stahlwerk bietet ausreichend Wärmequellen, um bis zu 40 % der benötigten Wasserstoffmenge mittels Hochtemperaturelektrolyse zu erzeugen; die übrigen 60 % können durch eine Niedertemperaturelektrolyse bereitgestellt werden. Eine derartige Kombination beider Elektrolysetechnologien kann die Gesamteffizienz der Wasserstoffproduktion erheblich steigern beziehungsweise den Bedarf an knappem, erneuerbarem Strom senken. Darüber hinaus bietet das Anlagenkonzept die Möglichkeit, die effiziente Hochtemperaturelektrolyse mit hohen Volllaststunden im Grundlastbetrieb zu betreiben, wohingegen die flexible Niedertemperaturelektrolyse die Lastspitzen, die sich aus der intermittierenden erneuerbaren Stromproduktion ergeben, optimal ausgleichen kann. Somit lassen sich die Stärken der unterschiedlichen Technologien optimal nutzen.

Die Elektrolysebranche muss sich zu einer Gigawatt-Industrie entwickeln, um die Ziele der NWS zu erreichen. Dabei ist die Förderung des Markthochlaufs essenziell, da für die weitere Technologieentwicklung und Kostenreduktion das Potenzial von Skaleneffekten genutzt werden muss. Ein stabiles mit dem Markt hochlaufendes Absatzniveau im zwei- und dreistelligen MW Bereich ist zur Industrialisierung notwendig, die dafür notwendigen Herstellungsverfahren sind bereits im Einsatz bzw. kurzfristig verfügbar.

²⁰ 5 GW * 4000 h = 20000 GWh_{el}; Bei $\eta = 62\%$ mit 0,0538 GWh_{el} / t H₂ (Berechnung wie Fußnote 12)
→ 20000 GWh_{el} / 0,0538 GWh_{el} / t H₂ = **371747 t H₂**

Bei $\eta = 65\%$ mit 0,0512 GWh_{el} / t H₂ → 20000 GWh_{el} / 0,0512 GWh_{el} / t H₂ = **390625 t H₂**

²¹ Annahme: 2,2 Mio t H₂ für 30 Mio. t Rohstahl erforderlich

Durch ein zu schaffendes „Marktaktivierungsprogramm Wasserelektrolyse“ sollen klare regulatorische Rahmenbedingungen vorgegeben werden, damit wettbewerbsfähige Anwendungsfälle überhaupt erst entstehen können.²²

Die Akzeptanz von Herkunftsnachweisen für grünen Strom bei der Nutzung in Elektrolyseuren zur Herstellung von Wasserstoff ist gerade für den Hochlauf unabdingbar. Diese dürfen sich nicht nur auf die deutsche Regelzone beziehen. Ausnahmen von einschränkenden Kriterien wie räumlicher Nähe, Systemdienlichkeit etc. müssen insbesondere in der Markteinführungsphase gewährt werden, da sonst der dringend notwendige Aufbau einer dezentralen industriestandortnahen grünen Wasserstoffherzeugung wesentlich erschwert werden würde.

2.4 Wasserstoffnetze

Mit der Umsetzung der EU-Elektrizitätsbinnenmarkttrichtlinie und der Einführung einer Regelung für reine Wasserstoffnetze hat die Bundesregierung den Rahmen für den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur gesetzt. Durch den vom Kabinett der Bundesregierung beschlossenen Gesetzentwurf für Änderungen im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) soll eine Übergangsregelung geschaffen werden, die vor allem zeitnah Vorteile für die Umsetzung konkreter Projekte bringen soll. Der Gesetzgeber hat jedoch die Mehrkosten für die Vorbereitung der Gasnetze für den reinen Wasserstofftransport sowie den Neubau von reinen Wasserstoffnetzen nicht in das allgemeine Umlagesystem integriert. Nach Auffassung des BMWi sollen Gas- und Wasserstoffnetze nicht gemeinsam reguliert werden und eine Kostenwälzung nicht stattfinden. Stattdessen müssen einzelne bzw. wenige Kunden für den Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur zahlen, was anfangs zu prohibitiv hohen Netzentgelten und somit zu einer weiteren Einstiegsbarriere für die Wasserstoffwirtschaft in der Stahlindustrie führt.

Der Auf- und Ausbau eines Wasserstoffnetzes ist für den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft von besonders hoher Bedeutung. Da der Transport von Energie über das Stromnetz um ein vielfaches teurer ist als der Transport von Energie über das Gasnetz, ist es energetisch vorteilhafter, Energie bereits in umgewandelter Form als Wasserstoff zum Verbraucher zu transportieren. Erfolgt kein Ausbau der Wasserstoffnetze, muss die gesamte erneuerbare Primärenergie (Wind und PV) über das Stromnetz zum Verbraucher transportiert werden, was einen 6-fachen Überbau des Stromnetzes erfordern würde. Um Netzengpässe zu vermeiden und den günstigsten Gesamtsystemansatz zu verfolgen, ist der Ausbau der Wasserstoffnetze deshalb zwingend erforderlich.

Wenn kurzfristig keine Finanzierung über eine gemeinsame asset base aus Erdgas- und Wasserstoffinfrastruktur akzeptiert werden sollte, müssen staatliche Zuschüsse

²² NOW, Studie IndWEde, 2019

und Risikoabsicherung so geregelt werden, dass die Transportkosten von Wasserstoff nicht zusätzlich unnötig belastet werden.

Ziel muss ein schneller europäisch einheitlich ausgestalteter regulierter Netzzugang sein. Insel-/Kombinationslösungen aus reguliertem und verhandeltem Zugang sollten nur befristete Übergangslösungen darstellen.

Deutschland verfügt über eine sehr gut ausgebaute Gasinfrastruktur, die aus 50.000 km Hochdruckleitungsnetzen und 500.000 km Verteilnetzen besteht. Die Rohrleitungssysteme ermöglichen den Transport der benötigten Gasmengen über weite Entfernungen für die Industrie in ganz Deutschland. Durch dieses flächendeckende Erdgasnetz bestehen die Möglichkeiten für die Umrüstung der Netze zu einer Wasserstoffinfrastruktur, die in das bestehende System integriert werden muss. Diese Umstellung von Leitungen in Kombination mit geringfügigen Neubauten von reinen Wasserstoffnetzen ist technisch umsetzbar und der volkswirtschaftlich effizienteste und zügigste Weg zum Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur, die entscheidend zur Dekarbonisierung der Stahlwirtschaft in Deutschland beitragen kann. Eine gemeinsame Planung und Finanzierung der Gas- und Wasserstoffnetze sind daher anzustreben.

Im Rahmen der bis 2030 geplanten Marktraumumstellung von Erdgas der Gruppe L auf Erdgas der Gruppe H in den Netzgebieten im Nordwesten und Westen Deutschlands soll die Umstellung der Netze schrittweise und so früh wie möglich nicht nur auf die Versorgung mit hochkalorischem H-Gas, sondern auch auf die Wasserstoffversorgung umgestellt werden. Ebenso ergeben sich durch die Umstellungen auf das höher kalorische Erdgas der Gruppe H freie Gastleitungskapazitäten in den Regionen, die sich für die Umstellung auf den Wasserstofftransport anbieten.

2.5 Wasserstoffspeicher

Die Wasserstoffherstellung mittels Elektrolyse ermöglicht nicht nur die Bereitstellung signifikanter und zeitlich flexibler Lasten, sondern eröffnet Potenziale zur Speicherung großer Energiemengen auch über längere Zeiträume sowie zur Nutzung der bestehenden Gasnetzinfrastruktur.

Laut Studien ergibt sich bis zum Jahr 2050 insgesamt ein Wasserstoff-Speicherbedarf in Deutschland von rund 50 bis 150 TWh. Lange Vorlaufzeiten unterstreichen die Notwendigkeit, das Thema großskalige Unterspeicherung, beispielsweise in Salzkavernen, zügig anzugehen.

Die Unterspeicherung von Wasserstoff in Kavernen ist in Deutschland noch nicht abschließend erprobt. Erste Projekte wie die Umwandlung einer Salzkaverne bei Bad Lauchstädt zur H₂-Speicherung sind in Vorbereitung. Bis zum Jahr 2030 müssten jedoch ca. 50 bis 250 Standard-Kavernen zur Verfügung stehen, bis zum Jahr 2050

sogar ca. 400 bis 1.000, sofern auf einen großskaligen Import von Wasserstoff verzichtet werden soll.²³

3. Schaffung von Anreizen zur emissionsarmen Stahlherstellung und Aufbau von Leitmärkten für grünen Stahl

Die Umstellung auf CO₂-arme Herstellungsprozesse bedingt massive Investitionen, die zudem auch noch mit deutlich höheren Betriebskosten einhergehen werden, da für die Eisenerzeugung die heute genutzte Koks-kohle durch Erdgas respektive Wasserstoff als Reduktionsmittel ersetzt werden muss. Dieser Technologiewechsel mit neuen Abläufen muss im laufenden Betrieb stufenweise erfolgen und benötigt deshalb Zeit zur erfolgreichen Umsetzung.

Nach Einschätzung der Stahlindustrie sind für die Transformation langfristig enorme finanzielle Aufwendungen und Investitionen in Höhe von rund 30 Mrd. Euro bis 2050 notwendig. Das erklärte Ziel von Politik und Wirtschaft ist, bis 2030 ein Drittel der Primärstahlproduktion (10 Mio. t) auf die CO₂-armen Produktionstechnologien umzustellen. Dafür werden Investitionen in Höhe von 9 Mrd. Euro notwendig.

Wird bis 2030 ein Wasserstoffanteil von 100 % erreicht, liegen die jährlichen Betriebsmehrkosten kumuliert über den Zeitraum 2026 bis 2030 nach Angaben der Stahlwirtschaft bei annähernd 6 Mrd. Euro. Durch den flexiblen Einsatz von Erdgas können die Mehrkosten gesenkt werden, bleiben jedoch erheblich.²⁴

In der Markteinführungsphase sollen diese Investitionen und Betriebsmehrkosten durch unterschiedliche Maßnahmen auf allen Ebenen unterstützt werden. Langfristig müssen die europäischen und internationalen Marktbedingungen so weiterentwickelt werden, dass die Investitionen ohne öffentliche Subventionen wirtschaftlich sind.

Um einen kurzfristigen Markthochlauf für grünen Stahl zu ermöglichen, sollten die folgenden Maßnahmen ergriffen werden.

3.1 Förderinstrumente

Die Nutzung der bestehenden finanziellen Unterstützungsmöglichkeiten wie nationale Förderprogramme, Horizont Europa, Partnerschaften, wichtige Projekte von gemeinsamem europäischem Interesse und der ETS-Innovationsfonds sollten so weit wie möglich priorisiert sowie langfristig und haushaltsunabhängig ausgestaltet werden.

²³ NOW, IndWEDe Studie, 2018

²⁴ Stand der Gespräche zum Handlungskonzept Stahl zwischen dem Bundeswirtschaftsministerium und der Stahlindustrie in Deutschland, BMWi, WV-Stahl, IG Metall, 2021

a) Deutschland

Die Bundesregierung will der Industrie dabei helfen, klimaneutral zu werden und stellt für die Jahre 2022 bis 2024 mindestens 5 Mrd. Euro zusätzlich für die Transformation zur Verfügung. Dazu zählen drei Elemente:

- 1,5 Mrd. Euro für den „Wasserstoffeinsatz in der Industrie“, die u.a. über das IPCEI Wasserstoff bereitgestellt werden. Für die Wasserstoff-Großprojekte im Rahmen des IPCEI werden 8 Mrd. Euro staatliche Fördermittel zur Verfügung gestellt. Insgesamt sollen Investitionen in Höhe von 33 Mrd. Euro ausgelöst werden, davon über 20 Mrd. Euro von privaten Investoren. Alle in Deutschland tätigen Stahlerzeuger haben Investitionsvorhaben eingereicht.
- Förderprogramm „Dekarbonisierung in der Industrie“ mit 2,9 Mrd. Euro (Federführung BMU).
- „Pilotprogramm für Klimaschutzverträge (Carbon Contracts for Difference)“ mit 550 Mio. Euro (2022 - 2024), das 2022 startet (Federführung BMU).

Von diesen 5 Mrd. Euro sollte ein erheblicher Anteil auf die Stahlindustrie entfallen.

Die angekündigten Fördermittel sind ein guter Anfang, um die Investitionen anzuschieben, allerdings reichen sie nicht aus, um eine Wasserstoffwirtschaft und eine grüne Stahlproduktion aufzubauen. Um Planungssicherheit bei derart langfristigen Projekten wie bei der Stahltransformation herzustellen, sollten haushaltsunabhängige Instrumente erwogen und weitere Fördermittel zur Verfügung gestellt werden.

Für den frühzeitigen Einstieg in die Stahlproduktion mit Wasserstoff wäre die Bereitstellung eines Markteinführungsprogramms, durch das die Emissionen in der Stahlproduktion durch den Einsatz von grünem Wasserstoff um 10 % gesenkt werden können, erforderlich. Dies entspräche einer Produktionsmenge von etwa 3,5 Mio. t grünem Rohstahl.²⁵

Um grünen Stahl wettbewerbsfähig zu machen, sollen die Stahlunternehmen über Carbon Contracts for Difference Modelle projektbezogene Betriebskostenzuschüsse für einen festgelegten Zeitraum (z. B. 20 Jahre) erhalten.

Daher soll das Pilotverfahren für die Erprobung von „Carbon Contracts for Difference“ zur Umstellung auf klimafreundliche Industrieverfahren in ausgewählten Sektoren (Stahl- und Chemieindustrie) nun zügig umgesetzt und mit ausreichenden Mitteln ausgestattet werden. Parallel muss sichergestellt werden, dass die Rahmenbedingungen für „Carbon Contracts for Difference“ kurzfristig festgelegt werden und das Pilotverfahren anschlussfähig ausgestaltet wird.

²⁵ Agora, Klimaneutrales Deutschland 2020 und eigene Berechnungen

b) EU

Im Europäischen Aufbauplan ist Wasserstoff als ein Schlüsselsektor dargestellt, der im Rahmen des EU-Wiederaufbaufonds unterstützt werden sollte, insbesondere aufgrund seiner Fähigkeit, die längerfristigen Ziele der Europäischen Union, wie z. B. die Ziele des EU Green Deal, Klimaneutralität und die strategische Autonomie der EU, zu unterstützen.

Die Elektrolysekapazität zur Produktion von derzeit weniger als einem Gigawatt soll auf 6 Gigawatt bis 2024 und auf 40 Gigawatt bis 2030 ausgebaut werden. Bisher existiert jedoch kein Plan zur Realisierung dieser Ziele.

Im Jahr 2030 soll grüner Wasserstoff ein wichtiger Energieträger in Europa sein und im großen Stil für Branchen eingesetzt werden, in denen eine Dekarbonisierung durch Strom allein nicht möglich sei, z. B. die Stahlindustrie. Die EU-Kommission erwartet, dass die Technologie bis 2050 zu wettbewerbsfähigen Kosten vorhanden sein wird. Der grüne bzw. klimaneutrale Wasserstoff könnte bis zu 24 % des gesamten Energiebedarfs der EU im Jahr 2050 decken.²⁶

Dazu wird die EU-Kommission die Energiewende finanziell stark fördern, indem sie aus dem Wiederaufbaufonds in Höhe von 750 Mrd. € 37 % für klimapolitische Investments zur Verfügung stellen wird.

Die Bundesregierung sollte sich dafür einsetzen, hieraus zusätzliche Mittel für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft und die Transformation der Stahlindustrie zu erhalten.

3.2 Finanzierung

Um den Markthochlauf von emissionsarmen Technologien zur Stahlherstellung zu beschleunigen, ist der Zugang zu ausreichend zinsgünstigem Investitionskapital erforderlich.

Durch gezielte Maßnahmen sollen die Finanzierungskosten und das Finanzierungsrisiko für Investitionen in CO₂-arme Schlüsseltechnologien gesenkt werden.

Die EU-Taxonomie muss so ausgestaltet werden, dass Transformationsanstrengungen in die Bewertung der nachhaltigen Geschäftsmodelle einfließen.

Nur so ist sichergestellt, dass private und öffentliche Investitionen angeregt werden, den Übergang zu einer grünen Wirtschaft zu finanzieren, indem Kapital in nachhaltige wirtschaftliche Aktivitäten und Projekte umgeleitet wird.

Dazu könnten Staatsbürgschaften für Kredite zur Finanzierung von emissionsarmen Technologien gewährt werden.

²⁶ FCH JU, Hydrogen Roadmap Europe, 2019. Dies umfasst die Verwendung von Wasserstoff als Rohstoff.

3.3 Quote für grünen Stahl in den Leitmärkten

Stahl ist eine der tragenden Säulen der heutigen Gesellschaft und als einer der wichtigsten Konstruktions- und Baumaterialien ist er in zahlreichen Bereichen unseres Lebens präsent.

Da die CO₂-armen Stahlerzeugnisse einen wesentlichen Beitrag zu den erforderlichen Energie- und Emissionseinsparungen in anderen Sektoren leisten können, sollen entsprechende Maßnahmen eingeführt werden, die die Verwendung von CO₂-armem Stahl voranbringen können. Die Einführung einer schrittweise ansteigenden Quote für grünen Stahl in ausgewählten Leitmärkten könnte ein angemessenes Instrument dafür sein.

Alternativ wäre eine Treibhausgasminderungsquote gegenüber einem festzulegenden Referenzjahr für den in den Verkehr gebrachten Stahl ebenso als marktwirtschaftliches Instrument geeignet.

Mehrere Abnehmerbereiche bieten sich als Leitmärkte an, um die Transformation der Stahlindustrie anzutreiben, darunter vor allem die folgenden Bereiche:

Automobilindustrie

In einem Pkw ist Stahl für etwa 25 % der CO₂-Emissionen der Herstellphase verantwortlich. Die Umstellung auf 100 % grünen Stahl würde den Preis eines Autos um weit weniger als 500 €, also weniger als 1,5 %, steigen lassen.²⁷

Windenergiebranche

Stahl verursacht etwa 80 % der CO₂-Emissionen der Offshore-Windenergieanlagen. Die Umstellung auf 100 % grünen Stahl würde zu etwa 3 bis 6 % höheren Anlagenkosten führen.

Öffentliche Beschaffung

Bei der öffentlichen Beschaffung könnten Vorgaben für den Einsatz von CO₂-armem Stahl in den Bauten und bei Fuhrparks eingeführt werden.

Durch zwei Instrumente kann der Abnehmermarkt aktiviert werden:

- Einführung von Quoten bzw. Standards für grünen Stahl in den Endprodukten
- Zeitlich begrenzte Prämien für einen Teil der Mehrkosten (z. B. bis 40 %)

Angesichts deutlich höherer Produktionskosten müssen Lösungen gefunden werden, um gleiche Wettbewerbsbedingungen für Importe und Exporte herzustellen.

²⁷ Agora Energiewende, Klimaneutrale Industrie, Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement, 2019

3.4 Freie Zuteilung von Emissionszertifikaten im EU-ETS

Die Zuteilung kostenloser CO₂-Zertifikate für die Stahlindustrie im Rahmen des Emissionshandelssystems während der Einführung der geplanten CO₂-Grenzabgabe muss bestehen bleiben und nachfolgend schrittweise abgebaut werden. Dies ist für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und europäischen Stahlbranche entscheidend, und wird Investitionen in CO₂-arme Technologien ermöglichen.

Zusammen mit dem Innovationsfonds im EU-Emissionshandel soll die kostenlose Zuteilung so ausgestaltet werden, dass sie zusätzliche Anreize für technologische Innovationen bietet und zugleich die langfristige Transformation unterstützt.

4. Gestaltung einer fairen Wettbewerbsumgebung

Die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und EU-Stahlindustrie muss, sowohl während der Transformation als auch nach erfolgreichem Abschluss der Umstellung auf eine kohlenstoffarme Zukunft des Sektors, aufrechterhalten werden.

Die meisten globalen Konkurrenten sind nicht annähernd mit den Umweltstandards oder Klimazwängen der EU-Akteure konfrontiert und tragen daher auch nicht die Kosten. Ein geeigneter regulatorischer Rahmen würde dazu dienen, dieses fatale und angedachte Handicap zu beheben, sowohl jetzt als auch in Zukunft.

Um die negativen Auswirkungen des globalen Wettbewerbs auf die Defossilisierungsbestrebungen der EU zu minimieren, sollte eine angemessene unterstützende Politik entwickelt werden.