

Klimapfad Massivumformung – Wege zu CO₂-freien Komponenten



Bild: 487263250 ©Parradee, www.stock.adobe.com

Das Thema des nachhaltigen Wirtschaftens vor allem bezüglich der Umwelt ist ein Megatrend und findet sich als übergreifendes politisches und gesellschaftliches Leitmotiv unter anderem im "Green Deal" der neuen EU-Kommission wieder. Definiertes Ziel ist dort eine klimaneutrale Industrieproduktion bis zum Jahr 2050. Somit muss sich jedes Unternehmen der Aufgabe der Reduzierung von CO₂-Emissionen stellen. Nicht zuletzt wird auch von Kunden der Automobilbranche sowie aus dem Finanzwesen ein Druck zur Reduzierung der Emissionen von CO₂ und anderen klimarelevanten Gasen erzeugt. Der Industrieverband Massivumformung e. V. und prosimalys stellen in einer ersten Phase des nocarbFORGING-2050-Projekts ein CO₂-Berechnungswerkzeug vor.

AUTOR



Dr.-Ing. Hans-Willi Raedt

ist Gesellschafter
und Geschäftsführer
der prosimalys GmbH
in Bad Wörishofen

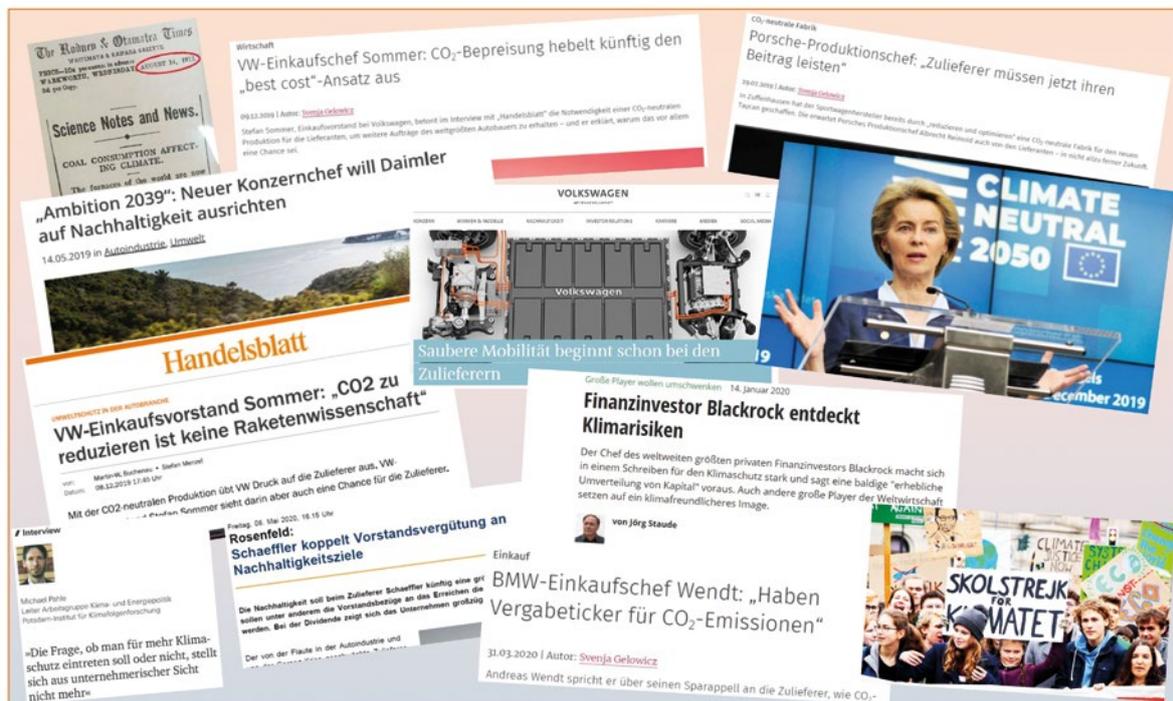


Bild 1: Forderungen des Stakeholderumfelds für die produzierende Industrie

Die Massivumformung ist die Fertigungstechnologie, die in automobilen Anwendungen höchstbelastbare Komponenten in Antriebstrang, Fahrwerk und zunehmend in der Karosserie zur Verfügung stellt. Mehrfach zumeist unter Druckspannung umgeformte Werkstoffe sind feinkörnig und weisen zertrümmerte oder der Belastung folgende Einschlüsse auf. Dies führt zu hochfesten und gleichzeitig sehr duktilen Bauteilen mit hohen Zähigkeiten. Eine Reihe an heutigen und zukünftigen Bauteilen im Automobil (Rotorwellen mit Steck- oder Laufverzahnungen, Getriebebauteile, wälzgelagerte Komponenten, Sicherheits-Fahrwerkbauteile) sind nur massivumgeformt denkbar. Dies gilt auch für die Anwendungen in anderen Branchen wie Bahn, Luftfahrt und Energie. Aufgrund der Herstellung des Vormaterials, im Automobil zumeist Stahl und Aluminium, aus Erz oder Schrott und je nach Umform-, Werk-

stoff- und Wärmebehandlungstechnologie mit einem oder mehreren Erwärmungsvorgängen sind diese Bauteile energieintensiv und weisen nach aktuellem Stand der Technik höhere CO₂-Emissionen auf. Die deutsche Massivumformbranche wird aber ihrer Verantwortung gerecht und beschäftigt sich proaktiv mit dem Thema „Minimierung des CO₂-Ausstoßes“.

AUSGANGSSITUATION UND LÖSUNGSANSATZ

Die deutsche Massivumformung ist eine energieintensive Branche mit einem geschätzten Energieverbrauch von drei TWh in Form von Erdgas und elektrischem Strom, ohne Betrachtung des eingesetzten Vormaterials [1]. Die typische Prozessfolge kann je nach Umformverfahren aus folgenden Teilschritten bestehen, die auch mehrfach auftreten können:

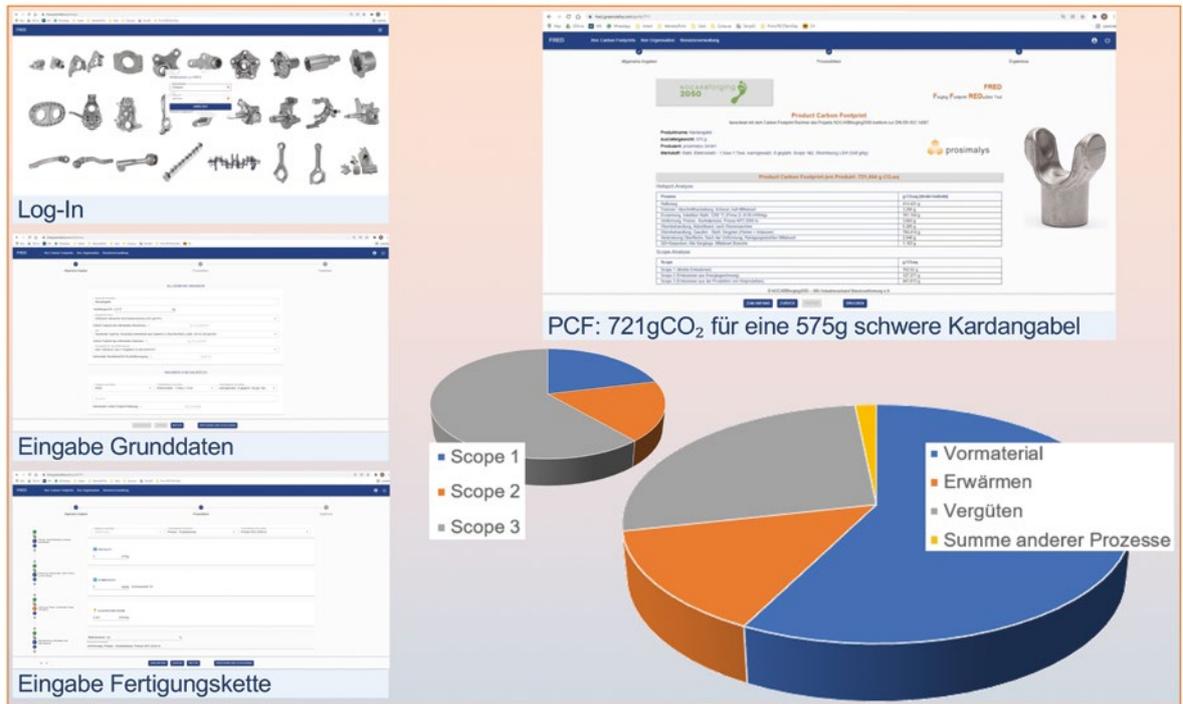


Bild 2: Impressionen FRED

- Herstellung und Lieferung des Einsatzmaterials (Stahl, Aluminium, Titan, Magnesium, Messing),
- Trennen,
- Vorbeschichten,
- Erwärmen, mehrstufiges zügiges oder inkrementelles Umformen,
- Wärmebehandlung und
- Zerspanung.

Energieverbrauch ist heute auch immer mit CO₂-Emissionen verbunden. In der Maßnahme „Klima“ des European Green Deal wird eine Verringerung der Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 Prozent gegenüber 1990 festgelegt, sowie die Klimaneutralität bis 2050 gefordert [2]. Über die CO₂-Bepreisung wird schon heute in geringem Umfang und zukünftig verstärkt die Emission von CO₂ wirtschaftlich bedeutsam. Sich nicht mit diesem Thema auseinanderzusetzen wird aber mittelfristig keinem Stakeholder vermittelbar sein. Besonders die Automobilindustrie treibt derzeit schon die Lieferkette an, sich mit dem Thema der CO₂-Emission in der Produktion zu beschäftigen. Einerseits gibt es Forderungen, den Product Carbon Footprint (PCF) von gelieferten Komponenten zu beziffern, andererseits werden kontinuierliche Maßnahmen gefordert, den PCF zu reduzieren (Bild 1).

Die Branche der Massivumformung in Deutschland stellt sich zusammen mit den Partnerbranchen proaktiv dieser Herausforderung. Im Dezember 2020 startete deshalb das Projekt „NOCARBforging2050“ mit der ersten Phase „FRED“.

FRED – FORGING FOOTPRINT REDUCTION TOOL

In der ersten Phase dieses Projektes wird das Tool FRED entwickelt, mit dem PCFs für Massivumformteile berechnet werden können. Es nehmen über 50 Firmen der Massivumform- und Partnerbranchen teil. FRED ist als Webanwendung konzipiert. Für die Berechnung eines PCF werden einige Grunddaten eingegeben: Bauteilgewicht, verwendeter Strommix, PCF des Vormaterials und einige andere Daten. Die Anwender geben dann die individuelle Prozessfolge ihres Produkts ein. Für diese Prozesse werden aus einer Datenbank die spezifischen Verbräuche von elektrischer Energie, Gas und weiteren Stoffen ausgelesen. Zudem werden für die einzelnen Prozesse die technisch bedingten Werkstoffverluste angegeben. Mit diesen Angaben wird für das Endprodukt die Menge des emittierten CO₂ berechnet.

Die Verbräuche an elektrischem Strom und Gas und die typischen Werkstoffverluste wurden im Rahmen der FRED-Phase von den zahlreichen teilnehmenden Firmen eingeholt und in der FRED-Datenbank gespeichert. Auch wenn sicherlich weiterhin Potenziale zur Verfeinerung der Daten bestehen, stellt FRED für Metallverarbeitungsprozesse einzigartig detaillierte Auswertungen zur Verfügung. Bild 2 stellt die Einlog-Seite, die Eingabe der Grunddaten und der Prozessfolge, sowie ein Berechnungsergebnis für ein vergütetes Gabelstück aus der Kardanwelle dar.

Dieses Ergebnis an einem typischen Gesenkschmiedeteil lässt sich in seiner Grundcharakteristik an vielen massiv umgeformten Bauteilen wiederfinden: Der eingesetzte Werkstoff hat den größten Anteil am PCF. An zweiter Stelle folgt die Wärmebehand-

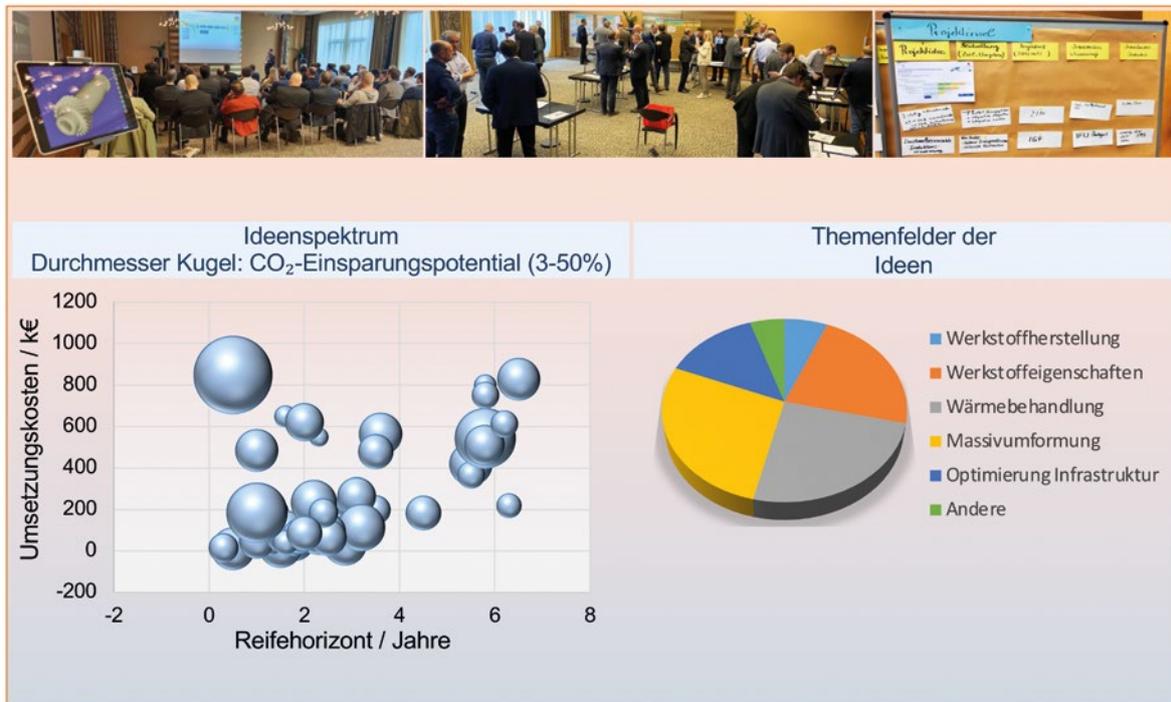


Bild 3: Impressionen vom Workshop und Übersicht der Ergebnisse

lung, danach die Erwärmung zum Schmiedeprozess. Die Anteile werden dadurch beeinflusst, ob der verwendete Stahl aus der Roh- oder Elektrostahlroute kommt, oder ob zum Beispiel Aluminium eingesetzt wird. Weitere Einflussfaktoren sind die Umformtemperatur und ob überhaupt eine Wärmebehandlung nach dem Schmieden durchgeführt wird. Aufgrund der vielen möglichen unterschiedlichen Konstellationen lässt sich aber keine einfache Faustregel aufstellen, sondern die Berechnung basierend auf industriellen Daten ist absolut notwendig, um die Stellschrauben zur Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks zu identifizieren.

EMMA: WORKSHOP „EMISSIONSFREIE MASSIVUMFORMUNG“

Der Weg zur Senkung bis hin zur Vermeidung von CO₂-Emissionen führt über grünen elektrischen Strom. Dieser ermöglicht es, Stahl über die Direktreduktionsroute über grünem Wasserstoff, über die Schrott-Elektroroute oder in ganz neuen Ansätzen [3] ohne CO₂-Emissionen herzustellen. Auch (Wieder-)Erwärmungsvorgänge beispielsweise für Freiformschmieden, Walzen oder für Wärmebehandlungen in Schmiede oder Stahlwerk sind elektrisch denkbar, alternativ mit Wasserstoff [4] oder mit Methan, welches aus Strom synthetisch hergestellt wird. Ebenso sind Erwärmungsvorgänge in Gesenkschmieden heute meistens induktiv ausgeführt, so dass grüner Strom hier die CO₂-Emissionen vermeiden könnte. Es ist aber auch klar: Die vollständige Abkehr von fossilen Energieträgern für Werkstoffherstellung wird deutliche Investitions- und Betriebskosten verursachen, und auch die Umstellung heutiger gasbasierter Erwärmungs- oder Wärmebehandlungsprozesse auf Wasserstoff oder elektrischen Strom wird hohe Kostenbelastungen nach sich ziehen.

Entsprechend macht es sehr viel Sinn, auch weitere Ideen zur Erhöhung der Werkstoff- und Energieeffizienz zu erarbeiten, da diese die höheren Energiekosten der Zukunft zumindest zum Teil gegenkompensieren und damit den Wandel zur CO₂-freien Fertigung wirtschaftlicher gestalten können.

Mit der Berechenbarkeit von CO₂-Emissionen für verschiedenste Prozessketten der Massivumformung ist die Basis geschaffen, um Ideen zur Senkung der Emissionen zu bewerten. Entsprechend fand im November 2021 ein Workshop statt, in dem 60 Teilnehmer aus 43 Firmen und 13 Forschungsinstituten anhand von Beispielbauteilen Ideen zur Senkung der CO₂-Emissionen erarbeitet haben. In diesem Kick-off Workshop wurden 51 erste Ideen gefunden, wie die CO₂-Emissionen in der Massivumformung reduziert werden können. Diese Ideen werden nach folgenden Kriterien klassifiziert:

- prozentuales CO₂-Einsparpotenzial, Reifehorizont (direkt einsetzbar, in einem ZIM-Projekt erarbeitbar, in einem BMBF- oder BMWK-Projekt erarbeitbar),
- Realisierungsdauer und
- Umsetzungskosten.

Zudem sind die Ideen nach ihrem Themenfeld geordnet:

- Werkstoffherstellung,
- Werkstoffeigenschaften,
- Wärmebehandlung,
- Umformprozess,
- Optimierung Infrastruktur und
- andere.

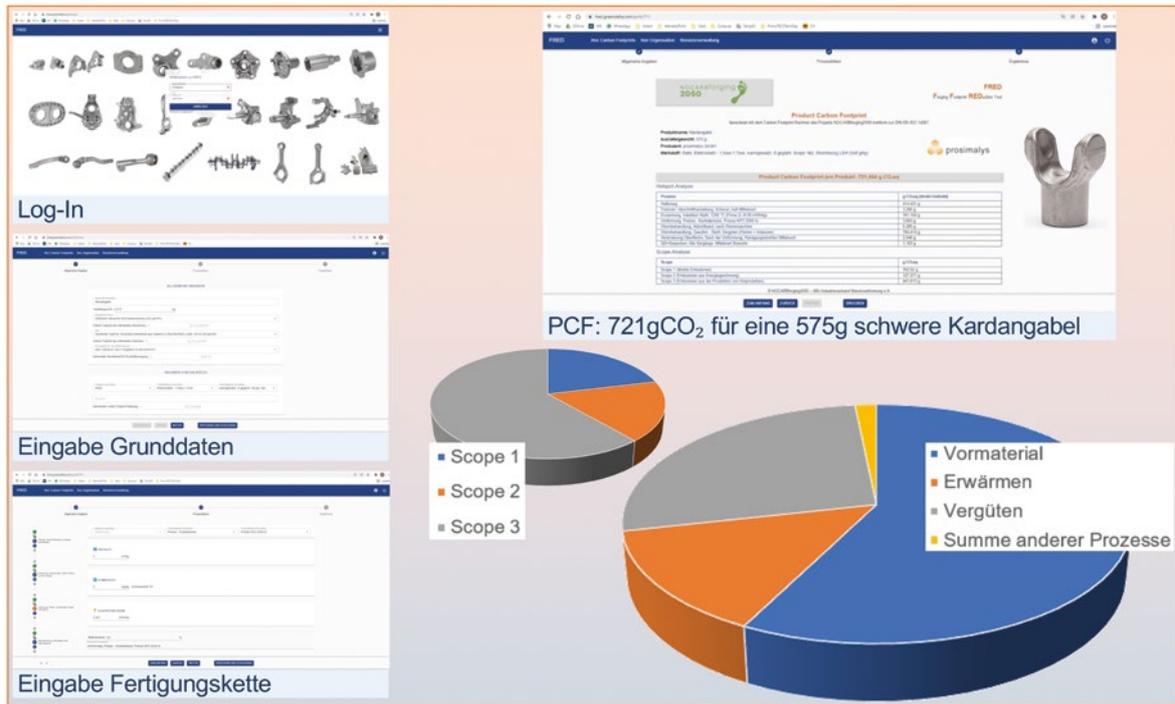


Bild 4: Auswirkung von CO₂-Minderungs-ideen auf den PCF einer Kardangabel, Bilder: prosimalys

Bild 3 zeigt, dass der Workshop zu einem sehr großen Spektrum an Ideen geführt hat. Die Ideen zeigen anhand der ausgestellten Beispielbauteile ein CO₂-Einsparungspotenzial zwischen drei und 50 Prozent auf, wobei durchaus auch mehrere Ideen gleichzeitig auf ein Bauteil angewendet werden könnten, wodurch sich das Einsparpotenzial addiert. Dabei wird die Reife der Ideen zwischen sofort einsetzbar und über sechs Jahre Entwicklungszeit bewertet. Allerdings müssen bis zur fertigen Umsetzung in der Praxis sicherlich noch einige Jahre Implementierungszeit addiert werden. Auch schwanken die Umsetzungskosten für die genannten Ideen stark. Aus diesem ersten Schnappschuss an CO₂-Minderungseinfällen wird klar, dass eine solide Bewertung der CO₂-Einsparung, zum Beispiel mit Hilfe des FRED-Berechnungstools notwendig ist, um die effizientesten Ideen priorisieren zu können.

IDEEN ZU WERKSTOFFEN, WÄRMEBEHANDLUNGEN, UMFORMVERFAHREN UND INFRASTRUKTUR

Im massiv umgeformten Produkt trägt der Werkstoff am meisten zum Carbon Footprint bei. Entsprechend sind Bestrebungen, Werkstoffe mit verringertem PCF einzusetzen, eine sehr wirksame Maßnahme zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes für geschmiedete Komponenten. Hier gibt es schon einsetzbare Angebote am Markt. So bietet ein schwedischer Langstahlhersteller ab Anfang 2022 einen CO₂-freien Langstahl an. CO₂-Freiheit bezieht sich auf Scope 1 und 2, wobei ein Teil der Minderung durch Carbon-Offsets erreicht wird, deren Einsatz aber in den nächsten Jahren durch entsprechende infrastrukturelle Maßnahmen deutlich reduziert werden soll [5].

Ein deutscher Stahlhersteller bietet einen „Green Steel“ an, der im Elektrolichtbogenofen mit Strom aus regenerativen Energiequellen erschmolzen wird. Damit fällt der PCF (Scope 1 und 2) von unlegiertem Edelbaustahl und auch von höherlegierten Stählen auf etwa 50 Prozent [6], [7]. Auch weitere Langstahlhersteller beschäftigen sich intensiv mit der Reduzierung des CO₂-Footprints ihrer Produkte [8].

Wie in Bild 2 zu sehen, ist die Wärmebehandlung von Bauteilen der zweitstärkste Treiber von CO₂-Emissionen (grauer Sektor). Bei den Schmiedewerkstoffen gab es in den letzten 20 Jahren zahlreiche Entwicklungen, Vergüteprozesse durch Abkühlung aus der Umformhitze zu ersetzen, wobei verbesserte AFP-Stähle, bainitische Stähle [9] oder sogar lufthärtende Martensite [10] zur Verfügung stehen. Mit diesen neuen Schmiedewerkstoffen können CO₂-Emissionen und zumeist auch Kosten in der Produktion reduziert werden.

Des Weiteren kann der PCF optimiert werden, wenn auch beim Massivumformer regenerative elektrische Energie mit besserer Effizienz eingesetzt wird [11], oder wenn durch eine Vorformoperation oder eine feinere Abstimmung der Umformung Einsatzmaterial eingespart wird.

Bild 4 zeigt, wie die genannten schon verfügbaren Einsatzgrößen oder technischen Möglichkeiten zu einer deutlichen Reduzierung des CO₂-Footprint eines exemplarischen Bauteils führen können. Im Rahmen einer vorwettbewerblichen Zusammenarbeit in der Branche dürfen selbstverständlich

keine Kosten dafür diskutiert werden. Hauptsächlich basiert die CO₂-Reduzierung auf der Verfügbarkeit von klimaneutraler elektrischer Energie und genügend Stahlschrott oder direkt reduziertem Eisen. Für den Werkstoff Aluminium gelten ähnliche Zusammenhänge, bei unterschiedlichen Relationen zueinander. Wichtig für die Umsetzung dieser Ideen ist aber auch eine konsequente technische Zusammenarbeit während der Entwicklung der Produkte entlang der gesamten Lieferkette.

FAZIT UND AUSBLICK

Schon heute ist es möglich, mit am Markt verfügbaren Angeboten und technischen Möglichkeiten den PCF massivumgeformter Bauteile signifikant zu reduzieren. Dies ist vor allem durch den Einsatz CO₂-freier elektrischer Energie möglich, die

allerdings in der benötigten Menge für eine komplette Umstellung der Werkstoff- und Umformindustrie derzeit gar nicht zur Verfügung steht. Es sind große Investitionen in Stromerzeugung und weitere Infrastruktur, vor allem in der Grundstoffindustrie notwendig, um CO₂-Emissionen signifikant zu vermindern. Ein genauer Zeitstrahl kann dafür aus heutiger Sicht nicht belastbar gegeben werden. Entsprechend notwendig und aktuell verfügbar sind deshalb auch weitere Ideen, die Werkstoff- und Energieeffizienz zu verbessern, um schnellstmöglich und wirtschaftlich darstellbar signifikante Reduzierungen des CO₂-Ausstoßes zu erzielen. Die Branchen der Massivumformung stellen sich diesen Anforderungen proaktiv und wollen und können damit sicherstellen, dass auch zukünftig Wertschöpfung in Werkstoffherstellung und -verarbeitung in Deutschland und Europa stattfinden kann.



- [1] Ade, H.: Massivumformung in Deutschland – Eine energieintensive energieeffiziente Branche, Industrieverband Massivumformung e. V., Dezember 2017, ISBN: 978 3 928726 36 8
- [2] N.N.: Klimaneutralität, Europäische Kommission https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/climate-action-and-green-deal_de, abgerufen am 27. Dez. 2021
- [3] Raabe, D. et. al.: Sustainable steel through hydrogen plasma reduction of iron ore: Process, kinetics, microstructure, chemistry, Acta Materialia, Volume 213, July 2021
- [4] N.N.: First in the world to heat steel using hydrogen, 2021, <https://www.ovako.com/en/newsevents/stories/first-in-the-world-to-heat-steel-using-hydrogen/>, abgerufen am 27. Dez. 2021
- [5] N.N.: Ovako's path to carbon-neutrality – some basic facts and figures, https://www.ovako.com/globalassets/downloads/sustainability/ovako_path_to_carbon-neutrality.pdf, abgerufen am 6. Okt. 2021
- [6] N.N.: Projektinterne Kommunikation bei Erstellung FRED, NOCARBforging2050, 2021
- [7] N.N.: Green Steel - Der Weg zur Nachhaltigkeit, <https://www.dew-stahl.com/produkte/green-steel>, abgerufen am 29. Dez. 2021
- [8] N.N.: GREEN STEEL der GMH Gruppe, <https://www.gmh-gruppe.de/de-de/green-steel.html>, abgerufen am 29. Dez. 2021
- [9] Raedt, H.-W.; Speckenheuer, U., Vollrath, K.: Neue Massivumgeformte Stähle - Energieeffiziente Lösungen für leistungsfähigere Bauteile, ATZ 03|2012
- [10] Gramlich, A.; Lange, R.; Zitz, U.; Büßenschütt, K.: Air-Hardening Die-Forged Con-Rods – Achievable Mechanical Properties of Bainitic and Martensitic Concepts, Metals 2022, 12(1), 97
- [11] N.N.: Nachhaltig produzieren! Seit 01.01.2021 beziehen wir unseren Strom zu 100% aus erneuerbaren Energien, <http://www.r-neumayer.de/de/aktuelles/>, abgerufen am 29. Dez. 2021