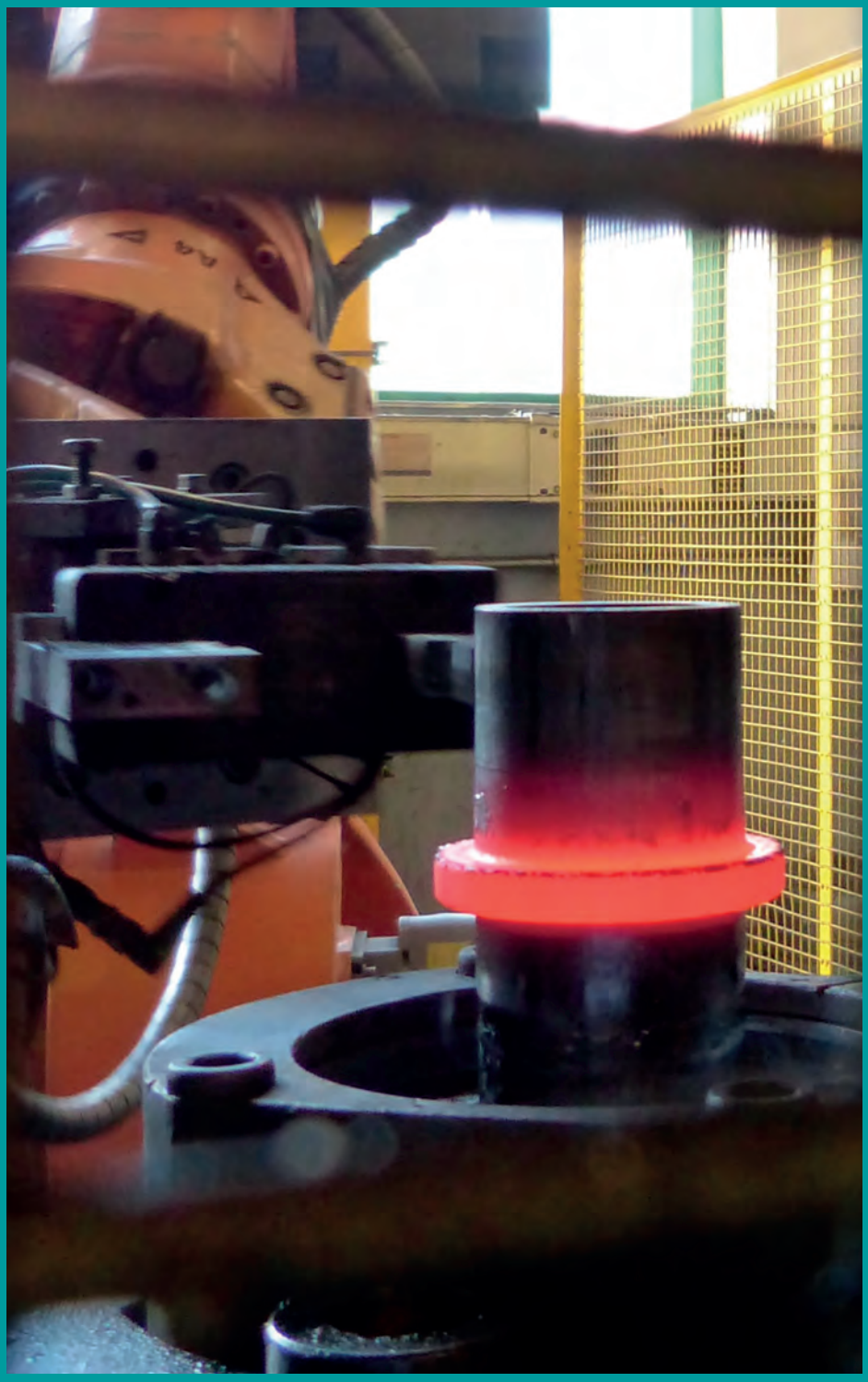


Rohstoffeffizienz, der kürzeste Weg zum CO_2-minimierten Umformteil

Die CO_2-Bilanzierung im Lebenszyklus von Produkten erstreckt sich von deren Fertigung über den Gebrauch bis zum Recycling. Zur CO_2-Reduktion beim Produktgebrauch ist branchenübergreifend der Trend zum Leichtbau nicht mehr aufzuhalten, um sowohl den gesteckten Klimazielen gerecht zu werden, als auch den zunehmenden globalen Wettbewerb um die Technologien und Marken der Zukunft zu bestehen.

> Eine möglichst rohstoffeffiziente umformtechnische Umsetzung einer Fertigungsroute ist für die nachhaltige Reduzierung produktionsbedingter Treibhausgasemissionen und die Minimierung des CO_2-Footprints unerlässlich.
>
> **Prof. a.D. Bernhard Adams**

> Die CO_2-Einsparung bis zu 37 Prozent sowie eine Materialersparnis von bis zu 54 Prozent sind deutliche Argumente für die Verwendung von Rohhalbzeugen und das Hohlfließpressen als ideales Fertigungsverfahren bei der Hohlwellenfertigung.
>
> **Dr. Dirk Odening**

AUTOREN

Prof. a.D. Dr.-Ing. Bernhard Adams

ist seit April 2024 Professor im Ruhestand und war bis August 2023 Leiter des Labors für Umformtechnik und Werkzeugmaschinen LUW der Hochschule Osnabrück.

Dr.-Ing. Dirk Odening

ist technischer Leiter der TubeFormTec GmbH in Karlsbad.

Leichtbau am fertigen Produkt bedeutet nicht automatisch Ressourceneffizienz hinsichtlich des Rohstoff- und Energieeinsatzes bei der Fertigung. Nach wie vor finden Fertigungsprozesse mit teilweise extrem hohem Zerspanungsanteil Anwendung, um das Leichtbau-Design der Komponenten auf ihre letztendlich erforderlichen Tragstrukturen zu reduzieren und die erforderliche Genauigkeit einzustellen. Durch Spanen wird jedoch weder Fertigungsaufwand noch Rohstoffeinsatz gespart, was bilanziell einen entsprechend großen CO_2-Fußabdruck zur Folge hat. Der erforderliche Energieeinsatz und – je nach Herstellverfahren – die direkten CO_2-Emissionen bei der Rohstoffherstellung belasten neben dem eigentlichen Zerspanungsaufwand den Mehrwert der Produkte. Rohstoffeffiziente, endkonturnahe Umformprozesse sind daher optimal geeignet, treibhausgasminimierte Produkte in den Markt zu bringen.

Bereits im Rahmen der Initiative „massiver Leichtbau" vom Stahlinstitut VDEh und Industrieverband Massivumformung e.V. [1] wurde das Potenzial umformender Fertigungsverfahren umfassend untersucht mit dem Fokus auf die Reduzierung des Fahrzeuggewichts als Treiber des Kraftstoffverbrauchs. Bild 1 zeigt beispielhaft zwei Leichtbauansätze für Hohlwellen, die durch Ausbohren von Vollteilen beziehungsweise Einsatz von Hohlfließpressteilen ausgeführt wurden. Die spanende Fertigung der Bohrung führt zu erheblichen Verlusten bei der Rohstoffeffizienz. Diese verbessert sich zwar durch Verwendung

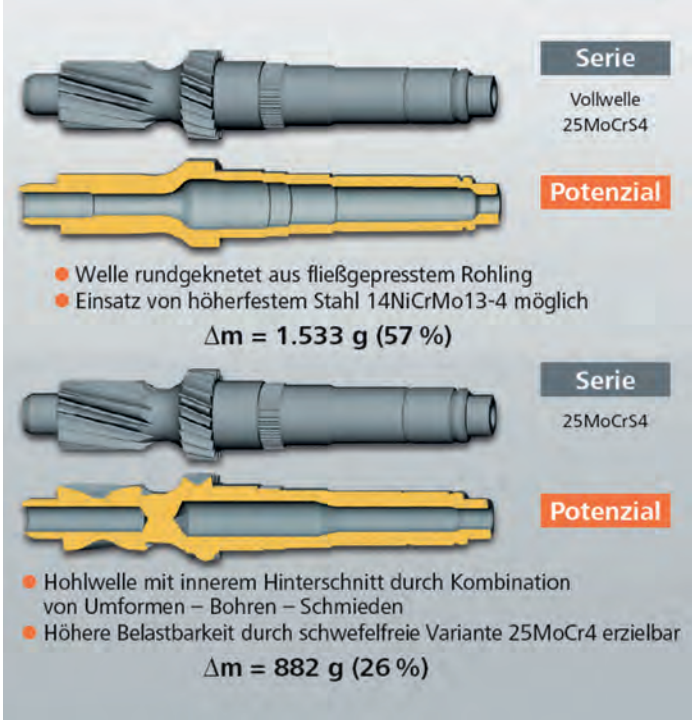
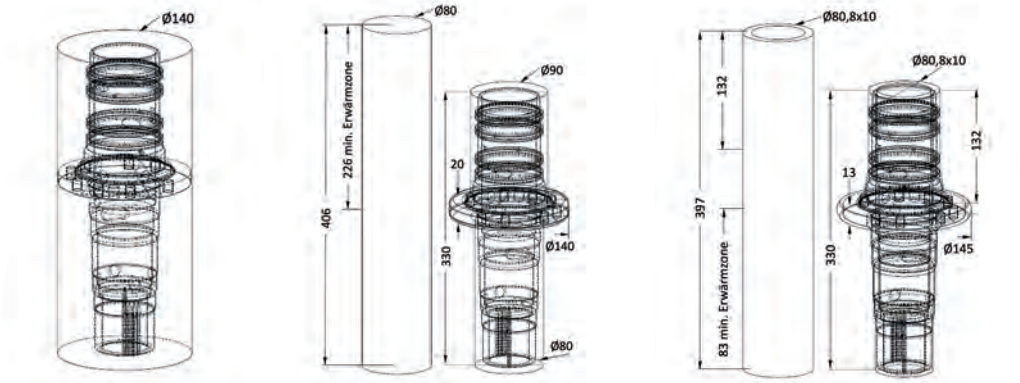


Bild 1: Hohlwellenfertigung mittels Tieflochbohren oder Hohlfließpressen [1]

CO2- Footprint für drei Fertigungsvarianten einer NFZ-Hohlwelle



1) Werte angelehnt an Stahl P235 [2]
2) T = 1.150 °C, c_p = 580 J/Kg K, η_{Ind} = 60 %
3) Stauchen über k_{fm}, V_{umf}, phi, η_f = 70 %
Rundkneten über Leistung und Hauptzeit
4) Zerspanung über Leistung und Hauptzeit
5) Umweltbundesamt 2024 [3]

Fertigungsart	Aus dem Vollen gespant	Aus Schmiedeteil und Innen/Außenspanung	Aus Rohr gestaucht und rundgeknetet
Material 16MnCr5	Warmgewalzter Stabstahl	Warmgewalzter Stabstahl	Nahtlos-warmgewalztes Stahlrohr
Einsatzmasse [kg]	40	16	7
Spez. CO_2-Footprint Mat. [kg CO_2/kg] 1)	0,475	0,475	0,975
CO_2-Footprint Material [kg CO_2/Teil]	19,00	7,60	6,825
Fertigung			
Energieaufwand Erwärmung [kJ] 2)	0	9.900	1.620
Energieaufwand Umformung [kJ] 3)	0	360	1.300
Energieaufwand Zerspanung [kJ] 4)	10.900	2.300	0
Summe Energie Fertigung [kJ]	10.900	12.560	2.920
Spez. CO_2-Footprint Strom [kg CO_2/kJ] 5)	$1{,}008 \cdot 10^{-4}$	$1{,}008 \cdot 10^{-4}$	$1{,}008 \cdot 10^{-4}$
CO_2-Footprint Fertigung [kg CO_2/Teil]	1,10	1,27	0,29
CO_2-Footprint Fertigteil [kg CO_2]	**20,10**	**8,87**	**7,12**

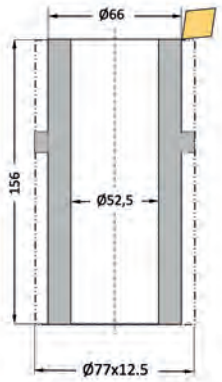
Bild 2: Fertigungsvarianten einer Nfz-Hohlwelle

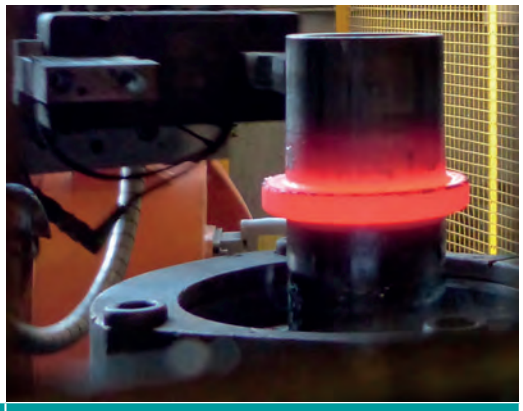
hohler Pressteile, aber in der fließpresstechnisch darstellbaren Länge und Rundlaufgenauigkeit sind beide Varianten begrenzt. Insbesondere im Bauteilspektrum hohler Langteile wie Achsen oder Stabilisatoren sind beide Ansätze kaum anwendbar.

Mit der Verwendung von Rohrhalbzeug kann diese Problematik umgangen werden. TubeFormTec setzt Rohrumformverfahren ein, die eine maximale Rohstoffausnutzung nahezu ohne Längenbegrenzung garantieren. Durch die minimierte, umzuformende Einsatzmasse reduziert sich naturgemäß auch der Energieverbrauch der Umformanlagen und, wenn Warmformgebung erforderlich ist, der Einrichtungen zur partiellen Erwärmung. Damit fällt neben der Rohstoff- auch die Energiebilanz gegenüber konventionellen Fertigungsrouten mit hohem Spanungsanteil beeindruckend vorteilhaft aus. Wo andere noch nachträglich bohren und mit hohen Bearbeitungszugaben Späne produzieren, wird hier von Anfang an mit dem Ausgangsmaterial Rohr nur so viel Rohstoff eingesetzt, wie schlussendlich zum Erreichen der Bauteilfunktion in endkonturnaher Form erforderlich ist. Über verschiedene Verfahren der Warm- und Kaltumformung wird damit ein bedeutender Beitrag zum Leichtbau bei gleichzeitig bester Ressourceneffizienz hinsichtlich Rohstoff und Energie geleistet.

Treiber früherer Optimierungsstrategien zur Near-Net-Shape-Fertigung von Umformkomponenten waren bei vergleichsweise niedrigen Energiekosten und CO_2-Bepreisungen meist Aspekte der verbesserten stofflichen Bauteileigenschaften und Reduzierung des Fertigbearbeitungsaufwands. Für eine nachhaltige Reduzierung produktionsbedingter Treibhausgasemissionen ist jedoch eine erweiterte Betrachtung unter Einbeziehung des verbrauchten Rohstoffs und seines CO_2-Footprints unerlässlich. An einer möglichst rohstoffeffizienten umformtechnischen Umsetzung einer Fertigungsroute führt damit eigentlich kein Weg mehr vorbei: Die nachfolgenden Untersuchungsergebnisse für drei unterschiedliche Fertigungsrouten einer NFZ-Hohlwelle zeigen in einer Musterbetrachtung die hohe Bedeutung des Rohstoffverbrauchs in der CO_2-Bilanz umgeformter Bauteile. Alle Varianten liefern am Ende ein geometrisch identisches Bauteil mit 1,5 Millimeter Feinbearbeitungszugabe (Bild 2).

Für die aus Rohrhalbzeug gefertigte Variante ergibt sich bei vollständig umformtechnischer Fertigung (ausgehend von dickwandigem Rohr mit Warmstauchen des Mittenflansches und Rundkneten über Dorn zum Abstrecken und Verjüngen) eine Materialersparnis von 56 Prozent gegenüber der bisherigen Fertigungsroute aus einem Massivschmiedeteil. Legt man nun eine möglichst nachhaltige Stahl- und Energieversorgung rein über Elektrostahlroute mit CO_2-Emissionen von 0,475 kgCO_2/kg und dem in Deutschland 2024 vorliegende Graustrommix aus konventionellen und regenerativen Energiequellen von 0,363 kg CO_2/kWh zugrunde, ist eine Reduktion des CO_2-Footprints von nahezu 20 Prozent zu erzielen [2], [3].





[1] Werte angelehnt an Stahl P235 [2]
[2] T = 1.150 °C, c_p = 580 J/Kg K, η_{Ind} = 60 %
[3] Stauchen über k_{fm}, V_{umf}, phi, η_f = 70 %
[4] Zerspanung über Leistung und Hauptzeit
[5] Umweltbundesamt 2024 [3]

Fertigungsart	Aus dickwandigem Rohr beidseitig abgedreht	Aus dünnwandigem Rohr warmgestaucht
Material 16MnCr5	Nahtlos-warmgewalztes Stahlrohr	Nahtlos-warmgewalztes Stahlrohr
Einsatzmasse [kg]	3,1	1,8
Spez. CO_2-Footprint Mat. [kg CO_2/kg] [1]	0,975	0,975
CO_2-Footprint Material [kg CO_2/Teil]	3,023	1,755
Fertigung		
Energieaufwand Erwärmung [kJ] [2]	0	500 partiell erwärmt 0,45 kg
Energieaufwand Umformung [kJ] [3]	0	30
Energieaufwand Zerspanung [kJ] [4]	600	0
Summe Energie Fertigung [kJ]	600	530
Spez. CO_2-Footprint Strom [kg CO_2/kJ] [5]	$1{,}008 \cdot 10^{-4}$	$1{,}008 \cdot 10^{-4}$
CO_2-Footprint Fertigung [kg CO_2/Teil]	0,060	0,053
Σ CO_2-Footprint Fertigteil [kg CO_2]	**3,083**	**1,808**

Bild 3: Fertigungsvarianten einer Motorradachse, Bilder: Autoren

Im Durchschnitt der gesamten deutschen Stahlproduktion unter Aggregation der Elektrostahl- und Hochofen-Konverter-Route betragend die CO_2-Emissionen jedoch weiterhin 1,52 kgCO_2/kg [4]. Mit diesem gegenwärtig noch „wahren" Durchschnittswert gerechnet, beträgt die CO_2-Reduktion der Rohrvariante sogar außerordentliche 37 Prozent.

Dass auch bereits als Rohrvarianten ausgeführte Bauteile durch Rohrstauchverfahren CO_2-seitig weiter verbessert werden können, zeigt abschließend das Beispiel einer Motorradachse. In der ersten Serienversion wurde der Flansch durch beidseitiges Abdrehen eines dickwandigen Nahtlosrohres gefertigt. Die CO_2-reduzierte Version wurde dann als Rohrstauchteil aus einem dünnwandigen Rohr geliefert. Bild 3 zeigt die Reduktion des CO_2-Footprints von mehr als 40 Prozent. Auch dieser Berechnung liegt der Graustrommix aus erneuerbaren und regenerativen Energiequellen von 2024 zugrunde.

TubeFormTec GmbH
Draisstraße 19 - 24
76307 Karlsbad
Telefon: +49 7202 93 12-0
Mail: info@tubeformtec.de
Internet: www.tubeformtec.de

TubeFormTec und seine Partner an der Hochschule Osnabrück fühlen sich seit vielen Jahren der Ressourceneffizienz verpflichtet und verfügen über langjährige Erfahrung zur diesbezüglichen Optimierung von Umformprozessen. Die gemeinsamen Aktivitäten wurden mehrfach mit Preisen wie dem Deutschen Rohstoffeffizienzpreis 2011 des Bundeswirtschaftsministeriums und dem Konrad-Schäfer-Innovationspreis 2013 ausgezeichnet. 2021 folgte die Nominierung zum Umwelttechnik-Preis Baden-Württemberg, da diese Thematik zunehmend in ökologisches und auch ökonomisches Interesse rückt.

[1] Initiative „massiver Leichtbau", 2016, Stahlinstitut VDEh und Industrieverband Massivumformung e. V.

[2] https://www.benteler.com/de/products-services/steel-tube-products/climore/, aufgerufen am 01.08.2025

[3] Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2024, Herausgeber: Umweltbundesamt.

[4] Daten und Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland, 11/2024, Wirtschaftsvereinigung Stahl