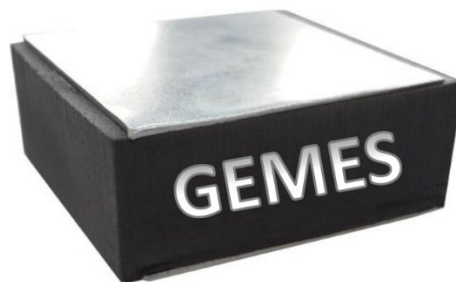


Abschlussbericht: Teil I



GEfüllte Metall-Hochleistungshybride zur Erhöhung der Sicherheit von Fahrzeugen

Projektförderung: Neue Möglichkeiten, neue Marktpotenziale ('HyMat')

Verbundprojekt: GEMES (FKZ: 03XP0283)

Projektpartner: FOX Velution GmbH
Im Grund 2 | 91593 Burgbernheim
+49 (9843) 93 585 40 | www.fox-velution.com



Berichtsdatum: 31. März 2024

I) Kurzbericht

Im Forschungsprojekt 'GEMES' wurde eine ressourceneffiziente, werkzeugfallende Fertigungstechnologie für Metall-Partikelschaum-Hybridstrukturen zur Substitution monolithischer Metallteile entwickelt. Hierzu konnten neuartige Prozesse zur Herstellung von Hochleistungs sandwichstrukturen mit hochfesten Metallprofilen und Partikelschäumen aus temperaturbeständigen Thermoplasten als Kernstruktur angepasst, optimiert und praktisch evaluiert werden.

Der Schwerpunkt lag dabei auf trockenen (dampffreien) Verarbeitungsverfahren, also dem Einsatz mittelwelliger Infrarotstrahlung sowie der Verwendung hochdynamisch-variothermer Kavitäten, was durch eine grundsätzlich bessere Effizienz (Art des Wärmeübergangs, reduzierte variotherme Massen, kein Prozesswasser) helfen kann, zu einer nachhaltigen Fahrzeugproduktion beizutragen.

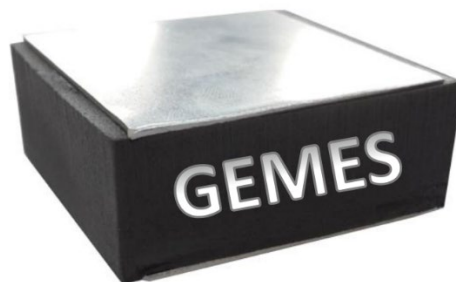
Im ersten Schritt wurden unterschiedliche thermoplastische Kunststoffe auf ihre Eignung (Prozess und Anwendung), ihre individuellen thermischen Verarbeitungsfenster und die jeweils erreichbaren Materialeigenschaftsprofile (Mechanik unter erhöhten Temperaturen) untersucht und bewertet. Dies ermöglichte eine Eingrenzung und schlussendliche Festlegung auf ein geeignetes Schaumkernmaterial (E-PET) für die weiteren Projektabschnitte. Anschließend ließen sich trockene (dampffreie) Werkzeugkonzepte ableiten, aufbauen und testen. Hierbei stand eine kontaktlose, aber trotzdem schnelle, effiziente Erwärmung des metallischen Einlegers im Fokus.

Um das Kostentarget und die geforderten Stückzahlen für automobiler Applikationen prinzipiell zu erreichen, wurde eine verfahrensintegrierte 'In-situ'-Verbindung zwischen Schaumkern und metallischer Deckschicht als Kernanforderung an die Fertigungslösung definiert. Unterschiedliche Oberflächenfunktionalisierungen (mechanische Strukturierung bzw. chemisch-physikalisches Beschichtungen) kamen für eine belastbare, stoff- und/oder formschlüssige Verbindung zwischen polymerem Kern und metallischem Träger zum Einsatz. Am Ende ließ sich experimentell nachweisen, dass durch Verwendung geeigneter Primersysteme, ein mechanisch induziertes Verbundversagen nicht mehr adhäsiv in der Fügezone, sondern innerhalb der Schaumkernstruktur erfolgt. Zusätzlich wurden in dem Projekt notwendige numerische Methoden für die zukünftige Auslegung hybridisierter Strukturen aufgebaut und validiert.

Die entwickelten Verarbeitungstechnologien konnten im Anschluss erfolgreich auf die Herstellung geschlossener, mit Partikelschaum 'in-situ'-hybridisierter Träger (vollständig ausgefüllt oder nur verrippt) übertragen werden. Die Bewertung von deren strukturellen Eigenschaften erfolgte auf Basis von statischen und dynamischen Dreipunktbiegeversuche, um ihre Steifigkeit bzw. Festigkeit sowie das Energieabsorptionsvermögen vergleichend zu bestimmen. Über die Durchführung einer umfangreichen Testkampagne konnte gezeigt werden, dass sich die massenspezifische Energieaufnahme der Metallprofile über die Hybridisierung mit Partikelschaum um 40 % (Verrippen) respektive um 125 % (komplett gefüllte Träger) erhöhen ließ. Damit ließ sich das geforderte Leichtbaupotenzial dieses Hybridansatzes nachweisen.

Zukünftige F&E-Aktivitäten sollten in die weitere Reduktion der Zykluszeiten und der thermischen Beständigkeit der Kernanbindung z.B. für die kathodische Tauchlackierung gelegt werden, um derartige Verbundstrukturen sukzessive in die automobiler Serienproduktion einzuführen.

Abschlussbericht: Teil II



GEfüllte Metall-Hochleistungshybride zur Erhöhung der Sicherheit von Fahrzeugen

Projektförderung: Neue Möglichkeiten, neue Marktpotenziale ('HyMat')

Verbundprojekt: GEMES (FKZ: 03XP0283)

Projektpartner: FOX Velution GmbH
Im Grund 2 | 91593 Burgbernheim
+49 (9843) 93 585 40 | www.fox-velution.com



Berichtsdatum: 31. März 2024

Inhalt

II) Eingehende Darstellung

- <u>1. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse</u>	<u>3</u>
· Recherche und Definition von Versuchswerkstoffen	3
· Beschaffung bzw. Produktion/Veredelung angepasster Partikelschäume	3
· Evaluierung der Materialien	4
· Werkzeug- und Temperiertechnik	4
· Hybrides Erwärmkonzept	5
· Systematische Anwendungsversuche	5
· Begleitende Füllerentwicklung	6
- <u>2. Zahlenmäßiger Nachweis und Notwendigkeit der geleisteten Projektarbeiten</u>	<u>6</u>
· AP 0: Projektleitung, Ergebnisdokumentation und -transfer	6
· AP 1000: Bauteilspezifikation und Anforderungsliste, Spezifikationsevaluierung	6
· AP 2000: Simulation und Komponentenprüfung	7
· AP 3000: Prozesstechnik	7
· AP 4000: Werkzeugtechnik	7
· AP 5000: Maschinenentwicklung und Industrialisierung.....	8
· AP 6000: Erprobung, Verifikation und Nachweis der Wirtschaftlichkeit.....	8
- <u>3. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse</u>	<u>8</u>
· 'DryBead'-Prozesskette	8
· IR-Durchlauföfen zur Strahlungsexpansion	9
· Infrastruktur zur Druckbeladung/-sättigung von Schüttgut	9
· Folgewerkzeugprojekte.....	9
· IP-Aktivitäten.....	10
- <u>4. Veröffentlichungen</u>	<u>10</u>
- <u>5. Anm.: Umfang und Detaillierungsgrad des Berichtsteils II (ggb. III)</u>	<u>10</u>

II) Eingehende Darstellung

1. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Recherche und Definition von Versuchswerkstoffen

Zu Beginn des Vorhabens selektierten die Projektpartner u.a. in einem Materialworkshop geeignete Werkstoffe. Dabei wurde aufgrund der z.T. stark unterschiedlichen Eigenschaften möglicher Partikelschäume zunächst eine segmentspezifische Auswahl getroffen: Die Untersuchungen sollten demnach auf folgende vier Typen fokussiert werden:

- mPPE: Modellwerkstoff zur Werkzeug- und Peripherieerprobung
- E-PC: Innenraumanwendung
- E-PA: Strukturapplikation, Karosseriemontage
- E-PBT: Strukturapplikation, Inline-Karosseriefertigung (KTL-Verträglichkeit)

Im Rahmen der Werkstoffbeschaffung wurde deutlich, dass die auf dem Markt oder entwicklungsseitig verfügbaren Schaumperlen insbesondere hinsichtlich Durchmesser/Geometrie und Morphologie sowohl für den trocken-variothermen Verarbeitungsprozess als auch hinsichtlich der damit erzielbaren Eigenschaften im Formteil herstellerseitig z.T. noch nicht optimiert worden sind. Zudem haben sich die werkstofflichen Anforderungen an die Partikelschäume während der Projektlaufzeit auf Wunsch des Konsortialpartners AUDI in Richtung eines vorexpandierten Polyamids (ebenfalls mit KTL-Verträglichkeit) verschoben.

Beschaffung bzw. Produktion/Veredelung angepasster Partikelschäume

Deshalb wurden im weiteren Verlauf der recherchebezogene sowie experimentelle Schwerpunkt zunehmend auf die Beschaffung und Produktion bzw. Veredelung geeigneter Partikelschaumstoffe gelegt. Es folgte eine ausführliche Charakterisierung der verschiedenen Werkstoffe anhand von 2D-Probekörpern.

Eine kommerziell verfügbare mPPE-Schaumtype wurde insbesondere zu Beginn des Projekts zur Erprobung der Werkzeug- und Anlagentechnik verwendet. Es konnte eine gute, reproduzierbare Verarbeitung dargestellt werden, allerdings war die Temperaturbeständigkeit hier nicht ausreichend für den KTL-Durchlauf (AUDI-Anforderung).

Es wurden mehrere Versuchsreihen mit einer zum damaligen Zeitpunkt marktverfügbaren E-PA-Type durchgeführt. Anfangs konnten trotz eines sehr schmalen Verarbeitungsfensters einer Reihe von Probekörpern für die nachfolgende mechanische Prüfung hergestellt werden; in späteren Versuchsreihen zeigte sich eine starke Abhängigkeit der Formschaubarkeit vom Wassergehalt der Schaumperlen. Trotz intensivierter Versuchsaufwände mit gezielter Konditionierung der Schaumperlen beim Materialhersteller konnte in der Folge keine reproduzierbare Verarbeitung dieser Type mehr erreicht werden. Das o.g. E-PA wird inzwischen (Stand: März 2024) nicht mehr vom asiatischen Hersteller beworben/vertrieben. Inzwischen vermarktet die BASF SE, Ludwigshafen, einen Polyamidpartikelschaum, der zumindest im Dampfformschäumprozess gut verarbeitet werden kann; dieser stand aber im Rahmen von GEMES nicht für trocken-variotherme Formschaumversu-

che zur Verfügung. Außerdem wurden E-PC- bzw. E-PBT-Versuchstypen von anderen Rohstoffproduzenten zur Verfügung gestellt: Hier zeigten sich ein vergleichsweise geringerer Entwicklungsgrad sowie begrenzte Materialverfügbarkeiten.

Als Alternative wurde von FOX in Abstimmung mit Materialherstellern ein neuartiges Verfahren zum Schäumen von kompaktem Kunststoffgranulat entwickelt. Aufgrund seiner Neuheit konnte es in GEMES nur begrenzt zum Einsatz kommen. In dem seit 2022 laufenden geförderten Forschungsvorhaben 'DryBead' (Förderprogramm: 'Neue Werkstoffe in Bayern') wird diese Prozesskette aktuell im Detail untersucht und die dazugehörige Anlagentechnik entwickelt und skaliert.

Im weiteren Verlauf wurde dem Konsortium seitens SEKISUI KASEI, eines japanischen Rohstoffherstellers, mit dem ST-ELEVEAT® ein neu entwickelter E-PET-Partikelschaum zur Verfügung gestellt. Dieser zeichnet sich durch ein ausgesprochen großes thermisches Verarbeitungsfenster sowie gute mechanische und thermische Kennwerte bei erhöhten Einsatztemperaturen aus.

Evaluierung der Materialien

Zur Charakterisierung der oben genannten Partikelschaumtypen wurden zahlreiche 2D-Probekörper produziert und den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. An Würfeln (Kantenlänge: 25 mm) führte das DLR mechanische Prüfungen durch, um Materialkarten für die Simulation zu erstellen. Bei MAHLE wurden an von FOX produzierten Musterplatten (Abmessungen: 300 x 200 x 10..20 mm) Verzug und Schwindung durch nachfolgende Wärmebehandlung (Simulation des KTL-Durchlaufs) untersucht. Zudem fanden Prinzipversuche zur Blechanhaftung statt; auch hier wurden ausgewählte Proben bei AUDI im KTL-Durchlauf getestet. Aufgrund der Ergebnisse aus Verarbeitung und Prüfung der verschiedenen Materialien konzentrierten sich die Untersuchungen im weiteren Projektverlauf auf das E-PET als Kernwerkstoff.

Werkzeug- und Temperiertechnik

Zur Auslegung des 2,5D-Werkzeugs konnten von FOX und HOFMANN verschiedene Lösungen zur Temperierung metallischer Halbzeuge evaluiert und im Prinzipversuch getestet werden. Danach wurde ein modulares Werkzeugkonzept entwickelt, um mit geringem Umrüstaufwand die Blecherwärmung mittels Induktionsmatten sowie mit IR-Strahlern im gleichen Werkzeugaufbau testen zu können. Die ersten Versuche mit Induktionsmatten im 2,5D-Werkzeug zeigten, dass eine dynamische Erwärmung von Blechhalbzeugen mit dieser Lösung möglich ist, allerdings wurden auch einige, insbesondere werkzeugspezifische Herausforderungen deutlich:

- Im Werkzeugaufbau dürfen keine ferromagnetischen Metalle verbaut sein, da diese ebenfalls induktiv angeregt und somit erwärmt werden, was über Wärmeleitungseffekte die örtliche Temperaturverteilung stark beeinflusst und somit zu Regelungsproblemen führt.
- Die Induktionsspulen müssen gegenüber dem zu erwärmenden Blech elektrisch isoliert sein.
- Wegen ihrer Vergussmasse dürfen sie sich nicht über 200 °C erwärmen, was eine thermische Entkopplung vom Blech erfordert.
- Gleichzeitig ist der Abstand zwischen Blech und Induktionsspulen für die Heizwirkung entscheidend; er sollte möglichst konturfolgend/gleichmäßig ausgeführt sein und maximal 10 mm betragen, wodurch die Induktionsmatten meist anliegen.

- Dies wiederum erschwert die erforderliche Kühlung der Bleche in der zweiten Phase des variothermen Formschäumprozesses, da Wasser nicht 'elektrokompatibel' ist und Druckluft einen Spalt zwischen Induktionsmatten und Blechhalbzeug erfordert.
- Die zur Regelung erforderlichen Temperatursensoren müssen ggb. dem Blech wiederum elektrisch isoliert, aber thermisch leitend sein. Problematisch ist dabei ihre eigene induktive Anregung – insbesondere bei größeren Sensordurchmessern, die ihrerseits erst eine reproduzierbare/genauere taktile Messung ermöglichen.

Hybrides Erwärmkonzept

In Anbetracht der vielseitigen Herausforderungen beim Einsatz von Induktionsmatten in variothermen Formschäumwerkzeugen wurde für die weiteren Untersuchungen am 2,5D-Musterwerkzeug die Blecherwärmung mittels IR-Strahlern bevorzugt. Hier stellten sich insbesondere die Blechabstützung mit Vermeidung von 'cold spots' sowie Sensorpositionierung und Temperaturregelung der Emitterleistung als fordernd heraus. Daher waren mehrere Optimierungsschleifen an Werkzeug- und Regelungstechnik erforderlich, die mit entsprechenden Anwendungsversuchen begleitet und evaluiert wurden.

Auch auf der fluidtemperierten Gegenseite testete FOX verschiedene Werkzeugeinsätze hinsichtlich Gewichtsreduktion im Bauteil (unterschiedliche Rippenstrukturen in Referenz zu voll gefüllten Mustern) und Zykluszeitoptimierung (passiv/aktiv temperierte Werkzeugeinsätze mit verschiedenen Fertigungsverfahren).

Systematische Anwendungsversuche

Zur Minimierung der Zykluszeit wurden mehrere Versuchsreihen mit variablen Werkzeugkonfigurationen durchgeführt. Die Bewertung der Verschweißung erfolgte dabei nur über händische Bruchtests mit anschließender optischer Begutachtung der Bruchfläche (Flächenanteil des Versagens durch die Partikel statt zwischen ihnen als Kennzeichen für die Verschweißungsgüte), weil bei den Projektpartnern nicht ausreichend Kapazität zur maschinellen/normierten Prüfung einer größeren Anzahl an Prüfkörpern zur Verfügung stand. Durch eine angepasste Bauteilauslegung und konturnahe Temperierung konnte die Heizzeit von sechs Minuten (vollständig gefülltes Muster) auf drei Minuten (Muster mit Rippenstruktur) reduziert werden.

Eine weitere Verkürzung des Zyklus' war mit dem vorhandenen Versuchsaufbau aufgrund der vergleichsweise langsamen Öltemperierung (Gerät mit einem Kreislauf: Medium umlaufend erwärmt bzw. gekühlt) nicht möglich, da die Zieltemperatur an der Werkzeugoberfläche erst nach drei Minuten erreicht wurde. Für eine zusätzliche Prozessbeschleunigung wäre eine Optimierung der Temperierung notwendig (z.B. Temperiergerät mit zwei Kreisläufen und Reservoirs für heißes und kaltes Medium). Der E-PET-Partikelschaum könnte zudem auch unter Einsatz einer variothermen Wassertemperierung verarbeitet werden: Hierzu gibt es bereits Lösungen für dynamische Systeme mit getrennten Reservoirs für kalt und warm.

Im Anschluss an die Optimierung von Werkzeug- und Regelungstechnik sowie Parameterstudie und Zykluszeitoptimierung erfolgte die Produktion zahlreicher 2,5D-Musterteile (Hybridträger mit trapezförmigem Querschnitt). Diese wurden u.a. von MAHLE auf Verzug bei nachfolgender Wärmebehandlung, bei AUDI im KTL-Durchlauf und beim DLR auf mechanische Eigenschaften geprüft.

Begleitende Füllentwicklung

Parallel zur Entwicklung der Werkzeugtechnik konnten in Zusammenarbeit mit PETER KRÖNER kompakte Füllinjektoren für den trocken-variothermen Formschaumprozess entwickelt werden. Diese Zubehörkomponenten für die konventionelle Partikelschaumverarbeitung sind, bedingt durch die dort benötigte Dampfkammer um die formgebende Kavität herum, für den Einsatz in trocken-variothermen Werkzeugen unnötig groß und schwer.

Daher wurden verschiedene Kompaktfüller generativ (Gen. II) bzw. spanend (Gen. III) gefertigt. Die maximale Einsparung an Gewicht und Bauraum wird bei generativer Fertigung erreicht; zur Reduktion der Produktionskosten wurde ein im Vergleich etwas größerer Injektor spanend gefertigt. Solche Kompaktfüller wurden für die Anwendungsversuche im Rahmen von GEMES eingesetzt und sind für dampffreie Formschaumwerkzeuge sind mittlerweile kommerziell verfügbar.

2. Zahlenmäßiger Nachweis und Notwendigkeit der geleisteten Projektarbeiten

Als summierter Arbeitsaufwand der FOX Velution GmbH wurde bei Beantragung des Forschungsvorhabens mit 30,7 Mannmonaten gerechnet:

Alle tatsächlich geleisteten/dokumentierten Zeiten übersteigen am Projektende mit insgesamt 34,9 Mannmonaten die Planung um ca. +15 %.

Nachfolgende sind die tatsächlichen Aufwände innerhalb der einzelnen Arbeitspakete sowie jeweilige Ursachen bei signifikanten Abweichungen zu den ursprünglichen Schätzwerten dargestellt.

AP 0: Projektleitung, Ergebnisdokumentation und -transfer

Bedingt durch COVID-bedingte Reise- bzw. Kontaktbeschränkungen konnten persönliche Projekttreffen sowie Messen und Tagungen über einen großen Teil der Projektlaufzeit nicht stattfinden.

Insgesamt hat sich mit 1,15 Mannmonaten ein um ca. -12 % reduzierter Bearbeitungsaufwand (Planung/Antrag: 1,30 MM) ergeben.

AP 1000: Bauteilspezifikation und Anforderungsliste, Spezifikationsevaluierung

Zu Beginn des Projekts stellten sich die Recherche und Beschaffung geeigneter Werkstoffe vor dem Hintergrund des seitens AUDI initial festgelegten und sukzessive detaillierten Anforderungsprofil als aufwändiger als erwartet heraus, weshalb hier deutlich mehr Zeit investiert werden musste.

Da gegen Ende des Projekts aus Zeit- und Kostengründen vom Konsortium beschlossen wurde, keinen 3D-Demonstrator mehr zu fertigen und stattdessen die Untersuchungen am 2,5D-Trapezträger zu intensivieren (u.a. durch Konstruktion und Bau eines konventionellen, mit Dampf und Wasser temperierten Werkzeugs), entfallen im Gegenzug geplante Aufwände zur Konzeptionierung und Konstruktion des Demonstrators.

Insgesamt hat sich mit 2,80 Mannmonaten ein um ca. +6 % erhöhter Bearbeitungsaufwand (Planung/Antrag: 2,65 MM) ergeben.

AP 2000: Simulation und Komponentenprüfung

Die thermische Auslegung der Werkzeugeinsätze des 2,5D-Werkzeugs erwies sich ausgesprochen komplex: Hier wurde viel Zeit zur Optimierung von Temperaturverteilung und -regelung der strahlungs-basierten Blecherwärmung benötigt.

Andererseits sind die Aufwände zur Auslegung des 3D-Demonstrators entfallen (s.o.).

Insgesamt hat sich mit 1,25 Mannmonaten ein um ca. +9 % erhöhter Bearbeitungsaufwand (Planung/Antrag: 1,15 MM) ergeben.

AP 3000: Prozesstechnik

Die begrenzte Verfügbarkeit von (für das Anforderungsprofil) geeigneten Werkstoffen hatte deutlich erhöhte Aufwände im Bereich der Produktion und Veredelung neuer Partikelschaumstoffe zur Folge (Schaumperlenherstellung, Druckbeladung, Konditionierung, ...). Zudem gab es wegen verzögerter Beistellung funktionalisierter metallischer Decklagen zusätzliche Eigenaufwände für Recherche, Beschaffung und Tests derselben.

Bei der Bemusterung mit 2D-Teilen (Würfel, Platten) waren neben zahlreichen Versuchsreihen zur Charakterisierung verschiedener Materialien auch der unerwartete Abzug des speziell für GEMES von FILL (einem MAHLE-Unterauftragnehmer) zunächst zur Verfügung gestellten Leihformenträgers, was im Nachgang ein wiederholtes Umrüsten zwischen verschiedenen Werkzeugen auf der verbliebenen FOX-Pressen erforderlich machte, ursächlich für erheblich erhöhte Arbeitsaufwände im Technikum der FOX Velution GmbH.

Bei der Bemusterung am 2,5D-Probekörper waren aufgrund des komplexen Werkzeugaufbaus mit verschiedenen Temperierkonzepten mehrere Optimierungsschleifen notwendig.

Da im Projekt aber kein 3D-Demonstrator konstruiert bzw. gefertigt wurde, wurden die hierfür geplanten Versuchsreihen am 2,5D-Bauteil durchgeführt, um auf diesem Weg weiterführende Erkenntnisse zu erlangen.

Insgesamt hat sich mit 17,33 Mannmonaten ein um ca. +44 % erhöhter Bearbeitungsaufwand (Planung/Antrag: 12,05 MM) ergeben.

AP 4000: Werkzeugtechnik

Die Untersuchung geeigneter Heiz- und Kühlprozesse für metallische Einleger gestaltete sich ebenfalls aufwändiger als erwartet: Zunächst wurden viele Methoden in Vorversuchen grundlegend evaluiert, bevor im weiteren Verlauf die Blecherwärmung mittels Induktion und Wärmestrahlung in den Fokus rückte. Bei der Evaluierung der letztlich ausgewählten, IR-basierten Erwärmethodik waren mehrere Optimierungsschleifen erforderlich.

Außerdem wurden mehr verschiedene Werkzeugelemente mit Fluidtemperierung am 2,5D-Demonstrator getestet, als ursprünglich geplant.

Dafür entfielen die Aufwände zur Entwicklung einer 3D-Geometrie.

Insgesamt hat sich mit 9,33 Mannmonaten ein um ca. +5 % erhöhter Bearbeitungsaufwand (Planung/Antrag: 8,85 MM) ergeben.

AP 5000: Maschinenentwicklung und Industrialisierung

Eine detaillierte Betrachtung von Skalier- und Automatisierbarkeit sowie die Erstellung/Bewertung möglicher Serienproduktionskonzepte auf Basis spezifisch ausgelegter Anlagentechnik waren wegen fehlender Ergebnisse mit einer praxisnahen 3D-Kontur (Entfall des Demonstrators) nur ausgesprochen begrenzt möglich.

Insgesamt hat sich mit 2,39 Mannmonaten ein um ca. -28 % reduzierter Bearbeitungsaufwand (Planung/Antrag: 3,30 MM) ergeben.

AP 6000: Erprobung, Verifikation und Nachweis der Wirtschaftlichkeit

Aufgrund der fehlenden Resultate zum 3D-Demonstrators und der stark limitierten Erkenntnisse aus AP 5000 entfiel auch ein Großteil der Aufwände zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit des neuen, ressourceneffizienten Verfahrens für die werkzeugfallende Produktion von 'in-situ'-funktionalisierten Metallträgern mit prozessintegriert integrierten Partikelschaumkernen aus temperaturbeständigen Thermoplasten.

Insgesamt hat sich mit 0,70 Mannmonaten ein um ca. -50 % reduzierter Bearbeitungsaufwand (Planung/Antrag: 1,40 MM) ergeben.

3. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Aufgrund eines sich zwischenzeitlich deutlich verstärkenden Marktinteresses an ressourceneffizienten und recyclinggeeigneten Lösungen für die trockene Herstellung, Veredelung und Verarbeitung technischer Partikelschaumstoffe für Leichtbaulösungen (v.a. im Automobilsegment) wird die dafür im FOX-Technikum seit 2020 aufgebaute (und im Rahmen von GEMES mitgenutzte) Prozesskette kontinuierlich erweitert:

'DryBead'-Prozesskette

Vorhabensparallel konnte ein Verfahren zur 'Direktverperlung' kompakter Kunststoffgranulate ohne den Einsatz niedrigsiedender, brennbarer Treibmittel (z.B. wie Pentan oder Butan, die bei EPS bzw. E-PET standardmäßig zum Einsatz kommen) entwickelt und im Labormaßstab aufgebaut werden.

Es wurde weltweit zum Patent angemeldet und wird seit Mai 2022 im geförderten Forschungsvorhaben 'DryBead' (Förderprogramm: 'Neue Werkstoffe in Bayern') eingehend untersucht. Ziel ist hier eine wissenschaftliche Untersuchung und Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette an den Modellwerkstoffen PS (amorph, 'commodity') und PBT (teilkristallin, höher temperaturbeständig) sowie eine Skalierung für den industriellen Einsatz, um langfristig eine deutliche Erweiterung der Materialvielfalt bei Partikelschäumen zu erreichen und neue ökoeffiziente Leichtbauapplikationen zu erschließen.

Parallel findet diese Art der Schaumperlenproduktion bereits Eingang in eine Vielzahl von Kundenprojekten aus den Anwendungssegmenten Automobil, Bau, Sport und Verpackung.

IR-Durchlauföfen zur Strahlungsexpansion

Basierend auf dem kontinuierlichen Erfahrungszuwachs aus den quasi täglichen Anwendungsversuchen zum Strahlungsschäumen von treibfähigem Schüttgut (auch im Rahmen von GEMES) hat die FOX Velution GmbH zusammen mit der ERLNBACH GmbH, Lautert, ab dem zweiten Quartal 2022 eine Folgegeneration von IR-Durchlauföfen zur kontinuierlichen IR-Expansion entwickelt, konstruiert, gefertigt, montiert und erfolgreich in Betrieb genommen. Diese Anlagen werden seit Ende 2023 vermarktet.

Zusammen mit dem Rohstoffhersteller JSP International SARL, Estrées Saint-Denis (Frankreich), wurde die komplette Prozesskette für Polypropylenpartikelschäume – bestehend aus einer effizienten, TÜV-freien Beladung, dem druckinduzierten Transfer in Rohrleitungen mit nachfolgender geräuscharmer Entspannung und dem IR-Weiterschäumen luftbeladener EPP-Perlen auf niedrige Schüttdichten – auf der internationalen Leitmesse K'22 in Düsseldorf mehrfach täglich live vorgeführt, vgl. 'Technologischer Durchbruch bei der Strahlungsexpansion' (KUNSTSTOFFE, 10/2022).

Die gezeigte Anlage ist mittlerweile am europäischen Entwicklungs- und Produktionsstandort von JSP nördlich von Paris aufgebaut und wird dort für Werkstoff- und Prozessuntersuchungen genutzt.

Infrastruktur zur Druckbeladung/-sättigung von Schüttgut

Die dort eingesetzte Druckluftbeladung von Schaumperlen konnte in der Folge zusammen mit der RICHTER Steuerungstechnik GmbH, Kasendorf, weiterentwickelt und in ein modulares Konzept für eine Serienanlage überführt werden. Dieses wird aktuell auf jeweilige Anforderungen mehrerer Interessenten (Rohstoffhersteller, Schaumverarbeiter) angepasst, um möglichst applikations- bzw. kundenspezifische Anlagen anzubieten.

Gleiches gilt für die ebenfalls TÜV-freie und reinigungsarme Infrastruktur zur Sättigung von kompakten Kunststoffgranulaten mit CO₂: Diese wird ebenfalls mit RICHTER optimiert und skaliert, und auch hier gibt es konkrete Anfragen aus dem Markt.

Durch Verlagerung des Firmenstandorts von Lichtenfels nach Burgbernheim im Frühjahr 2023 konnte die Fläche für Büroräume und Anwendungstechnik mehr als verdoppelt werden. Zudem wurde ein weiterer IR-Durchlaufofen von ERLNBACH in Betrieb genommen; dieser steht für weiterführende Auftragsuntersuchungen mit Kunden und Interessenten zur Verfügung.

Eine Erweiterung der Anlagentechnik in den Bereichen Druckbeladung und Formschäumen befindet sich bereits in Planung.

Folgewerkzeugprojekte

Unabhängig davon konnte ein separates Werkzeugprojekt als GU bis zur Inbetriebnahme und Abmusterung abgearbeitet werden, bei dem mit dem in GEMES untersuchten E-PET (ST-ELEVEAT®) automobile Seriengeometrien funktionsintegriert geschäumt wurden – jeweils in Verbindung mit dekorativen Folien und steifen Gehäusen.

Mit einem weiteren Kunden aus dem Materialsektor wird eine im Rahmen des Forschungsvorhabens evaluierte, alternative Erwärmemethodik werkzeugtechnisch umgesetzt, um spezielle technische Partikelschäume zu Probekörpern verarbeiten zu können. Bei jeweils erfolgreichem Abschluss

der Pilotphase/-evaluierung bestehen gute Chancen auf eine Serienumsetzung im Automobil (speziell: BEV-Bereich).

IP-Aktivitäten

Begleitend wurden für Eigenentwicklungen außerhalb von GEMES verschiedene Schutzrechtsanmeldungen entlang der gesamten Herstellungs- und Verarbeitungskette getätigt sowie nationalisiert, um Verfahren bzw. Anwendungen für Kunden und Entwicklungspartner abzusichern und mittelfristig eine Verwertung über Lizenzen zu ermöglichen.

4. Veröffentlichungen

Die automobilen Projektpartner im Konsortium befürworteten eine eher zurückhaltende Publikation der Projektergebnisse. So wurde bei den HyMat-Statusseminaren u.a. auf eine Nennung der genauen Versuchswerkstofftypen, die eingehende Erläuterung der entwickelten Werkzeug- und Temperierkonzepte sowie auf detailliertes Bildmaterial zum untersuchten 2,5D-Probekörper verzichtet.

In der Konsequenz hat sich die FOX Velution GmbH bei den zwei nachfolgend genannten Fachtagungen ebenfalls entsprechend beschränkt.

SKZ-Fachtagung 'Polyamide' (Würzburg, 11/2021)

Im Anschluss an die allgemeine Erläuterung der dampffreien Verarbeitungskette für Partikelschäume wurde mit einer Grafik des Rohstoffherstellers ASAHI KASEI Europe, Düsseldorf, zunächst das Eigenschaftsprofil eines neuartigen PA-Partikelschaums dargestellt. In der Folge ist das enge, vom Konditionierungszustand der Schaumperlen abhängige Prozessfenster beim trocken-variothermen Formsäumen diskutiert worden. Abschließend wurden werkstofflich anonymisierte Testergebnisse dynamischer Druckversuche des DLR an würfelförmigen Probekörpern aus verschiedenen Werkstoffen gezeigt.

VDI-Wissensforum 'Particle Foam' (Nürnberg, 10/2023)

Dieser Vortrag thematisierte die ressourceneffiziente 'DryBead'-Prozesskette zur trockenen Direktverperlung von mit CO₂ gesättigtem Kompaktgranulat am Beispiel des im Vorhaben nicht untersuchten Polystyrols sowie anhand von E-PBT – hier hatte die LANXESS Deutschland GmbH, Dormagen, als vertraglicher Rohmateriallieferant die Freigabe für parallel zu GEMES erarbeitete Ergebnisse erteilt.

5. Anm.: Umfang und Detaillierungsgrad des Berichtsteils II (ggb. III)

Mit Hinblick auf die o.g. Bedenken bzw. Beschränkungen ist dieser (öffentliche) Berichtsteil recht kompakt, mit geringerem technischen Detailgrad und ohne Abbildungen erstellt worden. Bzgl. wissenschaftlich-technischer Darstellung sei auf den ausführlichen, vertraulichen Teil III verwiesen.