Einsatz innovativer Materialien im Europäischen Bauwesen

Integrale Freiformtragwerke aus Faserverbundwerkstoffen

Durch den gleichzeitigen Einsatz von modernen Planungs- und Fertigungsmethoden und innovativen Materialien wurde mit der Freiform-Raumskulptur Virtual Tectonics 1 eine komplexe Geometrie höchster Präzision gefertigt. Als Symbol für die Einsatzmöglichkeiten von Faserverbundwerkstoffen (speziell von CFK und GFK) im Bauwesen stellen die während des Projektes gesammelten Erfahrungen eine wertvolle Grundlage für die Weiterentwicklung integraler Tragwerke aus Faserverbundstoffen im Bauwesen dar. Dabei wurden die hohen Anforderungen an Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Nachhaltigkeit erfüllt.

| Christian Böttcher, Henning Kaufmann, Julia-Elise Hoins, Arnd-Benedikt Willert-Klasing, Martin Kacza, Gunnar Merz

1

Axel Schmies

2

Aktuell erleben wir eine Renaissance der frühen Visionen [1] für die Verwendung faserverstärkter Kunststoffe als Tragwerke des Bauwesens. Während zum Beispiel in den Emiraten schon heute mit Faserverbundwerkstoffen im größeren Maßstab gebaut wird, ist der Einsatz in Europa noch auf Sonderfälle beschränkt. Die Gründe hierfür liegen in der geringen Erfahrung bei Planung und Genehmigung, im Brandschutz sowie insbesondere in den hohen Produktionskosten. Daher kann die Entwicklung von neuen Fertigungsmethoden als Schlüssel für den gewünschten Durchbruch im europäischen Bauwesen angesehen werden.

Wohl bekanntestes Zeugnis der frühen Arbeiten mit Kunststoffen im Bauwesen ist das Futuro-House [2]. Der 36m² große Rundbau wurde 1968 von dem finnischen Architekten Matti Suuronen entwickelt und in Serie produziert. Es besteht aus glasfaserverstärktem Polyester mit einer Dämmung aus Polyurethan und kann aufgrund seines geringen Gewichtes mit Transporthubschraubern auch in schwieriges Gelände gebracht werden. Seine Widerstandsfähigkeit beweist es als Aufenthaltsraum für Forscher in der Arktis und genießt einen Kultstatus als feste Referenz für das visionäre Bauen mit Faserverbundwerkstoffen.

Für integrale Tragwerke des modernen Bauwesens haben sich Faserverbundwerkstoffe wie zum Beispiel CFK aus den genannten Gründen noch nicht durchsetzen können. So ist es bei der Idee des 2002 von Peter Testa und Devyn Weiser vorgestellten Carbon Tower [3] geblieben. Heute wird beispielsweise an der Entwicklung von vereinfachten Herstellungsmethoden für Bauteile und Gebäude wieder verstärkt geforscht. So konnte an der Universität Stuttgart vor kurzem mittels eines computergesteuerten Roboterarms der 29m² Grundfläche überdeckende Forschungspavillon 2012 des ICD und ITKE [4] hergestellt werden. Dabei wurden mit Matrix bestrichene Fäden um eine Stahlunterkonstruktion gewickelt. Mit den sogenannten 3D-Druckern wird bereits der nächste große Schritt in der Verarbeitung von Faserverbundwerkstoffen vorbereitet. Nachdem die Technologie hierfür bereits im Bereich des Solid Prototyping in der Anwendung ist, werden bald auch Bauteile mit im Bauwesen relevanten Größenordnungen kostengünstig und mit hoher gleichbleibender Qualität hergestellt werden können. Dieser Artikel soll am Beispiel der Freiform-Raumskulptur Virtual Tectonics 1 über die in einer interdisziplinären Kooperation gewonnen Erkenntnisse über die Besonderheiten von Planung und Fertigung integraler Freiformtragwerke im Bauwesen berichten.

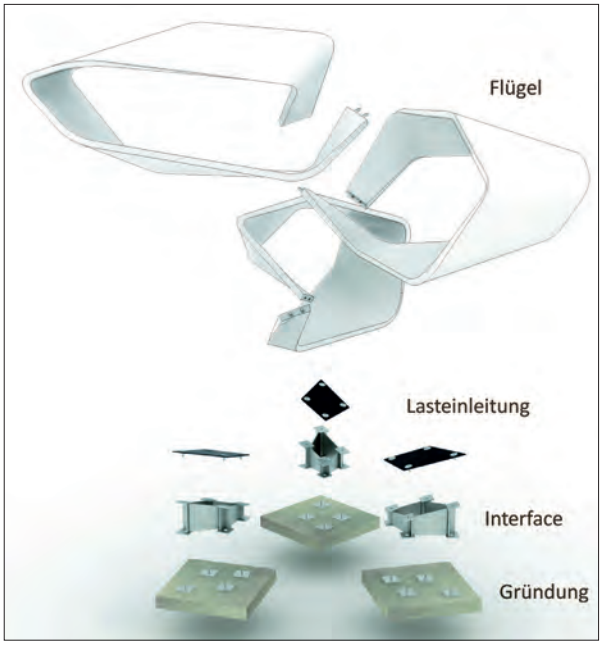
Idee und Architektur Virtual Tectonics

Die Freiform-Raumskulptur Virtual Tectonics 1 vom Hamburger Architekturbüro BAT ist in interdisziplinärer Zusammenarbeit entwickelt und realisiert worden. Die Skulptur soll Symbol für die besonderen Möglichkeiten des Einsatzes von Faserverbundwerkstoffen, speziell von CFK und GFK, im Bauwesen sein. Ziel ist es auch, die hohe Präzision der Bauweise aufzuzeigen. Entwurfsleitende Qualitäten für die abstrakte Freiform-Raumskulptur sind daher die hohe Festigkeit bei geringen Querschnitten, freie Formbarkeit und die glatte Oberflächen dieser Faserverbundwerkstoffe.

Die im Computer in Anlehnung an ein verknotetes Endlosband entwickelte Freiform-Geometrie erzeugt den Effekt, dass die 2,30m hohe Raumskulptur je nach Standort des Betrachters anders erscheint. Obwohl die Distanz zwischen den Auflagerpunkten nur 2,14m beträgt, spannt das verwundene Band in jedem der drei Flügel mit einer

Abb. 1: Entwurf der Skulptur Virtual Tectonics 1.

Abb. 2: Virtual Tectonics 1 auf der IBA in Hamburg 2013.



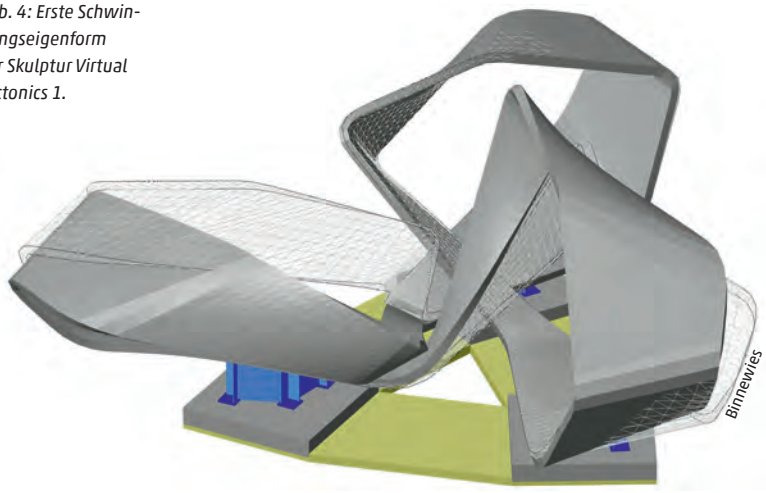
BAT / Binnewies

Abb. 3: Gliederung in primäre Bauelemente.

Länge von 11m frei. Die Dicke des primär als GFK-Sandwich hergestellten Bandes beträgt dabei an jeder Stelle nur 10cm. Entwurfsbestimmend war zusätzlich der Gedanke der Nachhaltigkeit. Virtual Tectonics 1 sollte nicht nur für den einmaligen bzw. zeitlich begrenzten Einsatz konzipiert werden, sondern universell für eine dauerhafte Aufstellung an unterschiedlichen Orten und auch im öffentlichen Raum geeignet sein. Dies war insbesondere bei Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sowie bei den Vorrüstungen für wiederholte Montage und Demontage auf geeignete Weise zu berücksichtigen.

Engineering

Die initiale Geometrie von Virtual Tectonics 1 war im digitalen Entwurfsprozess noch ohne genaue Kenntnis der verfügbaren Materialien, der bauaufsichtlichen und tragwerksplanerischen Erfordernisse, der Fertigungsmethode, der Fügestellen und der Gründungsverhältnisse



Binnewies

Abb. 4: Erste Schwingungseigenform der Skulptur Virtual Tectonics 1.

entwickelt worden. Die technische Bearbeitung erfolgte im Ingenieurbüro Dr. Binnewies, welches mit der Planung von Freiformtragwerken vertraut ist [9,10,11]. Angesichts des begrenzten Budgets und der unter anderem hieraus eingeschränkten Verfügbarkeit an Materialien galt es zunächst die Machbarkeit und Genehmigungsfähigkeit sicherzustellen und dabei die Bauteildicke unter ausgewogener Berücksichtigung der gestalterischen, der tragwerksplanerischen und fertigungstechnischen Anforderungen festzulegen. Insbesondere die geplante Aufstellung der Skulptur im öffentlichen Raum und die damit verbundene freie Zugänglichkeit für Personen erforderte eine Dimensionierung zugleich in statischer Hinsicht als auch gegenüber Wind- und Personeninduzierten Schwingungen. Standortspezifische Parameter wie Wind-, Schneelasten und Baugrundbedingungen waren dabei ebenso bestimmend wie der für Fertigung sowie für Montage und Demontage zur Verfügung stehende Zeitrahmen.

Zur Ermöglichung einer praxis- und sponsorengerechten Arbeitsteilung bei Planung, Fertigung und Montage wurde eine ingenieurmäßige Gliederung der Skulptur in vier primäre Bauelemente (Abb. 3) vorgenommen: Flügel, Lasteinleitung, Interfaces und Gründung.

Flügel

Aus Fertigungs- und Transportgründen ist die rotationssymmetrische Skulptur in drei identische Flügel aufgeteilt. Die mit einer konstanten Dicke von 100mm ausgeführten Flügel bestehen in den Regelbereichen aus einer Sandwichkonstruktion, welche aus einem mit 4,5mm dicken GFK-Laminat allseitig laminierten Hartschaumkern gefertigt ist. Die Stoßstellen zwischen den Flügeln sind beanspruchungsgerecht im Bereich der Rotationsachse angeordnet und mittels einlaminierter Stahlbauteile praktisch unsichtbar ausgeführt.

Lasteinleitung

An den Auflagerpunkten sind in das hier mit hochfestem Hartschaumkern ausgeführte GFK-Sandwich zusätzlich trapezförmige Verstärkungsplatten aus 10mm CFK integriert, die gleichzeitig der Aufnahme von jeweils vier Edelstahl-Gewindestangen M20 zur Verankerung dienen.

Interface

Die sogenannten Interfaces zwischen Gründung und Skulptur sind als geschweißte Stahlbaukonstruktion ausgeführt und dienen als kostengünstige und montagefreundliche Adapter zwischen den mit sehr großer Präzision gefertigten Flügeln und den Gründungsbauteilen aus Stahlbeton. Für die Bemessung der Interfaces war insbesondere die Sicherstellung einer definierten (Torsions-) Einspannung der Skulptur in die Gründung relevant.

Gründung

Die bei der IBA in Hamburg [8] ausgeführte Gründung besteht aus drei Stahlbeton-Einzelfundamenten (C20/25, d=30cm), welche sich durch eine zwischen den Fundamenten verdickt ausgeführte Sauberkeitsschicht gegen-

seitig auch gegen Torsionsverdrehungen sichern.Das definierte Zusammenspiel der primären Bauelemente war erforderlich, um eine hinreichende Einspannung der Skulptur im Bereich der Gründung zu gewährleisten. Nur auf diesem Wege konnten die Verformungen und Schwingungen der schlanken Skulptur auf ein auch gegen Vandalismus sicheres Maß begrenzt werden.

Fertigung

Bei der Auswahl des Fertigungsverfahrens für Faserverbundbauteile sind zugleich die Stückzahl identischer Bauteile, die Komplexität der Form und die Festigkeitsanforderungen geeignet zu berücksichtigen. Dabei reicht das Spektrum von geometrisch einfachen Formteilen, die in großer Stückzahl zu fertigen sind, bis hin zu großformatigen Bauteilen mit Freiformoberflächen, von denen nur jeweils ein Unikat benötigt wird. Virtual Tectonics 1 wies in diesem Kontext alle Merkmale eines besonderen Schwierigkeitsgrades auf: Unikatcharakter, großformatig, komplexe Geometrie, strakende Flächenführung und hohe Belastung. Unabdingbar war daher die konsistente Verwendung eines einheitlichen CAD-Modells bei allen Beteiligten, also die Umsetzung eines Digital Workflow. Für die Fertigung der Flügel konnte die Fa. Hahlbrock auf Erfahrungen aus vorangegangen Projek-

DR.-ING. SFI CHRISTIAN BÖTTCHER;
› Geschäftsführender Gesellschafter, Beratender Ingenieur, Prüfingenieur für Bautechnik, Ingenieurbüro Dr. Binnewies Ingenieurgesellschaft mbH

DR.-ING. HENNING KAUFMANN;
› Teamleiter, Ingenieurbüro Dr. Binnewies Ingenieurgesellschaft mbH

DIPL.-ING. (ARCH.) MSAAD JULIA-ELISE HOINS;
› Freischaffende Architektin, BAT Bureau for Advanced Tectonics

DIPL.-ING. (ARCH.) MAAD ARND-BENEDIKT WILLERT-KLASING;
› Freischaffender Architekt, BAT Bureau for Advanced Tectonics

DIPL.-ING. MARTIN KACZA;
› Leiter Konstruktion und Entwicklung, Hahlbrock GmbH – Faserverstärkte Kunststoffe

› DR. RER NAT GUNNAR MERZ;
Geschäftsführender Vorstandsvorsitzender CFK-Valley Stade

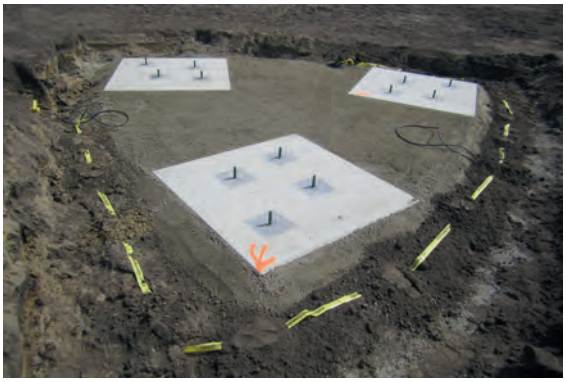
Anzeige

Hahlbrock

Abb. 5: Herstellung eines Sandwichkerns mittels CNC-Fräsmaschine.

Hahlbrock

Abb. 6: Flügel mit eingebettetem Lasteinleitungselement vor dem Flächenfinish und Lackieren.



Hahlbrock

Abb. 7: Fertiggestellte Gründung bei der IBA in Hamburg.

Hahlbrock

Abb. 8: Erstmalige Montage bei der IBA in Hamburg.

› Ein interdisziplinäres Kooperationsprojekt

Das Architekturbüro „BAT Bureau for Advanced Tectonics" (Hamburg) hat in interdisziplinärer Kooperation mit dem Ingenieurbüro Dr. Binnewies (Hamburg), der Firma Hahlbrock (Wunstorf), der Firma Öllerich (Stade), der Firma Möbius (Barsbüttel), der Firma IDS (Hamburg) und dem Netzwerk des CFK Valley (Stade) die Raumskulptur Virtual Tectonics 1 entwickelt und realisiert. 20 weitere Sponsoren haben mit ihrem Engagement das Projekt unterstützt und begleitetet. Im Sommer 2013 wurde die Skulptur auf der Internationalen Gartenschau (IGS) und Internationalen Bauausstellung (IBA) in Hamburg erstmalig der Öffentlichkeit präsentiert.

ten zurückgreifen. Die Fertigung erfolgte daher in einem Verfahren, in dem quasi von innen nach außen zur späteren Sichtfläche hin gearbeitet wird. Somit konnte auf die zeitaufwendige Herstellung klassischer Formwerkzeuge verzichtet werden. Die globale Formgebung erfolgte durch untermassiges Fräsen von Sandwichkernen aus einem PVC-Hartschaumstoff, der zunächst durch Schichtung zu 200mm dicken Rohblöcken verklebt worden war. Abb. 5 zeigt die NC-Fräsbearbeitung eines von sechs Sandwichkernelementen, aus denen jeweils ein Flügel zusammengesetzt wurde. Diese Kernelemente bestehen aus mehreren, wegen der starken Flügelkrümmung verdreht angeordneten Einzelblöcken. Ein konturfolgendes Gerüst aus individuell gefrästen Holzspanten gab dabei die inneren und äußeren Stützflächen der Kernelemente auf dem Tisch der CNC-Fräsmaschine vor und generierte die Referenz zwischen Fräsmaschine und CAD-Modell. Das lokale Untermaß in den Schaumstoffkernen, welches die Dicke des nachfolgend aufzubringenden GFK-Laminats berücksichtigt sowie die verschiedenen Taschen für Einbauteile und Laminatverstärkungen wurden ebenfalls basierend auf dem globalen CAD-Modell erstellt. Dies war speziell für den Einbau der von außen unsichtbaren Flügelverriegelungen erforderlich, weil diese der lokalen Verdrillung der Form folgend raumschief im Sandwichkern sehr genau platziert werden mussten. Anderenfalls wäre eine hinreichend fluchtende Montage der Flügel untereinander und auch zum Interface später nicht möglich gewesen. Im Bereich der Auflagerung auf den sogenannten Interfaces wurde auf die gleiche Weise eine hochsteife CFK-Platte im Inneren des Sandwichkerns eingebettet. Lediglich die vier Gewindestangen aus Edelstahl, die aus der Unterseite jedes Flügels herausragen, lassen die Lage des integrierten Lasteinleitungselementes erkennen. Der Aufbau des statisch tragenden GFK-Laminats zum Sandwich erfolgte im Handlaminierverfahren. Dabei wurden verschiedene

Glasfaser-Multiaxialgelege mit einem UP-Harz zunächst auf einer Seite der Flügel aufgetragen, dabei aber bereits auf die ca. 90mm breiten Flanken des Sandwichkerns herumgezogen. Abb. 6 zeigt einen Flügel nach der Entnahme aus dem konturfolgenden Spanten-Gerüst. Auf die gleiche Weise wurde die gegenüberliegende Fläche nach dem Wenden der Schaumstoffkerne überlaminiert, wobei der Flügel wiederum in einem dazu korrespondierenden Spanten-Gerüst gebettet war. Das eigentliche Flächenfinish bestand aus einem mehrfach wiederholten Auftrag von Spachtel und Füller mit Zwischenschliffen sowie einer mehrschichtigen Endlackierung. Die erste Montage der drei Flügel auf dem Gelände der IBA in Hamburg war ein spannender Moment. Unter anderem weil das Zusammenführen der Flügel zu einem geschlossenen Band letztlich keine eindeutige Fügerichtung aufweist. Gleichzeitig hatte das Einsetzen der raumschief ausgerichteten Gewindestangen in die Interfaces zu erfolgen, die wiederum durch Bolzen der Ankerplatten in der Betongründung festgelegt waren (Abb. 7).

Nicht zuletzt dank des geringen Gewichtes der drei Flügel sowie aufgrund der ingenieurmäßig durchdachten und hochpräzise gefertigten Fügestellen konnte schon die erste Montage und später auch die erste Demontage unproblematisch und ohne Beschädigungen erfolgen (Abb. 8).

Zusammenfassung

Die Freiform-Raumskulptur Virtual Tectonics 1 ist ein nachhaltiges Beispiel für den interdisziplinären Einsatz innovativer Materialien sowie moderner Planungs- und Fertigungsmethoden. Die während des Projektes gesammelten Erfahrungen stellen eine wertvolle Grundlage für die Weiterentwicklung integraler Tragwerke aus Faserverbundwerkstoffen im Bauwesen dar.

Abschließend sei allen Freunden, Förderern und Projektbeteiligten für die ausgesprochen angenehme Zusammenarbeit sehr herzlich gedankt. ‹

Literatur

[1] Genzel, E.; Voigt, P.: Kunststoffbauten – Teil 1: Die Pioniere. Bauhaus Universitätsverlag 2005
[2] Schröder, B.: http://www.heise.de/tp/artikel/21/21070/1.html
[3] Elvin, G.: http://www2.arch.uiuc.edu/elvin/carbontower.html
[4] La Magna, R.; Reichert, S.; Schwinn, T.; Waimer, F.; Knippers, J.; Menges, A: Carbon und Glasfaser – vom Roboter gewickelt. Deutsches Ingenieurblatt 5 – 2013
[5] Engelhardt, M: Einsatz von Faserverbundwerkstoffen in Architektur und Bauwesen. Innovation Report Ausgabe 2-2013, S. 53-56
[6] Gefroi, C: Raumskulptur aus Composite-Material. Deutsches Architektenblatt Ausgabe 09-2013, S. DABregional 9
[7] Hoins, J; Willert-Klasing, A-B: Why hasn't everything already disappeared – Hintergrund von Virtual Tectonics 1. Vortrag beim Innovation Day IBA Spezial, 2013
[8] Hoins, J; Willert-Klasing, A-B: In 80 Gärten um die Welt - Das offizielle Buch der igs 2013, S.280-281
[9] Böttcher, C.; Frenz, M.; Kaufmann, H: Neubau der Zayed University Abu Dhabi. VDI-Bautechnik Jahresausgabe 2011/2012, S. 37-50
[10] Böttcher, C.; Frenz, M.: Iconic Campus of the Zayed University Abu Dhabi. Steel Construction Volume 5, Issue 2, pages 108-116, June 2012
[11] Böttcher, C.: Herausforderung Freie Form - Innovative Methoden und Materialen. Vortrag beim Innovation Day IBA Spezial, 2013

Flexibilität durch HVI®power-System

Freistehende Fangeinrichtung für Blitzschutz mit hochspannungsfester Leitung

- Individuell konfigurierbar für die zu erwartende Windlast
- Unabhängig von vorhandenen Dachaufbauten installierbar
- Keine Berücksichtigung von Trennungsabständen erforderlich
- Große Schutzbereiche durch Fangmasthöhen bis max. 7,5 m
- Einfache, zeitsparende Montage im Stativ durch seitliche Leitungsausführung

Für mehr Informationen:
www.dehn.de/anz/2367

Besuchen Sie uns auf der intersolar EUROPE
in München, Halle A3 / Stand A3.240

DEHN schützt.®
Überspannungsschutz, Blitzschutz / Erdung, Arbeitsschutz

DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG.
Postfach 1640, 92306 Neumarkt
Tel. +49 9181 906-1123, info@dehn.de