

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-113  
Datum der Einreichung: 07.01.2026  
Datum der Annahme: 24.02.2026  
Datum der Veröffentlichung: 26. Mai 2026

## CO<sub>2</sub>-Reduzierung beim Presshärten: Widerspruch oder Erfolgsrezept?

# Untersuchung von CO<sub>2</sub>-reduzierten Stählen

S. Breuer, T. Scharfenberg, P. Frohn-Sörensen, T. Bergelt, T. Lampke, B. Engel

**ZUSAMMENFASSUNG** Die Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen gewinnt immer mehr an Bedeutung und ist in sämtlichen Industriezweigen präsent. Da Stahl in industriellen Anwendungen den wichtigsten Konstruktionswerkstoff darstellt, rücken CO<sub>2</sub>-reduzierte Stähle zunehmend in den Fokus. Die Gedia Automotive Group untersucht gemeinsam mit den Universitäten Siegen und Chemnitz, ob sich bei der Anwendung von CO<sub>2</sub>-reduzierten Stählen zusätzliche Herausforderungen hinsichtlich der erzielbaren Bauteileigenschaften und der Prozessstabilität in der Warmumformung ergeben.

### STICHWÖRTER

Automobilindustrie, Recycling, Werkstoffe

## Investigation of CO<sub>2</sub>-reduced steels – CO<sub>2</sub> reduction in press hardening: Contradiction or viable approach?

**ABSTRACT** The reduction of CO<sub>2</sub>-emissions is becoming increasingly important and is a key topic across all industrial sectors. Since steel is the most essential construction material in industrial application, CO<sub>2</sub>-reduced steels are gaining more attention. Together with the universities of Siegen and Chemnitz, Gedia Automotive Group is investigating whether the use of CO<sub>2</sub>-reduced steels lead to additional challenges regarding achievable component properties and process stability in hot forming.

## 1 Einleitung

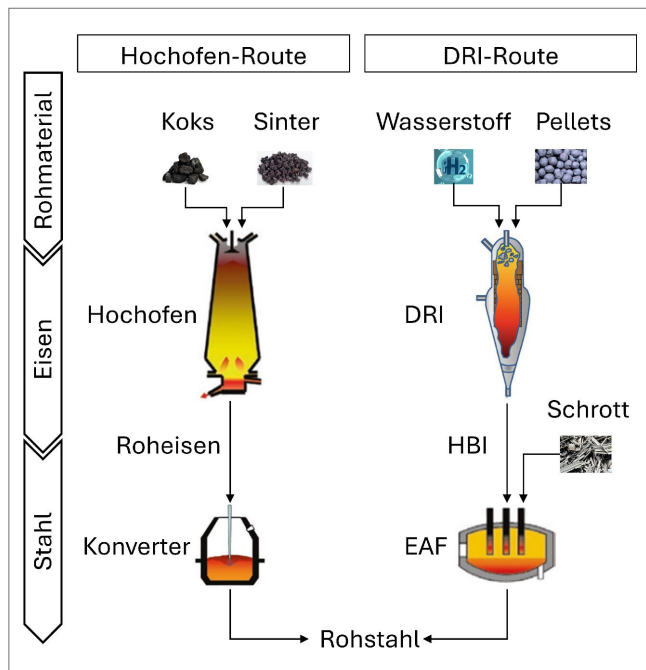
Die CO<sub>2</sub>-Reduzierung beim Presshärten stellt aufgrund der hohen Prozesstemperaturen und dem damit einhergehenden Energiebedarf eine große Herausforderung dar und wird oft als Widerspruch angesehen [1]. Neben dem reinen Prozess, der unter Verwendung nachhaltig produzierter Energie CO<sub>2</sub>-reduziert abbildbar ist, stellt auch der eingesetzte Werkstoff einen großen Hebel zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung dar [2]. Durch die im Vergleich zur Kaltumformung reduzierten Blechdicken kann der Materialeinsatz in der Warmumformung reduziert und CO<sub>2</sub> eingespart werden [2, 3]. Auch rückt der Einsatz von CO<sub>2</sub>-reduzierten Stählen, bei deren Herstellung ein erhöhter Schrottanteil verwendet wird, zunehmend in den Fokus. Je höher der Schrottanteil im Stahl, desto höher ist die CO<sub>2</sub>-Einsparung. Allerdings weisen solche Stähle bedingt durch den Herstellungsprozess einen höheren Anteil an Begleitelementen auf, was deren Einsatz beim Presshärten mit neuen Fragestellungen verbindet [4].

Die Firma Gedia Automotive Group hat einen ausgewählten CO<sub>2</sub>-reduzierten Stahl in enger Zusammenarbeit mit der Universität Siegen und der Universität Chemnitz anhand eines teilfaktoriellen Versuchsplans mit integriertem Zentralpunkt untersucht. Hierbei wurden neben dem Material selbst weitere zentrale Prozessgrößen des Presshärtens variiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die geforderten Bauteileigenschaften aktuell ohne Probleme mit der CO<sub>2</sub>-reduzierten Variante erreicht werden können und somit eine erhebliche CO<sub>2</sub>-Reduzierung beim Presshärten möglich ist.

## 2 Umstellung in der Stahlproduktion

Die ganzheitliche Betrachtung von CO<sub>2</sub>-Emissionen rückt über die gesamte Wertschöpfungskette beim Presshärten vermehrt in den Fokus, wodurch der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck aller eingesetzten Werkstoffe immer wichtiger wird [2]. Da Stahl in der heutigen Industrie den größten Anteil der eingesetzten Werkstoffe ausmacht, sind die Stahlhersteller bestrebt die gesamte Stahlproduktion auf CO<sub>2</sub>-reduzierte Stähle umzustellen [4]. Dafür wird der Hochofenprozess, der für einen Großteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen während der Stahlherstellung verantwortlich ist, perspektivisch durch die Kombination aus Direktreduktion (DRI) und Elektrolichtbogenofen (EAF) abgelöst [5]. In **Bild 1** sind beide Prozessrouten schematisch dargestellt.

Der Elektrolichtbogenofen verarbeitet dabei neben dem aus der Direktreduktion gewonnen festen Eisenschwamm (HBI) auch große Mengen Schrott, wodurch eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft umgesetzt werden kann [6–8]. Ein hoher Schrottanteil sorgt für eine deutliche Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, bringt gleichzeitig aber auch Verunreinigungen und Begleitelemente in den Stahl ein, die teilweise nicht oder nur sehr schwierig aus dem Stahl entfernt werden können [4, 9]. So besitzen beispielsweise Kupfer und Nickel eine geringere Affinität zu Sauerstoff als Eisen selbst und können daher nicht über den herkömmlichen Weg mit dem Sauerstoffausblasverfahren aus dem Stahl entfernt werden [7]. Folglich ist durch die Umstellung auf CO<sub>2</sub>-reduzierte Stähle eine Steigerung der Begleitelemente im Stahl zu erwarten, die durch die fortlaufende Kreislaufwirtschaft mit der Zeit weiter zunehmen wird. Während niedriglegierte Stähle wie Baustähle eine



**Bild 1** Vergleich Hochofenroute zu Direktreduktionsroute. Grafik: Eigene Darstellung nach [6] und [7]

hohe Toleranz gegenüber Verunreinigungen und Begleitelementen aufweisen, kann eine Steigerung der Begleitelemente bei komplexen, hochlegierten Stählen negative Auswirkungen auf die Eigenschaften und die Qualität der Stähle haben.

### 3 Herausforderung beim Presshärten

Der Einfluss steigender Begleitelemente auf die nachfolgenden Prozessschritte der Blechverarbeitung ist noch nicht abschließend geklärt. Während die mechanischen Bauteileigenschaften im Bereich der Kaltumformung weitgehend über den Herstellungs-

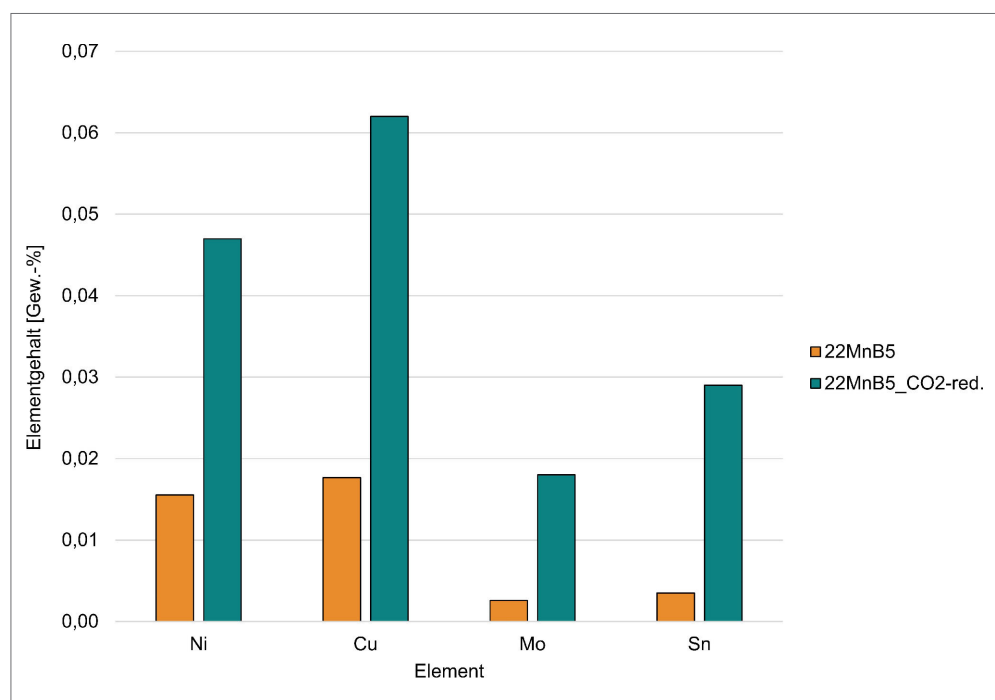
prozess des Stahls definiert werden und somit in den Verantwortungsbereich der Stahlhersteller fallen, werden die finalen Bauteileigenschaften beim Presshärten durch das gezielte Überschreiten der Rekristallisationstemperatur und der anschließenden Wärmebehandlung im aktiv gekühlten Umformwerkzeug eingestellt [7, 10, 11]. Damit verlagert sich die Verantwortung für die mechanischen Bauteileigenschaften hin zu den Zulieferunternehmen.

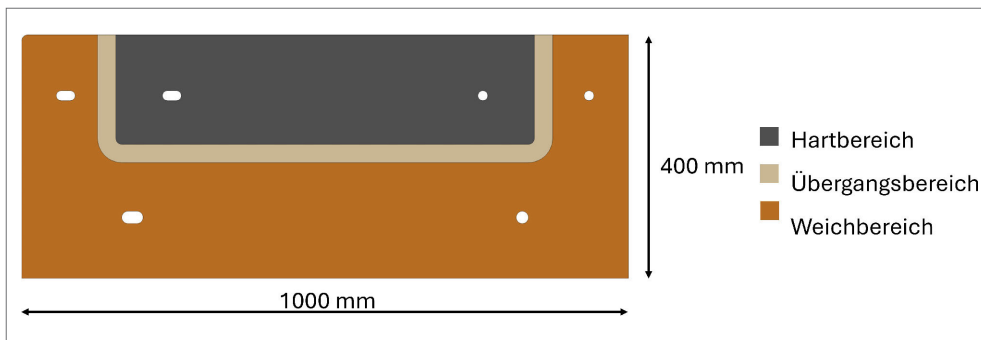
Ziel dieser Untersuchungen war daher die Identifikation des Einflusses von steigenden Anteilen entsprechender Begleitelemente auf die Eigenschaftsentwicklung innerhalb der Prozesskette des Presshärtens. Hierfür wurden gezielt Experimente und Werkstoffsimulationen durchgeführt und ausgewertet, um einen Einsatz der CO<sub>2</sub>-reduzierten Stähle prozessseitig abzusichern und eine zukünftige Anwendung vorzubereiten. Dabei wurde der borlegierte Manganstahl 22MnB5 als Versuchswerkstoff gewählt, da dieser als einer der wichtigsten Stähle für das Presshärten in der Automobilindustrie gilt [10]. Zu den Hauptbestandteilen des 22MnB5 zählen: Kohlenstoff mit 0,22 Gew.-%, Mangan mit 1,25 Gew.-% und Bor mit < 1 Gew.-% [12, 13]. In **Bild 2** sind die Anteile der relevanten Begleitelemente für den untersuchten 22MnB5 und dessen CO<sub>2</sub>-reduzierter Variante, die mit einem Schrotanteil von 75 % hergestellt wurde, dargestellt. Dabei zeigt die in blaugrün dargestellte CO<sub>2</sub>-reduzierte Variante im Vergleich zu dem in orange dargestellten konventionellen 22MnB5 einen deutlichen Anstieg der Begleitelemente.

### 4 Erstellen von Vergleichsversuchen

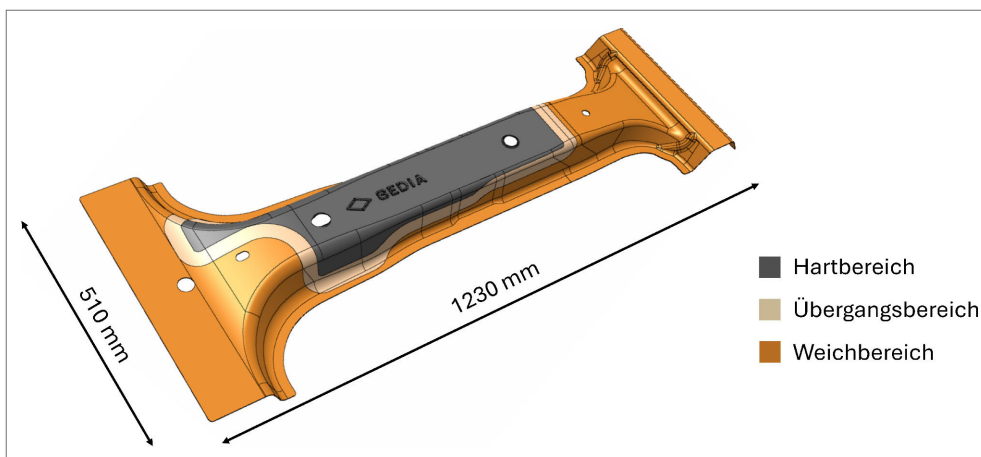
Um die wesentlichen Einflussfaktoren von Warmumformstählen mit erhöhten Begleitelementen auf die Presshärteroute zu untersuchen, wurden Vergleichsversuche über eine statistische Versuchsplanung erarbeitet, mit denen der CO<sub>2</sub>-reduzierte Stahl mit dem konventionellen 22MnB5 verglichen und bewertet werden konnte. Dabei wurde auf einen teilfaktoriellen Versuchsplan mit Zentralpunkt zurückgegriffen, um den höchstmöglichen Informationsgehalt aus einem moderaten Versuchsaufwand zu

**Bild 2** Begleitelemente des untersuchten konventionellen 22MnB5 und der CO<sub>2</sub>-reduzierten Variante. Grafik: Eigene Darstellung





**Bild 3** Rechteckplatte zur Herstellung von Werkstoffproben zur Bestimmung der Härte, Festigkeit und Dehnung. Orange: durch die „TemperBox“ abgeschirmter Weichbereich; anthrazit: pressgehärteter Hartbereich. Grafik: Gedia Automotive Group



**Bild 4** Hauseigener B-Säulen-Demonstrator. Orange: durch die „TemperBox“ abgeschirmter Weichbereich; anthrazit: pressgehärteter Hartbereich. Grafik: Gedia Automotive Group

gewinnen. Neben dem Werkstoff selbst wurden die Ofentemperatur, die Haltezeit im Ofen und die Transportzeit vom Ofen zum Umformwerkzeug als drei zentrale Prozessgrößen des Presshärtens in den statistischen Versuchsplan aufgenommen. Diese Prozessgrößen besitzen einerseits maßgeblichen Einfluss auf die resultierenden Bauteileigenschaften und lassen sich andererseits schnell, präzise und reproduzierbar an der Warmumformanlage einstellen. Damit stellen sie nicht nur effektive Stellgrößen dar, über die eventuelle Abweichungen zwischen den Werkstoffvarianten kompensiert werden können, sondern erlauben auch eine Analyse der Sensitivität beider Werkstoffvarianten gegenüber Prozessänderungen. Alle drei Faktoren wurden an der oberen und der unteren Grenze des üblichen Prozessfensters untersucht, wobei die Linearität der jeweiligen Einflussgröße über den Zentralpunkt überprüft werden konnte. Die erarbeiteten Vergleichsversuche wurden auf einer Presshärteanlage am Gedia Standort Attendorn durchgeführt und im Anschluss ausgewertet.

Insgesamt wurden die beim Presshärtens wesentlichen Bauteileigenschaften Härte, Festigkeit und Dehnung verglichen und bewertet sowie einige Demonstratorbauteile gefertigt, um das Umformverhalten und die Praxistauglichkeit des CO<sub>2</sub>-reduzierten Stahls zu beurteilen. Zur Untersuchung der Bauteileigenschaften wurden die in **Bild 3** dargestellten zweidimensionalen Rechteckplatten (1000 mm x 400 mm x 1,5 mm) mit dem patentierten „TemperBox“-Verfahren gefertigt, das zur Herstellung partiell pressgehärteter Bauteile bei Gedia eingesetzt wird.

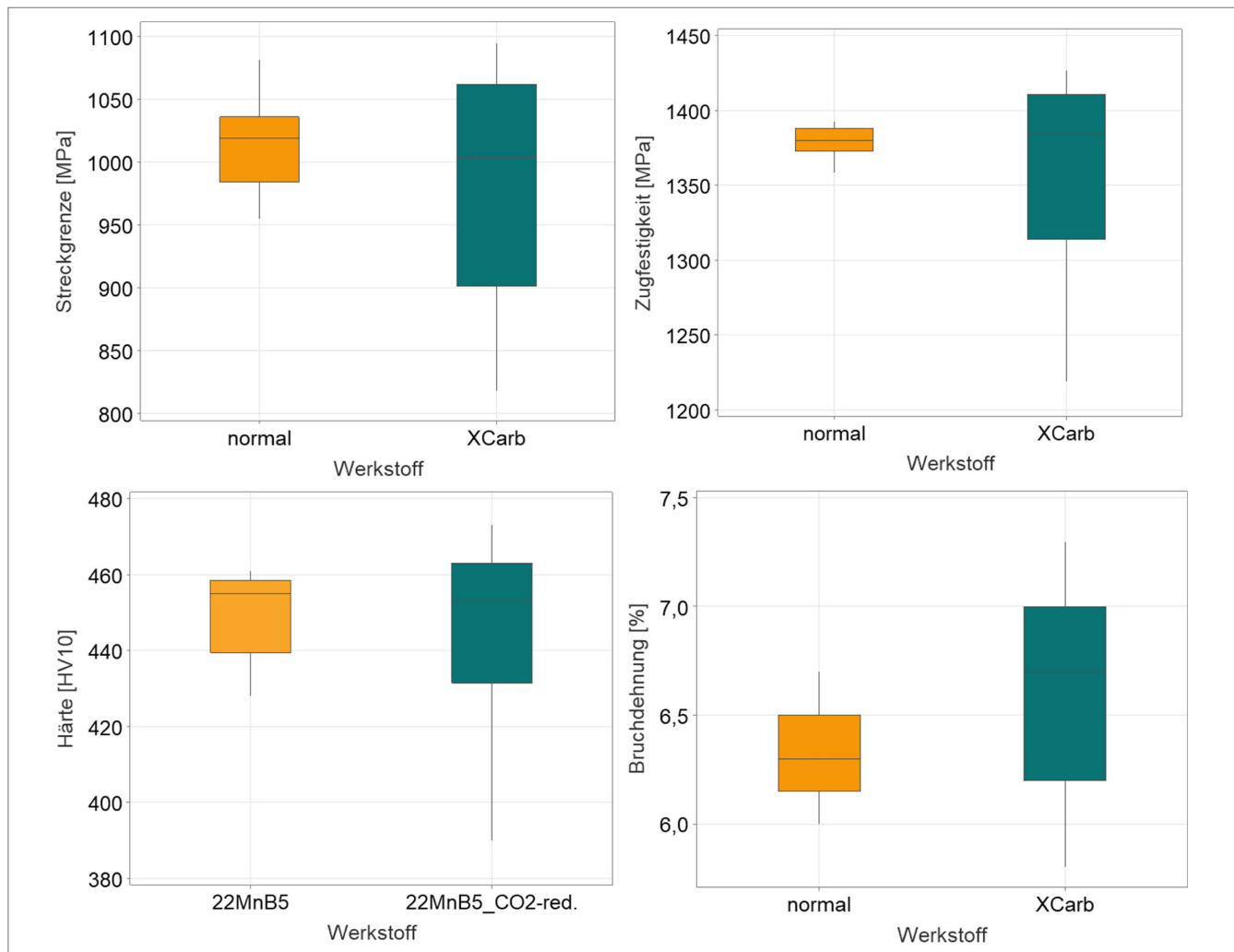
Dabei wird die Platte nach dem vollständigen Austenitisieren im Ofen in einen zweiten Ofen eingelegt, in dem die späteren Weichbereiche unter einer wassergekühlten Schablone langsam abkühlen und die späteren Hartbereiche weiter auf Temperatur gehalten werden. So konnte an einem Bauteil sowohl der orange dargestellte Weichbereich als auch der anthrazit dargestellte Hart-

bereich untersucht werden. Außerdem besitzt das TemperBox-Verfahren wegen der hohen Ansprüche an die Bauteileigenschaften im Vergleich zum konventionellen Presshärtens eine größere Sensitivität auf Werkstoffabweichungen und eignet sich damit sehr gut für die Untersuchung neuer Werkstoffe. Als Demonstratorbauteile wurden herstellerunspezifische, hausinterne Gedia-B-Säulen (**Bild 4**) aus konventionellem 22MnB5 und der CO<sub>2</sub>-reduzierten Variante hergestellt.

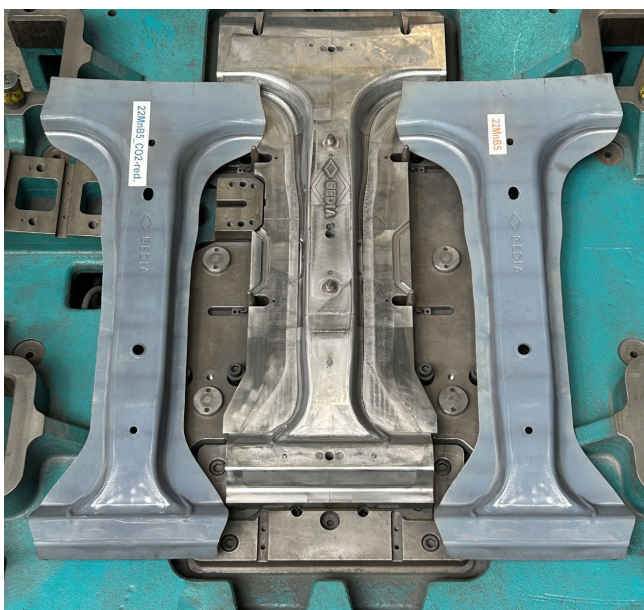
## 5 Ergebnisse

Der Einfluss des Werkstoffs auf die Bauteileigenschaften wird zur statistischen Beurteilung anhand von Boxplots dargestellt, welche die Streubereiche der Messergebnisse für beide Werkstoffvarianten zeigen. **Bild 5** zeigt die statistische Verteilung der Bauteileigenschaften Streckgrenze, Zugfestigkeit, Härte und Bruchdehnung im Hartbereich für die zwei untersuchten Werkstoffe. In Orange ist der konventionelle 22MnB5 dargestellt, in Blaugrün der CO<sub>2</sub>-reduzierte 22MnB5.

Die Interquartilbereiche, welche die mittleren 50% der Messwerte über die farbigen Boxen darstellen, überschneiden sich für die beiden Werkstoffvarianten bei allen Bauteileigenschaften. Auch die Mittelwerte der Messergebnisse, die über die horizontale Linie innerhalb der Interquartilbereiche dargestellt sind, unterscheiden sich in allen vier Bauteileigenschaften kaum zwischen konventionellem und CO<sub>2</sub>-reduziertem Werkstoff. Die größten Unterschiede sind für die Bruchdehnung zu erkennen, bewegen sich aber noch im Bereich der üblichen Prozessstreuung. Insgesamt lassen die Boxplots darauf schließen, dass keine für die Anwendung signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Werkstoffvarianten vorliegen, die außerhalb der gewöhnlichen Prozess-



**Bild 5** Boxplots für die Bauteileigenschaften der beiden untersuchten Werkstoffvarianten im Hartbereich. Links oben: Streckgrenze; rechts oben: Zugfestigkeit; links unten Härte; rechts unten Bruchdehnung. Grafik: Eigene Darstellung



**Bild 6** Erfolgreich hergestellte Gedia B-Säulen im Umformwerkzeug. Links: B-Säule aus 22MnB5\_CO<sub>2</sub>-reduziert; rechts: B-Säule aus konventionellem 22MnB5. Foto: Gedia Automotive Group

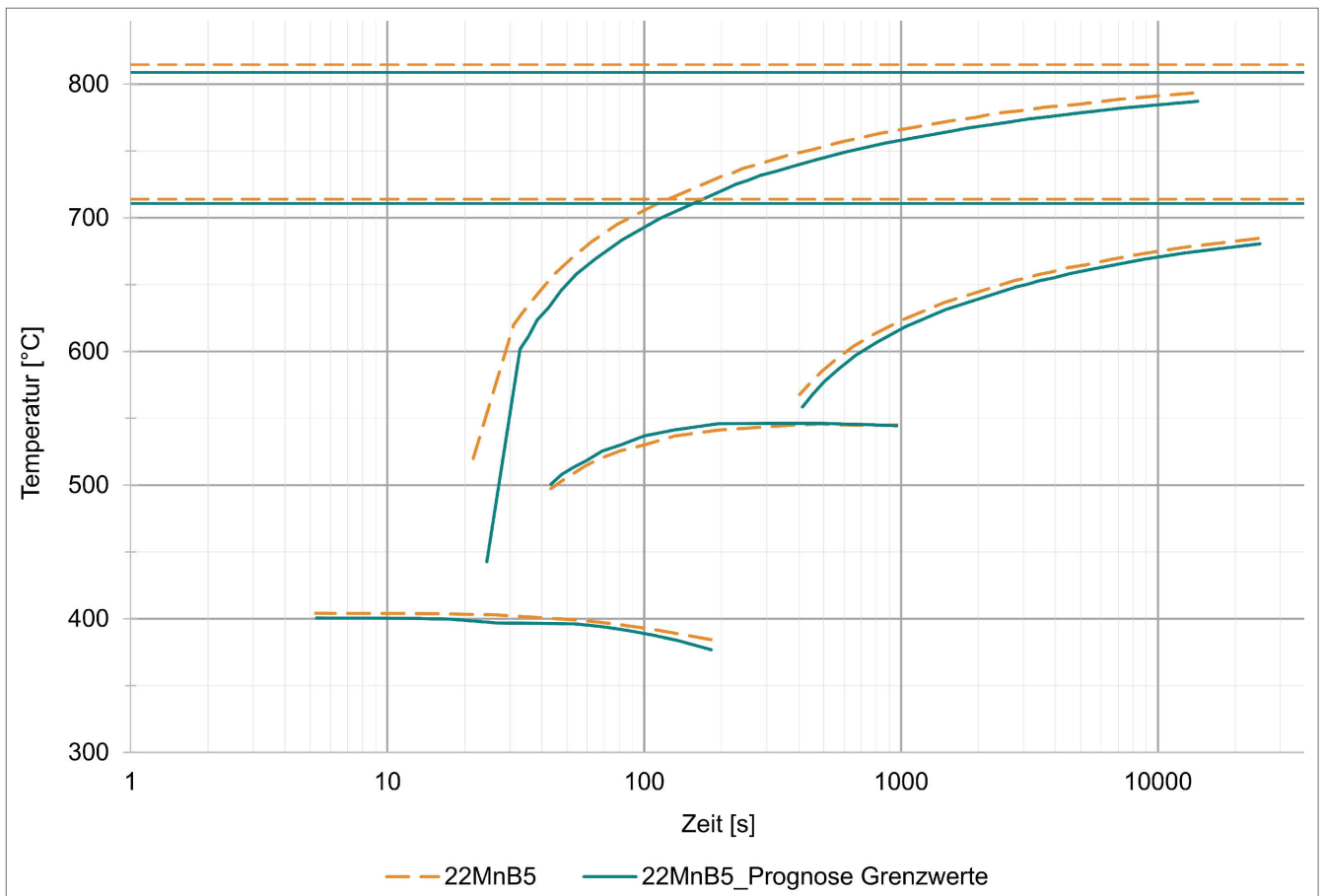
streuung einzuordnen sind. Dieses Ergebnis zeigt sich ebenso im Weichbereich für alle untersuchten Bauteileigenschaften.

Die Gedia-B-Säulen-Demonstratoren konnten mit dem CO<sub>2</sub>-reduzierten Werkstoff erfolgreich und ohne Probleme mit den üblichen Prozessparametern für den konventionellen 22MnB5 hergestellt werden (**Bild 6**).

Wie bei jeder Werkstoffumstellung ist aber auch bei der Umstellung von konventionellem auf CO<sub>2</sub>-reduzierten 22MnB5 mit leichten Unterschieden im Umform- und Rücksprungverhalten zu rechnen. Auch ist das Umform- und Rücksprungverhalten immer von der jeweiligen Bauteilgeometrie und der Verteilung der Weichbereiche im Bauteil abhängig. Daher sollte die geometrische Maßhaltigkeit bei einer Umstellung im Serienbetrieb kontrolliert und eine Try-out-Schleife durchgeführt werden.

## 6 Werkstoffsimulationen mit „JMatPro“

Da der untersuchte CO<sub>2</sub>-reduzierte Stahl nur eine Momentaufnahme der Begleitelemente darstellt und die fortlaufende Kreislaufwirtschaft zukünftig eine Steigerung der Begleitelemente erwarten lässt, wurden ergänzend zu den Experimenten an der Professur Werkstoff- und Oberflächentechnik WOT der TU Chemnitz Werkstoffsimulationen mit dem Programm „JMat-



**Bild 7** Vergleich der Umwandlungsgrenzen eines konventionellen 22MnB5 gegen einen 22MnB5 mit den aktuellen oberen Grenzwerten für den Kupferanteil (0,2%) und den Nickelanteil (0,1%). Grafik: Eigene Darstellung

Pro<sup>7</sup> durchgeführt [14]. Dabei ist es möglich die Gefügeumwandlungen in Abhängigkeit der Temperatur und Zeit für eine gegebene Werkstofflegierung zu simulieren [15, 16]. Ziel war eine erste Einordnung des Einflusses der Legierungselemente Kupfer und Nickel auf die Austenitisierungstemperatur und die Phasentransformationspunkte innerhalb kontinuierlicher Zeit-Temperatur-Umwandlungs (ZTU)-Diagramme. Hierfür wurden die Umwandlungsgrenzen der auftretenden Phasen für den konventionellen 22MnB5 mit dem Umwandlungsverhalten eines 22MnB5 mit 0,2 Gew.-% Kupfer und 0,1 Gew.-% Nickel miteinander verglichen (Bild 7). Die zusätzlichen Kupfer- und Nickelanteile entsprechen dabei den aktuellen oberen Grenzwerten für den 22MnB5 und erlauben eine erste Prognose wie sich die Gefügeumwandlung des CO<sub>2</sub>-reduzierten 22MnB5 zukünftig entwickeln könnte.

Die erhöhten Kupfer- und Nickelanteile führen zu Verschiebungen der Umwandlungsgrenzen sowie der Austenitisierungstemperaturen (AC1 und AC3) hin zu niedrigeren Temperaturen und verlängerten Abkühlzeiten. Bei der AC1-Temperatur zeigt sich zwischen 22MnB5 (713,9°C) und 22MnB5\_Prognose (710,7°C) eine Reduzierung von 3,2 K. Der gleiche Effekt ist für die AC3-Temperatur festzustellen, dort kommt es zu einer Verringerung zwischen 22MnB5 (814,4°C) und 22MnB5\_Prognose (808,8°C) von 5,7 K. Bei den Umwandlungsgrenzen für Ferrit, Perlit, Bainit und Martensit liegen die gemittelten Abweichungen zwischen den beiden Varianten in dem für das partielle Presshärten relevanten Bereich unterhalb von 3,5%. Damit sind die durch die erhöhten Kupfer- und Nickelanteile hervorgerufenen Effekte

so schwach ausgeprägt sind, dass keine relevanten Abweichungen für die im strukturellen Automobilbau üblichen Wärmebehandlungsrouten zu erwarten sind. Anhand dieser Werkstoffsimulationen besteht zunächst kein Handlungsbedarf bei der Nutzung der CO<sub>2</sub>-reduzierten Variante innerhalb der Produktionskette des Presshärtens. Zur Absicherung dieser Ergebnisse sind in Zukunft weiterführende experimentelle Versuche an realen Legierungen zur Bestätigung der Werkstoffsimulationen erforderlich.

## 7 Fazit und Ausblick

Insgesamt konnte durch die vorgestellten Untersuchungen gezeigt werden, dass der untersuchte CO<sub>2</sub>-reduzierte 22MnB5 ohne Einschränkungen für das Presshärten von hochbelasteten, crashrelevanten Automobilstrukturen eingesetzt werden kann. Die in den praktischen Versuchen nach dem Presshärten erzielten Bauteileigenschaften der beiden Werkstoffvarianten zeigten keine signifikanten Unterschiede, sodass eine Umstellung auf die untersuchte CO<sub>2</sub>-reduzierte Variante keine Prozessänderungen erfordert. Die hergestellten Gedia-B-Säulen-Demonstratoren zeigen, dass der praktische Einsatz des CO<sub>2</sub>-reduzierten 22MnB5 möglich ist und reale Bauteile problemlos herstellbar sind. Bei einer Umstellung im Serienbetrieb sollte dennoch eine Try-out-Schleife gefahren werden, um die geometrische Maßhaltigkeit zu gewährleisten.

Aus der Simulation der kontinuierlichen ZTU-Diagramme für die aktuellen oberen Grenzwerte für Kupfer und Nickel geht her-

vor, dass steigende Kupfer- und Nickelanteile für eine leichte Verschiebung der Umwandlungsgrenzen hin zu niedrigeren Temperaturen und leicht erhöhten Abkühlzeiten führen, die aber keinen Einfluss auf die Gefügeausbildung innerhalb der Prozesskette des Presshärtens der Firma Gedia haben.

Insgesamt stellen die in den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse nur eine Momentaufnahme dar und gelten nur für den in den Untersuchungen verwendeten Stahl. Für andere CO<sub>2</sub>-reduzierte Stahlgüten oder bei weiter ansteigenden Anteilen an Begleitelementen im 22MnB5 sind weiterführende, praktische Untersuchungen nötig, die allerdings nach gleichem Muster durchgeführt werden können.

Generell zeigen die Untersuchungen, dass eine deutliche CO<sub>2</sub>-Reduzierung bei einer gleichbleibenden Bauteilqualität durch den Einsatz von CO<sub>2</sub>-reduziertem Stahl beim Presshärten möglich ist und die Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen keinesfalls im Widerspruch zum Presshärten steht. Der nächste Schritt hin zu einer nachhaltigen Produktion ist eine Serienproduktion mit dem untersuchten CO<sub>2</sub>-reduzierten 22MnB5.

#### Literatur

- [1] Blankart, C.: Anwendbarkeit unterschiedlicher Wärmebehandlungsrouten beim Presshärten von Mittelmanganstahl. Dissertation, TH Aachen, 2023
- [2] Austrian Advanced Lightweight Technology: Leichtbau reduziert CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Stand: 2025. Internet: [www.a2t.at/artikel/leichtbau-reduziert-co2-ausstoss](http://www.a2t.at/artikel/leichtbau-reduziert-co2-ausstoss). Zugriff am 19.03.2026
- [3] Friedrich, H. E.: Leichtbau in der Fahrzeugtechnik. Wiesbaden: Springer-Verlag 2017
- [4] Dworak, S.; Fellner, J.; Beermann, M. et al.: Stahlrecycling-Potenziale und Herausforderungen für innovatives und nachhaltiges Recycling. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 75 (2022), S. 97–107
- [5] VDI Nachrichten: Stahl: Diese Anlagentechnik wird bei Thyssenkrupp und Co. den Hochofen ablösen. Stand: 2022. Internet: [www.vdi-nachrichten.com/technik/werkstoffe/direktreduktion-diese-anlagentechnik-wird-bei-thyssenkrupp-und-co-den-hochofen-abloesen/](http://www.vdi-nachrichten.com/technik/werkstoffe/direktreduktion-diese-anlagentechnik-wird-bei-thyssenkrupp-und-co-den-hochofen-abloesen/). Zugriff am 19.03.2026
- [6] Schlegel, J.: Die Welt des Stahls. Wiesbaden: Springer-Verlag 2021
- [7] Hegemann, K.-R.; Guder, R.: Stahlerzeugung. Wiesbaden: Springer-Verlag 2020
- [8] Broadbent, C.: Steel's recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. The International Journal of Life Cycle Assessment 21 (2016), pp. 1658–1665
- [9] Sahoo, M.; Sarkar, S.; Das, A. et al.: Role of scrap recycling for CO<sub>2</sub> emission reduction in steel plant: A model based approach. steel research international 90 (2019) 8, doi.org/10.1002/srin.201900034
- [10] Fang, X.: Karosserieentwicklung und -Leichtbau. Heidelberg: Springer-Verlag 2023
- [11] Karbasian, H.; Tekkaya, A. E.: A review on hot stamping. Journal of Materials Processing Technology 210 (2010) 15, pp. 2103–2118
- [12] DIN EN ISO 683-3: Für eine Wärmebehandlung bestimmte Stähle, legierte Stähle und Automatenstähle – Teil 3: Einsatzstähle. Deutsche Fassung, Ausgabe Juni 2022
- [13] Thyssenkrupp: precidur® HLB 22 / 22MnB5. Stand: 2024. Internet: [www.thyssenkrupp-steel.com/media/content\\_1/publikationen/precison\\_steel/produktinformationen\\_1/borlegierter\\_stahl/thyssenkrupp\\_22mnb5\\_produkthinformation\\_precision\\_steel\\_de.pdf](http://www.thyssenkrupp-steel.com/media/content_1/publikationen/precison_steel/produktinformationen_1/borlegierter_stahl/thyssenkrupp_22mnb5_produkthinformation_precision_steel_de.pdf). Zugriff am 19.03.2026
- [14] Diekmann, U.: Calculation of steel data using JMatPro. COMAT Conference, Plzen, 2012
- [15] Timoshenko, A.; Sommitsch, C.; Klarner, J.: JMatPro und seine Anwendung für die Vorhersage des Umwandlungsverhaltens von Stählen. 2. Deutschsprachige JMatPro Anwenderkonferenz, Kamen, 2012
- [16] Liu, S.; Long, M.; Zhang, S. et al.: Study on the prediction of tensile strength and phase transition for ultra-high strength hot stamping steel. Journal of Materials Research and Technology 9 (2020) 6, pp. 14244–14253

**Sören Breuer, B.Sc.**   
s.breuer@gedia.com

**Tim Scharfenberg**   
t.scharfenberg@gedia.com

Gedia Automotive Group  
Abteilung Prozessentwicklung Umformtechnik  
Röntgenstr. 2–4, 57439 Attendorf  
www.gedia.com

**Dr.-Ing. Peter Frohn-Sörensen**   
peter.frohn@uni-siegen.de

**Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel**   
bernd.engel@uni-siegen.de

Universität Siegen  
Lehrstuhl für Umformtechnik  
Breite Str. 11, 57076 Siegen  
www.uni-siegen.de

**Tim Bergelt, M.Sc.**   
tim.bergelt@mb.tu-chemnitz.de

**Prof. Dr.-Ing. Thomas Lampke**   
thomas.lampke@mb.tu-chemnitz.de

Technische Universität Chemnitz  
Professur Werkstoff- und Oberflächentechnik  
Erfenschlager Str. 73, 09125 Chemnitz  
www.tu-chemnitz.de

#### LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons  
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)