

# Gebäude mit Carbontragstruktur

Für einen mobilen Pavillon für die Kunstinitiative «BMW Guggenheim Lab» wurde ein innovatives Konzept entwickelt: Die Tragstruktur besteht aus carbonfaserverstärktem Kunststoff, kurz CFK, einem Material, welches gewöhnlich in der Industrie und in der Luft- und Raumfahrt verwendet wird. Die speziellen Eigenschaften dieses Materials stellten die Projektverantwortlichen vor spannende Herausforderungen.



Der mobile Pavillon wurde in Carbonbauweise gebaut. Die Requisiten können an Motoren hochgezogen und heruntergelassen werden.

Für ihre Kunstinitiative «BMW Guggenheim Lab» wünschte sich die die Solomon Guggenheim Stiftung in New York einen Pavillon, der als mobiles Laboratorium in verschiedene Städte der Welt reisen sollte. Sie luden im Herbst 2010 die japanischen Architekten des Ateliers Bow Wow aus Tokio ein, diesen Pavillon zu entwickeln. Vorgabe war, dass er eine anpassungsfähige Infrastruktur bietet, in der Workshops, Ausstellungen, Fachvorträge, VIP-Einladungen oder auch Quartierfeste durchgeführt werden können. Als Eröffnungstermin stand der 1. August 2011 fest.

## Konzept mit Herausforderungen

Entstanden ist in dieser kurzen Zeit ein mobiler Pavillon in neuartiger Carbonbauweise, in welchem – ähnlich einer Theater-

bühne – die Requisiten an Motoren hochgezogen und heruntergelassen werden können. Das architektonische Konzept des Pavillons wurde im Dezember 2010 festgelegt. Dabei wurde erstmals die Idee diskutiert, dem Pavillon eine Tragstruktur aus Carbonfasern zugrunde zu legen. Im Rahmen eines zweitägigen Workshops im Januar 2011 in der Schweiz erhielten die Projektpartner eine Einführung ins Fachgebiet der Carbon-technologie. Statische Konzepte wurden diskutiert und nach und nach detailliert. Aufgrund der mobilen Charakteristik des Bauwerkes mussten die Projektbeteiligten mit dem für den Baubereich neuen Werkstoff Carbon konstruktive Lösungen suchen, welche gleichzeitig verschiedene nationale Gesetzgebungen erfüllen. Weiter mussten sie für die Hauptgewerke Lieferanten evalu-

ieren, welche in der Lage waren, innerhalb von knapp drei Monaten diese nicht alltägliche Tragstruktur zu produzieren und zu montieren.

## Tragstruktur in Carbonbauweise

Der Hauptpavillon besteht aus einem 8 m hohen Gebäude mit einem Grundriss von 30 m Länge und 6 m Breite. Die Tragstruktur des Labs besteht aus einem Raumfachwerk, welches auf sechs Stützen steht. Die grösstenteils auch quer belasteten Fachwerkstäbe sind in carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) ausgeführt. Die gekreuzten Verbände bestehen aus vorgespannten Stahlseilen. Die in Querrichtung biegesteif ausgeführten, bis zum Dach durchlaufenden Stützen sind aus sicherheitstechnischen Gründen als CFK-umhüllte Stahlstützen ausgebildet. In Längsrichtung sind die Stützen zum Boden hin mit Stahlseilen abgespannt. Quer sind sie biegesteif, als Vierendeelträger ausgeführt.

## Knoten statt Kleben

In einem modifizierten Wickelverfahren wurden die rechteckigen Fachwerkstäbe in CFK hergestellt. Die beiden Stabenden aus Stahl sind mittels Stahlstangen untereinander verspannt. So können die angeschweissten Laschen nicht nur Zug- und Druckkräfte, sondern auch Querkräfte aufnehmen. In der Industrie, Luft- und Raumfahrt werden Verbindungen zwischen CFK-Elementen meist mit sehr leistungsfähigen Klebeverbindungen realisiert. In der Bauindustrie sind eingeklebte Verbindungen hingegen unüblich und es war nicht möglich, dafür eine Genehmigung in der vorhandenen sehr kurzen Zeit zu bekommen. Auch sind die Toleranzen bei Klebeverbindungen extrem klein, daher müssen spezialisierte Fachleute dafür engagiert werden – was Klebeverbindungen sehr teuer macht. Da die quadratischen Formen sowieso nicht ideal waren für Klebeverbindungen und die Gewichts-optimierung bei der Konstruktion nicht entscheidend war, wurde darum auf Klebeverbindungen verzichtet. Durch die gegenseitige Vorspannung der in Stahl ausgeführten Endknoten der Stäbe wurde eine einfache mechanische Verbindung erreicht, ohne zusätzlich ungünstige Kräfte in den Carbonstab einzuleiten und das Carbon





Die CFK-Träger werden im Wickelverfahren produziert.

an den heiklen Endbereichen zu verletzen. Um örtliche Spannungsspitzen zu vermeiden, wurde der Spalt zwischen Carbonrohr und Stahlinsert mit einem speziellen Kleber verfüllt.

#### Richtungsabhängige Eigenschaften

Carbonfasern haben spezielle Eigenschaften in Bezug auf Festigkeit und Steifigkeit. In Längsrichtung sind beide Werte für Zug enorm hoch. Doch bereits bei Druck in Längsrichtung ist die Festigkeit der Fasern bereits wesentlich tiefer. In Querrichtung liegen die Werte noch niedriger: Während die Zugfestigkeit Werte von 3500–7000 N/mm<sup>2</sup> aufweist, erreicht die Querdruck-, Querkzug- und Schubfestigkeit der Faser gerade 1% bis 3% von diesen Werten. Die schlussendlich nutzbaren mechanischen Eigenschaften des Verbundbauteiles liegen je nach Schichtenaufbau und Kraftwirkung etwa 50% bis 95% tiefer als die eigentliche Zugfestigkeit der Carbonfaser. Dies liegt nicht nur am Gegensatz der Fasereigenschaften, sondern wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Die Harz- und Verarbeitungsqualität und die Umwelteinflüsse spielen eine Rolle, aber auch das Baumaterial selber: Zum einen liegt der maximale Faservolumengehalt bei nur rund 70%. Dadurch wird die Festigkeit um mindestens 30% reduziert. Zum anderen wird beim Laminieren als kleinste Einheit ein Faserbündel mit mehreren tausend Fasern, Fibrillen genannt, verwendet. Es ist mit keinem Produktionsverfahren möglich, die einzelnen Fibrillen so zu legen, dass alle parallel zueinander gestreckt im Laminat liegen. Dies hat zur Folge, dass beim Kräfteaufbau erste Fasern bereits reißen, bevor andere Fasern wirklich zu tragen beginnen.

#### Spannungen berechnen

Auch entstehen zwischen den einzelnen Lagen interlaminae Spannungen. Diese führen meist vor dem eigentlichen Faserbruch zu Zwischenfaserbruch und ist oft für das Versagen des Bauteiles verantwortlich. Und wenn sich beispielsweise die Wandung eines längsbeanspruchten Stabes in Querrichtung nicht frei verformen kann, führt dies zu grossen Querspannungen und ebenfalls zu einem frühzeitigen Bruch des Trägers. Dies kann den eigentlichen Tragwiderstand in Längsrichtung um weitere 50% reduzieren. Die meisten dieser Eigenschaften sind berechenbar, oder es können Abminderungsfaktoren eingesetzt werden. Die Berechnungen am BMW Guggenheim Lab wurden mit Klein- und Grossversuchen bestätigt. Eine gute Grundlage für die Dimensionierung bildet die BÜV-Empfehlung «Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen», welche allerdings stark auf glasfaserverstärkte Bauteile ausgerichtet ist. Das BMW Guggenheim Lab ist am 3. August 2011 erfolgreich eröffnet worden. Bis Mitte Oktober 2011 stand es in Manhattan, New York. Seit Mitte Mai 2012 steht es in Berlin und wird danach seine letzte Reise nach Mumbai antreten, wo es für weitere zwei Monate stehen wird.

#### CFK im Bauwesen

Das Projekt wurde von der internationalen Presse und Architekturszene gut aufgenommen. Mit der Entwicklung und neuartigen Anwendung der Carbonfaser-Technologie in der Bauindustrie ist bereits gelungen, wofür das BMW Guggenheim Lab einsteht - dass interdisziplinäre Teams neue Technologien diskutieren und Lösungen entwickeln. Das Projekt zeigte auch auf, dass eine intensive

Zusammenarbeit von Architekt und Ingenieur bereits im Entwurf entscheidend ist für ein erfolgreiches Resultat mit diesem doch etwas komplexen neuen Baustoff.

#### Erkenntnisse gewonnen

Mit dem Einsatz von CFK bei diesem experimentellen Bauwerk erhielten die projektbeteiligten Bauingenieure neue Erkenntnisse zu dessen Tragverhalten: Quer zur Faser ist CFK noch schwächer als befürchtet. Dennoch bedeuten die Resultate kein «no go» für den Einsatz von CFK im Hochbau. Im Gegenteil, die Umsetzung dieses Projektes zeigte, dass sich die Kosten der Carbonfasern in den letzten Jahren stark reduziert haben. Das Potential für den Einsatz von CFK im Hochbau steigt damit an. Der Werkstoff hat viele Vorteile: Ein kleines spezifisches Gewicht, eine geringe Korrosions- und Ermüdungsanfälligkeit und eine enorm kleine bis leicht negative Ausdehnung bei Temperaturerhöhung. Diese Eigenschaften können so im Hochbau vermehrt genutzt werden, nicht nur in der Tragwerksverstärkung wie heute üblich, sondern auch in vielfältigen Bereichen des Neubaus. Sinnvoll ist der Einsatz von CFK aber nur da, wo seine Vorteile auch tatsächlich zum Tragen kommen. Es ist wichtig, Lösungen wie Füge- oder Tragwerksformen aus der Industrie, Luft- und Raumfahrt für die Anwendung in der Bauindustrie genauestens zu studieren. Da sich aber einige Randbedingungen in der Bauindustrie sehr stark von denen aus anderen Industrien unterscheiden, ist es notwendig, vieles neu zu überdenken, damit sinnvolle Lösungen entstehen können. ☺

Josef Kurath, Prof. Dipl. Bauing. ETH/SIA  
ZHAW/Staubli, Kurath & Partner AG, Zürich  
Rebecca von Büren, Dipl. Bauing. FH  
Staubli, Kurath & Partner AG, Zürich

