Gewickelter Faserverbundpavillon

Autor(en): **Hübener, Simone**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **139 (2013)**

Heft 15-16: **Wenn Roboter Bauen**

PDF erstellt am: **02.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-323694

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

GEWICKELTER FASERVERBUNDPAVILLON

Für den neuen Forschungspavillon der Fakultät für Architektur und Stadtplanung der Universität Stuttgart stand das Aussenskelett des Hummers Pate. Per Industrieroboter wurden harzgetränkte Glas- und Kohlefasern auf ein Montagegerüst gewickelt. So entstand ein filigraner kleiner Bau, der die hohe Festigkeit, das geringe Gewicht und die Langlebigkeit des Faserverbunds nutzt. Für die Forschenden ist er ein Zwischenschritt hin zu grösseren Projekten.

Wie bereits beim letzten – vom Seeigel inspirierten – modularen Pavillon (vgl. TEC21 40/2011) diente den Studierenden der Universität Stuttgart auch im Studienjahr 2011/2012 die tierische Unterwasserwelt als Vorbild. Dieses Mal realisierten die Nachwuchsforscher jedoch mithilfe eines Industrieroboters einen leichten und dennoch stabilen Pavillon aus Glas- und Kohlenstofffasern. Sie nutzten dabei gezielt Freiheiten, die die Fasereigenschaften bieten.

VON DER NATUR LERNEN

Das Aussenskelett des Hummers (Homarus americanus), auch Cuticula genannt, weist trotz einem einheitlichen Material sehr unterschiedliche Eigenschaften auf. So gibt es einen weicheren Teil, die Endocuticula, und einen harten, als Exocuticula bezeichnet. Je nach Lage und Ausrichtung der Fasern innerhalb der Proteinmatrix entstehen die unterschiedlich belastbaren Bereiche. Dabei sind die Fasern – beim Hummer aus Chitin – schichtweise in die Matrix eingelagert und bilden unidirektionale Einzelschichten. Dort, wo die Lasten gleichmässig in alle Richtungen abgetragen werden müssen, liegen die einzelnen Schichten versetzt übereinander. Bei gerichteter Beanspruchung sind sie dagegen immer in gleicher Richtung übereinander angeordnet. Dieses morphologische Prinzip diente den Studierenden und wissenschaftlichen Mitarbeitern als Basis für die Formfindung, die Materialauslegung und den Herstellungsprozess ihres Pavillons. Am fertigen Bauwerk zeigt sich das unter anderem darin, dass 80 bis 90 % der Kohlenstofffasern tragen und die Kräfte direkt in die Auflager führen. Die restlichen Fasern haben raumbildende Funktion.

MINIMALE POSITIVFORM

Von Beginn an stand fest, dass der Forschungsbau dieses Mal mit Glas- und Kohlenstofffasern realisiert werden sollte. Bauteile aus diesen Materialien wiegen wenig, sind dauerhaft und eignen sich deshalb für solche Konstruktionen. Bisher setzt man sie allerdings meist in Form von vorgefertigten Profilen ein (vgl. Fussgängerbrücke in Winterthur, TEC21 3-4/2010; BMW-Guggenheim-Labs, TEC21 40/2011). Die Fasern allein werden bislang selten als Baumaterial verwendet, weil dafür aufwendige Positivformen gebaut werden müssen, die bereits selbst als Gebäude dienen könnten.
Hier setzt das Forschungsprojekt der Universität Stuttgart an und versucht, den Aufwand für die Formen zu minimieren: Die Projektbeteiligten entwickelten ein System, bei dem die Glas- und Kohlenstofffasern nur an bestimmten Punkten im Raum abgelegt werden müssen. So ist auch nur an diesen Stellen eine unterstützende Hilfskonstruktion nötig. Dazwischen spannen die einzelnen Fasern linear, ergeben als Geradenschar aber dennoch hyperbolisch paraboloide Flächen.

AM PROJEKT BETEILIGTE

Projektteam: Institut für Computerbasiertes Entwerfen (ICD), Prof. Achim Menges; Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE), Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers
Konzeptentwicklung: Manuel Scholz, Jakob Weigele
Systementwicklung und Realisierung: Sarah Haase, Markus Mittner, Josephine Ross, Manuel Schloz, Jonas Unger, Simone Vielhuber, Franziska Weidemann, Jakob Weigele, Natthida Wiwatwicha mit Unterstützung von Michael Preisack und Michael Tondera (Fakultätswerkstatt Architektur)
Wissenschaftliche Entwicklung und Projektleitung: Riccardo La Magna (Tragwerksplanung), Steffen Reichert (Konstruktion), Tobias Schwinn (Robotische Fertigung), Frédéric Waimer (Faserverbundtechnologie und Tragwerksplanung)
Zusammenarbeit: Institut für Evolution und Ökologie, Fachbereich Evolutionsbiologie der Invertebraten, Universität Tübingen, Prof. Oliver Betz
Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Fachbereich Invertebraten-Paläontologie, Universität Tübingen, Prof. James Nebelsick

01

VON DER FASER ZUR SCHALE

Ein einfacher Stahlrahmen mit hölzernen, kammartig strukturierten Elementen diente als Hilfskonstruktion. Zwischen den Kammzinken brachte der Roboter zuerst zahlreiche Glasfasern ein. Darüber wurden im Folgenden weitere transluzente Glas- und die statisch wirksamen schwarzen Kohlenstofffasern gelegt. Diese bilden in Form von fünf gebogenen Rippen und einem Druckring im Dach, über den sie miteinander verbunden sind, das Tragwerk des Pavillons. Bei der Fertigung musste darauf geachtet werden, dass die Fasern immer gleichmässig und konstant vorgespannt sind, da sonst die Einschnürung unterschiedlich tief geworden wäre. Vor dem Wickeln wurden die Fasern durch ein eigens entwickeltes Tauchbad geführt, wo sie mit Epoxidharz getränkt wurden und das überschüssige Harz abgestreift wurde. Nachdem der Faser-Harz-Verbund bei 60 °C getempert worden war und sich dadurch zu einem Laminat verbunden hatte, konnte das Hilfsgerüst zerlegt und entnommen werden. Aus den insgesamt 62 km langen Fasern, davon rund 14 km Kohlenstofffasern, entstand so ein tragfähiger Pavillon mit einem Durchmesser von 8 m und einer Höhe von 3.5 m, dessen «Schale» nur 4 mm dick ist.

Leider gelang das Laminieren beim realisierten Pavillon, dem ersten 1:1-Versuch, nicht überall perfekt, sodass seine Belastbarkeit nicht den maximal möglichen Wert erreicht hat. Standsicher ist er aber. Bevor er «gewickelt» werden konnte, musste eine offizielle Genehmigung für die Errichtung eines temporären Bauwerks eingeholt werden.

01 Der fünfeckige selbsttragende ICD/ITKE-Forschungspavillon 2012 der Universität Stuttgart besteht aus raumbildenden transluzenten Glasfasern und tragenden Kohlenstofffasern. Bei einem Durchmesser von 8 m und 3.5 m Höhe wiegt die Konstruktion ca. 320 kg. (Foto: ICD/ITKE, Universität Stuttgart)

SELBST PROGRAMMIERTE ROBOTERSTEUERUNG

Die Voraussetzung für den Entwurf, die Planung und die Realisierung des Pavillons in nur einem Jahr war die Entwicklung einer geschlossenen digitalen Kette vom Entwurfsmodell über Finite-Elemente-Simulationen und Materialversuche bis hin zur Ansteuerung des Roboters. Dadurch liessen sich auch verschiedene Varianten testen und analysieren –

02 Der nach dem Prinzip des Hummeraussenskeletts aufgebaute Protoyp macht den strukturellen Aufbau aus epoxidharzgetränkten Glas- und Kohlefasern erfassbar. **03** Durch sechs verschiedene Wickelsequenzen variieren der Schichtaufbau und die Faserorientierungen der einzelnen Lagen an jedem Punkt der Schale und sind auf minimalen Materialverbrauch bei grösstmöglicher Steifigkeit und maximale Materialausnutzung ausgelegt. **04** Die kammartige Ausformung der Gerüstkanten ermöglichte das punktgenaue Ablegen der über Kreuz gewickelten Fasern im Raum. (Fotos 02–04: ICD/ITKE, Universität Stuttgart) **05–06** Ein sechsachsiger Industrieroboter wickelte 62 km epoxidharzgetränkte Glas- und Kohlefasern auf ein Stahlgerüst, das auf einer externen siebten Achse gedreht wurde. Nach dem Aushärten des Epoxidharzes konnte das Gerüst entfernt werden. (Foto: Roland Halbe)

teilweise unter Zuhilfenahme von 1:5-Modellen –, um am Ende die effizienteste zu realisieren. «Effizient» steht in diesem Fall für minimalen Materialverbrauch, grösstmögliche Steifigkeit und maximale Materialausnutzung.
Als alle Parameter festgelegt waren, musste die passende Ansteuerung des Roboters programmiert werden, da ein derartiges Produkt auf dem Markt nicht erhältlich war. Der Ablauf setzte sich aus sechs Wickelsequenzen zusammen, die im Schichtaufbau und in der Faserorientierung variieren. Dadurch entstehen beispielsweise die geschlossenen und offenen Seiten des Pavillons. Mit nur wenigen Veränderungen im Code könnten künftig auch Varianten mit mehr oder weniger offenen Seiten realisiert werden.

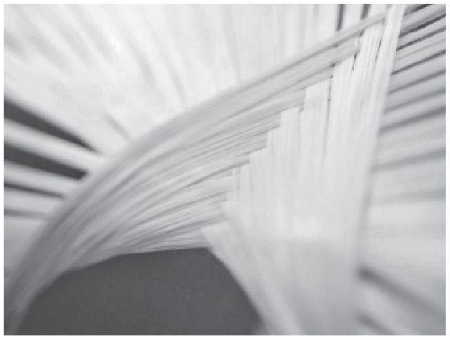
ROBOTISCHE FERTIGUNG VOR ORT

Während im vergangenen Jahr die Einzelteile des Pavillons in der Werkstatt gebaut und dann vor Ort montiert wurden, wickelte ein 1.2 t schwerer Industrieroboter den aktuellen Pavillon in einem eigens dafür errichteten Montagezelt unmittelbar neben dem endgültigen Aufstellort. Der Roboter selbst wurde dafür auf eine 2 m hohe Basis montiert, wodurch seine Reichweite von 3.9 m optimal genutzt werden konnte. Zusätzlich bekam er eine siebte, externe Achse, mit deren Hilfe das Gerüst langsam im Kreis gedreht wurde. Und so wickelte er unter ständiger Beobachtung tagsüber insgesamt 130 Stunden lang Faser um Faser auf die Positivform. Die Nachtstunden wurden genutzt, um die Struktur härten zu lassen. So entstand ein Pavillon, den die Projektbeteiligten als erstes robotisch gewickeltes Bauwerk bezeichnen und an dem die Analogien zum Hummer gut abzulesen sind: Die schwarzen Rippen des Pavillons entsprechen der steifen Exocuticula, wohingegen die weissen Bereiche des Pavillons weich sind wie die Endocuticula des Tiers.

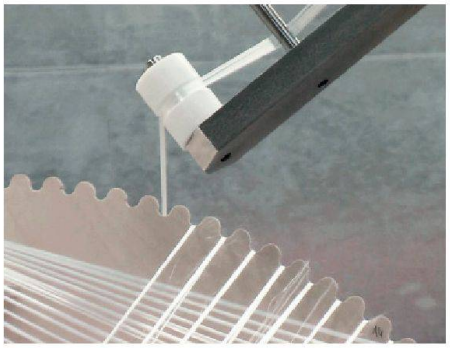
WIE KANN ES NUN WEITERGEHEN?

Die Arbeit mit einem Roboter und einer vorgefertigten Form, für die möglichst wenig Material verwendet wird, ist zwar im Vergleich zu den in anderen Bereichen üblichen Positivformen für das Bauwesen schon ein grosser Fortschritt. Doch auch mit diesem Konstruktionsprinzip

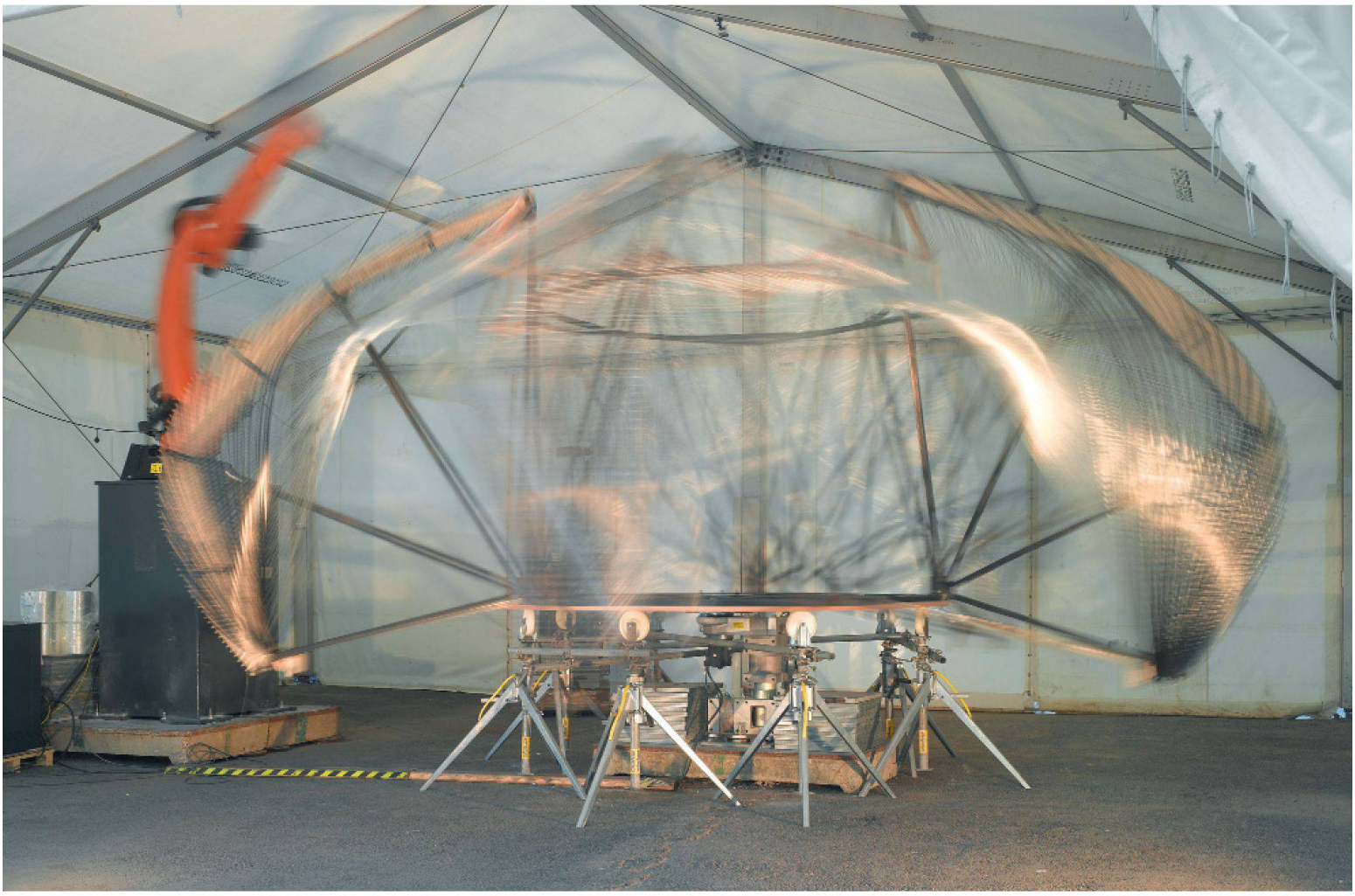
02



03



04



05

06

stösst man bei der Realisierung grösserer Gebäude schnell an die Grenzen des (wirtschaftlich) Machbaren. Deshalb sehen die Projektbeteiligten nun zwei Möglichkeiten, dieses Prinzip weiterzuentwickeln und die Verwendung von Glas- und Kohlenstofffasern in Architektur und Ingenieurbau voranzubringen. Entweder bedarf es eines Roboters, der um das entstehende Bauwerk herumfährt und nicht mehr fest an einem Platz steht. Oder man bewegt sich in Richtung der Vorfertigung von Elementen, sodass die Einzelteile analog zu anderen Bauweisen vor Ort nur noch zusammengebaut werden müssen. Dabei taucht die Frage auf, wie sich Verbindungen mit den bislang verwendeten Materialien realisieren lassen. Sobald es darauf eine Antwort gibt, sind beispielsweise Stadiondächer aus Glas- und Kohlenstofffasern denkbar. Damit die Zuschauer nicht in der Sonne oder im Regen sitzen müssen, könnte die Tragkonstruktionen als Faserverbund zwischen zwei abdichtende Ebenen eingebracht werden.

Simone Hübener, Architekturjournalistin und Publizistin; info@simonehuebener.de