

TECHNIK

Das Regionalmagazin für **VDI** und **VDE**

IN BAYERN



Holz

Eventkalender & Aktuelles
Ingenieurskunst. Aus Liebe zur Technik
INUAS Konferenz 2021

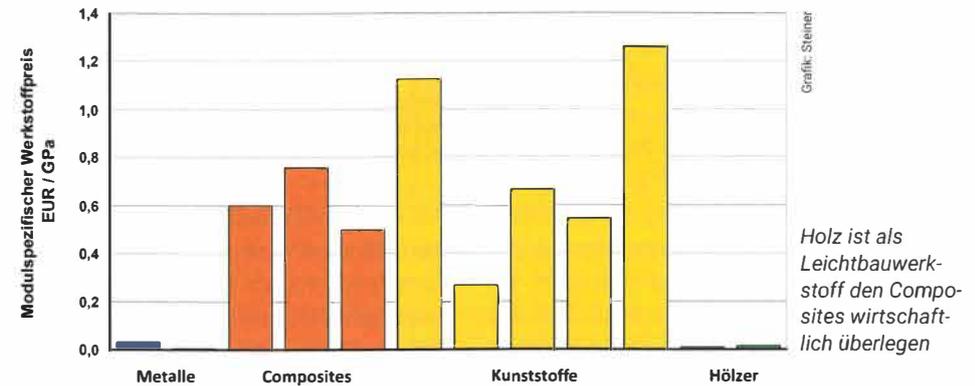
Hybridbauteile aus Holz + Kunststoff

Überlegenheit mit Funktion

Holz, was für ein toller, wertvoller Werkstoff, ist eine Aussage, die aus dem Munde eines erfahrenen, anerkannten Kunststoffingenieurs erst dann glaubhaft wird, wenn man die Gründe für diese Überzeugung kennt. Auf einem Bauernhof aufgewachsen, konnte ich schon als Kind intensive Erfahrungen mit allen Arten von Werkstoffen sammeln, ideal für einen Ingenieur. Dies nicht nur beim Zusehen, sondern beim Anfertigen, Reparieren und beim Einsatz von Arbeitsmitteln und technischen Einrichtungen. Die Tischlerwerkstätte mit den weichen, warmen und leichten Hölzern hat mich dabei immer mehr fasziniert, als die Schmiede mit den harten, meist heißen und schweren Metallen. Das Studium der Kunststofftechnik mit den polymeren Werkstoffen, speziell auch mit den abgewandelten Naturstoffen, war dann knapp vor dem Berufswunsch des Tischlers meine ganz klar getroffene Wahl.

Optimal von der Natur produziert

Holz wird von der Natur produziert, was eine ganze Reihe von Vorteilen mit sich bringt. Über Jahrtausende evolutionär entwickelt, ist ein Werkstoff entstanden, der



ohne Ressourcenverschwendung in seinen Eigenschaften für die Belastung optimal ausgelegt ist. Dies gilt für stark wechselnde Umgebungstemperaturen und Feuchtebedingungen in den Klimazonen unseres Planeten. Hohe Biegefestigkeit, beispielhafter Leichtbau und eine Schubfestigkeit, die gering anmutet, aber für die Anwendung voll ausreichend ist. Bei starkem Sturm versagt ein Baum nicht bevor alle Spannungen im Stamm das Festigkeitslimit erreicht haben.

Auch wenn die Herstellung lange dauert, die direkte Nutzung der Solarenergie macht aus Holz einen kostengünstigen, natürlichen Faserverbundwerkstoff, der

den synthetischen Composites in ökonomischer Hinsicht weit überlegen ist. Die ökologischen Vorteile mit der Aufnahme und Speicherung von CO₂ sowie als nachwachsende Ressource seien hier hervorgehoben, werden jedoch nicht weiter vertieft. Für die technische Performance kann angeführt werden, dass die aus Fichtenholz gebaute Hughes H-4 Hercules „Spruse Goose“ mit einer Spannweite von 97,5 m bis 2019 das größte jemals gebaute Flugzeug war, größer als der Airbus A380, und noch heute leistungsfähige Propeller von Motorflugzeugen aus Holz gefertigt werden.

Renaissance en vogue

Holz wurde nicht durch andere Werkstoffe substituiert, weil Holz für die daraus gefertigten Produkte nicht geeignet war, sondern weil man mit neuen Werkstoffen, zuerst Stahl, dann Kunststoffe, innovative Lösungen realisieren konnte, die bei konstanten Eigenschaften funktionelle Verbesserungen ermöglicht haben. Dies war insbesondere auch durch die neu entwickelten Verarbeitungsprozesse und Fertigungstechnologien geprägt, die im Zusammenspiel mit der Anwendung digitalisierter Entwicklungstools und numerischer Konstruktionsmethoden, wie CAX und FEM, immer leistungsfähigere und doch kostengünstig herstellbare Produkte ergaben. Der traditionelle Werkstoff Holz



TwiNTEE mit Holzschaft und bedruckbarem Kunststoffkopf

hat sich im Wettbewerb zu den anderen Werkstoffen konservativ positioniert und ist dieser Technologieentwicklung über Jahrzehnte nur halbherzig gefolgt. „Festmeter“ war die Maßeinheit für wirtschaftlichen Erfolg der Akteure, nicht „Wertschöpfung“.

Der in der fachlichen Diskussion plakativ oft dargestellte Nachteil von Holz, seine Uneinheitlichkeit im Wuchs, seine Anisotropie im Stamm und seine Variantenvielfalt in der Art, ist einer der größten Vorteile der Holzwerkstoffe. Die richtige Auswahl, Veredelung in der Verarbeitung und Anwendung entsprechend den spezifizierten Produkteigenschaften ermöglicht vorteilhafte Lösungen, die alle technischen und wirtschaftlichen Anforderungen erfüllen. In der Kunststofftechnik wählt der Ingenieur aus ca. 200.000 Werkstofftypen (Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere), die am Markt verfügbar sind. Materialvielfalt ist auch hier ein in der Produktentwicklung wirksam eingesetzter Vorteil.

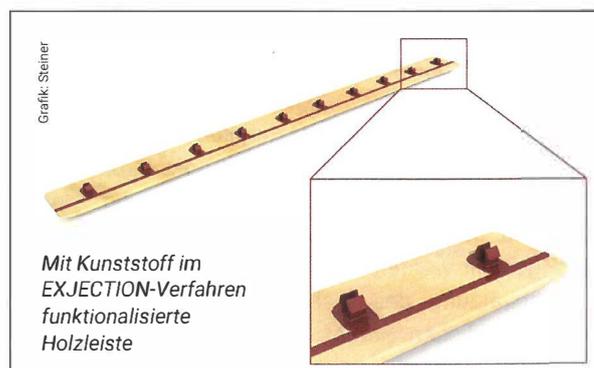
Als Kunststoffingenieur kennt man die Konstruktionsprinzipien für Faserverbundwerkstoffe, die bei gezielter Nutzung der Anisotropie Bauteileigenschaften möglich machen, die von isotropen Werkstoffen nicht erreicht werden können. Die spezifischen Festigkeiten und Steifigkeiten der Holzwerkstoffe, speziell Esche, Fichte und Birke, sind den Metallen überlegen, was Holz zu einem idealen, nachhaltigen Leichtbauwerkstoff macht. Faserverstärkte Verbundwerkstoffe, speziell Kohlefaserverstärkte Composites (CFK), zeigen hier zwar eine überlegene Performance, der um ein Mehrfaches höhere Materialpreis macht jedoch den Einsatz in Massenprodukten, etwa in der Großserie im Automobilbau, unwirtschaftlich. Holz ist daher der Werkstoff der Wahl für konstruktiven Leichtbau in zukünftigen Fahrzeugstrukturen, insbesondere auch für die Elektromobilität. Nach bionischen Prinzipien ist es vorteilhaft, die im Baum vorherrschenden Belastungskollektive bei der Auslegung der Komponenten zu berücksichtigen.

Durch die bewährte, historische Anwendung von Holz im Karosseriebau ist der Nachweis für die Tauglichkeit im Langzeiteinsatz bei Fahrzeugen bereits erbracht.

Funktionalisierung von Holz

Um den konstruktiven Nachteil der Funktionalisierung von Holz zu beseitigen und auch in einen Vorteil umzuwandeln, wurden im Jahr 2001 beim IB STEINER Forschungsarbeiten in Zusammenarbeit mit der HTBL Kapfenberg und mit der TU Graz aufgenommen, die eine Funktionalisierung durch Umspritzen von kompakten Holzkomponenten mit Kunststoff zum Ziel und Inhalt hatten. Dabei sollten nicht nur die Vorteile beider Werkstoffklassen vereint werden, sondern auch Herstelltechnologien und Entwicklungsmethoden aus der Kunststofftechnik für Hybridbauteile aus Holz angewandt werden.

Es gibt ca. 50 Varianten der Spritzgießtechnologien, die je nach Produkthanforderungen eine wirtschaftliche Fertigung ermöglichen, ohne Kompromisse bei den Eigenschaften der Bauteile eingehen zu müssen. Um die Entwicklungsziele zu erreichen, wurde aus diesen Spritzgießverfahren der Hybridspritzguss und die nachfolgend entwickelte EXJECTION Technologie ausgewählt, untersucht und weiterentwickelt. Basierend auf den Ergebnissen der Forschungsarbeiten wurden als erste Produkte das Golftee TWINTEE von HYBRID COMPOSITE PRODUCTS Spielberg und der Holzschalungsträger H20 top von DOKA Amstetten in die Serie umgesetzt und nachfolgend in Millionenstückzahlen produziert.



Weiterführende Links

www.exjection.com
www.cellulosecomposites.com
www.woodcar.eu
www.hcp0.com
www.twintee.at
www.ibsteiner.com

Know-how für Erfolge am Markt

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Leistungsfähigkeit von Engineered Wood Components mit Holz als tragende, wirtschaftlich herstellbare Leichtbaukomponente durch Umspritzen mit Kunststoff deutlich gesteigert werden kann. Die Funktionalisierung der Hybridbauteile umfasst etwa Eigenschaftsverbesserungen an der Oberfläche, die Einbringung von krafteinleitenden Strukturen und die Integration von Montageelementen. Durch Spritzgießen wird auch eine Verdichtung des Holzes erreicht, die bei Sandwichträgern mit Holz in den Randschichten zu einer Steigerung der Festigkeit von 30 % bei Buche und von 45 % bei Fichte in Vergleich zu reinen Holzträgern führt. Im ERA-NET ForestValue Forschungsprojekt *Strong Composite* konnte gezeigt werden, dass mit delignifiziertem, verdichtetem Holz die Werkstoffeigenschaften von Aluminium in Festigkeit und E-Modul erreicht werden können. Dass Holzwerkstoffe für Anwendungen in Fahrzeugkarosserien auch mit Methoden der virtuellen Entwicklung gut beherrschbar sind, wurde speziell auch für Crashbelastungen im Forschungsvorhaben WoodC.A.R. nachgewiesen. Das Verhalten ist im Vergleich zu Stahl vorteilhafter, da von Holz mehr Energie absorbiert wird und damit die Fahrzeuginsassen weniger belastet werden. Die Synergien von Kunststoffindustrie und Holzindustrie, speziell bei der Fertigung von Hybridbauteilen aus Holz und Kunststoff, führen zu einer Renaissance der technischen Holzanwendungen, was nicht nur dem Zeitgeist des Green Deals der EU entspricht, sondern auch die Stärken unserer Länder im zentralen europäischen Raum am Markt wirksam werden lässt.

*DI Gottfried Steiner VDI
 IB STEINER, Spielberg*

WoodC.A.R. – Wood Computer Aided Research

Holz im Fahrzeugbau

Die aktuelle Debatte zur Verbesserung der CO₂-Bilanz von zukünftigen Fahrzeugkonzepten dreht sich auch um Gewichtsreduktion und Verwendung nachhaltiger Materialien. Die Entwicklung von Holz-Hybrid-Komponenten verlangt nach neuen Produktionstechnologien, Materialsimulation, Fertigungsverfahren und Beherrschung von natürlichen Werkstoffen – die wesentlichen Schwerpunkte der Forschungsaktivitäten des Konsortiums „WoodC.A.R.“.

Potenzial Holz

Holz, als natürlicher Hochleistungswerkstoff, besitzt hervorragende Festigkeits-, Steifigkeits- und Standfestigkeitswerte, exzellentes Dämpfungsverhalten, alles bei geringer Dichte und geringen Rohstoffkosten. Neben der verbesserten Versorgungssicherheit von Rohmaterialien könnte die Nutzung dieser Ressource als teilweise Substitution für Metall und Kunststoff wesentliche Vorteile hinsichtlich Ökologisierung der Wirtschaft bringen.

Motivation Fahrzeugbau

In der Automobilindustrie wird intensiv nach neuen Leichtbaumaterialien gesucht. Neben Metallen und Kunststoffen wird für neue Fahrzeugkonzepte eine steigende

Menge an faserverstärkten Verbundwerkstoffen benötigt. Diese Werkstoffe sind allerdings schwer zu verarbeiten und führen aufgrund ihres Materialpreises und des erhöhten Fertigungsaufwands zu einer Erhöhung der Produktkosten.

Die technische Leistungsfähigkeit des Materials Holz für technische Anwendungen ist durch den jahrzehntelangen Einsatz in der Luftfahrttechnik und durch Fahrzeuganwendungen belegt. In den letzten Jahrzehnten ist dieser Werkstoff allerdings von Kunststoffen und Metallen in vielen Bereichen verdrängt worden. Neue Fertigungsverfahren und bessere technische Beherrschbarkeit des natürlichen Materials rechtfertigen eine Rückführung in diese Bereiche.

Forschungsfragen

Grundvoraussetzung für modernes Materialengineering und Industrial Design ist eine präzise und zuverlässige Materialbeschreibung aller verbauten Komponenten. Im Bereich des Ingenieurholzbaus wird die exakte Berechenbarkeit des wertvollen Werkstoffs Holz konsequent umgesetzt. Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet haben zweifelsfrei zu dem wirtschaftlichen Erfolg im Holzingenieurbau beigetragen. Hier werden vorrangig Nadelhölzer eingesetzt, die aber nur bedingt für Anwendungen im Fahrzeugbau einsetzbar sind. Für diese Zwecke scheinen aufgrund ihrer technischen Eigenschaften und ihrer Verarbeitbarkeit sogenannte zerstreutporige Laubhölzer deutlich besser geeignet.

Bis dato konnten Materialdaten und Materialkarten von Laubholz für Simulation bei dynamischer Belastung und im Crashfall nicht zur Verfügung gestellt werden. Ebenso fehlte eine Einschätzung des technischen und wirtschaftlichen Potenzials der ausgewählten Holzarten für diese Anwendungen.

Das Projekt WoodC.A.R. (Wood – Computer Aided Research) hat zum Ziel, neue Anwendungsbereiche für den Werkstoff Holz zu identifizieren und Holz für diese Zwecke berechenbar zu machen. Im Rahmen des Projekts WoodC.A.R. (Laufzeit 4/2017 bis 2/2021) werden vorrangig Buche, Birke und Pappel hinsichtlich ihrer Werkstoffeigenschaften und Verarbeitbarkeit untersucht. Die Wahl fiel dabei auf Buche vorrangig wegen ihrer guten Verfügbarkeit, auf Birke aufgrund ihrer traditionellen Verwendung im Flugzeugbau und auf Pappel aufgrund des hohen Leichtbaupotenzials. Doch die Palette an Baumarten ist deutlich breiter. Derzeit wird auch der in Plantagen angepflanzte Blauglockenbaum untersucht. Die Eigenschaften sind mit schwereren Provenienzen von Balsa vergleichbar. Welche der zusätzlich rund 60 verfügbaren Baum- und Straucharten für technische Zwecke sonst noch genutzt werden können, bleibt Aufgabe zukünftiger Untersuchungen. In dem Projekt wurden in einem ersten Schritt Schichthölzer in Kombination mit Metallen und Kunststoffen untersucht. Bei der Verarbeitung der Holz-Hybridwerkstoffe wurde vorrangig auf bestehende Verarbeitungsverfahren zurückgegriffen. Laufende und zukünftige Untersuchungen beschäftigen sich mit der Verarbeitbarkeit vor allem in Hinblick auf die freie Formgebung.

Forschungsergebnisse

Materialmodellierung funktioniert durch die Bereitstellung von Kenndaten und die Anwendung geeigneter Materialmodelle. Zu diesem Zweck wurden von den genannten Holzarten Buche, Birke und Pappel rund 60.000 Einzelwerte gesammelt, die den Werkstoff Holz mechanisch charakterisieren. Materialvariabilität und das extrem anisotrope Werkstoffverhalten des natürlichen Werkstoffs Holz erklärt den hohen experimentellen Aufwand. Anhand

WoodC.A.R.

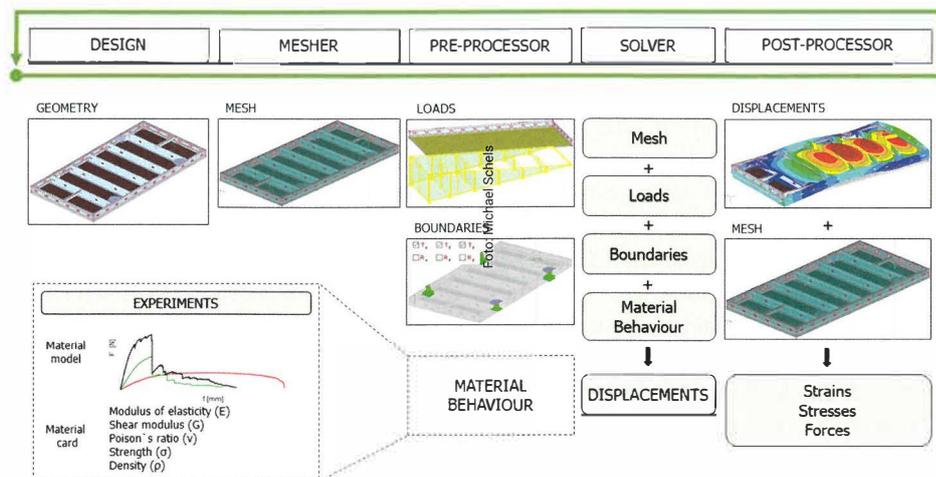
Das Konsortium wird vom steirischen Weizer Energie und Innovationszentrum (W.E.I.Z.) geleitet. Neben der BOKU sind die Technische Universität Graz, die Karl-Franzens-Universität, die FH Joanneum und das Kompetenzzentrum „Das Virtuelle Fahrzeug“ an den Forschungsarbeiten beteiligt.

Die Idee „Holz im Fahrzeugbau“ geht auf ein sogenanntes Branchenprojekt des steirischen Holzclusters und den AC-Styria (Automobilcluster, Steiermark) zurück. Die beiden Cluster sowie die Plattform Forst – Holz – Papier (FHP) unterstützen das Projekt auch finanziell. Die beteiligten Firmenpartner kommen sowohl aus der Holz- (Weitzer Parkett, Collano, DOKA) als auch aus der Automobilbranche (Volkswagen AG – Konzernforschung, MAN, MAGNA, LS-Dyna, Lean MC, EJOT, MATTRO, IB STEINER). www.woodcar.eu

der durchgeführten Materialprüfungen wurden mit Hilfe von Videoaufnahmen geeignete Materialmodelle entwickelt, um das Materialverhalten oberhalb der Elastizitätsgrenze und während der vollständigen Entfestigung (also Zerstörung) zu beschreiben. Für die Materialmodellierung wurden LS-Dyna und Pam-Crash verwendet, zwei in der Fahrzeugindustrie weit verbreitete Simulationsprogramme. In einer ersten Stufe wurden die Simulationen durch die realen Normversuche validiert. In einem nächsten Schritt wurden größere Bauteile aus Holz-Hybridkomponenten hergestellt und statischen sowie dynamischen Crash-Versuchen unterworfen.

Damit konnten unabhängig von den Normversuchen die Materialsimulationen validiert werden. Erst in einem dritten Schritt wurden dann die für die gewählten Anwendungen hergestellten Bauteile Crashtests unterworfen und den Simulationsergebnissen gegenübergestellt. Die Abbildung zeigt die typischen Schritte für die Materialsimulation anhand eines simulierten Holz-Hybridbauteils. Durch die verfügbaren Materialdaten und die entwickelten Materialmodelle in den Simulationsprogrammen konnten für die entwickelten Bauelemente präzise Vorhersagen hinsichtlich des Verformungs- und Zerstörungsverhalten gewonnen werden. So konnte sowohl der Zerstörungszeitpunkt als auch die bei der Zerstörung auftretende Energieaufnahme mit ausreichender Genauigkeit vorhergesagt werden.

Um die komplexen Forschungsergebnisse möglichst frühzeitig in die Praxis zu transferieren, wurden gemeinsam mit den Firmenpartnern vier sogenannte Use Cases definiert: Seitenaufprallträger eines konventionellen PKWs, Chassis eines Fancar „Body-in-Wood“, Bustrepe eines



Arbeitsschritte bei der Simulation mit der Finite Element Modelling Methode anhand eines Holz-Metall-Hybridbauteils

Reisebusses und Chassis eines raupenbetriebenen Elektrofahrzeugs „Ardenner“. Die Entwicklung der Use Cases erfolgte in Anlehnung an den Produktentwicklungszyklus im Automobilbau. Erster Schritt war die Durchführung einer Topologieanalyse. Anhand von Randbedingungen (einwirkende Kräfte und Lagerbedingungen) errechnet die Software, welche Volumenbereiche zur Steifigkeit des Bauteils beitragen und welche entfernt werden können. Die so erhaltenen Strukturen wurden für die Entwicklung verschiedener Holz-Hybrid-Leichtbaustrukturen herangezogen. Die Rohkonzepte wurden durch Materialsimulationen weiter optimiert, wodurch der Entwicklungszyklus extrem verkürzt wurde.

Mit der Holz-Alu-Mischbauweise konnte gegenüber dem Prototyp aus Stahl rund 140 kg Gewicht eingespart werden. Die signifikante Gewichtsersparnis bei gleicher Performance deckt sich auch mit den Ergebnissen anderer Use Cases.

In der Tabelle ist das Ergebnis für den Seitenaufprallträger zusammengefasst.

Resümee und Ausblick

Das vierjährige Forschungsprojekt mit einem Gesamtvolumen von fünf Mio. Euro war neben den technischen Erfolgen durchaus auch wissenschaftlich sehr erfolgreich. Mit dem Abschluss des Projekts sollten ca. 20 Masterarbeiten und fünf Dissertationen zu einem Abschluss kommen, sowie knapp 50 Fachartikel in Fachzeitschriften und referierten Journalen publiziert worden sein. Zukünftige Forschungsarbeiten werden sich vorrangig mit der Materialbeherrschung des natürlichen Rohstoffs befassen. Ziel des Forschungsprojekts CARpenTIER ist es, nicht nur die Berechenbarkeit des Materials Holz voranzutreiben und neue Produktionstechnologien zu entwickeln, sondern auch Produktionsprozesse digital abzubilden und damit effizienter und kostengünstiger zu machen. Außergewöhnlich für ein laufendes Forschungsprojekt ist, dass Kenntnisse und Ergebnisse bereits während der Laufzeit des Projekts angewandt werden. So laufen derzeit mehrere Umsetzungsprojekte, bei denen weitere Fahrzeugkomponenten bis zur Marktreife gebracht werden sollen.

	Seitenaufprallträger aus Holz	Konventioneller Seitenaufprallträger
Material	95 % biobasiert	Stahl
Gewicht	990 g	1250 g
Energieabsorption	1.845 J	1.884 J
Carbon-Footprint	37 kg CO ₂ (539 MJ)	52 CO ₂ (768 MJ)
Preis	> 6 EUR / Stk.	4.25 EUR / Stk.

Vergleich eines konventionellen Seitenaufprallträgers mit dem in WoodC.A.R. entwickelten und patentierten Crash-Element

Priv.-Doz. Dr. Ulrich Müller
Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien