

Ein zukunftsweisender Ansatz zur nachhaltigen Herstellung hybrider Bauteile

Hybride Sitzstrukturen – effizient und großserientauglich

Sitze in Verkehrsflugzeugen bestehen aus vielen Einzelteilen, meist einer Mischung aus Kunststoffen und Metallen. Diese Vielzahl erschwert ein Recycling und führt zu höheren Kosten bei der Herstellung und Wartung der Sitze. Deshalb hat das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie einen Flugzeugsitz entwickelt, der nicht nur die Anforderungen an Leichtigkeit, Platzersparnis und Brandschutz erfüllt, sondern auch einfach recycelbar ist. Er besteht aus wenigen Teilen und lässt sich mit großserientauglichen Verfahren herstellen.



Monomaterial-Flugzeugsitze, hergestellt in Leichtbauweise, verringern den CO₂-Abdruck um etwa 20%. © Fraunhofer ICT

Die größte Herausforderung bei der Konstruktion eines nachhaltigen und kreislauffähigen Produkts liegt derzeit im Recyclingprozess. Bei Flugzeugsitzen wird insbesondere die Tatsache, dass diese eine Mischung verschiedener Kunststoffe beinhalten, zur Herausforderung für die Kreislauffähigkeit. Aus diesem Grund wurde in einem Forschungsprojekt für die Sitze ausschließlich Polyurethan (PUR) ausgewählt, da dieser

Werkstoff in verschiedenen Formen wie festem Material, Schaum oder Klebstoff verfügbar ist.

Konstruktion der hybriden Flugzeugsitzstruktur

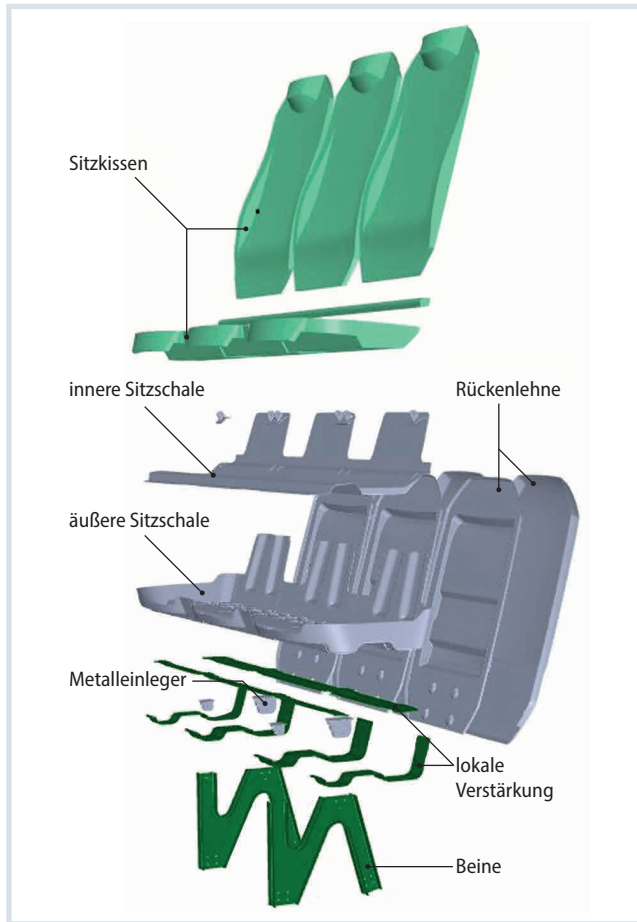
Besonders vorteilhaft ist, dass für PUR bereits ein chemisches Recyclingverfahren im industriellen Maßstab eingesetzt wird. Da der Sitz (**Bild 1**) ausschließlich

aus PUR besteht, kann er nach Ende seiner Lebensdauer ohne aufwendige Trenn- und Sortierprozesse chemisch recycelt werden.

Die Sitzpolster des Flugzeugsitzes bestehen aus PUR-Schaum, während die strukturellen Bauteile aus kohlenstofffaserverstärktem PUR und Metalleinlegern zusammengesetzt sind. Die Verstärkung des Polyurethans ist notwendig, um die Stabilität des Flugzeugsitzes zu gewähr-

Bild 1. Explosionszeichnung der, abgesehen von den Metalleinlegern, vollständig aus PUR bestehenden Sitzstruktur.

© Fraunhofer ICT



ziente Methode zur Herstellung von leichten und hochfesten Bauteilen in großer Stückzahl.

Die äußere Sitzschale wird mit dem SMC-Verfahren (Sheet Molding Compound) gefertigt. Hier werden teigartige plattenförmige Pressmassen aus einem duroplastischen Harz mit Faserverstärkung verarbeitet und anschließend in Form gepresst und ausgehärtet. Das SMC-Verfahren ermöglicht die kostengünstige Massenproduktion von hochfesten Bauteilen mit komplexen Geometrien und mit guter Oberflächenqualität.

Oberflächenbehandlung der Metallinserts

Die Metalleinleger, die direkt im Herstellungsprozess mit dem Polyurethan verbunden werden, bilden die Brücke zwischen Sitzbank und Beinen und verankern den Gurt. Eine zuverlässige und hochfeste Verbindung ist deshalb unerlässlich für die Sicherheit der Passagiere.

Plasmaverfahren eignen sich hervorragend, um die Oberfläche der Metalleinleger mit einer dünnen, glasartigen nanoporösen Schicht zu überziehen. Die glasartige Schicht haftet chemisch auf der Metalloberfläche und sorgt für eine feste Verbindung des Polyurethans mit den Metallteilen. Das flüssige PUR diffundiert in die Poren und verhakt sich dort beim Aushärten [1].

Mit diesem neuen Haftprinzip erzielt man eine hohe Festigkeit zwischen Metall und PUR von 37 MPa. Zusätzlich wurde das PUR für die festen Sitzkomponenten durch Additive flammgeschützt. »

leisten. Um die Steifigkeit und Festigkeit des Sitzes weiter zu erhöhen, werden unidirektionale Prepregs aus kohlenstofffaserverstärktem PUR entlang der Lastpfade platziert.

Durch den funktionsintegrierten Leichtbau wurde die Anzahl der strukturellen Komponenten auf nur fünf unterschiedliche Bauteile reduziert, nämlich die äußere und innere Sitzschale, die äußere und innere Rückenlehne und die Sitzbeine.

Die innere Sitzschale wird mit dem Nasspressverfahren (Wet Compression Molding, WCM) hergestellt. Beim Nasspressen werden zunächst trockene Faserzuschnitte aus Kohlenstoff- oder Glasfasern in eine Werkzeugform eingelegt, mit einem reaktiven Polyurethan- oder Epoxidharz imprägniert und anschließend gepresst. Unter Druck und Wärme härtet die Matrixwerkstoffe bei der Formgebung aus. Das Nasspressverfahren erweist sich als äußerst kosteneffizient.

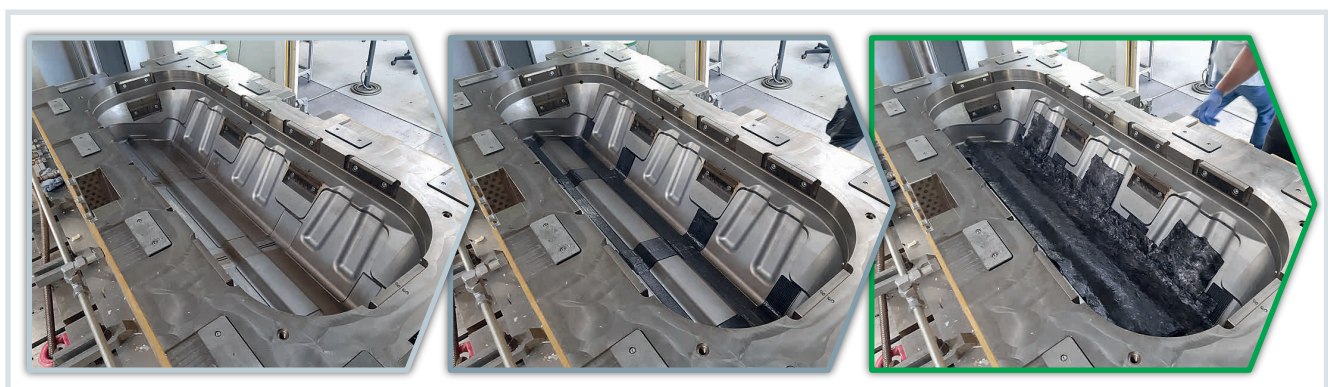


Bild 2. Untere Hälfte des Werkzeugs, in dem die äußere Sitzschale entsteht: geöffnetes Werkzeug, eingelegte lokale Verstärkung, im Werkzeug abgelegtes SMC-Material (von links). © Fraunhofer ICT

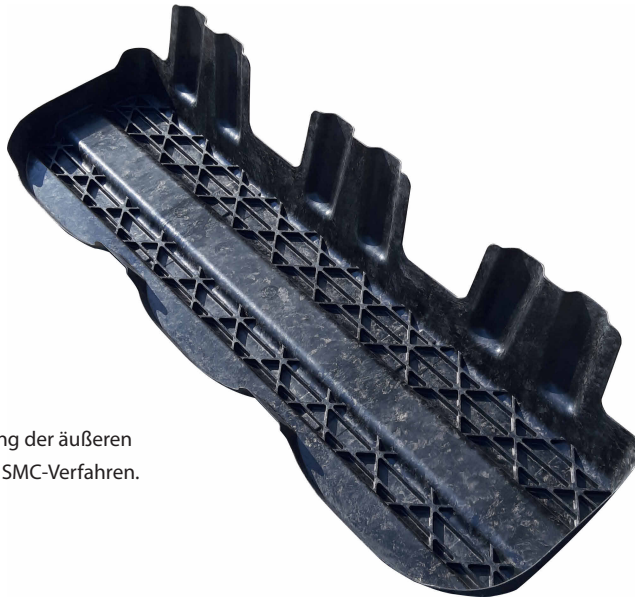


Bild 3. Zur Herstellung der äußeren Sitzschale dient das SMC-Verfahren.

© Fraunhofer ICT

Herstellung der äußeren Sitzschale

Für die Herstellung der äußeren Sitzschale wurde das SMC-Verfahren verwendet. Da das SMC-Material allein nicht fest genug ist, muss die Sitzschale zusätzlich mit Prepregs verstärkt werden. Diese Prepregs bestehen aus PUR, das mit unidirektionalen Kohlenstofffasern verstärkt ist, und werden entlang der Lastpfade ausgelegt. Um die Handhabung bei der Fertigung zu erleichtern, werden die Prepregs vorher zu einer Preform zusammengefügt, die dann in das Werkzeug (Hersteller: Alpex Technologies, Mils/Österreich) gelegt und mit

SMC umgepresst wird. Die Metalleinsätze für die Beine sind ebenfalls in die Prepregs integriert.

In das Werkzeug werden also zuerst die lokalen Verstärkungen eingelegt, gefolgt von dem SMC-Material (**Bild 2**). Anschließend wird die Presse (Typ: Compress Plus DCP-G 3600/3200; Hersteller: Dieffenbacher GmbH Maschinen- und Anlagenbau, Eppingen) geschlossen und das Harz beginnt auszuhärten. Die Werkzeugtemperatur beträgt dabei 140°C, die Presskraft 8000 kN. Nach einer Zykluszeit von 300 s wird das Werkzeug geöffnet und das fertige Bauteil kann entnommen werden (**Bild 3**).

Herstellung der inneren Sitzschale

Das WCM-Verfahren ist ideal geeignet, um wirtschaftlich hochfeste und leichte Bauteile herzustellen. Aus diesem Grund kommt es zur Herstellung der inneren Sitzstruktur zum Einsatz. In ein Werkzeug (Hersteller ebenfalls: Alpex Technologies) werden die vorbereiteten Gelege (mit acht Lagen und einer Faserrichtung von quasi-isotrop) zusammen mit den Metalleinlegern für die Gurtbefestigung eingelegt. Anschließend wird Harz über die Gelege gegossen (**Bild 4**). Das Werkzeug wird geschlossen und das Harz beginnt auszuhärten. Die Werkzeugtemperatur beträgt dabei 80°C, der Druck liegt bei 80 bar und die Zykluszeit beträgt 800 s. Sobald das Harz ausgehärtet ist, wird das Werkzeug geöffnet und die innere Sitzschale kann entnommen werden (**Bild 5**).

Montage und Crash-Test

Die gefertigten Komponenten – die Rückenlehnen und die Sitzbeine wurden aus Budgetgründen zugekauft – werden mit einem 2-Komponenten-PUR-Klebstoff (Typ: Teroson PUR6700; Hersteller: Henkel AG & Co. KGaA, Düsseldorf) zur hybriden Sitzstruktur zusammengesetzt. Die Beine werden an die Metallinserts angeschraubt und die Sitze mit Kissen gepolstert. Beim Crash-Test versagte

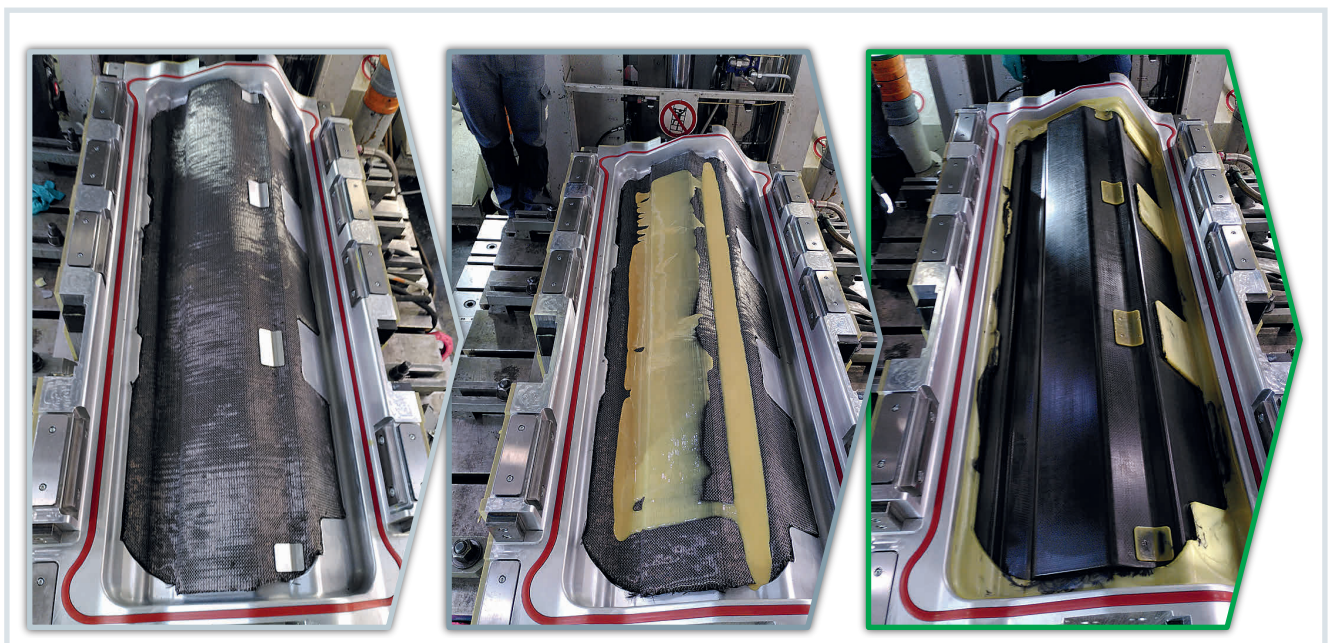


Bild 4. Schritte zur Herstellung der inneren Sitzschale: Kohlenstoffasergelege im Werkzeug, auf das Gelege gegossenes Harz, ausgehärtete innere Sitzschale (von links). © Fraunhofer ICT

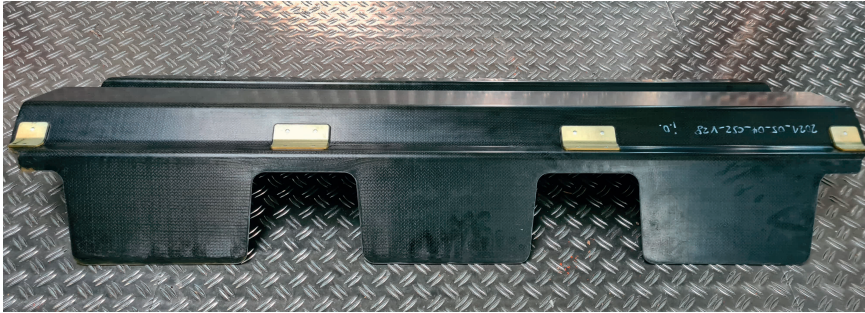


Bild 5. Die innere Sitzschale wird im WCM-Verfahren gefertigt. © Fraunhofer ICT

ze und die globalen CO₂-Emissionen bei der Fertigung und dem Recycling der Sitze um etwa 20% zu reduzieren.

Das Konzept dieses Sitzes ist nicht auf Flugzeuge beschränkt, sondern kann auch für andere Anwendungen, zum Beispiel für Züge oder Busse, genutzt werden. Die Entwicklung der hybriden Sitzstruktur wurde 2023 mit dem JEC-Award für Aerospace-Parts ausgezeichnet. ■

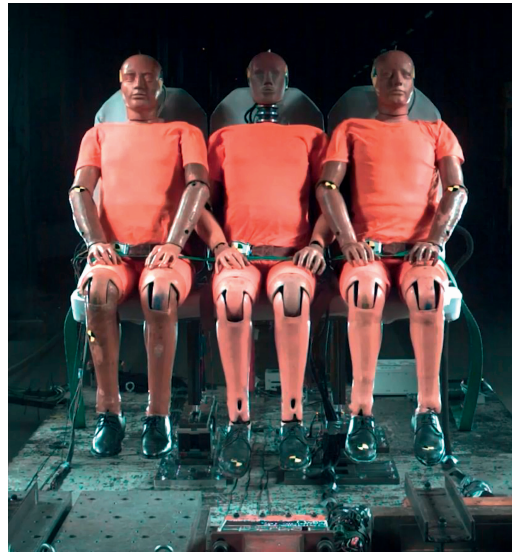


Bild 6. Beim Crash-Test der hybriden Sitzbank versagte zuerst die metallische Verankerung der Beine an der Bodenplatte. © Fraunhofer ICT

jedoch die metallische Verankerung der Beine an der Bodenplatte bei einer Beschleunigung von etwa 11g. Die Sitzstruktur selbst blieb jedoch nahezu unbeschädigt (**Bild 6**).

Recycling und erste Lebenszyklusanalyse

Eine erste Studie konnte die sehr gute Recyclingfähigkeit der Sitzstruktur mit dem Solvolyse-Verfahren bestätigen. Das Solvolyse-Verfahren nutzt Lösungsmittel, um die chemischen Bindungen im PUR in Oligomere und Monomere zu spalten. Die Oligomere und die Monomere dienen als Grundstoffe zur Herstellung von recyceltem Polyol, aus dem zum Beispiel wieder neuer PUR-Schaum hergestellt werden kann. Die Kohlenstofffasern trennen sich dabei vollständig und rückstandsfrei vom PUR. Die milden Prozessparameter bei der Solvolyse schädigen die Kohlenstofffasern nicht.

Die Herstellung der hybriden Sitzstruktur hinterlässt global einen um etwa 20% kleineren CO₂-Fußabdruck im Vergleich zu einem konventionellen Sitz

gleicher Größe. Das ergab eine Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA), die die Stoff- und Energieströme des Gesamtprozesses bilanzierte. Zusätzlich spart das geringe Gewicht der Sitzstruktur Kraftstoff beim Flug ein.

Fazit

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Verwendung nur einer Kunststoffsorte für die Sitzstruktur ein Recycling am Ende der Nutzungsphase ohne aufwendige Trenn- und Sortierverfahren ermöglicht. Funktionsintegrierter Leichtbau reduziert die Anzahl der Sitzkomponenten und so den Wartungsaufwand für die Sitzstruktur. Die Komponenten lassen sich höchst effizient mit großserientauglichen Fertigungsverfahren herstellen. Das SMC-Verfahren liefert dekorative Oberflächen mit hoher Güte, die besonders geeignet für Komponenten im Sichtbereich sind. Plasmabeschichtete Oberflächen lassen sich direkt im Werkzeug mit dem Kunststoff fügen und erzielen höchste Festigkeiten. So ist es gelungen, das Gewicht der Flugzeugsit-

Info

Text

Dr. Rudolf Emmerich ist Gruppenleiter für Mikrowellen- und Plasmaprozesse am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal; rudolf.emmerich@ict.fraunhofer.de

Sergej Ilinzeer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fachgruppe Spritzgießen und Fließpressen am Fraunhofer ICT.

Dr. Ronny Hanich-Spahn hat am Fraunhofer ICT zum Thema „Chemisches Recycling von Polyurethanen“ promoviert und ist am Institut seit 2023 Gruppenleiter für Recyclingtechnologie.

Dank

Das Projekt wurde gefördert durch EU Clean Sky 2 Joint Undertaking (Clean Sky 2 Airframe und Clean Sky 2 Eco-Design; Grant Number 807083, 807091, 945549 und 945521).

Literatur

Das Literaturverzeichnis finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv