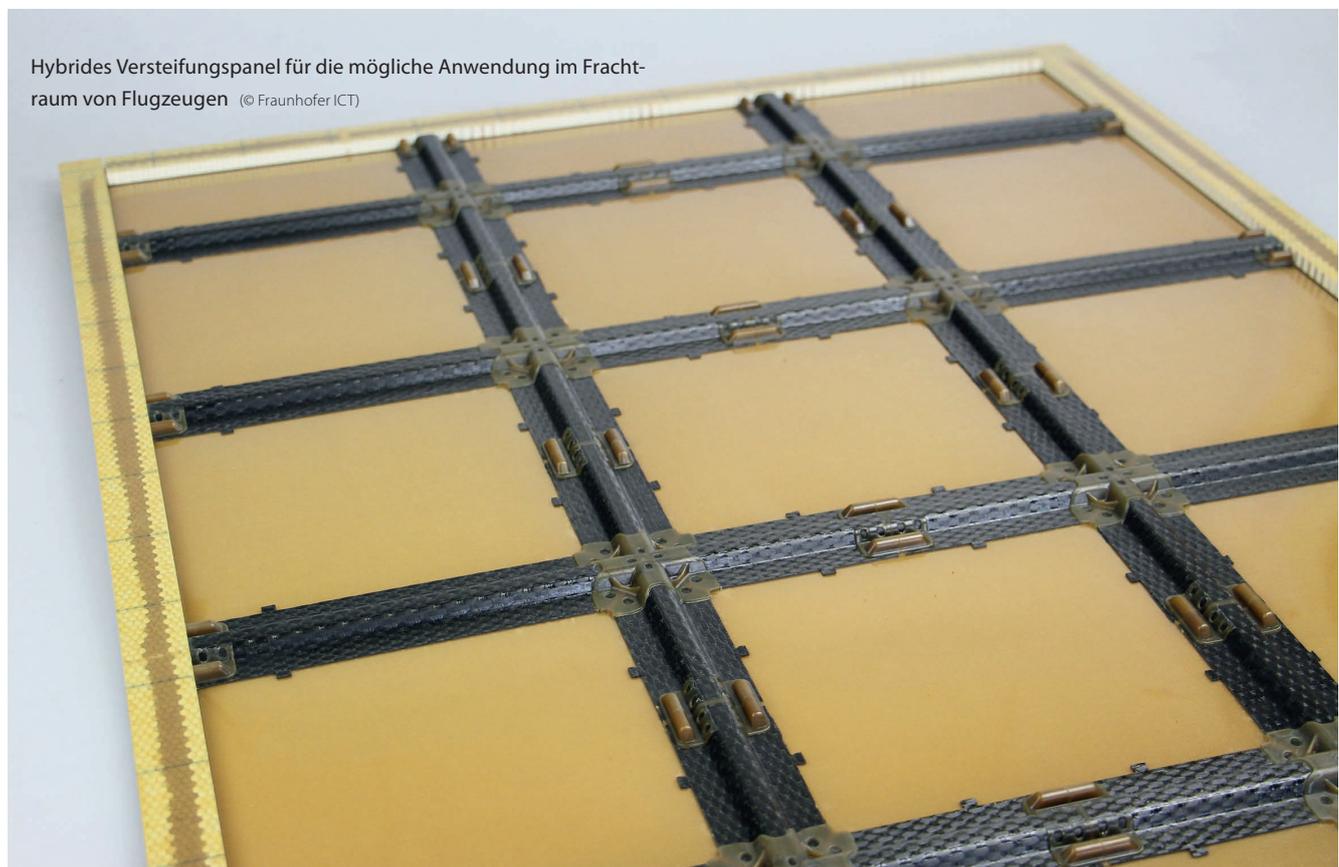


Weniger Last beim Lufttransport

Module aus faserverstärkten Thermoplasten können den Frachtraum von Flugzeugen versteifen

Durch den Einsatz thermoplastischer Faserverbunde sind herausragende spezifische Steifigkeiten, Flammwidrigkeit sowie reaktionsfreie und integrative Fügetechniken kombinierbar. Das zeigt ein wirtschaftlicher und großserienfähiger Prozess für ein hybrides Versteifungsbauteil, das beispielsweise in Frachträumen von Flugzeugen zum Einsatz kommen könnte.



Hybrides Versteifungspanel für die mögliche Anwendung im Frachtraum von Flugzeugen (© Fraunhofer ICT)

Mit thermoplastischen Faserverbundwerkstoffen sind integrale Hybridstrukturen in großserienfähigen Prozessen herstellbar, die Leichtbau mit Funktionsintegration verbinden. Während solche Ansätze im Automobilsektor bereits in ersten Serienanwendungen genutzt werden [1], existieren im Luftfahrtbereich lediglich monolithische Anwendungen [2]. Doch auch hier können die weitreichenden Potenziale funktionsintegrierter Thermoplaststrukturen neue Einsatzgebiete erschließen. Speziell vor dem Hintergrund steigender Stückzahlen und erhöhtem Kostendruck ist dies von besonderer Bedeutung. In der Luftfahrt sind spezielle Materialsysteme notwendig, die neben den me-

chanischen Anforderungen zusätzlich hohe Einsatztemperaturen sowie sehr gute Flammwidrigkeit voraussetzen.

Zusammen mit den Partnern Airbus Operation GmbH, Laser Zentrum Hannover e.V. und TenCate Advanced Composites B.V. hat das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT auf Basis des Hochleistungsthermoplasten Polyetherimid (PEI) ein hybrides Versteifungspanel für die Luftfahrt entwickelt, das die Vorteile von Material, Prozess und Design miteinander vereint. Der entwickelte Demonstrator für die mögliche Verwendung im Frachtraum von Flugzeugen nutzt diese Vorteile vollumfänglich (Titelbild). »

Bild 1. Zusammen-
gesetztes Versteifungsgitter, beste-
hend aus vier
Substrukturen
(© Fraunhofer ICT)

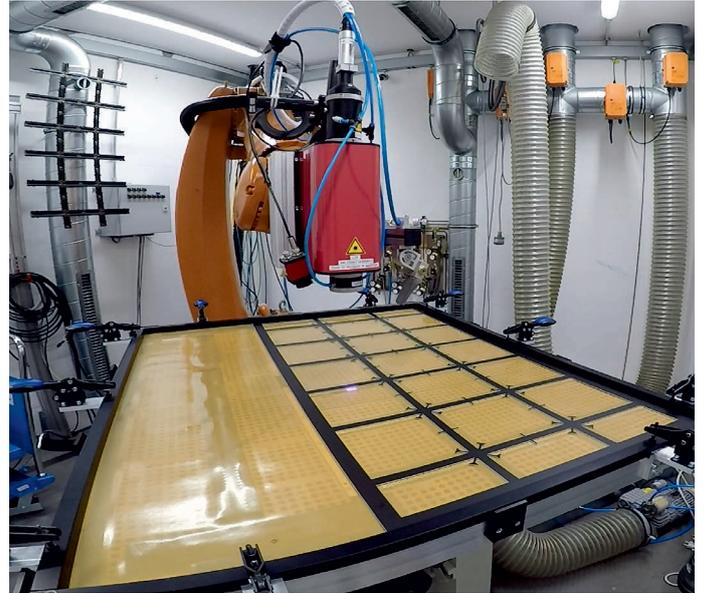
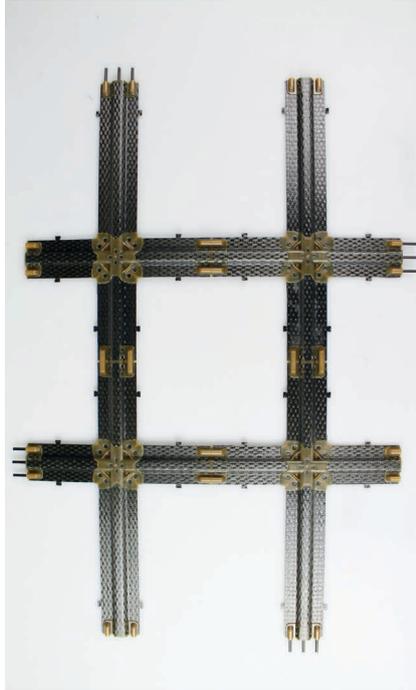


Bild 2. Die zusammengesetzten Gitterstrukturen wurden mittels Laserdurchstrahlschweißen mit der Deckschicht am Laser Zentrum Hannover verbunden (© LZH)

Flexibel durch zusammengesetzte Module

Für das Versteifungspanel wurde eine neuartige Konstruktion entwickelt. Hauptbestandteil des modularen Systems ist eine hybride Versteifungsstruktur (**Bild 1**), die aus umgeformten, carbonfaserverstärkten PEI-Organoblechen sowie spritzgegossenen Knoten- und Verbindungselementen aus kurzglasfaserverstärktem PEI besteht. Die Unterteilung in kleinere, wiederkehrende Einheiten verringert die Komplexität und ermöglicht neben einer hohen Stückzahl niedrigere Anlagen- und Werkzeuginvestitionskosten. Die einzelnen Versteifungsstrukturen können zusammengefügt werden, sodass die Größe des Panels individuell auf die jeweilige Anwendung anpassbar ist.

Jede Substruktur besteht aus vier Hutprofilen mit identischem Querschnitt aus Organoblech (zweilagiges 80/20-Kohlenstofffasergewebe mit 0,84 mm Dicke), einem torsionssteifen



Bild 3. Der greiferassistierte Umformprozess verhindert, dass das Organoblech zu früh oder unkontrolliert mit dem Umformwerkzeug in Kontakt kommt (© Fraunhofer ICT)

Knoten- sowie vier Verbindungselementen. Material- und Profil wurden so ausgewählt, dass der Verbund bei gegebenem Bauraum und nach anschließendem Laserschweißen möglichst biegesteif ist. Die vier Steckverbindungen und das Knotenelement gestalteten die Projektpartner entsprechend einer möglichst optimalen Kraftübertragung und Formstabilität.

Das Fügen der zusammengesetzten Gitterstruktur mit der Deckschicht (Lining) zum fertigen Panel wurde mittels Laserdurchstrahlschweißen realisiert (**Bild 2**). Hierzu wird die optische Teiltransparenz für nahinfrarote Strahlung des verwendeten glasfaserverstärkten PEI genutzt. Sie ermöglicht, dass der Thermoplast im Fügebereich der Profile des Versteifungsgitters gezielt aufschmilzt.

Das Laserdurchstrahlschweißen un- bzw. kurzfaserverstärkter Werkstoffe ist ein industriell etabliertes Verfahren und wurde in den letzten Jahren für die Bearbeitung endlosfaserverstärkter Strukturen weiterentwickelt [3]. Für den Schweißprozess zum Fügen der Komponenten entwickelten die Projektpartner eine modular aufgebaute und selektiv anpressende Spannvorrichtung, die einen konstanten Fügedruck entlang aller Schweißnähte garantiert. Ein Roboter führt einen speziell geformten Laserstrahl mit einer Geschwindigkeit von bis zu 5 m/min über das Versteifungspanel. Dadurch ist es möglich, flexibel und schnell zwischen unterschiedlichen Bauteil- und Werkstoffvarianten zu wechseln. Die anschließende Montage des geschweißten Panels an die Sekundärstruktur erfolgt über die Rahmenstruktur.

Zweistufiger Hybrid-Molding-Prozess bietet Vorteile

Die Substrukturen werden in einem zweistufigen Hybrid-Molding-Prozess hergestellt. Die Formgebung der Organobleche erfolgt dabei getrennt vom Fügen und der Funktionsintegration im Spritzgießen. Zunächst werden die Hutprofile in einem großserienfähigen Umformprozess hergestellt und nachfolgend im Spritzgießprozess automatisiert weiterverarbeitet. Hierbei kom-

men vier Einleger synchron in das Werkzeug und werden durch die Spritzgießmasse stoffschlüssig miteinander gefügt (Knoten-element). Gleichzeitig werden an die offenen Enden der Einleger die vier Verbindungselemente angespritzt. Aus diesem zweistufigen Verfahren ergeben sich, verglichen mit sogenannten „One Shot“-Prozessen, bei denen Formgebung und Funktionsintegration in einem Schritt erfolgen, spezifische Vorteile bei der Prozessführung und Bauteilgestaltung. Zum einen können die präzise geformten Profile, analog zu starren (z. B. metallischen) Einlegern, prozesssicher und automatisiert in den Spritzgießprozess integriert werden. Zum anderen führt die hohe Einlegerstabilität zu einer reproduzierbaren Positionierbarkeit im Prozess sowie zu einer erhöhten Maßhaltigkeit des werkzeugseitigen Bauteils.

Maßhaltiges Umformen mit Handlingsystem

Das Umformen der Organoblechzuschnitte erfolgte mit einem angepassten Greifersystem, das eine kontrollierte Halbzeugnachführung in der Trennebene ermöglicht (**Bild 3**). Das Handhabungskonzept vermeidet dabei den ungewünschten frühzeitigen Kontakt der Organobleche mit dem Umformwerkzeug. Auf-



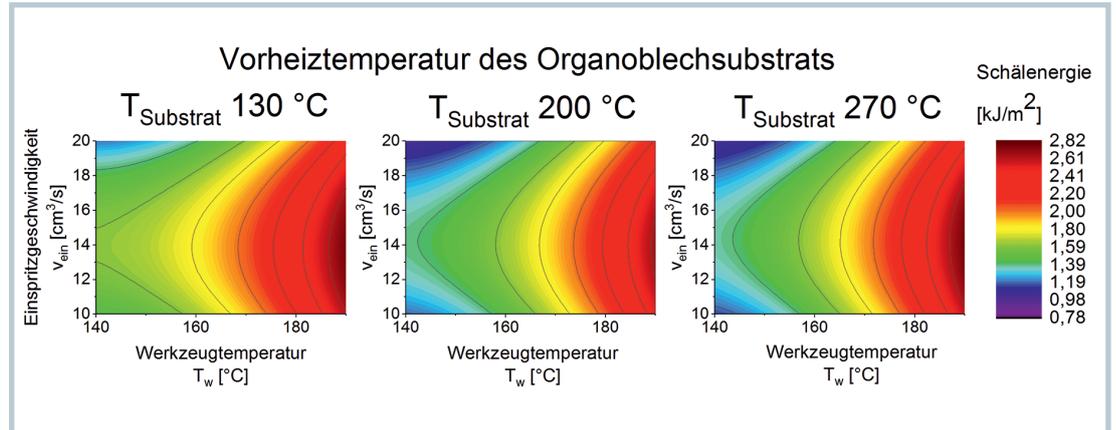
Bild 4. Herstellung der Substruktur im Spritzgießverfahren (© Fraunhofer ICT)

grund der dünnen Organoblech-Halbzeuge (< 1 mm) ist dies von besonderer Bedeutung [4]. Die so hergestellten Einlegeteile sind maßhaltig und können präzise in die Spritzgießkavität eingelegt werden (**Bild 4**). Dadurch wird ungewolltes, lokales Überspritzen im nachfolgenden Spritzgießprozess vermieden.

Stoffschlüssige Anbindung durch Spritzgießen

Durch die gewählte Prozesskette kann die Komplexität und Präzision des Vorformlings speziell im Knotenbereich des Bauteils erhöht werden. Der Spritzgießanteil reduziert sich so auf ein notwendiges Maß zur Anbindung und Funktionalisierung, ohne zusätzliche Spritzmasse für den Toleranzausgleich einsetzen zu müssen. Die mechanischen Eigenschaften lassen sich im Werkstoffverbund besser nutzen und bieten die erreichbare Gewichtseinsparung. Die punktuell eingesetzte Spritzgießmasse reduziert außerdem den Bauteilverzug. Um die Maßhaltigkeit zu gewähren, werden die Vorformlinge symmetrisch umspritzt. Außerdem wurden Konzepte für die lokale Fixierung der Einle- »

Bild 5. Die Ergebnisse eines statistischen Modells zum Schälen eines Hybridverbunds aus PEI-Organoblech und PEI-Spritzgießmasse zeigen die Fügefestigkeit in Abhängigkeit der Prozessführung (© Fraunhofer ICT)



Die Autoren

Tobias Joppich, M. Sc., und **Dipl.-Ing. Andreas Menrath** sind als wissenschaftliche Mitarbeiter und Projektleiter am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal, tätig.

Verena Wippo ist seit 2011 als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Laserschweißen von Kunststoffen am Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) tätig.

Dr.-Ing. Sebastian Baumgärtner ist Gruppenleiter der Thermoplastverarbeitung, **Dr.-Ing. Timo Huber** ist stellvertretender Produktbereichsleiter; beide sind ebenfalls am Fraunhofer ICT, Pfinztal, tätig.

Dank

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die Förderung des Vorhabens im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms LuFo V-1 sowie dem Konsortialführer Airbus. Besonderer Dank gebührt außerdem TenCate Advanced Composites B.V. für die Materialentwicklung und -bereitstellung, der ElingKlinger AG bezüglich der Werkzeugentwicklung für den Hochtemperatur-Hybrid spritzguss und der KMS Automation GmbH für die Umsetzung der modularen Spannvorrichtung für den Laserschweißprozess.

Video auf Kunststoffe.TV

Die modulare Versteifungsstruktur war auch auf der Fakuma 2017 zu sehen. Im Video-Interview auf Kunststoffe.TV erläutert Autor Tobias Joppich vom Fraunhofer ICT, worin die Vorteile der untersuchten Werkstoffe, Strukturen und Herstellprozesse liegen. Zu sehen unter:

➤ www.kunststoffe.de/4569268

Service

Literatur & Digitalversion

➤ Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/5027159

English Version

➤ Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

ger im Werkzeug entwickelt und die Positionstreuung während der Formfüllung mittels simulativer Methoden im Vorfeld angepasst.

Grundvoraussetzung für eine geeignete stoffschlüssige Anbindung in der Hybridisierung von Organoblechen im Spritzgießprozess ist eine ausreichend hohe Fügetemperatur oberhalb der Schmelz- bzw. Glasübergangstemperatur. Diese wird im gewählten Prozess durch den Wärmeeintrag der angespritzten Schmelze (ca. 380 °C) erzielt, obwohl sich die Einleger unter Glasübergangstemperatur befinden. Mithilfe integrierter Werkzeugsensorik zur Erfassung der realen Schweißtemperaturen und eigens entwickelter Prüfverfahren [5] wurde nachgewiesen, dass sich diese Bedingung primär durch die richtige Werkzeugtemperatur und nicht durch eine separate Einleger-Vorheizung erreichen lässt [4]. In **Bild 5** sind die Ergebnisse eines statistischen Modells zum Schälen eines Hybridverbunds bestehend aus carbonfaserverstärktem PEI-Organoblech und glasfaserverstärkter PEI-Spritzgießmasse dargestellt. Dabei wurden die Organoblech-Vorheiztemperatur, die Werkzeugtemperatur sowie die Einspritzgeschwindigkeit variiert. Es ist erkennbar, dass die Werkzeugtemperatur den größten Einfluss auf die resultierende Fügefestigkeit besitzt und bei hohen Werkzeugtemperaturen die höchsten Verbundfestigkeiten erreicht werden. Grund hierfür ist die schnelle Temperaturanpassung des dünnen Organoblech-Einlegers an die Temperatur des Werkzeugs sobald diese in Kontakt kommen. Die Vorheizung des Organoblechsubstrats verbessert die Verbundfestigkeit nicht. Beim Erweichen kann die oberflächliche Veränderung des Halbzeugs sogar zu einer leicht niedrigeren Fügefestigkeit führen.

Fazit

Das entwickelte modulare Bauteilkonzept in Kombination mit dem großserienfähigen Verfahrensansatz bietet das Potenzial, thermoplastische Hybridstrukturen zukünftig wirtschaftlich in der Luftfahrt einzusetzen. Hierdurch sind weitere Gewichtseinsparungen bei gleichzeitig reaktionsfreier Verarbeitung und gegebener Bauteil-Rezyklierbarkeit gegeben. Das Versteifungspanel wurde auf Basis von Anforderungen für eine mögliche Anwendung im Frachtraum von Flugzeugen ausgelegt. Die erfolgreiche Umsetzung im Projekt wurde durch geeignete Anlagentechnik und das vorhandene Know-how zur Verarbeitung von Hochtemperaturthermoplasten am Fraunhofer ICT und Laser Zentrum Hannover ermöglicht. ■