

Schlussbericht

03LB3057A Verbundvorhaben: LIGHT_ENABLER – Prozesskettenentwicklung zur innovativen, maßgeschneiderten Wanddickenverteilung bei höchstfesten Aluminiumrohren als Enabler für CO2 effiziente, großserientaugliche Warmumformung zum extremen Leichtbau; Teilvorhaben: Entwicklung von HDF-H Tailored (Bended) Tubes

Kurze Darstellung

1 Aufgabenstellung

Für Leichtbau-Bauteile welche auf der Basis von Hohlkörpern (z.B. Rohre) gefertigt werden, ist neben der kosteneffizienten und flexiblen Einstellung der bauteilgerechten Wanddickenverteilung auch das kosteneffiziente Biegen der Bauteile aus hochfestem Aluminium ein wesentlicher Enabler für den wirtschaftlichen Leichtbau. Nur wenn sowohl das Material, die Wanddickeneinstellung, das Biegen und die Warmumformung zum Bauteil sowie die nachfolgenden Prozessschritte wettbewerbsfähig sind, kann ein Einsatz z.B. in der kostensensiblen Großserie erfolgen. So werden aktuell Hohlkörper/Rohre nur in kaltem Zustand in teuren Biegemaschinen mit Innendorn gebogen, was einerseits sehr kostspielig und andererseits nicht geeignet für die hochfesten Aluminiumlegierungen ist. Oftmals ist das Rohrbiegen sogar teurer als der Umformprozess selbst. Um diesen Prozess auf der einen Seite kostengünstiger aber auch flexibler zu gestalten, ergibt sich gerade in Kombination mit dem patentierten HDF-Warmumformprozess eine große Chance. Die Entwicklung dieser Prozesse ist Aufgabe dieses Projektes.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben hatte eine geplante Laufzeit vom 01.01.2022 – 31.12.2025 und war als Kooperationsprojekt zwischen der HoDforming GmbH (Konsortialführer) und der ara Innovation - Arnold & Rath GmbH geplant. HoDforming als Spezialist für den Bereich der Warmumformung und ara Innovation - Arnold & Rath GmbH als Spezialist für den Maschinen- und Anlagenbau. Dabei entfielen ca. 60 % des Budgets auf den Kooperationspartner ara Innovation - Arnold & Rath GmbH und der Rest auf die HoDforming GmbH. Leider hat der Partner ara Innovation - Arnold & Rath GmbH am 01.11.2022 Insolvenz angemeldet und mit diesem Datum die F&E Arbeiten an diesem Projekt auch eingestellt. Aufgrund der bis zu diesem Zeitpunkt sehr positiven F&E Ergebnisse in dem Projekt hat die HoDforming GmbH die Arbeiten alleine weiter fortgeführt. Es wurde auch eine Mittelverschiebung von der insolventen ara Innovation - Arnold & Rath GmbH zur HoDforming GmbH beantragt um die ausgefallenen Arbeiten und Investitionen in Maschinen- und Anlagentechnik der ara Innovation - Arnold & Rath GmbH zu kompensieren. Diese Mittelverschiebung war leider nicht erfolgreich. Das Budget der ara Innovation - Arnold & Rath GmbH konnte nicht kompensiert werden. Das Projekt wurde zum 30.06.2024 beendet.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt hat zwei unterschiedliche Forschungsphasen abgedeckt, nämlich die experimentelle Entwicklung und die Herstellung eines seriennahen Demonstrators aus den HDF-Tailored Tubes bzw. HDF-Tailored Bended Tubes. Es galt, die Entwicklungsarbeiten an möglichst relevanten Beispielen zu validieren, um damit möglichst viele Technologieanwender wie z.B. die bereits interessierten Automotive OEMs zu adressieren. Zur Definition und Auswahl der bestgeeigneten hochfesten Aluminiumlegierungen sollten sowohl die Produktionsprozesse als auch die gängigsten Bauteilspezifikationen der späteren Anwendungen als auch weitere Anwenderbedarfe wie Kosten, Tauglichkeit für Anwendungen im Spritzwasserbereich (Korrosionsaspekt) etc. betrachtet werden. Der Fokus lag auf den heute noch nicht in der Großseriananwendung befindlichen neuen hochfesten Aluminiumlegierungen. Folgend wurde die Anlagentechnik für HDF-Tailored Tubes und die HDF-Tailored Bended Tubes entworfen und hergestellt um dann darauf die Herstellungsversuche durchzuführen. Folgend sollte die Charakterisierung, Analyse und Untersuchungen der Leichtbau-Bauteile und die technische Bewertung, die Validierung des CO₂-Einsparpotenzial sowie Vorbereitungen zur Markterschliessung erfolgen.

Der Ablauf des Vorhabens richtet sich nach den definierten Meilensteinen.

Meilensteine	
M1	Festlegung der bestgeeigneten Leichtbau-Werkstoffe und Laborbauteile zur vollen Ausnutzung der CO ₂ -Einsparpotenziale der HDF-Tailored Tubes
M2	Laboranlagentechnik für HDF-Tailored Tubes und HDF-Tailored Bended Tubes aufgebaut
M3	Versuche zu HDF-Tailored Tubes und HDF-Tailored Bended Tubes abgeschlossen
M4	Laborbauteile auf Basis der HDF-Tailored Tubes und HDF-Tailored Bended Tubes hergestellt
M5	Bewertung der Technologieentwicklungen auf Basis der Versuchsreihen und der Charakterisierung, Analyse und Grundlagenuntersuchungen
M6	Vorgehen zum Transfer der Projektergebnisse in die industrielle Anwendung ist definiert

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Weder in der Wissenschaft noch in der Industrie sind spezifische Produktionsketten zur Herstellung von wanddickenoptimierten Rohren aus hochfestem Aluminium mittels des Stauchens im warmen Zustand (ca. 480 °C bis 560°C) zu finden. Auch über das Biegen der Rohre im warmen Zustand (ca. 480 °C bis 560°C) ist nichts in der Literatur zu finden. Die in diesem Projekt vorgeschlagene, innovative Prozesskette, welche verschiedene Warmumformprozesse auf effiziente und innovative Weise miteinander kombiniert, um die Wanddicke von Hochleistungsaluminiumteilen zu optimieren ist bisher nicht vorhanden und vollkommen neuartig. Prozesse zur Herstellung von den hier als HDF-Tailored Bended Tubes benannten warmgebogenen Rohren und Hohlkörpern fehlen auch gänzlich. Das Interesse an wandstärkenoptimierten Rohren nimmt jedoch deutlich zu. Der Bedarf nach solchen Verfahrenstechnologien wird zweifelsfrei in den kommenden Jahren zunehmen. In der Literatur werden aber nur die bekannten, „klassischen“ Prozesse fokussiert, bei denen unter anderem das Wanddickendesign durch Prozessierung unter hohem Druck im kaltem Zustand erzielt wird. Hierbei müssen Rohre und Hohlkörper kostspielige Prozessketten durchlaufen, um ihre endgültige Wanddicken und Geometrie zu erreichen: Rohr: Extrusion/Walzen & Schweißen → (Walzen für evtl. 2D-Wanddickendesign) → Biegung → Wärmebehandlung Diese „klassischen“ Tailored Tube Teile haben tatsächlich einen Leichtbau-Optimierungsgrad, aber noch große innewohnende Nachteile und noch einen großen Optimierungsbedarf.

1. Hohe und inhomogene Eigenspannungen im Material, die das Bauteil deformieren können

2. Die Mikrostruktur ist nicht optimiert, z.B. ohne Korngrößen-Kontrolle und inhomogene Phasenverteilung
3. Wärmbehandlungen sind oft notwendig zur Verringerung von Eigenspannung und Optimierung der Mikrostruktur
4. Die Verwendung von Punktschweißen ist manchmal notwendig, um strukturelle Festigkeit bereitzustellen
5. Komplexes 3D-Wanddickendesign kann nicht erreicht werden
6. Tailoring Grad ist stark eingegrenzt. Aus der technischen Sicht kann die Wanddicke lokal verstärkt werden, wodurch das Endgewicht des Teils weiter verringert wird.

Die innovative HDF-Umformprozesskombination, Warmstauchen, -biegung und -umformung löst die Probleme konventioneller Prozessketten und bringt zusätzliche Produktionsvorteile:

1. 3D-Wanddickendesign auf hohem Niveau, lokale Verstärkung mit minimalem Gewicht
 - a) Im Umfang der Rohre (Rohrherstellung)
 - b) Entlang der Rohre (HDF-Prozess)
2. Maximale Prozessstabilität und Freiräume durch den Einsatz von Wärme (ca. 480 °C)
3. Weniger Material und Prozessschritte, was die Produktionskosten und den Energieverbrauch senkt
4. Optimierte Materialeigenschaften
5. Minimale Eigenspannung, genauere Geometrie, optimierte Phasenverteilung
6. Durch hohe Temperaturen wird das Auftreten von Rissen und strukturellen Schwachstellen reduziert
7. Kostengünstige und großserientaugliche Prozesskette bis hin zur Umformung der Halbzeuge Bei beiden Prozessschritten, sowohl Warmstauchen als auch Warmbiegen, wurden bisher von keinem der beiden Partner in entsprechenden Versuchen durchgeführt, sondern nur grundsätzliche Überlegungen zu Machbarkeit und Umsetzung angestellt. Eine Literaturrecherche hat gezeigt, dass auch in der Wissenschaft zu dieser speziellen Ausrichtung keine Versuche durchgeführt worden sind. Aufgrund der Erfahrungen der beiden Projektpartner einerseits im Maschinen- und Anlagenbau sowie andererseits in der Warmumformung, sind die Projektpartner zuversichtlich die skizzierten Projektziele zu erreichen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

Eine Zusammenarbeit mit anderen Stellen, außer dem Projektpartner ara Innovation - Arnold & Rath GmbH, hat nicht stattgefunden.

II. Eingehende Darstellung

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele,

Aufgrund der stark begrenzten finanziellen Ressourcen (der Projektpartner ara Innovation - Arnold & Rath GmbH ist aufgrund dessen Insolvenz aus dem Projekt ausgestiegen und die Arbeiten mussten seitens der HoDforming übernommen werden, jedoch ohne eine Budgeterhöhung für die HoDforming) konnten nicht alle avisierten Projektziele erreicht werden. Trotz dieser starken Beschränkung konnte jedoch der Meilenstein M3 „Versuche zu HDF-Tailored Tubes und HDF-Tailored Bended Tubes abgeschlossen“ erreicht werden. Auch die Arbeiten am Meilenstein M4 „Laborbauteile auf Basis der HDF-Tailored Tubes und HDF-Tailored Bended Tubes hergestellt“ sind weitergelaufen. Es wurden im Kontext dieses Meilensteins auch Laborbauteile hergestellt, jedoch waren diese Bauteile keine „i.O. Teile“. Dies ist aber - wie die durchgeführten Versuche im Kontext des Meilensteins M3 gezeigt haben - nicht aufgrund der beschränkten Technologiemöglichkeiten nicht erfolgreich gewesen, sondern lediglich ein Resultat daraus, dass keine Zeit bzw. Budget für weitere Optimierungen vorhanden war. D.h. es hätten - bei weiteren Entwicklungsmöglichkeiten - mit großer Wahrscheinlichkeit auch i.O. Laborbauteile hergestellt werden können. Der Meilenstein M5: Bewertung der Technologieentwicklungen auf Basis der Versuchsreihen und der Charakterisierung, Analyse und Grundlagenuntersuchungen“ konnte nur im Rahmen der zur Verfügung stehenden Ergebnisse (nicht i. O. Teile) durchgeführt werden. Der Meilenstein „M6: Vorgehen zum Transfer der Projektergebnisse in die industrielle Anwendung ist definiert“ ist auch - aufgrund der stark begrenzten finanziellen Ressourcen - nicht abzuschließen, da auch hier keine i. O. Laborbauteile hergestellt werden konnten. Dennoch wurde aus den durchgeführten Versuchen vieles gelernt, was später einen positiven Einfluss auf die weitere Entwicklung der HDF-Technologien haben wird.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises,

Die von der HoDforming GmbH beantragte Projektförderung von 484.447,12 € wurde vollständig abgerufen.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit,

Das Projekt ist technologisch höchst anspruchsvoll und seitens des ZE wurde deutlich mehr Zeit und Geld in das Projekt investiert, als dies im Rahmen der Antragsstellung geplant war. Der ZE HoDforming GmbH hat aufgrund des insolvenzbedingten Ausscheidens des Projektpartners ara Innovation - Arnold & Rath GmbH einen Großteil der Arbeiten und Investitionen von diesem übernommen, ohne hierfür eine Förderung zu erhalten. Grundsätzlich gilt, dass die Arbeiten ohne eine Förderung gar nicht hätten durchgeführt werden können.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans,

Grundsätzlich gilt, dass von unterschiedlichen Automotive OEM´s der dringende Technologiebedarf an die HoDforming und ara Innovation für die HDF-Tailored Tubes und die HDF-Tailored Bended Tubes - also wandstärkenoptimierte rohrbasierte Bauteile aus hochfesten Aluminiumlegierungen - kommuniziert wurde. Diese Automotive OEM´s haben - bei erfolgreicher Durchführung des hier beantragten Projektes - in Aussicht gestellt, die in diesem Projekt zu entwickelnde Leichtbautechnologie in ihre zukünftigen Fahrzeuge zu integrieren und damit einen Transfer in die breite industrielle Anwendung sicherzustellen. Wenn bereits einer dieser großen OEM´s die hier zu entwickelnden Technologien für sich als Referenzkunde adaptiert, hätte das eine Ausstrahlung auf die gesamte Branche. Weitere OEM´s würden nachziehen und die neue, hier beantragte Technologie adaptieren. Die HDF-Tailored Tubes und HDF-Tailored Bended Tubes können mit ihrem zum

Projektende angestrebten TRL von 6-7 zeitnah in die breite industrielle Anwendung überführt werden. Der Zielmarkt beider Projektpartner liegt im Anwendungsbereich der Mobilität, insbesondere Automotive, da hier – aufgrund der hohen Stückzahlen – sowohl das größte CO2-Einsparpotenzial als auch die größte wirtschaftliche Chance liegt. Aufgrund der frühen Insolvenz (noch vor dem Ende des ersten Drittels der Projektlaufzeit) des Projektpartners ara Innovation - Arnold & Rath GmbH konnten nicht alle avisierten Ergebnisse erreicht werden.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,

Dem ZE sind keine Fortschritte auf dem bearbeiteten Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11. Wenn zur Wahrung berechtigter Interessen des ZE oder Dritter oder aus anderen sachlichen Gesichtspunkten bestimmte Einzelheiten aus dem Bericht vertraulich zu behandeln sind (z. B. Wahrung der Priorität bei Schutzrechtsanmeldungen), so hat der ZE den ZG ausdrücklich darauf hinzuweisen.

Vorstellung der Ergebnisse auf einer Fachkonferenz in Österreich (Forum Aluminium, Juli 2023).

Desweiteren plant der ZE die Ergebnisse des Vorhabens auf entsprechenden Fachkonferenzen darzustellen. Aktuell laufen verschiedene Bewerbung über Call for Papers.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages