

# Klimaneutraler Stahl Made in Germany – Transformationsherausforderungen im Kontext steigender Marktanforderungen

Annika Tönjes, Stefan Lechtenböhrer, Anna Leiprand und Ole Zelt

Deutschland soll bis 2045 klimaneutral werden. So steht es im verschärften Klimaschutzgesetz, das im Juni 2021 vom Bundestag verabschiedet wurde. Die deutsche Industrie verursacht derzeit knapp ein Viertel der Treibhausgasemissionen, etwa ein Drittel davon entfällt auf die Eisen- und Stahlproduktion. Um das Klimaziel zu erreichen, müssen somit große CO<sub>2</sub>-Einsparungen in der Stahlindustrie realisiert werden.

## Zentrale Herausforderungen

Verschiedene Ansätze können Emissionen in der Stahlindustrie einsparen und sollten parallel verfolgt werden. Dazu zählt die Reduktion der benötigten Stahlmengen, beispielsweise durch erhöhte Materialeffizienz in der Stahlverarbeitung (z. B. Schrottvermeidung durch bessere Produktion) und in der Konstruktion mit Stahl (z. B. Leichtbau), durch Materialsubstitution (z. B. Holzbauweise) oder durch effizientere Verwendung von Stahlprodukten (z. B. Carsharing). Außerdem spielt das Stahlrecycling eine wichtige Rolle, da es nicht nur ressourcenschonend ist, sondern auch klimafreundlich mit erneuerbarem Strom betrieben werden kann. Doch zählt Stahl bereits zu den weltweit meist recycelten Materialien und die globale Stahlnachfrage wird bis Ende des Jahrhunderts voraussichtlich sogar weiter ansteigen [1], um den Aufbau wichtiger Infrastrukturen in allen Regionen der Welt zu ermöglichen.

In den für den Klimaschutz entscheidenden nächsten Jahrzehnten wird die Primärstahlproduktion aus Eisenerz somit weiterhin eine zentrale Rolle spielen, zumal wichtige Güter, die für die Elektrifizierung weiter Teile der Wirtschaft und Gesellschaft zentral sind (z. B. Siliziumstähle), derzeit nur über die Primärroute produziert werden können. In ihrer klimaneutralen Transformation liegt aktuell der größte Klimaschutzhebel. In Deutschland werden etwa 70 % des jährlich produzierten Stahls über die Primärroute hergestellt [2]. Besonders CO<sub>2</sub>-intensiv ist dabei die Produktion von Roheisen im Hochofen unter Einsatz von Kohle und Koks als Energieträger und Reduktions-



Hochöfen in Duisburg. Die deutsche Stahlbranche hat sich auf den Weg zur Klimaneutralität gemacht  
Bild: thyssenkrupp Steel Europe

mittel. Um diesen Produktionsschritt klimaneutral umzustellen, setzen fast alle Primärstahlhersteller auf das Direktreduktionsverfahren unter Einsatz von grünem Wasserstoff (H<sub>2</sub>-DRI), das sowohl hohe Emissionseinsparungen als auch eine schnelle großindustrielle Einsetzbarkeit verspricht [3]. Hierfür müssen die Unternehmen ihre Hochöfen am Ende ihres Lebenszyklus komplett stilllegen und durch neue Direktreduktionsanlagen und Einschmelzer ersetzen. Auf dem Weg dorthin gilt es, große Hürden zu überwinden.

Der geschätzte grüne Wasserstoffbedarf für die deutsche Stahlindustrie allein könnte im Jahr 2050 zwischen 36 und 80 TWh pro Jahr betragen [3, 4]. Laut Koalitionsvertrag strebt die neue Ampelregierung einen Elektrolyse-Kapazitätsaufbau i. H. v. 10 GW bis 2030 an, was in etwa einer jährlichen Pro-

duktion von bis zu 28 TWh grünem Wasserstoff (H<sub>2</sub>) entspräche. Die Importaussichten sind aus heutiger Sicht sehr unsicher, die potenziellen Anwendungsgebiete vielfältig. Grüner Wasserstoff wird somit wohl längerfristig ein knappes Gut bleiben. Vorerst kann daher auch Erdgas zum Einsatz kommen – sowohl direkt als Reduktionsmittel (Erdgas-DRI) als auch zur Herstellung von sog. blauem Wasserstoff unter Einsatz von CCS (Carbon Capture and Storage), wobei Letzteres aktuell kontrovers diskutiert wird.

Der Umstieg auf klimafreundliche Stahlproduktion ist mit erheblichen Mehrkosten verbunden. Die Produktionskosten pro Tonne Rohstahl (ohne Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Kosten) liegen nach aktuellen Berechnungen bei Erdgas-DRI um ca. 30 % und bei H<sub>2</sub>-DRI um ca. 86 % höher als bei der Hochofenroute [5, 6]. Besonders im Fall der H<sub>2</sub>-DRI sind da-

bei die Unterschiede bei den Betriebskosten ausschlaggebend [5]. Ab wann der CO<sub>2</sub>-Preis für einen Break-even sorgen könnte, ist für die Unternehmen aufgrund der Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Preises und der H<sub>2</sub>-Kosten nicht genau abzusehen, die Investitionen sind daher mit großen Unsicherheiten behaftet. Allerdings birgt auch die (Re-)Investition in konventionelle Anlagen hohe Risiken. Aufgrund langer Nutzungsdauern sind derartige Investitionen in den 2020er Jahren nicht mehr kompatibel mit nationalen und internationalen Klimazielen – die Gefahr von Stranded Assets ist somit groß. Viele Primärstahlhersteller haben erkannt, dass die klimaneutrale Transformation ihres Anlagenbestands die Grundlage für die Sicherung ihrer zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit darstellt. Die Zahl der weltweit angekündigten Investitionen in klimaneutrale Technologien steigt [7], allerdings werden vielerorts auch weiterhin konventionelle Kapazitäten gebaut.

### Beispiel thyssenkrupp

Am Beispiel des integrierten Hüttenwerks von thyssenkrupp Steel Europe in Duisburg lassen sich die Dimensionen der bevorstehenden Transformationsaufgabe verdeutlichen. Als größter deutscher Stahlproduzent mit einer Produktionskapazität von jährlich rund 10 Mio. t Primärstahl verursacht thyssenkrupp am Standort im Duisburger Norden derzeit etwa 2 % der deutschen Treibhausgasemissionen. Das Unternehmen hat deshalb vor dem Hintergrund des Pariser Klimaschutzabkommens und angesichts deutscher und europäischer Klimaschutzziele einen detaillierten Umbaupfad entwickelt. Die Umstellung der Produktion entlang dieses Pfades soll einen signifikanten Beitrag zum Klimaschutz leisten und europäische und globale Wertschöpfungsketten mit zunächst emissionsreduziertem und später klimaneutralem Stahl versorgen. Die geplante Transformation des Hüttenwerks lässt sich dabei grob anhand verschiedener Meilensteine skizzieren (s. Abb.).

Berechnungen des Wuppertal Instituts haben gezeigt, dass die skizzierten zentralen Maßnahmen eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Hüttenwerks um etwa 95 % bis 2045 ermöglichen. Die rechtzeitige Bereitstellung

<b>Heute</b>	<i>thyssenkrupp importiert in begrenztem Umfang Hot Briquetted Iron (HBI) zur Nutzung anstelle von Eisenerz im Hochofen und hat in der Vergangenheit bereits das Einblasen von Wasserstoff in den Hochofen erprobt. Auch der Schrotteeinsatz im Hochofen ist geplant. Diese Maßnahmen dienen zur Minderung des Einsatzes von Koks als Reduktionsmittel und damit zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen am Standort.</i>
<b>2025</b>	<i>Für das Jahr 2025 ist die Inbetriebnahme einer ersten eigenen Direktreduktionsanlage vorgesehen. Deren Output an direktreduziertem Eisen (DRI) soll dann in einem ebenfalls neu errichteten Elektroenschmelzer zu flüssigem Roheisen verarbeitet werden. Dieses ersetzt wiederum in den bestehenden Oxygenstahl- und Walzwerken einen Teil des Roheisens der bisherigen Hochofenroute. Es wird so eine größtmögliche Weiternutzung bestehender Anlagen erreicht, welche einen unterbrechungsfreien Technologiewechsel ermöglicht und auch zukünftig die Produktion bisheriger Stahlgüten in unveränderter Qualität sicherstellt.</i>
<b>2045</b>	<i>Mit der Inbetriebnahme weiterer Elektroenschmelzer und DRI-Anlagen werden die bestehenden vier Hochöfen bis 2045 schrittweise vollständig ersetzt. Oxygenstahl- und Walzwerke bleiben fester Bestandteil der neuen Route.</i>

Abb. Meilensteine für die geplante Transformation des Hüttenwerks von thyssenkrupp Steel Europe in Duisburg

der erforderlichen großen Mengen grünen Wasserstoffs und grünen Stroms vorausgesetzt, ist der geplante Transformationspfad somit geeignet, eine massive Minderung der jährlichen deutschen Treibhausgasemissionen um rund 15 Mt CO<sub>2</sub> pro Jahr bis 2045 zu erreichen.

Allerdings zeigt ein Vergleich mit der auf Klimaneutralität in 2045 ausgerichteten Studie KNDE2045, dass diese Nullemissionen des Stahlsektors bereits für das Jahr 2040 vorsieht, um mittels negativer Emissionen des Stahlsektors in 2045 schließlich unvermeidbare Restemissionen anderer Sektoren auszugleichen [8]. Im Jahr 2045 ist dagegen im von thyssenkrupp beschriebenen Transformationspfad die Ablösung der Hochöfen durch die neue Route zwar bereits abgeschlossen, es verbleiben aber zu diesem Zeitpunkt noch Restemissionen in der Prozesskette in Höhe von etwa 5 % des Referenzwertes aus dem Jahr 2018. Es besteht also über die bisher geplanten Maßnahmen hinaus zusätzlicher Handlungsbedarf. Dieser beinhaltet, verbleibende Emissionsquellen wie den Anodenabbrand im Elektroenschmelzer sowie den Betrieb von Oxygenstahl- und Walzwerken noch stärker zu adressieren und die notwendigen Beiträge der Stahlindustrie zur Klimaneutralität auch sektorübergreifend zu diskutieren. In diesem Zusammenhang plant thyssenkrupp, Restemissionen durch andere Ansätze wie die Nutzung von CO<sub>2</sub> für die Herstellung von Chemikalien zu vermeiden.

### Volkswirtschaftliche Instrumente für eine klimaneutrale Transformation

Wie bereits aufgezeigt, ist die klimafreundliche Produktion von Stahl derzeit nicht wettbewerbsfähig, auch wenn längerfristig deutliche Kostensenkungen bei zentralen Inputfaktoren wie grünem Wasserstoff und damit bei den Betriebskosten zu erwarten sind. Um dennoch zeitnah Investitionen in diese Technologien zu ermöglichen, sind Änderungen der politischen Rahmenbedingungen und Anreizsysteme notwendig.

Der Europäische Emissionshandel (EU ETS) als zentrales klimapolitisches Instrument auf EU-Ebene spielt eine wesentliche Rolle für die Wirtschaftlichkeit der neuen Technologien. Ein steigender CO<sub>2</sub>-Preis kann – je nach Ausgestaltung der Regelungen – wesentlich dazu beitragen, die Wirtschaftlichkeit der klimafreundlichen Stahlproduktion gegenüber der konventionellen Route zu erhöhen. Mit dem Fit-for-55-Paket hat die Europäische Kommission vorgeschlagen, die Obergrenze für Emissionen im EU ETS schneller zu senken. Dadurch würde der Preis für die Zertifikate, der Ende 2021 eine Höhe von über 80 €/t erreicht hat, voraussichtlich langfristig hoch bleiben oder weiter steigen.

Allerdings werden die Wirkung des CO<sub>2</sub>-Preises und die Wirtschaftlichkeit der Anlagen stark durch die Regelungen zum Schutz vor Carbon Leakage beeinflusst. Bislang bekommt die energieintensive Industrie einen

Großteil ihrer Zertifikate frei zugeteilt, damit ihr keine Nachteile auf internationalen Märkten entstehen. Nach aktueller Regelung würde die Stahlproduktion mit Wasserstoff allerdings deutlich weniger freie Zuteilung erhalten als die konventionelle [5], sodass der CO<sub>2</sub>-Preis den Kostenunterschied nicht entsprechend ausgleichen kann. Allerdings soll ab 2026 nach dem Vorschlag der EU-Kommission die freie Zuteilung schrittweise durch einen Grenzausgleichsmechanismus (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) ersetzt werden. Dies setzt voraus, dass die technischen und politischen Risiken, die mit dem CBAM verbunden sind, befriedigend gelöst werden können [9].

Ein planbarer Anstieg des CO<sub>2</sub>-Preises, zusammen mit einem wirksamen Carbon-Leakage-Schutz, liefert eine zentrale Grundlage für die Transformation der Industrie, er reicht aber nicht aus. Die neuen Technologien müssen bereits kurzfristig, d. h. schon bei den von 2025 bis 2030 anstehenden Investitionen, zum Zuge kommen können. Auch wenn der CO<sub>2</sub>-Preis inzwischen eine signifikante Höhe erreicht hat, reicht er zumindest für eine Wirtschaftlichkeit von H<sub>2</sub>-DRI noch nicht aus [3]. Auch eine reine CAPEX-Förderung würde aufgrund des erheblichen Einflusses der Betriebskosten die Lücke nicht schließen. Zudem bleiben die Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Preises und die Regelungen für den Carbon-Leakage-Schutz ein Hindernis für Investitionen. Insbesondere staatliche Förderung durch Klimaschutzverträge (KSV) kann beide Probleme adressieren.

Klimaschutzverträge sind projektbezogene Verträge zwischen einer staatlichen Stelle und einem Unternehmen, die eine Prämie je Tonne vermiedene Emissionen festlegen. Diese Prämie wird so gestaltet, dass die Mehrkosten gegenüber der konventionellen Technologie – unter Berücksichtigung anderer Förderinstrumente, des CO<sub>2</sub>-Preises und ggf. der freien Zuteilung – insgesamt ausgeglichen werden. Die Prämie kann dynamisiert werden, sodass sie an Änderungen beim CO<sub>2</sub>-Preis oder auch an schwankende Preise zentraler Inputfaktoren angepasst wird [10]. Konzeptionelle Grundlagen für Klimaschutzverträge wurden in verschiedenen Forschungsprojekten erarbeitet [5, 11]. Das Bundesumweltministerium plant die Einführung von Klimaschutzverträgen [12]; die Umsetzung wird nach In-

krafttreten der überarbeiteten europäischen Beihilfeleitlinien Anfang 2022 erwartet.

## Marktinstrumente für eine klimaneutrale Transformation

Volkswirtschaftliche Instrumente wie Klimaschutzverträge in Verbindung mit steigenden CO<sub>2</sub>-Preisen und einem funktionierenden Carbon-Leakage-Schutz sind essenziell, um die hohen Anfangsinvestitionen grüner Produktionstechnologien bereits vor 2030 zu stemmen. Sie werden aber nicht ausreichen, um einen langfristig tragfähigen Markt für grünen Stahl zu schaffen. Gleichzeitig können und sollen die Mehrkosten der Produktion nicht vollständig und dauerhaft aus Subventionen gedeckt werden.

Eine erfolgreiche Kommerzialisierung von grünem Stahl nach Auslaufen der KSV-Förderung kann nur gelingen, wenn sich parallel auch eine ausreichende Marktnachfrage entwickelt. Die werkstofflichen Eigenschaften eines klimafreundlichen Stahls unterscheiden sich nicht von denjenigen eines konventionell hergestellten Stahls, sodass sich keinerlei Wettbewerbsvorteile aus den physikalischen Eigenschaften des grünen Stahls ziehen lassen. Um einen Markt für Stahl aus (teurerer) klimafreundlicher Produktion zu erschließen, muss eine entsprechende Nachfrage rein auf Basis der Klimaschutz-Eigenschaften des grünen Stahls generiert werden. Stahlverarbeitende Unternehmen müssten also in die Lage versetzt werden, die Mehrkosten des grünen Stahls an Endkonsumenten weiterzureichen, indem sie glaubhaft Produkte mit geringerem Klima-Impact anbieten können (z. B. Elektroautos aus grünem Stahl).

Um einen Markt für grünen Stahl aufzubauen, werden drei Dinge benötigt:

- eine Definition von „grünem“ Stahl, um diesen von konventionellem Stahl abzugrenzen;
- vergleichbare und unabhängig verifizierte Informationen zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Stahl und
- Abnehmer, die klimafreundlichen Stahl auch zu höheren Kosten (a) freiwillig oder (b) aufgrund gesetzlicher Vorgaben kaufen.

Die Definition von grünem Stahl ist keineswegs trivial und wird bereits in verschiedenen Kontexten diskutiert. Solange es noch keinen vollständig klimaneutralen Stahl gibt, muss für den Zeitraum der Transformation eine handhabbare Definition gefunden werden, die verschiedene Ausgangs-Produktionsrouten berücksichtigt (Hochofen, DRI, Sekundär) und ein gewisses Ambitionsniveau einfordert, das über inkrementelle Verbesserungen hinausgeht, mit dem Langfristziel der Klimaneutralität kompatibel ist und Carbon Lock-in verhindert. Gleichzeitig sollte es für ambitionierte Unternehmen bereits kurzfristig erreichbar sein, sodass Märkte aufgebaut werden können. Bei der Erarbeitung einer solchen Definition ergeben sich praktische Fragen, zum Beispiel nach dem anzusetzenden Emissions-Scope (Einbezug der Vorkettenemissionen) oder dem Benchmark (Messgrundlage der Emissions-einsparungen). Des Weiteren wird es bei anfangs geringen Grünstahlmengen zunächst nicht immer möglich oder sinnvoll sein, den emissionsreduzierten Stahl über alle Produktionsschritte hinweg physisch vom konventionellen Stahl zu trennen. Dies wirft Fragen hinsichtlich der Bilanzierung der produzierten Mengen und der eingesparten Emissionen auf: Wie viel „grüner“ Stahl kann verkauft werden? Welche CO<sub>2</sub>-Reduktion kann ihm zugeschrieben werden?

Weiterhin muss auch eine Möglichkeit geschaffen werden, die produzierten Grünstahlmengen zu identifizieren und auszuweisen, z. B. über ein grünes Produktlabel. Mittelfristig sollten die Berichtsstandards EU-weit angeglichen und ein standardisiertes Label entwickelt werden, z. B. angelehnt an die Energieverbrauchskennzeichnungen für Haushaltsgeräte [13]. Solche Konzipierungs- und Umsetzungsprozesse dauern aber in der Regel mehrere Jahre. Um erste Märkte aufzubauen und zu testen, können zunächst auch privatwirtschaftlich oder NGO-geführte Labelling-Initiativen eine Grundlage für spätere, übergreifende Systeme bieten. Das kann sowohl in Form organisationsübergreifender Prozesse erfolgen (z. B. ResponsibleSteel, SustSteel), als auch als unternehmenseigene Initiative. So hat z. B. thyssenkrupp kürzlich das CO<sub>2</sub>-reduzierte Produkt blueint® Steel in Kooperation mit unabhängigen Zertifizierern auf den Markt gebracht.

Für bestimmte Produkt- und Kundengruppen könnte die Schaffung eines solchen Grünstahl-



Labels bereits ausreichen, um Marktnachfrage zu generieren. Die glaubwürdige Positionierung als „grüner“ Anbieter ermöglicht die Weitergabe der Mehrkosten an die Endkonsumenten. Jüngste Entwicklungen, wie beispielsweise der Launch der First Movers Coalition bei der letzten Weltklimakonferenz (COP26), bei der sich 31 Weltkonzerne u. a. zum Kauf von grünem Stahl verpflichten, zeigen außerdem, dass zunehmend eine Nachfrage nach grünem Stahl auf Basis freiwilliger Selbstverpflichtungen entsteht. Dennoch kann derzeit nicht davon ausgegangen werden, dass eine ausreichende Marktnachfrage nach grünem Stahl für alle relevanten Produktgruppen auf Basis von Freiwilligkeit mit der benötigten Geschwindigkeit geschaffen werden kann. Daher kann es sinnvoll sein, mittels regulatorischer Maßnahmen die Entstehung grüner Märkte zu unterstützen. Der Gesetzgeber kann geeignete Abnehmerbranchen identifizieren und von ihnen entweder den Einsatz von grünem Stahl mittels gesetzlich festgelegter Quoten fordern oder alternativ Höchststandards für ihren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck festlegen. Beide Instrumente können so konzipiert werden, dass sie über den Zeitraum der Transformation ambitionierter werden. Auf EU-Ebene kann dies z.B. über die Ecodesign-Richtlinie erfolgen, die in Kürze erneuert werden soll. Sowohl Emissionsstandards als auch Materialquoten können ebenfalls für die öffentliche Beschaffung festgelegt werden [14]. Ein wichtiger Schritt in diese Richtung wurde im Rahmen der COP26 mit dem Green Steel Buying Pledge gemacht, bei dem sich die Regierungen von vier Ländern, darunter Deutschland, zum Kauf von CO<sub>2</sub>-armem Stahl verpflichtet haben.

### Harmonisierung der volkswirtschaftlichen mit der Marktperspektive

Die gleichzeitige Entwicklung von volkswirtschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Strategien wirft einige zentrale Fragen auf. Unklar ist, wie die gesamtwirtschaftliche und die Marktperspektive im Rahmen von Politikinstrumenten zielführend zusammengebracht werden können. Wie können z. B. Klimaschutzverträge und grüne Märkte im Zusammenspiel funktionieren? Grundsätzlich sind hier zwei Ansätze denkbar:

- Die Instrumente könnten parallel und getrennt voneinander zum Einsatz kommen.

Grüner Stahl, der als solcher gelabelt und verkauft wird und am Markt einen entsprechend höheren Preis erzielt, könnte dann nicht gleichzeitig per KSV gefördert werden – und umgekehrt. In diesem Fall wären grüne Märkte für Stahlunternehmen aber nur dann attraktiv, wenn die Zahlungsbereitschaft der Kunden für einen ausgewiesenen grünen Stahl größer ist als die Förderung über den KSV. Dies könnte – in Abhängigkeit von der Ausgestaltung anderer Elemente wie etwa der Benchmarks im EU ETS – zumindest anfänglich zu einem hohen Förderbedarf über KSV führen.

- Beide Instrumente werden zusammen auf die komplette Menge Grünstahl angewendet. In dem Fall würden die KSV nur den Anteil der Mehrkosten übernehmen, der nicht über den am Markt erzielten Grünstahlpreis abgedeckt werden kann. Hier stellt sich allerdings die Frage nach der Preisbildung: Wie kann der Markt einen angemessenen Aufpreis für Grünstahl bilden, wenn bereits im Vorfeld klar ist, dass die Differenz vom Staat gedeckt wird?

Um einen optimalen Instrumentenmix zu entwickeln, müssen zunächst noch angemessene Antworten auf diese Fragen gefunden werden.

### Die Risiken der Übergangsphase

Die Umstellung auf eine klimaneutrale Stahlproduktion ist eine Transformationsaufgabe, die sich über mehrere Jahrzehnte erstreckt. Alle deutschen Stahlunternehmen haben Roadmaps entwickelt, die durch eine schrittweise Vorgehensweise geprägt sind. Die Unternehmen planen, die bestehenden Hochöfen über die kommenden Jahrzehnte nacheinander abzustellen und die entsprechenden Kapazitäten im gleichen Zug durch wasserstoffbasierte Neuanlagen zu ersetzen. Sie werden also noch über mindestens 20 Jahre einen immer kleiner werdenden Park an kohlebasierten Hochöfen betreiben. Während dieser schrittweise Umstieg gerade in den ersten Stufen unvermeidbar ist und auch aus betrieblicher Perspektive sehr viele Vorteile hat, bedeutet er aber ebenfalls, dass die Stahlerzeuger noch über viele Jahre hinweg signifikante Assets mit hohem CO<sub>2</sub>-Preisrisiko betreiben werden.

Der CO<sub>2</sub>-Preis-Mechanismus ist so angelegt, dass er die klimafreundliche gegenüber der konventionellen Produktion wirtschaftlicher macht. Das ist auf volkswirtschaftlicher Ebene sinnvoll und genau so gewollt. Die geplanten Änderungen im EU ETS sollen die Transformation weiter anreizen. Auf Unternehmensebene bedeutet dies aber für die Übergangszeit ein signifikantes Risiko. So lagen die CO<sub>2</sub>-Kosten im Jahr 2020 für die rund 23 Mio. t Roheisen, die in deutschen Hochöfen hergestellt wurden, bei etwa 130 Mio. € [15]. Allerdings ist nach dem Vorschlag der EU-Kommission zu erwarten, dass die kostenfreie Zuteilung von Emissionsrechten in den nächsten Jahren deutlich sinken wird. Auch die vorgeschlagene Einführung des CBAM würde zur Reduktion der freien Zuteilungen zwischen 2025 und 2036 um 10 % pro Jahr führen.

Insgesamt könnte die CO<sub>2</sub>-Kostenbelastung pro Tonne Roheisen von 2020 gut 10 € bis 2030 auf fast 70 und bis 2035 auf rund 116 €/t ansteigen, wenn ein langfristig auf gegenwärtigem Niveau liegender CO<sub>2</sub>-Preis von 80 € angenommen wird. Selbst bei einer bis 2030 auf knapp 14 Mio. t sinkenden konventionellen Primärstahlerzeugung, wie sie z. B. in der Studie KNDE2045 [8] angenommen wurde, würden auf die deutsche Stahlindustrie für den Betrieb der Hochofenroute etwa 1,1 Mrd. € pro Jahr an CO<sub>2</sub>-Kosten zukommen. Allerdings müssten bei einem funktionierenden CBAM konventionelle Anlagen außerhalb der EU die gleichen CO<sub>2</sub>-Kosten tragen; eine Weitergabe der Kosten über einen höheren Stahlpreis wäre dann möglich.

Die Höhe dieses CO<sub>2</sub>-Preis-Risikos der konventionellen Erzeugung wird klarer, wenn sie mit den erwarteten Zusatzkosten der Umstellung auf die heute noch nicht wirtschaftliche H<sub>2</sub>-basierte Direktreduktion verglichen wird. Diese werden in einer aktuellen Studie [5] auf rund 2,8 Mrd. € pro Jahr ab 2030 geschätzt, unter der Annahme, dass bis dahin etwa 12 Mio. t Stahlerzeugungskapazität auf zu 80 % wasserstoffbasierte Direktreduktion umgestellt wurden. Die Zusatzkosten könnten aber auch nur gut 1 Mrd. € pro Jahr betragen, falls optimistischere Annahmen zu den Kosten des Wasserstoffs zugrunde gelegt werden. Diese Gegenüberstellung macht

deutlich, dass die für konventionellen Stahl zu erwartenden Mehrkosten für die Unternehmen ein signifikantes Niveau erreichen werden. Werden höhere CO<sub>2</sub>- oder niedrigere Wasserstoffkosten unterstellt, könnten sie spätestens im Jahr 2030 vermutlich etwa dasselbe Niveau haben, wie die Mehrkosten einer klimaneutralen wasserstoffbasierten Primärstahlherstellung.

Diese Gegenüberstellung deutet darauf hin, dass z.B. über die diskutierten Klimaschutzverträge zu tragende Kosten der Umstellung von rund 50 % der deutschen Primärstahlherzeugung um 2030 zu einem nennenswerten Teil durch höhere Einnahmen aus den Emissionsabgaben der dann noch bestehenden anderen Hälfte an konventioneller Stahlerzeugung abgedeckt werden könnten. Für die bestehenden Stahlunternehmen, die beide Technologien über einen längeren Zeitraum parallel betreiben müssen, bedeutet dies aber ein signifikantes Risiko, da noch nicht klar ist, ob der geplante CBAM es ermöglichen wird, diese Mehrkosten auf die Endkunden umzulegen. Dieses Risiko der konventionellen Stahlerzeugung müssen sie zusätzlich zu dem des Umbaus zu einer wasserstoffbasierten Stahlerzeugung tragen.

## Zwei zentrale Fragen für die Transformation

Die deutsche Stahlbranche hat sich auf den Weg zur Klimaneutralität gemacht. Dies skizzieren die Unternehmen in ihren Roadmaps. Für die notwendigen politischen Rahmenbedingungen und Anreizsysteme, welche die Investitionen in die neuen Technologien ermöglichen sollen, gibt es bereits verschiedene Lösungsvorschläge:

So können auf volkswirtschaftlicher Ebene über eine Kombination aus steigenden CO<sub>2</sub>-Preisen, einem funktionierenden Carbon-Leakage-Schutz und einer Absicherung der Risiken durch Klimaschutzverträge geeignete Rahmenbedingungen für rasche Investitionen in klimaneutrale Primärstahlherzeugung geschaffen werden. Parallel könnten über Selbstverpflichtungen und/oder staatliche Vorgaben Märkte für grünen Stahl entwickelt werden, die langfristig dafür sorgen, dass klimaneutraler Stahl am Markt erfolgreich ist.

Um den Rahmen für die Transformation zu schaffen, müssen zunächst die entsprechenden Instrumente konsequent eingeführt und dabei die beschriebenen Risiken vermieden werden. Zentral sind dabei zwei Fragestellungen. Zum einen müssen die volkswirtschaftliche und die Marktperspektive, die Angebots- und die Nachfrageseite im Zusammenspiel so funktionieren, dass möglichst schnell funktionierende Märkte für grünen Stahl entstehen und so die Kosten für die Unterstützung der Industrie niedrig bleiben. Zum anderen muss der Übergang so gestaltet werden, dass die neue Wasserstoffroute die Hochöfen schrittweise ersetzen kann, ohne in der Übergangszeit problematische Disruptionen für die Stahlunternehmen und die betroffenen Regionen hervorzurufen.

## Literatur

- [1] International Energy Agency: Iron and Steel Technology Roadmap. Towards more sustainable steelmaking, Paris (2021) 57-59.
- [2] Wirtschaftsvereinigung Stahl: Statistiken. Wesentliche Daten und Fakten rund um Stahl und die Stahlindustrie auf einen Blick. <https://www.stahl-online.de/startseite/stahl-in-deutschland/zahlen-und-fakten/>
- [3] Agora Energiewende und Wuppertal Institut: Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement, Berlin (2019) 59.
- [4] Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband: Grüner Stahl. Die Wasserstoffrevolution der Stahlindustrie. Eckpunktepapier, (2021).
- [5] Agora Energiewende, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut: Klimaschutzverträge für die Industrietransformation. Analyse zur Stahlbranche, Berlin (2021) 24.
- [6] Ohne Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Kosten. Annahmen: Erdgaspreis pro MWh Brennwert 20 €, Wasserstoffpreis pro MWh Brennwert 140 €.
- [7] Agora Industry, Wuppertal Institut und Lund University: Global Steel at a Crossroads. Why the global steel sector needs to invest in climate neutral technologies in the 2020s, Berlin (2021).
- [8] Prognos; Öko-Institut und Wuppertal Institut: Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, Berlin (2021).
- [9] Dröge, S.: Ein CO<sub>2</sub>-Grenzausgleich für den Green Deal der EU. Funktionen, Fakten, Fallstricke. Berlin (2021).

- [10] IN4climate.NRW: Klimaschutzverträge für eine beschleunigte Transformation der Industrie. Positionspapier, Gelsenkirchen (2021).
- [11] Lösch, O.; Eichhammer, W.; Schlomann, B. und Keimeyer, F.: Projektbasierte Klimaschutzverträge für eine Treibhausgasneutrale Industrieproduktion, Karlsruhe/Berlin (2021).
- [12] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): Eckpunkte für eine Förderrichtlinie Klimaschutzverträge zur Umsetzung des Pilotprogramms „Carbon Contracts for Difference“, Berlin (2021).
- [13] University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL) & Agora Energiewende: Tomorrow's markets today: Scaling up demand for climate neutral basic materials and products, CLG Europe (2021).
- [14] Vogl, V.; Åhman, M.; und Nilsson, L. J.: The making of green steel in the EU: a policy evaluation for the early commercialization phase. In: Climate Policy, (2021) 78-92.
- [15] Angenommen wurden ein Preis von 50 €/t CO<sub>2</sub> und Emissionen von 1,71 t/t Roheisen und 1.33 t/t kostenloser Zuteilung.

*A. Tönjes, Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Prof. Dr. S. Lechtenböhrer, Leiter der Abteilung Zukünftige Energie- und Industriesysteme, Dr. A. Leipprand, Wissenschaftliche Mitarbeiterin, O. Zelt, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, Wuppertal, [annika.toenjes@wupperinst.org](mailto:annika.toenjes@wupperinst.org)*

### Hinweis

Teile dieses Artikels sowie die darauf beruhenden Erkenntnisse wurden in einem Projekt mit thyssenkrupp Steel Europe erarbeitet.

> PRINT  
> ONLINE  
> DIGITAL

Weitere Informationen unter:

[www.red-magazin.de](http://www.red-magazin.de)