

**ATZ** extra

# Klimapfad Massivumformung – Wege zu CO<sub>2</sub>-freien Komponenten



DEUTSCHE  
MASSIV  
UMFORMUNG

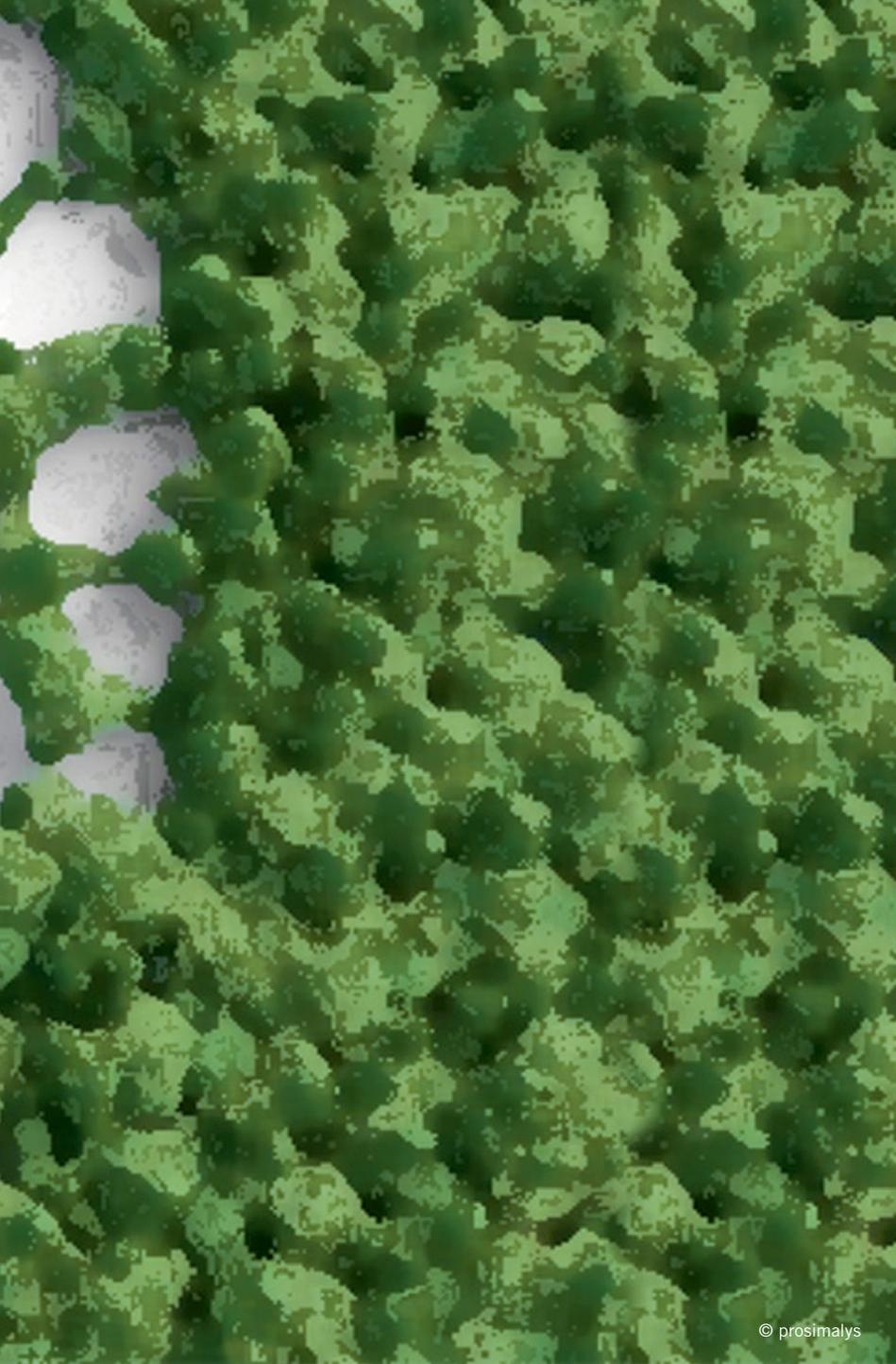
NEUE  
IDEEN  
SCHMIEDEN

NOCARBforging   
2050



# Klimapfad Massivumformung – Wege zu CO<sub>2</sub>-freien Komponenten

Gerade das Schmieden hat durch die Herstellung des Vormaterials und die Erwärmungsvorgänge vor der Umformung sowie bei der Wärmebehandlung einen großen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Auch in Zukunft werden höchstbelastbare Komponenten für Antriebsstrang, Fahrwerk und Karosserie benötigt, sodass der Produktionsprozess nachhaltig ausgerichtet werden muss. Der Industrieverband Massivumformung und prosimalys stellen in einer ersten Phase des NOCARBforging-2050-Projekts ein CO<sub>2</sub>-Berechnungswerkzeug vor.



**Dr. Hans-Willi Raedt**  
ist Gesellschafter und  
Geschäftsführer der prosimalys  
GmbH in Bad Wörishofen.

mehreren Erwärmungsvorgängen sind diese Bauteile energieintensiv. Sie weisen nach aktuellem Stand der Technik höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Die deutsche Massivumformbranche wird aber ihrer Verantwortung gerecht und beschäftigt sich proaktiv mit dem Thema der Minimierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.

#### **AUSGANGSSITUATION UND LÖSUNGSANSATZ**

Die deutsche Massivumformbranche ist ein energieintensiver Sektor mit einem geschätzten Energiebedarf von 3 TWh in Form von Erdgas und elektrischem Strom, ohne Betrachtung des eingesetzten Vormaterials [1]. Die typische Prozessfolge kann je nach Umformverfahren aus den folgenden Teilschritten bestehen, die auch mehrfach auftreten können: Herstellung und Lieferung des Einsatzmaterials (Stahl, Aluminium, Titan, Magnesium, Messing), Trennen, Vorbeschichten, Erwärmung, mehrstufige zügige oder inkrementelle Umformung, Wärmebehandlung und Zerspanung.

Energiebereitstellung ist heute auch immer mit CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden. In der Maßnahme „Klima“ des European Green Deal wird eine Verringerung der Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 % gegenüber 1990 festgelegt sowie eine Klimaneutralität bis 2050 gefordert [2]. Über die CO<sub>2</sub>-Bepreisung wird schon heute in geringem Umfang und zukünftig verstärkt die Emission von CO<sub>2</sub> wirtschaftlich bedeutsam. Sich nicht mit diesem Thema auseinanderzusetzen wird aber mittelfristig keinem Interessensträger vermittelbar sein. Besonders die Automobilindustrie treibt derzeit schon die Lieferkette an, sich mit dem Thema der CO<sub>2</sub>-Emission in der Produktion zu

Die Massivumformung ist die Fertigungstechnik, die in automobilen Anwendungen höchstbelastbare Komponenten in Antriebsstrang, Fahrwerk und zunehmend in der Karosserie eines Pkw zur Verfügung stellt. Mehrfach und 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 von heutigen und zukünftigen

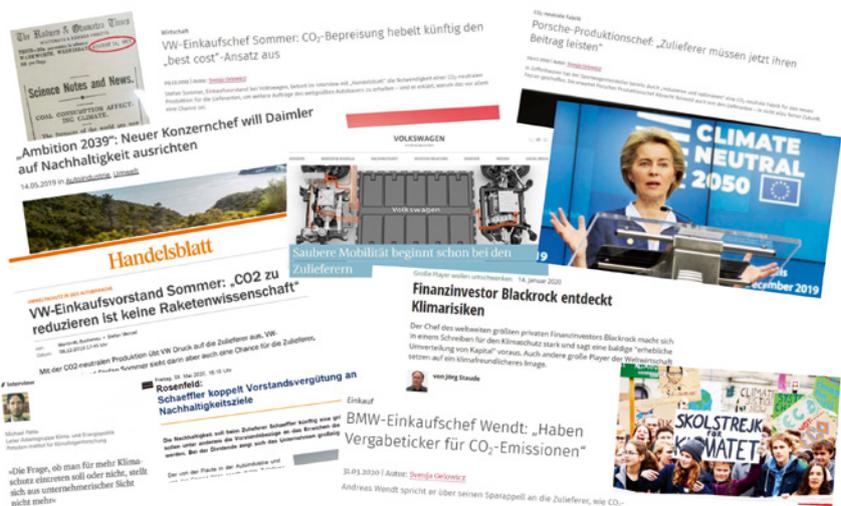
gen Bauteilen im Automobil (Rotorwellen mit Steck- oder Laufverzahnungen, Getriebebauteile, wälzgelagerte Komponenten, Sicherheits-Fahrwerksbauteile) sind nur massivumgeformt denkbar. Dies gilt auch für die Anwendungen in anderen Branchen wie Bahn, Luftfahrt und Energie.

Aufgrund der Herstellung des Vormaterials – im Pkw zumeist Stahl und Aluminium – aus Erz oder Schrott und je nach Umform-, Werkstoff- und Wärmebehandlungstechnologie mit einem oder

© prosimalys

beschäftigen. Einerseits gibt es Forderungen, den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines Produkts (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 diesen Herausforderungen. Im Dezember 2020 startete deshalb der Industrieverband Massivumformung das NOCARBforging-2050-Projekt mit einer ersten Phase, in der vom Ingenieurbüro prosimalys zusammen mit den Partnern GreenDelta und Herlanco ein webbasiertes Software-Berechnungswerkzeug konzipiert und ausgearbeitet wurde.



**BILD 1** Forderungen der Interessenträger an die produzierende Industrie, CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren (© prosimalys)

**WERKZEUG ZUR BERECHNUNG DES ÖKOLOGISCHEN FUSSABDRUCKS**

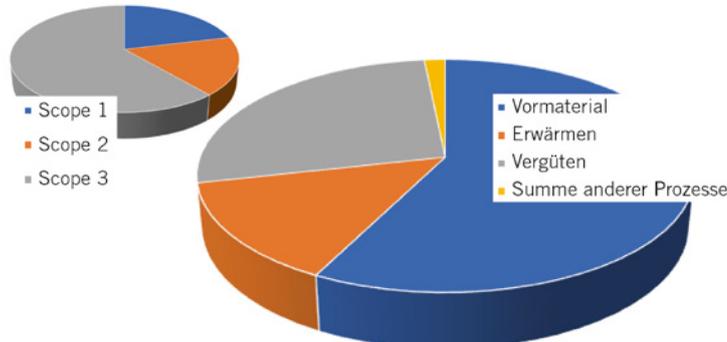
In der ersten Phase des Projekts NOCARBforging 2050 wird das Softwarewerkzeug FRED entwickelt, was für Forging Footprint Reduction Tool (Umform-Fußabdruckverringerungs-Werkzeug) steht und mit dem PCFs für Massivumformteile berechnet werden können. Es nehmen über 50 Firmen der Massivumform- und Partnerbranchen teil. Das Softwarewerkzeug ist als Webanwendung konzipiert.

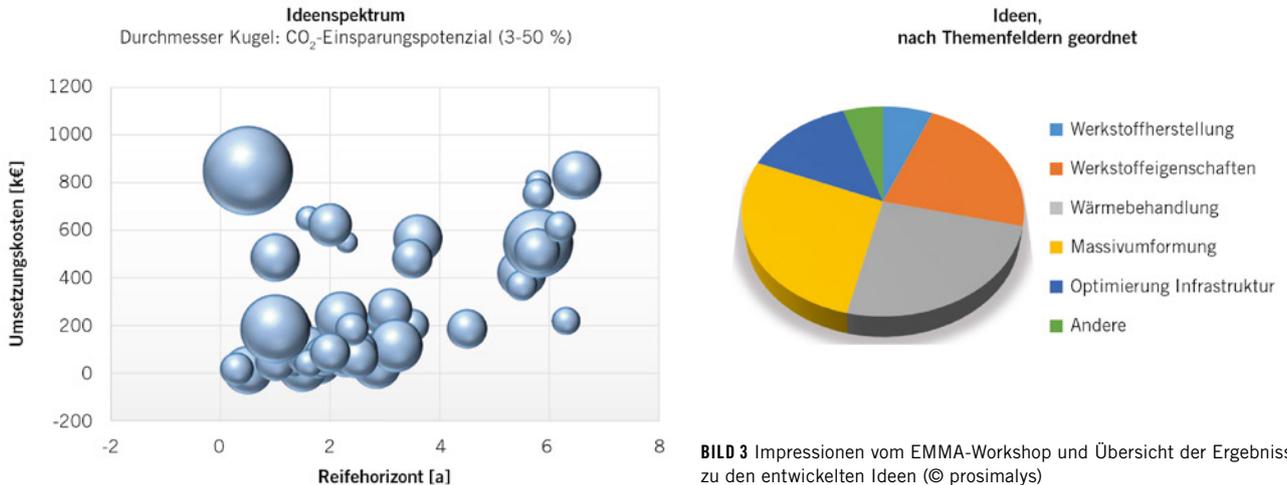
Für die Berechnung eines PCF werden einige Grunddaten benötigt: Bauteilmasse, verwendeter Strommix, PCF des Vormaterials und einige andere Daten. Anschließend wird die individuelle Prozessfolge des Produkts eingegeben. Für diese Prozesse werden aus einer Datenbank die spezifischen Verbräuche von elektrischer 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 CO<sub>2</sub> berechnet. Die Verbrauchsdaten von elektrischem Strom und Gas und die typischen Werkstoffverluste wurden im Rahmen der ersten Phase von den zahlreichen teilnehmenden Firmen eingeholt und im Softwarewerkzeug gespeichert. Auch wenn



**BILD 2** Eingaben und beispielhaftes Ergebnis für den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einer Kardangabel im Softwarewerkzeug FRED (© prosimalys)





**BILD 3** Impressionen vom EMMA-Workshop und Übersicht der Ergebnisse zu den entwickelten Ideen (© prosimalys)

sicherlich weiterhin Potenziale zur Verfeinerung der Daten bestehen, stellt FRED für Metallverarbeitungsprozesse schon derzeit Auswertungen zur Verfügung, die genauer und detaillierter sind als andere einschlägige Datenbanken zur Berechnung des PCF. **BILD 2** stellt die Einwahl-Internetseite, die Eingabe der Grunddaten und der Prozessfolge sowie ein beispielhaftes PCF-Berechnungsergebnis für das vergütete Gabelstück einer Kardanwelle dar. Dieses Ergebnis an einem typischen Gesenkschmiedeteil lässt sich in seiner Grundcharakteristik bei vielen massiv umgeformten Bauteilen wiederfinden: Der eingesetzte Werkstoff (Vormaterial) hat den größten Anteil am PCF. An zweiter Stelle folgt die Wärmebehandlung (etwa das Vergüten), danach das Erhitzen auf Schmiedetemperatur.

Die Anteile werden dadurch beeinflusst, ob der verwendete Stahl aus der Roh- oder Elektrostahlrouten kommt oder ob beispielsweise 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. Auf industriellen Daten basierend, ist

die Berechnung absolut notwendig, um die Stellschrauben zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks zu identifizieren.

### IDEENENTWICKLUNG ZUR SENKUNG DER CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN

Der Weg zur Senkung bis hin zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen führt über grünen sprich nachhaltig erzeugten elektrischen Strom. Dieser ermöglicht es, Stahl über die Direktreduktionsroute via grünem Wasserstoff, über die Schrott-Elektroroute oder in ganz neuen Ansätzen [3] ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen herzustellen. Auch (Wieder-)Erwärmungsvorgänge, zum Beispiel für das Freiformschmieden und Walzen oder für die Wärmebehandlung in Schmiede oder Stahlwerk, sind elektrisch denkbar. Alternativ kann mit Wasserstoff [4] oder mit Methan gearbeitet werden, das aus Strom synthetisch hergestellt wird. Ebenso werden Erwärmungsvorgänge in Gesenkschmieden bereits heute meistens induktiv ausgeführt, sodass grüner Strom hier die CO<sub>2</sub>-Emissionen vermeiden könnte. Es ist aber auch klar: Die vollständige Abkehr von fossilen Energieträgern für die 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 ist es sehr sinnvoll, auch weitere Ideen zur Erhöhung der Werkstoff- und Energieeffizienz zu erarbeiten, da diese die höheren Energiekosten der Zukunft zumindest zum Teil kompensieren und damit den Wandel zur CO<sub>2</sub>-freien Fertigung wirtschaftlicher gestalten können.

Mit der Berechenbarkeit von CO<sub>2</sub>-Emissionen für verschiedenste Prozessketten der Massivumformung ist die Basis geschaffen, um Ideen zur Senkung der Emissionen zu bewerten. Entsprechend fand im November 2021 der Workshop „EMMA – Emissionsfreie Massivumformung“ statt, in dem 60 Teilnehmer aus 43 Firmen und 13 Forschungsinstituten anhand von Beispielbauteilen Ideen zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erarbeitet haben. In diesem Auftakt-Workshop wurden 51 erste Ideen gefunden, wie die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Massivumformung reduziert werden können. Diese Ideen werden nach den folgenden Kriterien klassifiziert: prozentuales CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial, Reifehorizont (direkt einsetzbar, in einem ZIM-Projekt erarbeitbar, in einem BMBF- oder BMWi-Projekt

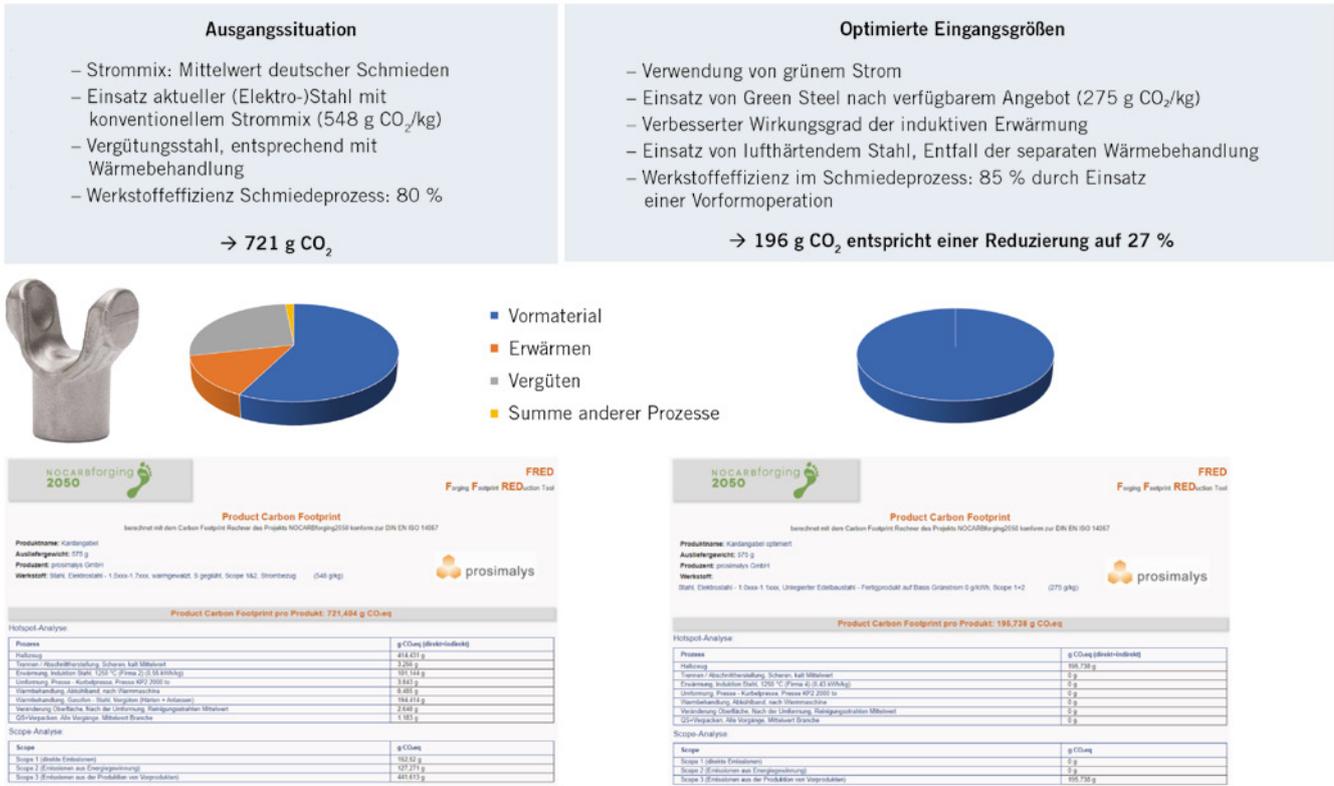


BILD 4 Auswirkung von CO<sub>2</sub>-Minderungs-ideen auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einer Kardangabel aus Stahl (© prosimalys)

erarbeitbar), Realisierungsdauer und Umsetzungskosten. Zudem sind die Ideen nach ihrem Themenfeld geordnet: Werkstoffherstellung, Werkstoffeigenschaften, Wärmebehandlung, Massivumformung, Optimierung Infrastruktur und andere Prozesse, BILD 3.

Der EMMA-Workshop hat zu einem sehr großen Spektrum an Ideen geführt. Diese zeigen anhand der ausgestellten Bauteile ein CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial zwischen 3 und 50 % auf. In einigen Fällen könnten durchaus auch mehrere Ideen gleichzeitig auf ein Bauteil angewendet werden, 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. Ebenso schwanken die Umsetzungskosten für die genannten Ideen stark. Aus diesem ersten Schnappschuss an CO<sub>2</sub>-Minderungseinfällen wird klar, dass eine solide Bewertung der CO<sub>2</sub>-Einsparung, zum

Beispiel mithilfe von FRED notwendig ist, um die effizientesten Ideen priorisieren zu können.

**PRIORISIERUNG DER EFFIZIENTESTEN IDEEN – VON WERKSTOFFHERSTELLUNG BIS INFRASTRUKTUR**

Der Werkstoff trägt am stärksten zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von massiv umgeformten Produkten bei. Entsprechend sind Bestrebungen, Werkstoffe mit verringertem PCF einzusetzen, eine sehr wirksame Maßnahme zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes für geschmiedete Komponenten. Hier gibt es schon einsetzbare Angebote am Markt. So bietet etwa ein schwedischer Stahlhersteller seit Anfang 2022 einen CO<sub>2</sub>-freien Langstahl an. CO<sub>2</sub>-Freiheit bezieht sich auf die sogenannten Scopes 1 und 2, BILD 2, wobei ein Teil der Minderung durch eine CO<sub>2</sub>-Aufrechnung erreicht wird. Deren Einsatz soll aber in den nächsten Jahren durch entsprechende infrastrukturelle Maßnahmen deutlich reduziert werden [5].

Ein deutscher Stahlhersteller bietet einen Green Steel an, der im Elektrolichtbogenofen mit Strom aus regenerativen Energiequellen erschmolzen wird. Damit sinkt der PCF (Scopes 1 und 2, BILD 2) von unlegiertem Edelbaustahl und auch von höherlegierten Stählen auf etwa 50 % [6, 7]. Auch weitere Langstahlhersteller beschäftigen sich intensiv mit der Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks ihrer Produkte [8].

Wie in BILD 2 durch das Kuchenstück „Vergüten“ sichtbar, ist die Wärmebehandlung von Bauteilen der zweitstärkste Treiber von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Bei den Schmiedewerkstoffen gab es in den letzten 20 Jahren zahlreiche Entwicklungen, Vergütprozesse durch ein Abkühlen aus der Umformhitze zu ersetzen. Dabei stehen verbesserte AFP-Stähle, bainitische Stähle [9] oder sogar lufthärtende Martensite [10] zur Verfügung. Mit diesen neuen Schmiedewerkstoffen können CO<sub>2</sub>-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 Verringerung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks führen können. Dies erfolgt exemplarisch wieder anhand des Bauteils Kardangabel. Eine Reduzierung auf 27 % wird möglich. Im Rahmen dieser vorwettbewerblichen Zusammenarbeit in der Branche dürfen selbstverständlich keine Kosten dafür diskutiert werden. Hauptsächlich basiert die CO<sub>2</sub>-Reduzierung auf der Verfügbarkeit von klimaneutraler elektrischer Energie und genügend Stahlschrott oder direkt reduziertem Eisen. Für den Werkstoff Aluminium würden ähnliche Zusammenhänge gelten – bei unterschiedlichen Relationen zueinander. Wichtig für die Umsetzung dieser Ideen ist aber auch eine konsequente technische Zusammenarbeit aller Beteiligten während der Produktentwicklung entlang der gesamten Lieferkette.

## FAZIT UND AUSBLICK

Schon heute ist es möglich, mit am Markt verfügbaren Angeboten und technischen Möglichkeiten den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines massivumgeformten Produkts signifikant zu reduzieren. Dies ist vor allem durch den Einsatz CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Ausstoßes zu erzielen. Die Branchen der Massivumformung stellen sich diesen Anforderungen proaktiv. Sie wollen und können damit sicherstellen, dass auch zukünftig Wertschöpfung in Werkstoffherstellung und -verarbeitung in Deutschland und Europa stattfinden kann.

## LITERATURHINWEISE

- [1] Ade, H.: Massivumformung in Deutschland – Eine energieintensive energieeffiziente Branche. Industrieverband Massivumformung e. V., Hagen, Dezember 2017
- [2] Europäische Kommission (Hrsg.): Klimaneutralität. Online: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/climate-action-and-green-deal\\_de](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/climate-action-and-green-deal_de), aufgerufen: 27. Dezember 2021
- [3] Souza Filho, I. R.; et. al.: Sustainable steel through hydrogen plasma reduction of iron ore: Process, kinetics, microstructure, chemistry. In: Acta Materialia 213 (2021), Nr. 116971, S. 1-16
- [4] Ovako (Hrsg.): First in the world to heat steel using hydrogen. Online: <https://www.ovako.com/en/newsevents/stories/first-in-the-world-to-heat-steel-using-hydrogen/>, aufgerufen: 27. Dezember 2021
- [5] Ovako (Hrsg.): Ovako's path to carbon-neutrality – some basic facts and figures. Online: [https://www.ovako.com/globalassets/downloads/sustainability/ovako\\_path\\_to\\_carbon-neutrality.pdf](https://www.ovako.com/globalassets/downloads/sustainability/ovako_path_to_carbon-neutrality.pdf), aufgerufen: 6. Oktober 2021
- [6] N. N.: Interne Kommunikation bei Erstellung

- FRED. Projekt NOCARBforging 2050, 2021
- [7] Deutsche Edelstahlwerke (Hrsg.): Green Steel – Der Weg zur Nachhaltigkeit. Online: <https://www.dew-stahl.com/produkte/green-steel>, aufgerufen: 29. Dezember 2021
  - [8] GMH Gruppe (Hrsg.): Green Steel der GMH Gruppe – Zukunftsweisende Lösungen. Online: <https://www.gmh-gruppe.de/de-de/green-steel.html>, aufgerufen: 29. Dezember 2021
  - [9] Raedt, H.-W.; Speckenheuer, U.; Vollrath, K.: Neue massivumgeformte Stähle – Energieeffiziente Lösungen für leistungsfähigere Bauteile. In: ATZ 114 (2012), Nr. 3, S. 200-205
  - [10] Gramlich, A.; Lange, R.; Zitz, U.; Bübenschütt, K.: Air-Hardening Die-Forged Con-Rods – Achievable Mechanical Properties of Bainitic and Martensitic Concepts. In: Metals – Open Access Metallurgy Journal 12 (2022), Nr. 1, 97, S. 1-13
  - [11] Richard Neumayer Gesellschaft für Umformtechnik mbH (Hrsg.): Nachhaltig produzieren! Seit 01.01.2021 beziehen wir unseren Strom zu 100 % aus erneuerbaren Energien. Online: <http://www.r-neumayer.de/de/aktuelles/>, aufgerufen: 29. Dezember 2021

---

## IMPRESSUM:

Sonderausgabe 2022 in Kooperation mit Industrieverband Massivumformung e. V., Goldene Pforte 1, 58093 Hagen; Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Postfach 1546, 65173 Wiesbaden, Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE811484199

## GESCHÄFTSFÜHRER:

Stefanie Burgmaier | Andreas Funk | Joachim Krieger

PROJEKTMANAGEMENT: Anja Trabusch

TITELBILD: © malp | stock.adobe.com

FOLGEN SIE UNS:

[www.massivumformung.de/branche/  
trendthemen/nocarbforging-2050/](http://www.massivumformung.de/branche/trendthemen/nocarbforging-2050/)

