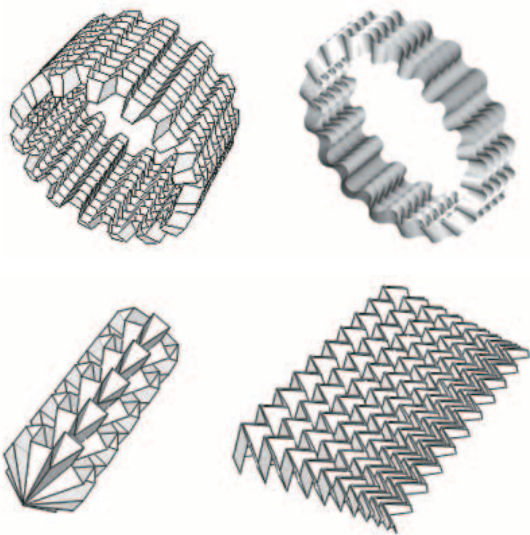


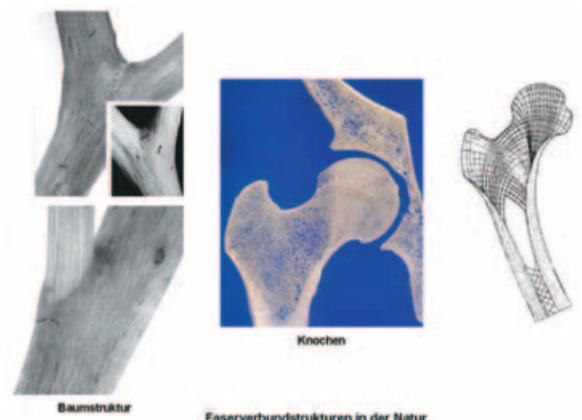
Faserverbundstrukturen – Leichtbau in Natur und Technik



Die Natur verfolgt bei der Gestaltung von Strukturen in der Pflanzen- und Tierwelt immer ein Prinzip: Minimaler Einsatz von Energie und Material bei bestmöglicher Erfüllung der Funktion. Hierzu wurden in Jahrtausenden optimale Werkstoffe, Bauweisen und Geometrien entwickelt, die das Überleben einer Spezies sicherten. Eine weitere Strategie in Flora und Fauna ist die Adaptivität, sprich die Anpassung von Werkstoffeigenschaften und Form an die jeweiligen Belastungen und Umwelanforderungen. Als „Strukturwerkstoff“ kommen in der Natur fast ausschließlich Faserverbundwerkstoffe zum Einsatz. Diese bestehen aus einer „Matrix“, in die belastungsgerecht „Verstärkungsfasern“ eingebettet werden. Bäume und Pflanzen nutzen die einzigartigen Optimierungsmöglichkeiten durch die Wahl der Ausgangswerkstoffe und der verstärkenden Fasergeometrie ebenso wie Knochen. (01) zeigt einige exemplarische Beispiele.

Das gleiche Prinzip macht man sich bei den faserverstärkten Kunststoffen, Metallen und Keramiken zu Nutze. Fasern mit höchster Festigkeit und Steifigkeit werden entsprechend der äußeren Lasten in eine Matrix eingebettet, die vor allem die Funktion hat, die Fasern zu schützen und in ihrer Form zu halten.

Die wichtigsten Vertreter sind kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe, die seit vielen Jahren vor allem im Flugzeugbau eingesetzt werden und aufgrund ihres hohen Leichtbaupotentials zur Steigerung der Flugleistungen und der Sicherheit beige-



01

Faserverbundstrukturen in der Natur

tragen haben. Bei modernen Flugzeugen hat ihr Anteil am Strukturgewicht inzwischen über 50 Prozent erreicht. Sie ermöglichen ein Leichtbaupotential von über 25 Prozent gegenüber Aluminium und 60 Prozent gegenüber Stahl.

Im Folgenden sollen die wichtigsten Entwicklungen im Bereich der Verstärkungsfasern, der Eigenschaften, der Gestaltung und der Anwendung der Verbundwerkstoffe beschrieben und die Analogie zur Natur dargestellt werden.

1. Fasertechnologie: Spinnseide und Nanotubes

Ein Meister in der Herstellung und Anwendung von Fasern ist die Spinne. Aus Proteinen stellt sie in ihren Spinnrühen Fäden verschiedener Steifigkeit, Bruchdehnung und Oberflächenbeschaffenheit her. Optimal „verwebt“ stellt die Spinne daraus ein perfektes Netz zum Fang von Beute her. Die hochsteifen Fasern garantieren die notwendige Stabilität, die duktilen Fasern mit ihrer hohen Bruchdehnung bremsen die einfliegende Beute ab und verhindern ein Reißen des Netzes, und die klebrigen Fangfäden halten die Insekten fest. Sobald das Netz ausgedient hat, frisst die Spinne die Fäden auf – ein perfektes Recycling und eine optimale Nutzung der eingesetzten Energie.

Es ist kein Wunder, dass es vielfältige Bemühungen gibt, die Spinnseide für technische Anwendungen einzusetzen oder, noch besser, die Fäden künstlich herzustellen. Viel versprechend ist z. B. die Transferierung des Spinnseide-Proteins, das inzwischen identifiziert wurde, in Bakterienzellen, die dadurch Spinnseide produzieren. Interessante Anwendungen könnten sich hierbei z. B. für die Herstellung von medizinischen Nähfäden ergeben.

Eher ernüchternd sind bisher jedoch die Bemühungen, die Fäden für strukturelle Anwendungen im Bereich des Leichtbaus einzusetzen. Wie häufig muss man feststellen, dass ein Material zwar für die Zwecke der Natur optimiert ist und phantastische Eigenschaften besitzt, sich für die Belange technischer Anwendungen dage-

gen als ungeeignet erweist. An die Temperaturbeständigkeit, die Medienbeständigkeit, das Langzeitverhalten oder die Konstanz der Eigenschaften werden z. B. an Verstärkungsfasern für Hochleistungsverbundwerkstoffe Anforderungen gestellt, die von der Spinnseide aber auch von Naturfasern wie Hanf oder Sisal kaum zu erfüllen sind.

Für Anwendungen im Leichtbau ist die Kohlenstofffaser unschlagbar. Sie wird in einem aufwändigen Prozess durch die Pyrolyse von Polyacrylnitril oder Pech gewonnen und bietet je nach Prozessparameter höchste Festigkeit (HT-Fasern), höchste Steifigkeit (HM-Fasern) oder ausgewogene Eigenschaften (IM-Fasern). Die gewichtsspezifischen Kennwerte verschiedener Fasern sind in **(02)** dargestellt.

Von Interesse sind neben den mechanischen auch die funktionalen Eigenschaften, wie gute Strom- und Wärmeleitung sowie die sehr geringe Wärmeausdehnung. In Zukunft könnten diese Eigenschaften noch um Größenordnungen durch Fasern auf der Basis von Carbon-Nanotubes (CNT) geschlagen werden **(03)**. Diese auf den Fullerenen basierenden Nanowerkstoffe besitzen Eigenschaften, die dem theoretischen Potential der Kohlenstoffverbindung sehr nahe kommen. Ist die Herstellung der Nanopartikel schon aufwändig und teuer, gestaltet sich die Fertigung endloser Fasern, wie sie für die Verbundwerkstofftechnologie

ABSTRACT

In nature all structures are optimised in material and design in order to save energy in fulfilling the specific requirements.

In most cases multifunctional composite materials are the basis, because they offer the highest lightweight potential and the best possibilities for function integration.

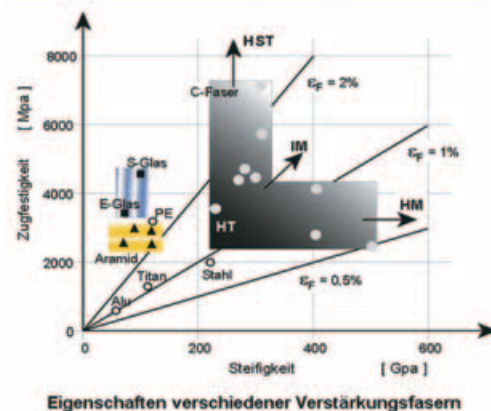
It is therefore no wonder that this material class, mainly based on carbon fibres, finds more and more interest in aerospace and automotive applications.

Their weight specific properties are very high and can be adjusted according to the structural requirements in a wide range. New manufacturing technologies based on textile technologies allow not only cost reduction and automated processing but also further improvement of mechanical properties by a three-dimensional fibre reinforcement.

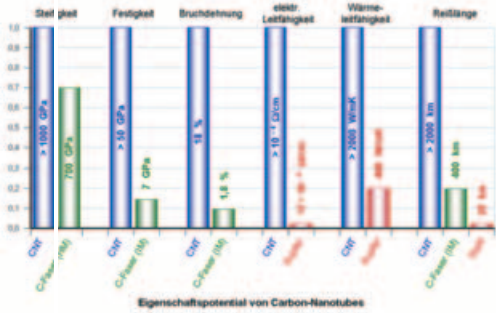
Another development with a strong link to nature are sandwich structures. A very efficient design is based on honeycomb cores, allowing the realisation of very stiff lightweight structures. Nevertheless, their design, based on closed hexagonal cells, which is optimised for the needs of the bees, is not the best solution for all engineering requirements.

Newly developed foldcore structures can be, for example for future aircraft fuselage concepts, the much better and more affordable solution.

This example shows, that not always bionic structures are the best solution for engineering requirements, but it is always of interest to study the design of nature and to follow its strategies for optimisation, adaptivity and multifunctionality.



Eigenschaften verschiedener Verstärkungsfasern



03

Eigenschaftspotential von Carbon-Nanotubes

erforderlich wären, als größte technologische Herausforderung. Durch das sogenannte Elektrosponnenverfahren können beispielsweise bisher lediglich Längen von einigen Zentimetern erreicht werden. Und diese „Carbon-Nanogarne“ liegen in ihren Eigenschaften noch weit hinter den Werten der CNT zurück.

Aber auch als Füllstoff in der Polymermatrix kohlenstofffaserverstärkter Verbundwerkstoffe leisten die Nanopartikel Erstaunliches. Nur geringe Volumenanteile reichen aus, um eine Eigenschaftsmodifikation um mehrere Größenordnungen zu erreichen. Beispiele sind die elektrische Leitfähigkeit, die Viskosität, die Zähigkeit oder das Brandverhalten.

2. Gestaltung und Fertigung: Strukturoptimierung und Textiltechnik

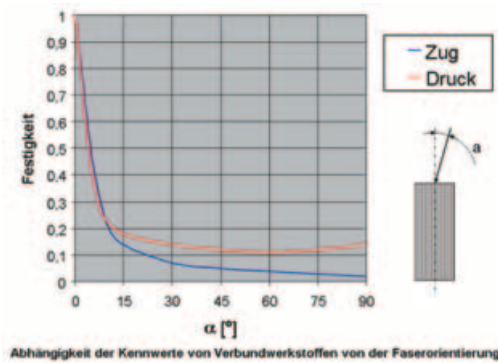
Gute mechanische Eigenschaften der Fasern sind jedoch nur eine Voraussetzung für gute mechanische Eigenschaften und ein hohes Leichtbaupotential. Noch wichtiger ist die belastungsgerechte Anordnung der Fasern in der Matrix. (04) zeigt die Abhängigkeit der Festigkeit eines Verbundwerkstoffs von der Faserorientierung.

In der Natur wird dies von jeher beherzigt. Die Fasern in Pflanzen und Knochen liegen in aller Regel entlang der Hauptspannungsrichtungen und können so die äußeren Belastungen optimal tragen. Auch die Ana-

lyse der Form natürlicher Konstruktionen verblüfft immer wieder, lässt sich doch zeigen, dass diese so optimiert sind, dass Spannungsspitzen vermieden werden und alles Material zum Tragverhalten beiträgt. (05) zeigt einige Beispiele.

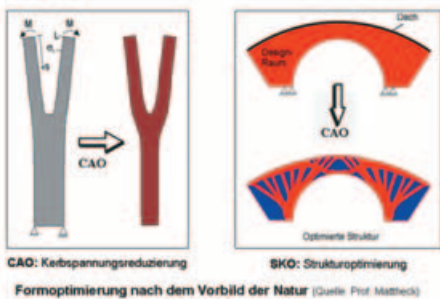
Am Forschungszentrum Karlsruhe wurden von Professor Mattheck auf Basis des Studiums natürlicher Strukturen verschiedene Berechnungsverfahren entwickelt, die eine Formoptimierung durch die Simulation des bionischen Wachstums bzw. eine Optimierung der Faserorientierung durch eine iterative Anpassung der Verstärkungsgeometrie an die Hauptspannungsrichtung ermöglicht (06).

Bei der Herstellung von Faserverbundstrukturen musste man lange Zeit einen Kompromiss zwischen Fertigbarkeit und mechanischen Eigenschaften eingehen. Eine optimale Verstärkungsgeometrie war nur bei einfachen Geometrien oder Lastfällen möglich, da als Halbzeug nur mit Harz vorimprägnierte unidirektionale Kohlenstofffaserlagen zur Verfügung stan-



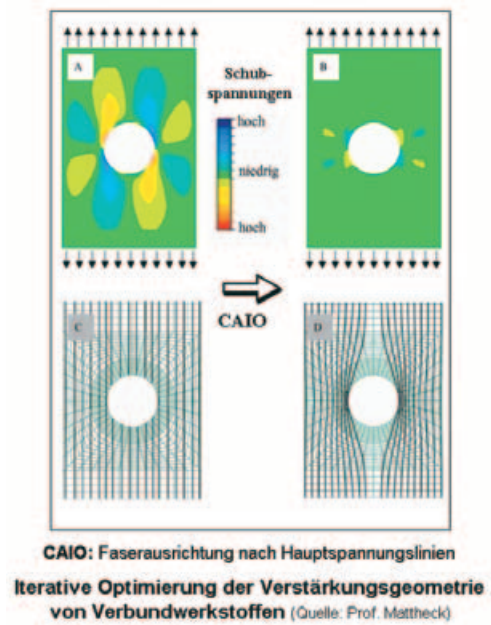
04

Abhängigkeit der Kennwerte von Verbundwerkstoffen von der Faserorientierung



05

Formoptimierung nach dem Vorbild der Natur (Quelle: Prof. Mattheck)



06

Iterative Optimierung der Verstärkungsgeometrie von Verbundwerkstoffen (Quelle: Prof. Mattheck)

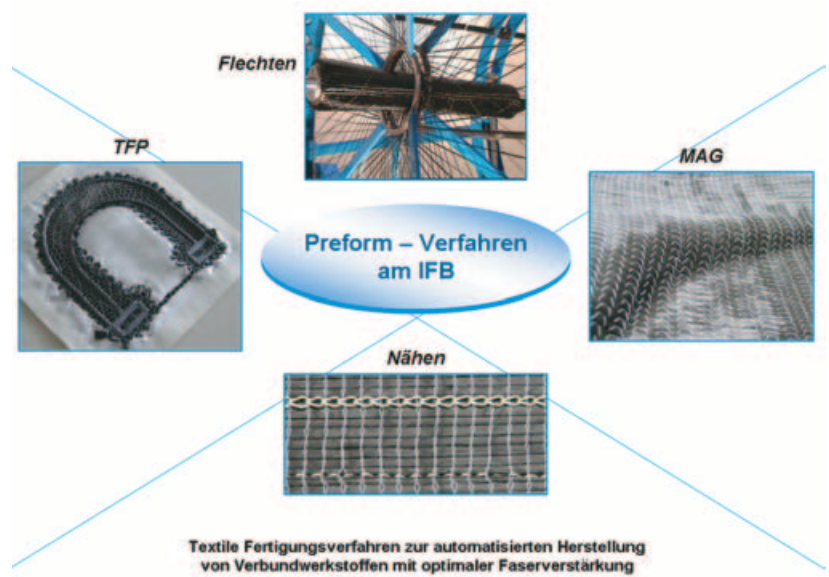
den. Um die Konstruktion und die Fertigung zu vereinfachen, werden die parallel in einer Matrix angeordneten Fasern außerdem nur in den Verstärkungsrichtungen 0, 90 und +45 Grad eingesetzt.

Eine Automatisierung dieser „Prepregtechnologie“ erfolgte in den letzten Jahren durch Tapelegeroboter, die jedoch nur für die Herstellung einfach geformter, großflächiger Strukturen wie Hautfelder geeignet sind. Erst der Einsatz in den letzten Jahren entwickelter textiler Fertigungsverfahren wie Sticken, Nähen oder Flechten ermöglicht bei hoher Produktivität und Automatisierbarkeit belastungsgerechte und endkonturnahe Verstärkungsgeometrien nach dem Vorbild der Natur. Zwei typische Beispiele sind das roboterunterstützte Rundflechten und das auf dem Stickprozess basierende TFP (Textile Fibre Placement). Die Anlagentechnik und einige Anwendungsbeispiele sind in (07) dargestellt.

(08) zeigt am Beispiel eines Fahrrad-Brakeboosters das Leichtbaupotential der neuen Technologien. Das gestickte Bauteil ist gegenüber der Aluminiumstruktur und dem konventionell gefertigten Faserverbundbauteil nicht nur leichter, sondern auch um den Faktor drei steifer.

Von besonderem Interesse ist die Möglichkeit, durch textile Fertigungsverfahren wie dem Nähen, eine dreidimensionale Faserverstärkung zu realisieren. Gegenüber den konventionellen Laminaten zeichnen sich die 3D-verstärkten Verbundwerkstoffe durch eine viel höhere Schadenstoleranz und strukturelle Integrität aus.

Die Herstellung der Faserstruktur ist natürlich nur der erste Schritt der Fertigung von Faserverbundwerkstoffen. Im Anschluss erfolgt die Imprägnierung mit der Matrix, z.B. in einem Harzinjektionsverfahren, und die Aushärtung in einem Umluftofen. Zur Erzielung eines hohen Faservolumenanteils wird häufig ein zusätzlicher Überdruck in einem Autoklaven aufgebracht. Neueste Entwicklungen zielen auf die Nutzung der Mikrowellentechnologie zur schnellen und energieoptimierten Aushärtung der Polymermatrix.



07

Textile Fertigungsverfahren zur automatisierten Herstellung von Verbundwerkstoffen mit optimaler Faserverstärkung

Während in der Natur „Hochleistungs-Biopolymere“ wie Cellulose oder Lignin als Matrixwerkstoff zur Stützung der Verstärkungsfasern zum Einsatz kommen, verwendet man bei den Faserverbundwerkstoffen meistens duromere oder thermoplastische Matrixsysteme. Gefordert

| Aluminium | Kohlefaser - TFP | CF-Gewebe Prepreg |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Gewicht: 52 g | Gewicht: 28 g | Gewicht: 29 g |
| Steifigkeit absolut: 116 N/mm | Steifigkeit absolut: 180,0 N/mm | Steifigkeit absolut: 65 N/mm |
| Steifigkeit spezif.: 2,26 N/mm/g | Steifigkeit spezif.: 6,4 N/mm/g | Steifigkeit spezif.: 2,25 N/mm/g |



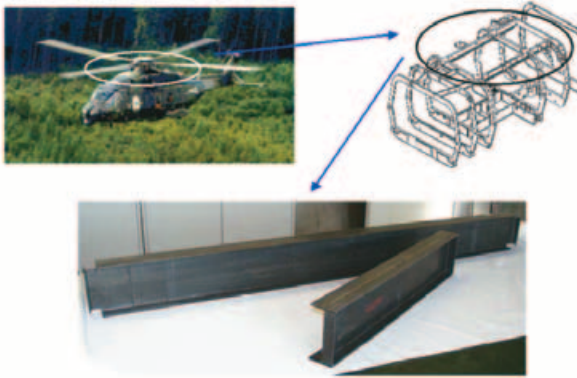
Fahrrad-Brakebooster aus Metall, konventionellen und gestickten Verbundwerkstoffen



TFP am Beispiel Mountain Bike Brake Booster

08

Fahrrad-Brakebooster aus Metall, konventionellen und gestickten Verbundwerkstoffen



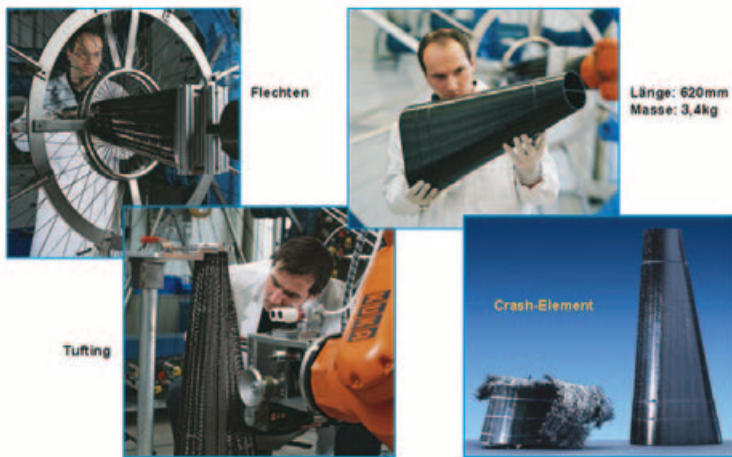
Gestickter Rumpfspant des Transporthubschraubers NH90

09

Gestickter Spant einer
Hubschrauberzelle

sind neben guten mechanischen Eigenschaften häufig auch eine Beständigkeit gegenüber verschiedensten Medien oder gute FST-Eigenschaften (geringe Rauchentwicklung, keine toxischen Gase bei der Verbrennung).

Generell liegt das Leichtbaupotential kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe bei optimaler Gestaltung und Fertigung bei rund 25 Prozent im Vergleich zu Alumi-



Textiles Struktur- und Fertigungskonzept
für energieabsorbierende Automobil-Crashelemente (Quelle DaimlerChrysler)

10

Textiles Struktur- und Fertigungs-
konzept für energieabsorbierende
Automobil-Crashelemente

nium und bei rund 60 Prozent im Vergleich zu Stahl. Besonders effektiv sind die Verbundwerkstoffe, wenn energieabsorbierende Eigenschaften oder gutes Langzeitverhalten bei dynamischer Belastung gefordert sind. Dreidimensional verstärkte Verbundwerkstoffe erreichen ein Energieaufnahmevermögen von bis zu 120 Kilojoule pro Kilogramm. Das Potential sinkt

bei höheren Temperaturen, insbesondere in feuchter Umgebung, da die Polymermatrix durch Wasseraufnahme degradiert. Für Hochtemperaturanwendungen kommen anstatt polymerer Werkstoffe metallische oder keramische Matrixsysteme zum Einsatz.

3. Faserverbundstrukturen in der Technik

Erste Anwendungen der Textiltechnik für Faserverbundwerkstoffe in der Luft- und Raumfahrttechnik sind beispielsweise die Druckkalotte des Airbus A 380, die aus vernähten „Multiaxialgelegen“ besteht, sowie gestickte Spante der Zellenstruktur des Transporthubschraubers NH 90 (09). Viele weitere Strukturbauteile sind derzeit in der Entwicklung.

Die Technologie ist durch das hohe Automatisierungspotential auch ein Schlüssel für die Nutzung des Leichtbaupotentials der Faserverbundwerkstoffe in der Automobilindustrie. Ein Beispiel, wenn auch noch im Bereich der Nischenfahrzeuge, sind die energieabsorbierenden Crashelemente des McLaren-Mercedes SLR. Diese bestehen aus verschiedenen, miteinander vernähten Textilverstärkungen, die im RTM-Verfahren (Resin-Transfer-Molding) mit Harz getränkt werden. Die einzelnen Fertigungsschritte sind in (10) dargestellt. Bei einer Optimierung aller Fertigungsschritte sind Taktzeiten von unter zehn Minuten durchaus realistisch. Damit ist der Weg zu größeren Stückzahlen geöffnet.

Die integrale Textilverstärkung ist nicht nur bezüglich der statischen Lasten optimiert. Sie ermöglicht gleichzeitig eine gute strukturelle Integrität und selbst beim kritischen Schrägaufprall eine hohe gewichtsspezifische Energieaufnahme.

4. Sandwichstrukturen: Honigwaben und Origami

Besonders steife und leichte Strukturen können in der so genannten Sandwichbauweise realisiert werden. Das Prinzip beruht darauf, dass steife Decklagen auf einen leichten Kern aufgeklebt werden, der vielfältige Aufgaben hat (11). Er muss nicht nur schubsteif die Decklagen verbinden

und auf Abstand halten, häufig wird von ihm auch eine gute Wärmeisolierung, Schalldämmung und Impactfestigkeit verlangt.

Typische Kernwerkstoffe sind Polymer-schäume oder auch Balsaholz. Wenn ein besonders hohes Leichtbaupotential gefordert ist, kommen jedoch fast ausschließlich Honigwaben zum Einsatz. Diese hexagonalen Kammerstrukturen dienen in der Natur der Biene als perfektes, vielfältig nutzbares System zur Lagerung des Honigs und zur Aufzucht der Brut. Auch strukturellmechanisch sind die Wabenstrukturen höchst effizient. Sie bieten durch die beulsteifen Strukturelemente bei geringstem Gewicht (typischerweise liegt die Dichte bei 30 bis 60 Kilogramm pro Kubikmeter) ein Höchstmaß an Druckfestigkeit und Schubsteifigkeit. Aufgebaut sind sie aus Aluminiumfolien oder so genanntem Nomex-Papier (mit Phenolharz beschichtetes Aramidpapier).

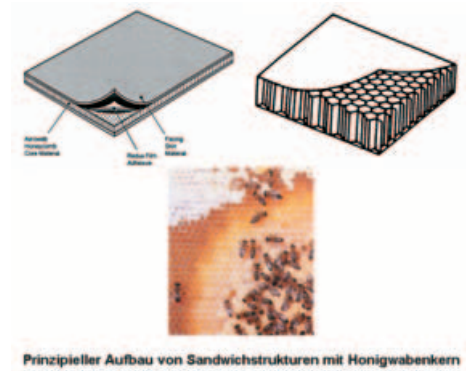
Diese Folien werden linienförmig verklebt und in einem aufwändigen Prozess expandiert. Dieser Prozess dauert relativ lange und ermöglicht keine kontinuierliche Fertigung, wodurch die Kernstrukturen relativ teuer sind. Für manche Anwendungen in der Technik wirkt sich die für die Biene so interessante Kammerstruktur außerdem nachteilig aus. Bei einem Einsatz der Waben in einem zukünftigen Leichtbaurumpf für Verkehrsflugzeuge würde in den nach dem Verkleben mit den Decklagen abgeschlossenen Kammern Kondenswasser entstehen, das mit der Zeit zu einem Mehrgewicht führt und Korrosion begünstigt.

Dies ist wieder ein Beispiel dafür, dass die Natur nach anderen Gesichtspunkten als das Ingenieurwesen optimiert und eine Übertragung der Philosophien eins zu eins nicht unbedingt zielführend ist.

Für Anwendungen in der Technik wurde in den letzten Jahren ein neues Konzept entwickelt, das ebenfalls auf dünnen Metall- oder Papierfolien basiert, die aber in einem Faltprozess in die dreidimensionale Kontur gebracht werden. Die Kerne nennt man daher Falzwaben. Einige Beispiele sind in

(12) dargestellt. Im Gegensatz zu den Honigwaben können die Falzwaben in einem kontinuierlichen Prozess kostengünstig hergestellt werden. Weitere Vorteile sind die viel größere Vielfalt an Geometrien zur Anpassung der mechanischen Eigenschaften an die jeweiligen Anforderungen sowie die Möglichkeit, ähnlich der Origamikunst, ohne Nachbearbeitung komplexe Geometrien herstellen zu können. Die Druck- und Schubkennwerte können in einem weiten Bereich variiert werden und überschreiten teilweise das Niveau der Honigwaben.

Da die Falzwabenstrukturen offen und damit belüftbar beziehungsweise drainagefähig sind, besteht keine Gefahr des Kondenswassereinschlusses. Sie sind daher eine viel versprechende Basis für zukünftige Verkehrsflugzeugrumpfe, die neben einem geringeren Gewicht auch das Potential für mehr Passagierkomfort durch geringeren Kabinenlärm und angenehmeres Raumklima bieten.



Prinzipieller Aufbau von Sandwichstrukturen mit Honigwabenkern

Prinzipieller Aufbau von Sandwichstrukturen mit Honigwabenkern



Beispiele für Falzwaben-Sandwichkerne

Beispiele für Falzwaben-Sandwichkerne

5. Smart Structures: Sensor- und Aktuatorintegration in Verbundwerkstoffe

Auch wenn ein Ingenieur ein Bauteil nach den Regeln der „Bionik“ optimal gestaltet und ausgelegt hat - eines haben natürliche Strukturen dennoch voraus. Sie sind adaptiv und können ihre Form oder ihre Eigenschaften den jeweiligen Anforderungen anpassen. Muskeln, die Substanz aufbauen, wenn sie besonders belastet werden; Bäume, die in die Form des geringsten aerodynamischen Widerstandes wachsen, um ihre Belastung zu reduzieren;



Integrierter Bragg-Gitter-Sensor zur Strukturüberwachung in einem Faserverbundlaminat

13

Integrierter Bragg-Gitter-Sensor zur Strukturüberwachung in einem Faserverbundlaminat



14

Adaptives Rotorblatt mit integrierten Piezoaktuatoren

Knochen, die nach einer Überlastung wieder zusammenwachsen und sich quasi selbst reparieren, sind nur einige Beispiele.

Erforderlich ist für diese „Intelligenz“ in jedem Fall eine Sensorik, eine Aktuatorik und eine Signalverarbeitung. Seit einigen Jahren versucht man, diese Philosophie auch für Leichtbaustrukturen in der Technik umzusetzen und Smart Structures beziehungsweise adaptive Strukturen zu entwickeln. Inzwischen stehen die erforderlichen Basistechnologien auch zur Verfügung.

Als Sensoren eignen sich beispielsweise Bragg-Gitter-Sensoren, spezielle Lichtleitfasern, mit denen sehr genau lokale Dehnungen gemessen werden können, oder piezoelektrische Fasern, die Dehnungen in Spannungen umwandeln. Die entsprechenden Signale können von leistungsfähigen Computern verarbeitet und interpretiert werden. Hierbei geht es darum zu erkennen, ob in der Struktur ein bleibender Schaden, z.B. durch eine Schlagbeanspruchung, entstanden ist, der zu einem Versagen des Bauteils führen kann. Die Technologie wird als „Health-Monitoring“ bezeichnet.

Piezoelektrische Keramiken können auch als Aktuatoren eingesetzt

werden. Durch das Anlegen einer elektrischen Spannung entstehen sehr schnell steuerbare, jedoch sehr kleine Dehnungen.

Wesentlich effektivere Aktuatoren sind Formgedächtnislegierungen (Shape-Memory Alloys), die ober- bzw. unterhalb einer bestimmten „Schalttemperatur“ unterschiedliche Formen annehmen und ihre Steifigkeit stark ändern. Die Dehnungen können hierbei sehr groß sein, die Schaltgeschwindigkeit ist jedoch im Vergleich zu Piezos sehr gering, da die notwendige Gefügeänderung durch eine Temperaturänderung vonstatten geht, die nur relativ langsam, z.B. durch eine Widerstandsheizung, zu realisieren ist.

Prädestiniert zur Realisierung von „Smart Structures“ sind Faserverbundwerkstoffe, da in diese die Sensoren und Aktuatoren perfekt integriert werden können. (13) zeigt beispielhaft eine einlamierte Bragg-Gitter-Faser in einem Kohlenstofffaser-Laminat.

Insbesondere Luftfahrtingenieure sind seit jeher fasziniert vom Vogelflug und versuchen die strukturellen und aerodynamischen Konzepte der Vögel zu kopieren. Nicht nur die perfekte „Leichtbaustruktur“ dient als Vorbild, sondern auch die adaptive Aerodynamik, die eine Anpassung des Flügelprofils an die jeweiligen Flugzustände (Start, Landung, Reiseflug bei sich ändernden Fluggewichten) ermöglicht.

Geringerer Treibstoffverbrauch, bessere Flugleistungen, reduzierter Lärm oder höherer Komfort von Hubschraubern oder Verkehrsflugzeugen wären durch adaptive Flügel oder Rotorblätter möglich. Weit ist man hiervon auch nicht mehr entfernt, wie das Beispiel eines adaptiven Rotorblattes zeigt, das vor kurzem in einem ersten Erprobungsflug seine Leistungsfähigkeit demonstrierte (14). Eine schnelle, „höherharmonische“ Verwindung des Rotorblattes während der Rotation durch piezoelektrische Aktuatoren verbessert die Aerodynamik des gesamten Rotorblattsystems und reduziert z.B. den Lärm, der entsteht, wenn das

nachfolgende Blatt in die Wirbel des vorlaufenden Blattes schlägt.

Die Entwicklungsarbeiten haben aber gezeigt, dass eine Integration der Piezoaktuatoren in die Faserverbundstruktur in diesem Fall nicht optimal ist. Stattdessen kommen piezoelektrisch angetriebene Endkantenklappen zum Einsatz, die durch das Ausschlagen nach oben oder unten die Verwindung des Rotorblattes hervorrufen.

Dieses Beispiel zeigt wieder, dass es für die Entwicklung von Leichtbaustrukturen zwar immer sehr interessant ist, sich vom Beispiel der Natur inspirieren zu lassen, eine ingenieurwissenschaftliche Vorgehensweise, die auch Randbedingungen wie Werkstoff- oder Fertigungskosten, Wartbarkeit oder Reparierbarkeit berücksichtigt, aber dennoch zu anderen Lösungen kommen kann. •

*Klaus Drechsler, Ingo Karb, Rainer Kehrle,
Volker Witzel*

DIE AUTOREN

PROF. DR.-ING. KLAUS DRECHSLER

hat an der Universität Stuttgart Luft- und Raumfahrttechnik studiert und am Institut für Flugzeugbau auf dem Gebiet „Neue Strukturkonzepte für Faserverbundwerkstoffe“ promoviert. Im Anschluss arbeitete er im Forschungslabor der EADS (vormals DaimlerChrysler-Forschung) in Ottobrunn als Leiter der „Prüf- und Verfahrenstechnik“ in vielen Projekten des Automobilbaus und des Flugzeugbaus mit dem Ziel kostengünstiger Bauweisen und Fertigungstechniken für Leichtbaustrukturen. Seit 2001 leitet er das Institut für Flugzeugbau an der Universität Stuttgart.



INGO KARB

hat an der Universität Kaiserslautern Maschinenbau studiert und ist derzeit wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Flugzeugbau. Er leitet das BMBF-Projekt BIOTEX, in dem Strukturkonzepte aus der Natur mit neuartigen Fertigungsverfahren, wie der Textiltechnik für Faserverbundwerkstoffe, kombiniert werden. Ziel ist die kostengünstige Herstellung von optimierten Leichtbaustrukturen.



RAINER KEHRLE

hat an der Universität Stuttgart Luft- und Raumfahrttechnik studiert und ist derzeit wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Flugzeugbau. Er leitet außerdem das Forschungsprojekt „Faltwaben-Sandwichstrukturen“ und ist Geschäftsführer der Spin-off Firma FOLDCORE.



VOLKER WITZEL

hat an der Universität Stuttgart Luft- und Raumfahrttechnik studiert und ist derzeit wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Flugzeugbau. Er leitet das europäische Projekt I-TOOL, in dessen Rahmen ein integriertes Simulationstool zur Berechnung textiltechnisch verstärkter Faserverbundwerkstoffe entwickelt wird.



Kontakt:

Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau, Pfaffenwaldring 31,
70569 Stuttgart, Tel. 0711/685-62411, Fax 0711/685-62449

E-Mail: sekretariat@ifb.uni-stuttgart.de, Internet: www.ifb.uni-stuttgart.de