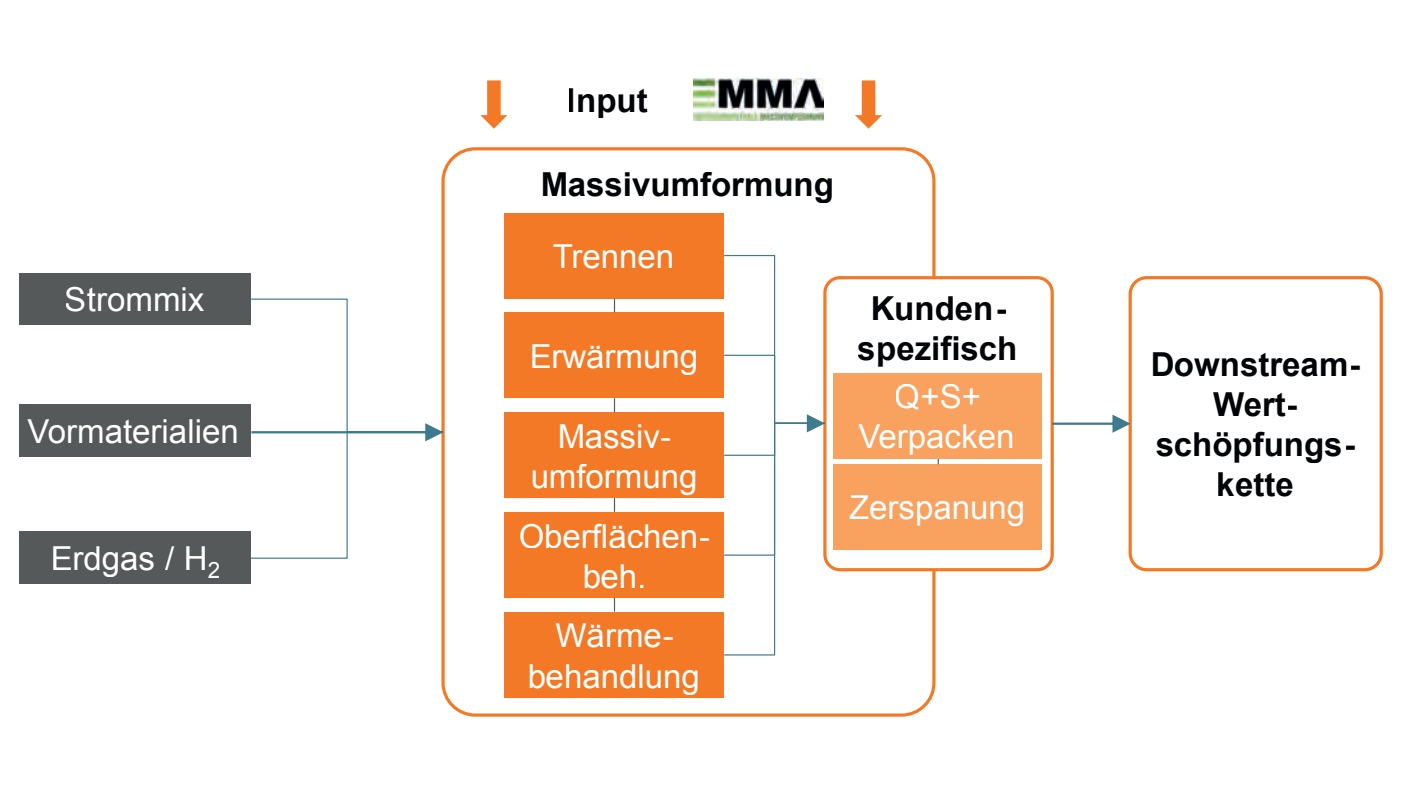

„Klimapfad Massivumformung 2045" – Potenziale und Risiken

Als energieintensive Industrie steht die Massivumformung im besonderen Fokus der „grünen Transformation". Sowohl auf Ebene der Einzelunternehmen als auch im Industrieverband Massivumformung wird seit Jahren die Innovationsstrategie auf die Senkung des CO_2-Fußabdrucks der Schmiedeprodukte bei gleichzeitig hoher Wettbewerbsfähigkeit ausgerichtet. Im Einklang mit den nationalen Klimaschutzzielen hat der Industrieverband Massivumformung im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten ZIM-Innovationsnetzwerks die Vision einer Emissionsneutralen Massivumformung (EMMA) entworfen. Die diesem Beitrag zugrunde liegende Studie der fka GmbH zeigt hierzu in konsistenten Szenarien auf, in welchem konkreten Umfang sich der spezifische CO_2-Fußabdruck (Product Carbon Footprint, PCF) der Produkte der Schmiedeindustrie in Deutschland im Zeitraum bis 2045 durch brancheninterne Technologien und externe Faktoren senken lässt. Zudem wird indikativ abgeschätzt, welche Mehrkosten den Unternehmen durch diesen Dekarbonisierungspfad im Zeitverlauf entstehen können.

> Die Schmiedeindustrie kann einen bedeutenden Beitrag zur Dekarbonisierung und damit zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele leisten.
>
> Verzögern sich die Umstellung des Energiesystems hin zu erneuerbaren Energien und die Dekarbonisierung der Vormaterialien der Massivumformung, können die kumulierten Mehrkosten bis zu 10 Prozent der gegenwärtigen Wertschöpfung der Branche betragen.
>
> **Christian Harter**

> Getrieben durch vielfältige Innovationen kann der durchschnittliche PCF der Schmiedeprodukte signifikant gesenkt werden. Die direkten CO_2eq-Emissionen sowie der CO_2eq-Emissionen aus der Stromerzeugung können durch Umstellung auf Strom und Wasserstoff aus erneuerbaren Energien auf Null reduziert werden.
>
> **Alexander Busse**

AUTOREN

Christian Harter, M.Sc.

ist Senior Consultant
bei der fka GmbH
in Aachen

Alexander Busse, M.Sc.

ist Manager Sustainability & New Mobility
bei der fka GmbH
in Aachen

Die Schmiedeindustrie in Deutschland brachte im Jahr 2021 Erzeugnisse mit einer Gesamttonnage von etwa 2.020 Kilotonnen (kt) aus [1]. Die Produkte der Gesenkschmieden bilden mit jeweils mehr als der Hälfte der Tonnage und des Produktwerts den Schwerpunkt. Der restliche Markt wird durch Produkte des Freiformschmiedens sowie des Kaltfließpressens gebildet. Aufgrund der verwendeten Datenbasis sind in den Produkten des Kaltfließpressens keine Verbindungselemente enthalten.

Den Produkten der Schmiedeindustrie ist ein ökologischer Fußabdruck (PCF) zuzurechnen. Im Rahmen dieser Analysen wird ein Cradle-to-Gate-Ansatz verfolgt, in dem alle Emissionen betrachtet werden, die inklusive der Vorketten bei der Produktion von Schmiedeprodukten „bis zum Werkstor" entstehen. Der PCF wird – an einigen Stellen pragmatisch leicht vereinfacht – auf Basis des CO_2eq-Branchentools „FRED" berechnet, indem insgesamt neun repräsentative generische Prozessketten modelliert und mit aktuellen Referenzdaten der Branche berechnet werden [2].

Hochgerechnet auf die gesamte Schmiedeindustrie in Deutschland entstehen im Basisjahr 2021 produktbezogene CO_2eq-Emissionen in Höhe von zirka 6.500 kt. Insgesamt repräsentiert das stark durch Produkte des Automobilbaus dominierte Gesenkschmieden mehr als die Hälfte des PCF. Den höchsten spezifischen PCF pro Kilogramm Endprodukt besitzen derweil die Schmiedeprodukte aus Nichteisenmetallen. So entstehen beim Gesenkschmieden von Aluminium zirka 11,7 kg CO_2eq pro kg Endprodukt. Unter den Stahlschmiedeprodukten stechen die Produkte des Kaltfließpressens von Stahldraht hervor – bedingt durch den Einsatz von Primärmaterial und der damit einhergehenden großen CO_2-Intensität des Vormaterials. Es zeigt sich, dass in allen repräsentativen generischen Prozessketten das Vormaterial den Großteil des gegenwärtigen CO_2-Fußabdrucks ausmacht. Darauf folgen die auf die Wärmeprozesse zurückzuführenden Emissionen. Die Umformschritte selbst verursachen in jeder der modelierten generischen Prozessketten weniger als 0,5 kg CO_2eq pro kg Endprodukt.

INNOVATIONEN DER INDUSTRIE UND EXTERNE RAHMENBEDINGUNGEN ALS SZENARIO-ANNAHMEN

Eingebettet in die Zielsetzungen des Pariser Klimaschutzabkommens setzt das deutsche Klimaschutzgesetz den Zielkorridor für die Vision „Klimaneutrale Massivumformung 2045": Es sieht vor, die Netto-Emissionen bis 2030 um 65 Prozent zu reduzieren und bis 2045 auf Null zu bringen [3]. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz konkretisiert, dass bis 2030 80 Prozent der nationalen Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien stammen sollen [4].

Wie es sich bereits aus den Status-Quo-Analysen des CO_2-Fußabdrucks ergibt, ist für eine Minderung des CO_2-Fußabdrucks der Schmiedeindustrie in Richtung Null die parallele

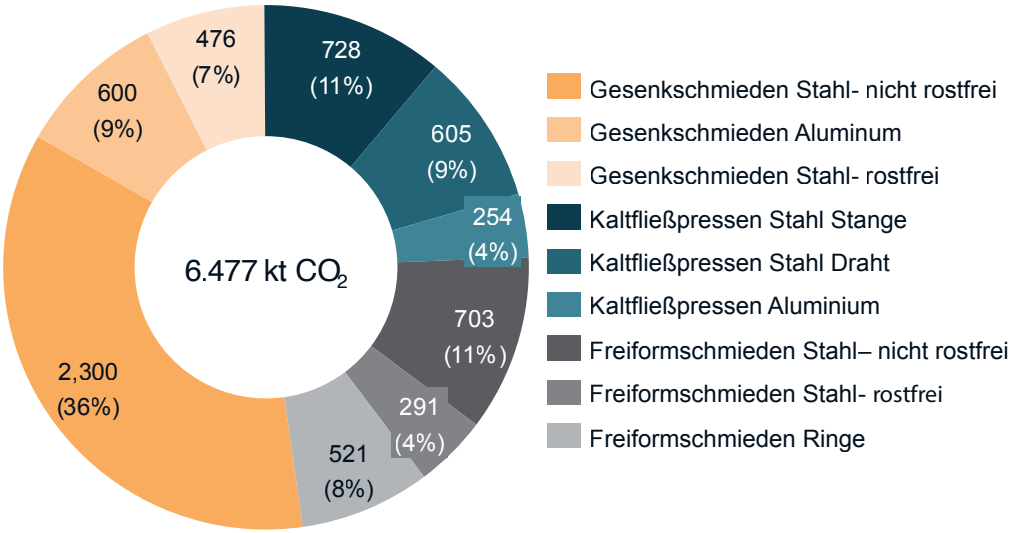

Bild 1: Gesamter CO_2eq-Footprint Massivumformung 2021 nach Cluster

Dekarbonisierung der Vormaterialien und der Energieträger notwendig. Diese Entwicklungen liegen teilweise außerhalb der direkten Zugriffsmöglichkeiten der Schmiedeindustrie. Sie werden deshalb im Rahmen dieser Studie als Szenarienparameter modelliert und in zwei Szenarien betrachtet:

- Im Referenzszenario verläuft die Dekarbonisierung des Vormaterials sowie die Transformation des Energiesystems in Übereinstimmung mit dem Klimaschutzgesetz.

- Im Szenario „Limitierte Ressourcenverfügbarkeit" verlaufen die Entwicklungen bei Vormaterial und Energiesystem verzögert; im Vergleich zum Referenzszenario baut sich bis 2045 ein Verzug von zehn Jahren auf.

Innerhalb dieser Szenarien wird in Fünfjahresschritten der Dekarbonisierungspfad der Schmiedeindustrie in Deutschland bis ins Jahr 2045 berechnet. Die ausgebrachte Tonnage wird in allen Projektionen grundsätzlich als konstant angenommen.

EXTERNE RAHMENBEDINGUNGEN

Für ein kohärentes Gesamtbild werden die Annahmen zu den externen Rahmenbedingungen aus den Langfristszenarien des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) entnommen beziehungsweise an diese angelehnt [5]. Für das Szenario „begrenzte Ressourcenverfügbarkeit" wird ein zeitlicher Verzug der entsprechenden Entwicklungen von zehn Jahren bis 2045 modelliert. Unter den getroffenen Annahmen sind jene zum Einsatz erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung, zum Einsatz von Wasserstoff sowie zur Dekarbonisierung von Sekundärstahl besonders einflussreich:

- Elektrische Energie: Im Referenzszenario sinkt die CO_2-Intensität bereits bis 2030, angelehnt an die Projektionen der Langfristszenarien und aufgrund des Einsatzes von mehr als 80 Prozent Erneuerbarer Energien, auf unter 100 g CO_2/kWh ab. Im Szenario „begrenzte Ressourcenverfügbarkeit" wird dieser Meilenstein erst 2040 erreicht. Langfristig verbleiben nur geringe Vorkettenemissionen der Stromerzeugung.

- Wasserstoff: 25 Prozent Wasserstoff-Anteil an Hochtemperaturprozessen bis 2035, 100 Prozent bis 2045 (Referenzszenario), im Szenario „Limitierte Ressourcenverfügbarkeit" nur 25 Prozent bis 2045.

- Vormaterial: Insgesamt ist im Durchschnitt derzeit von einer CO_2-Intensität des eingesetzten Sekundärstahls von ungefähr 1,15 kg CO_2eq/kg Stahl auszugehen. Perspektivisch erscheint unter Dekarbonisierung aller Scopes eine Reduktion auf 30 bis 35 Prozent des initialen Werts möglich.

INNOVATIONEN DER SCHMIEDEINDUSTRIE

Für eine umfassende Berücksichtigung der Innovationsaktivitäten der Unternehmen der Massivumformung werden in den Szenarien insbesondere die auf Verbandsebene in ver-

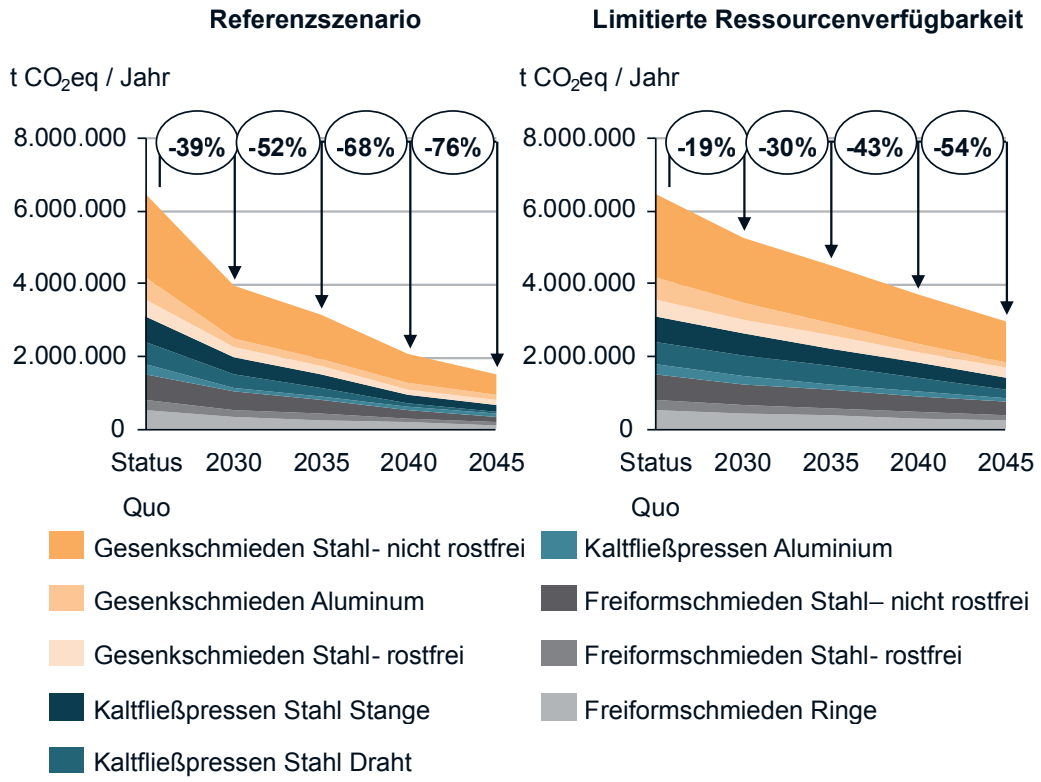

Bild 2: Dekarbonisierungspfad nach Schmiedeclustern

schiedenen Projekten und Programmen diskutierten Maßnahmen abgebildet. Dabei lassen sich folgende Innovationsfelder identifizieren:

- CO_2-Intensität der eingesetzten Werkstoffe reduzieren, zum Beispiel durch die weitergehende Verwendung von Sekundärstahl,
- CO_2-Intensität der eingesetzten Energieträger reduzieren, zum Beispiel durch den Ersatz von Erdgas durch Wasserstoff in den Wärmeprozessen,
- Energieeffizienz steigern, zum Beispiel durch die Optimierung von Produktionsprozessen und den Einsatz energieeffizienter Technologien,
- Materialeffizienz steigern, zum Beispiel durch die Minimierung von Materialverlusten während der Umformprozesse,
- Prozessabfolge verschlanken, zum Beispiel durch die Vermeidung mehrfachen Zwischenerwärmens.

Alle Einzelinnovationen wurden den jeweils passenden Schmiedeprozessen zugeordnet. Zudem wurden jeweils CO_2eq-Reduktionspotenzial, Markteintrittszeitpunkt, der maximal erreichbare Marktanteil sowie die Geschwindigkeit der Marktdurchdringung auf Basis von Expertenabschätzungen modelliert.

ERGEBNISSE DER DEKARBONISIERUNGSSZENARIEN

Auf Basis der Innovationen im Zeitverlauf in den einzelnen Clustern der Schmiedeindustrie kann sich – flankiert durch die szenarioabhängigen Rahmenbedingungen in den Bereichen Energie und Vormaterial – eine deutliche Reduktion des durchschnittlichen PCF der Schmiedeindustrie einstellen. Im Referenzszenario sinken die gesamten direkt produktbezogenen CO_2-Emissionen der Schmiedeprodukte auf 1.529 kt im Jahr 2045. Dies entspricht einer Reduktion um 76 Prozent, wobei mit 39 Prozent ein großer Teil der Reduktion schon bis 2030 realisiert wird. Eine Reduktion der Treibhausgasemissionen auf Null wird jedoch in keinem Szenario erreicht. Zwar werden die direkten CO_2eq-Emissionen (Scope 1) vollständig vermieden, bei der Produktion von Vormaterialien sowie in geringerem Umfang in der Vorkette der Erzeugung der elektrischen Energie (Scope 3) entstehen jedoch auch weiterhin CO_2eq-Emissionen.

Im Szenario „Limitierte Ressourcenverfügbarkeit" tritt bei einem gleichen Set von internen Maßnahmen der Schmiedeindustrie nur eine reduzierte Dekarbonisierung ein. Insbesondere bis zu den Jahren 2030 und 2035 hinken die Entwicklungen den Projektionen des Referenzszenarios nach. So sinken die Emissionen bis 2030 lediglich um 19 Prozent. Aufgrund der in diesem Szenario langsameren Transformation von Erdgas zu Wasserstoff im gesamten Energiesystem verbleiben auch im Scope 1 erhöhte Restemissionen bis ins Jahr 2045.

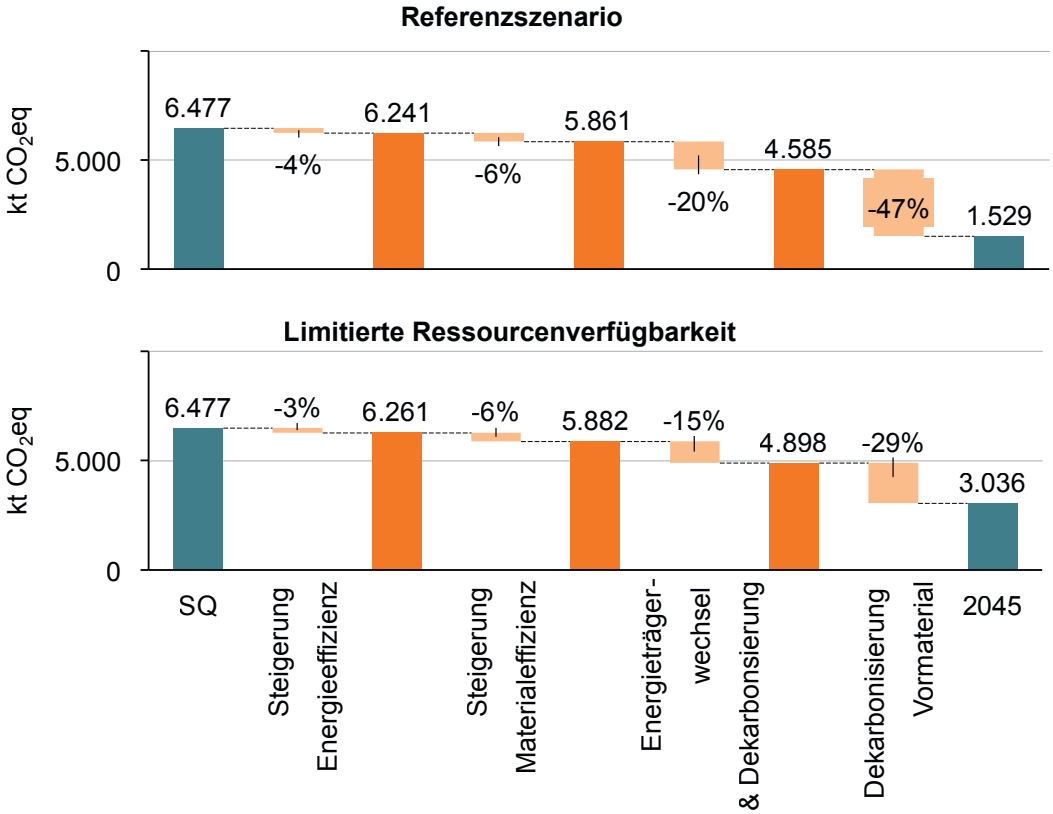

Bild 3: CO_2-Emissionstreppe zwischen Status Quo und Projektionsjahr 2045 imReferenzszenario (oben) und im Szenario „Limitierte Ressourcenverfügbarkeit" (unten); Bilder: fka

Die Ergebnisse zeigen, dass für eine weitreichende Dekarbonisierung auch entsprechende externe Enabler (Verfügbarkeit Wasserstoff et cetera) gegeben sein müssen. Ohne Energieträgerwechsel hin zu Strom und Wasserstoff, dem weiteren Ausbau Erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung sowie der Dekarbonisierung des Vormaterials wird lediglich eine Senkung des PCF um etwa 10 Prozent ermöglicht, jede weitere Verbesserung darüber hinaus ist direkt von der Transformation des gesamtwirtschaftlichen Energiesystems abhängig (Bild 3).

KOSTENIMPLIKATIONEN

Erdgas ist gegenwärtig der günstigste relevante Energieträger für den Einsatz in Wärmeprozessen. Die Umstellung auf strom- oder wasserstoffbasierte Prozesse kann zwar den PCF senken, führt aber in der Regel zu Mehrkosten für Energie. Im Vergleich zum Basisjahr steigen diese zunächst bis 2030 stark an und belaufen sich auf zirka 150 Milionen Euro pro Jahr. Im weiteren Zeitverlauf steigen die jährlichen Mehrkosten für die Branche leicht weiter auf zirka 220 Milionen Euro pro Jahr. Kommt es hingegen nicht zu einem deutlichen Preisrückgang bei elektrischer Energie und Wasserstoff, wie im Szenario zur begrenzten Ressourcenverfügbarkeit angenommen, steigen die Mehrkosten deutlich stärker und erreichen ca. eine halbe Milliarde Euro jährlich.

Ebenso ist für CO_2-armen Stahl aus der Primärroute aufgrund der neuartigen Produktionstechnologie mit Wasserstoffeinsatz mit einem Kostenaufschlag zu rechnen. Die Preisentwicklung bei Sekundärstahl hängt hingegen stark von der allgemeinen Strompreisentwicklung ab, welche im vorliegenden Referenzszenario als weitestgehend stabil angenommen wird. Hieraus erklären sich auch die vergleichsweise geringen Mehrkosten für CO_2-arme Vormaterialien in Höhe von im Zeitverlauf zirka 55 Millionen Euro im Jahr. Im Szenario zur begrenzten Ressourcenverfügbarkeit sind die Mehrkosten auf Grund der höheren Wasserstoffpreise größer und wachsen auf etwa 130 Millionen Euro im Jahr an.

Mit dem Umstieg auf Wasserstoff in den Wärmeprozessen muss auch die Anlageninfrastruktur ertüchtigt werden. Industrieöfen für den Einsatz von Wasserstoff sind nicht fundamental teurer als konventionelle Erdgas-Öfen.[6] Aufgrund des angestrebten schnellen Umstiegs auf Wasserstoff-Verfeuerung zur Einhaltung der Klimaziele 2045 ist jedoch damit zu rechnen, dass es zu vorzeitigen Ersatzinvestitionen kommen muss. Die entsprechenden Kosten liegen kumuliert im Zeitverlauf bei bis zu 90 Millionen Euro.

FAZIT

Die Schmiedeindustrie kann einen bedeutenden Beitrag zur Dekarbonisierung und damit zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele leisten. Getrieben durch vielfältige Innovationen kann der durchschnittliche PCF der Schmiedeprodukte signifikant gesenkt werden. Die direkten CO_2eq-Emissionen (Scope 1) sowie der CO_2eq-Emissionen aus der Stromerzeugung (Scope 2) können durch Umstellung der Prozesse auf Strom und Wasserstoff aus erneuerbaren Energien auf Null reduziert werden. Entscheidend hierfür ist die tatsächliche verlässliche Verfügbarkeit der jeweiligen Energieträger. Da der PCF der Schmiedeprodukte insgesamt jedoch überwiegend auf CO_2eq-Emissionen der Vorkette zur Materialherstellung beruht, ist die Verfügbarkeit grünen Stahls und grünen Aluminiums kritisch für eine weitergehende Reduzierung in Richtung vollständiger Dekarbonisierung, auch wenn diese nach heutigem Stand der Technik nicht ohne externe Ausgleichsmaßnahmen erreicht werden kann.

Eine weitgehende Klimaneutralität ist dabei mit Mehrkosten verbunden, welche sich auf das Preisgefüge – auch im inter-