

ZipShape – Biegen ohne Formlehren II

Christoph Schindler
Margarita Salmerón Espinosa
Architekten / Möbelarchitekten
schindlersalmerón, Zürich

www.schindlersalmeron.com

«Dem Projekt «ZipShape» liegt die Absicht zugrunde, ein Verfahren für beliebige Plattenmaterialien zu entwickeln, mit dem es ohne Formlehren möglich ist, einseitig gekrümmte Flächen herzustellen» so lautete die erste Feststellung eines Beitrags im Bulletin Holzforschung Schweiz im Juni 2007¹. Im Gegensatz dazu stellt der vorliegende Beitrag das ZipShape-Prinzip als einen spezifischen Verbundwerkstoff vor, der verschiedene Materialien und ihre Eigenschaften kombiniert. Denn zwischenzeitlich fand ein Paradigmenwechsel statt: von einem abstrakten geometrischen Konzept zur Erfahrung der untrennbaren Verbindung von Form und Materialverhalten. Dieser zweite Schritt der ZipShape-Forschung wurde vom Möbelhersteller schindlersalmerón in Zürich initiiert und in Zusammenarbeit mit der Fachschule für Holztechnik Hamburg, dem CITA an der Royal Academy of the Fine Arts in Kopenhagen, der Berner Fachhochschule BFH-AHB in Biel und der Detmolder Schule für Architektur und Innenarchitektur entwickelt.

Der vorliegende Text ist eine leicht überarbeitete Übersetzung der Erstveröffentlichung:

Schindler, Christoph und
Salmerón Espinosa, Margarita.

**ZipShape Mouldless Bending II –
A Shift from Geometry to Experience.**
in: Respecting Fragile Places [29th eCAA-
De Conference Proceedings], Ljubljana
21.–24. September 2011, S. 477–484

Die Frage nach der Herstellung von gekrümmten Formen aus ebenen Materialien hat besonders seit dem 20. Jahrhundert viele Architekten, Gestalter und Ingenieure herausgefordert. Mit der Ergänzung industrieller Serienproduktion durch individuelle digitale Fertigung um die Jahrtausendwende wurde es verlockend, gekrümmte Formen sogar ohne Formlehren herzustellen.

Die ZipShape-Methode, erstmals 2006 auf einer Bahnfahrt skizziert, basiert auf einer einfachen geometrischen Idee. Ein Formstück besteht aus zwei Platten, die so gezinkt werden, dass sie nur in der gewünschten Krümmung zusammenpassen. Die Krümmung ist durch die Unterschiede der Winkel an den Zinkenflanken definiert. Nach dem Zusammenfügen gibt es weder Hohlräume noch Öffnungen im Volumen des Formstücks. Dies unterscheidet das Verfahren von Methoden mit regelmässiger Schlitzung (wie Glunz' «Topan MDF Form»², Daniel Michaliks «Cortiça» Liege³ oder Christian Kuhns und Serge Lunins «Dukta»⁴) und von Konzepten, die das Biegen von Blech in eine vorbestimmte Geometrie erlauben (wie Florian Tschachers «La Chaise»⁵ oder ROKs «Flat2Form»⁶).

¹ Schindler, Christoph. ZipShape – Gekrümmte Formstücke aus zwei ebenen Platten durch geometrisch variables Verzinken. in: Bulletin Holzforschung, 15. Jg, Heft 1, SAH Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung, Dübendorf 2007, S. 9–11

² <http://www.glunz.de>

³ <http://www.danielmichalik.com>, vgl. Reis, Dalcacio und Wiedemann, Julius (Hrsg.). Product Design in the Sustainable Era. Taschen, Köln 2010, S. 133–133

⁴ <http://www.dukta.com>, vgl. Sauer, Christiane.

Flexibles Holz. in: md, 01/2010, Konradin Verlag, Leinfelden-Echterdingen 2010, S. 70–71.

⁵ Steffen, Dagmar (Hrsg.). C_Moebel:

digitale Machart und gestalterische Eigenart,

Anabas-Verlag, Frankfurt a. M. 2003, S. 178

⁶ <http://www.rokarch.com>, vgl. Hensel, Michael; Kraft, Sabine und Menges, Achim.

Simple Systems, Complex Capacities – Die Ergebnisse des ARCH+ Wettbewerbs. in: ARCH+, 196/197, ARCH+ Verlag, Aachen 2009, S. 2–5.

⁷ Stevens, W.C. und Turner, N.

Wood Bending Handbook. Ministry of Technology, Her Majesty's Stationary Office, London 1970.

Taylor, Zachary. Wood Bender's Handbook, Guild of Master Craftsmen, Sterling, New York 2001.

Mit seinen repetitiven, aber individuellen Details ist ZipShape prädestiniert für das sogenannte «Generative Modellieren». Aus jeder beliebigen Ausgangskurve kann ein parametrisches Modell die entsprechende Detaillierung ableiten. Alle Details sind parametrisch erfasst und daher jederzeit anpassbar.

Kern unserer Fertigungsstrategie für die ZipShape-Platten ist entweder eine 5-achsige Fräse (Sägeblatt für die Zinkenflanken, Flat-Nose-Fräser für den Zinkenrund) oder eine 3-achsige Fräse mit Parallel Finishing rechtwinklig zur Zinkenrichtung. Trotz der Schönheit von ZipShapes konstruktiver Logik sind beide Methoden zeitintensiv. Da die Krümmung durch die Geometrie der Zinken definiert ist, kann die während des Austrocknens des Klebstoffs üblicherweise benutzte Formlehre hier durch einen Vakuumsack ersetzt werden – der Vakuumsack wird so zu einer «flexiblen Formlehre».

Vom Allgemeinen zum Spezifischen

Als wir über das zu verwendende Material nachdachten, kamen wir schnell auf den Werkstoff Holz. Wir wussten, dass die Schneiden der Fräse, die wir für die Fertigung in Erwägung zogen, gut mit der leichten Spanbarkeit von Holz zurechtkamen. Es gelang uns, einige gezinkte Platten aus MDF, Sperrholz und stabverleimtem Massivholz bis zu einem Radius zu krümmen, der dem 5- bis 20fachen der Materialstärke entspricht (wobei allerdings die engeren dieser Radien stark zum Brechen neigten). Dies ist dennoch beeindruckend, wenn man bedenkt, dass beim Kaltbiegen von Holz üblicherweise nur ein Radius vom 50fachen der Materialstärke zu erreichen ist⁷.

Ein besonders imposanter Prototyp gelang uns mit dem «Ziprocker» während eines Kurses an der Fachschule für Holztechnik. Indem zwei Deckschichten aus Laubholzurnier (Kirsche oder Nussbaum) auf eine Nadelholz-Mittellage aus Fichte geleimt wurden, konnten wir durch diese zusätzliche Festigkeit einen Radius vom 5fachen der Materialstärke erreichen und dennoch die Tragfähigkeit des Schau-

Räumliches Verformen

kelstuhls gewährleisten. Damit weckten wir das öffentliche Interesse und bekamen eine Reihe von Auszeichnungen⁸, doch bei genauerer Untersuchung war die Ausführungsqualität noch unbefriedigend: Die Platten bogen sich nur zwischen den Zinken, was den Oberflächen ein polygonales Aussehen verlieh. Die engen Radien überbeanspruchten die Holzfasern an den Oberflächen. An den Aussenseiten der Kurven tendierten die Furniere zu Haarrissen, während sie sich an den Innenseiten warfen. Zudem war für das Kaltbiegen der Platten der körperliche Einsatz von drei Personen notwendig. Nichtsdestotrotz war diese Kraft nicht immer ausreichend, um die zwei Platten fugenlos miteinander zu verzinken. Ausserdem stellte sich heraus, dass das parametrische Modell nicht präzise genug war, da die Krümmung der fertigen Formstücke nicht genau den Ausgangskurven entsprachen⁹.



«Recoflex» ist ein Verbundwerkstoff aus Holz-, Kork- und Latexpartikeln. Er ist ziemlich elastisch, wird aber steif, sobald Furniere aufgeleimt sind. ETH RAPLAB, Zürich, Juli 2010.

Ein Jahr später wurden wir eingeladen, einen Workshop über digitale Holzverbindungen mit dem «DigitalCrafting Network» am CITA¹⁰ zu leiten. Da die Definition der Geometrie von der Form der Zinken abhängig ist und diese die Holzeigenschaften nicht nutzen, begannen wir die Experimente mit extrudiertem Polystyrol-Hartschaum (XPS), den wir mit vorhandenen Einrichtungen auf dem Campus bearbeiten konnten. Holz war für eine zweite Phase vorgesehen, in der wir Trag- und Biegeverhalten und den zeitaufwendigen Verklebungsprozess mit dem Vakuumsack untersuchen wollten – aber die Experimente mit der Geometrie von ZipShape nahmen uns so in Anspruch, dass wir es innerhalb der drei Workshop-tage nicht bis zur zweiten Phase schaffen: Auch wenn die Teilnehmenden Anlass hatten, das «Holz» im Workshop-Titel in Frage zu stellen, waren wir fasziniert von der Fertigungsgeschwindigkeit und besonders der Leichtigkeit, mit der Schaum ohne Vakuumsack gebogen und verleimt werden kann.

Neue Verbundwerkstoffe

Nachdem wir beobachtet hatten, dass das gleiche Konstruktionsprinzip sich so unterschiedlich mit einem anderen Material verhielt, entschieden wir uns, den universellen Status von ZipShape

aufzugeben und betrachteten Materialentscheidungen als Teil des Prinzips.

Wir zogen den Schluss, dass der zinkenförmige Querschnitt einer ZipShape-Platte aus zwei unterschiedlichen Bereichen bestehen müsste – den Zinken und der dünnen Schicht, die sie zusammenhält. Die Zinken sollten elastisch und dennoch druckresistent sein, um die Geometrie definieren zu können, während die verbindenden Schichten dem Zug widerstehen und gleichzeitig biegsam sein müssen – ein Anforderungsprofil wie geschaffen für die Faserstruktur des Holzes und seine anisotropen Eigenschaften.

Holz-Kork-Latex-Verbund und Furnier

Da uns Polystyrol ungeeignet für visuell und haptisch attraktive Gestaltung schien, suchten wir nach Holzwerkstoffen mit ähnlichen Eigenschaften und fanden

⁸ holz 21 2007, Design Plus Material Vision 2007, iF Material Award 2008, M Technology Award 2008 SILVER, Holz bewegt 2011

⁹ Aimer, Robert. Zipshape: Ein innovatives Verfahren zum Herstellen von gebogenen Bauteilen ohne Vorrichtungen für die Verleimung – Analyse von Ungenauigkeiten bei der Fertigung eines Zipshape-Möbels, Facharbeit Holztechniker, Fachschule für Holztechnik, Hamburg 2009.

¹⁰ CITA: Center for Information Technology and Architecture, Royal Danish Academy of Fine Arts, <http://www.digitalcrafting.dk>



Der «Ziprocker», entwickelt mit R. Aimer, K. von Felde, O. Illner, S. Rehders, T. Schütt und H. Wolf, ist ein auskragender Schaukelstuhl mit einer Gesamtmaterialstärke von 30 mm, zusammengesetzt aus einer Fichten-Mittellage mit Nussbaumfurnier-Deckschichten. Die Form wurde von einem Autositz abgeleitet. Fachschule für Holztechnik Hamburg, Januar 2009. Bild: Kyeni Mbiti

Räumliches Verformen

ein Produkt namens «Recoflex»: ein Verbundwerkstoff aus Holz-, Kork- und Latexpartikeln, der in grossen Platten verkauft wird. Recoflex ist ziemlich elastisch, wird aber steif, sobald Furniere aufgeleimt werden. Wegen seiner Elastizität kann das Material zwischen den Zinken doppelt so stark sein wie in Massivholz, wodurch die polygonale Zinkengeometrie zu glatten Oberflächen nivelliert wird.

Bei einer Biegeprüfung an der Berner Fachhochschule BFH-AHB in Biel waren wir überrascht, dass die Wahl des Klebstoffs der Faktor mit dem grössten Einfluss auf den Biege widerstand unserer Prüfstücke war – einige PUR-Klebstoffe wurden von dem schwammähnlichen Material absorbiert und schienen es im gekrümmten Zustand gehärtet zu haben. Mit einer Spannweite von 400 mm bei einer Prüfstückbreite von 100 mm stellten wir eine maximale Belastung von etwa 80 kg fest, ein Ergebnis, dass uns die Sache weiterverfolgen liess.

Fallstudie «ZipLiege»

Der Holz-Kork-Latex-Verbundwerkstoff «Recoflex» mit den Deckfurnieren wurde intensiv getestet, indem zwei grosse Schaukelliegen hergestellt wurden. Beide Objekte haben eine ZipShape-Mittellage aus diesem Werkstoff, der beidseitig mit Eschenfurnier belegt ist. Die Form der Liegen wurde von den Körpermassen von zwei möglichen Nutzern abgeleitet und greift damit das Konzept der «seriellen Unikate» auf. Die wichtigste Verbesserung war der Radius, den wir auf ein Verhältnis von Materialstärke zu Radius von 1/3 senken konnten (minimaler Radius von 75 mm bei einer Materialstärke von 24 mm).

Die Elastizität der Recoflex-Mittellage kann von den Nutzern der Liege deutlich wahrgenommen werden und trägt zum Komfort des Objekts bei. Es handelt sich um einen überraschenden Effekt, da die Deckfurniere dieses Verhalten nicht vermuten lassen.

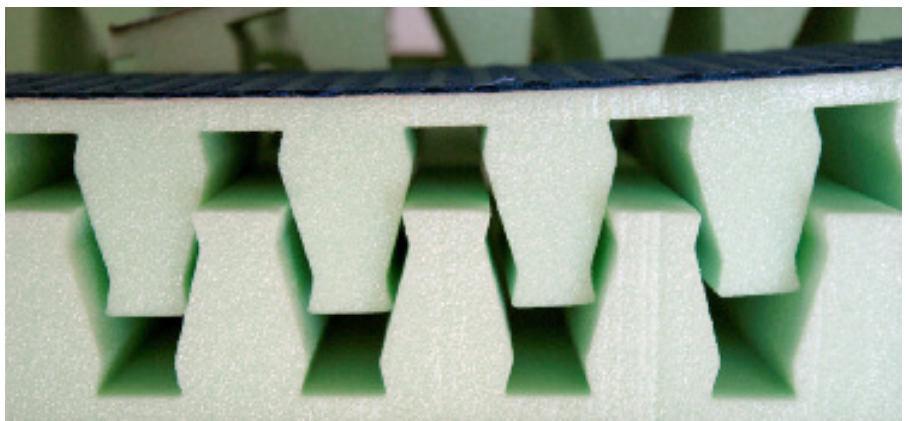


Die «ZipLiege» besteht aus einer 18 mm Recoflex-Mittellage mit aufgeleimten Eschenfurnieren. Die Form wurde von Körpermassen abgeleitet. Sie wurde 5-achsig von der Schreinerei Schnidrig in Visp gesägt und an der BFH-AHB in Biel vakuumverleimt. Designers' Saturday 2010, Langenthal, November 2010. Bild: Kyeni Mbiti

Extrudierter Polystyrol-Hartschaum (XPS) und Furnier

Für die «ZipLiege»-Fallstudie evaluierten wir auf der 5-Achs-Fräse eine Fertigungsgeschwindigkeit von 1.1 m pro Stunde bei einer Materialbreite von 0.6 m (was 0.7 m²/h entspricht). Dies stellt die Wirtschaftlichkeit von ZipShape in Frage.

Ein Workshop an der Detmolder Schule für Architektur und Innenarchitektur gab uns die Gelegenheit, ein Fertigungskonzept zu untersuchen, das ohne Fräse auskommt. Wir verwendeten für die Mittellage gewöhnlichen extrudierten Polystyrol-Hartschaum (XPS), in den wir die Zinken mit einem grossen CNC-



Heissdrahtgeschnittenes Schnappverschluss-System von J. Bieniek, F. Nienhaus, L.A. Pinkcombe and A. Wood. Detmolder Schule für Architektur und Innenarchitektur in Zusammenarbeit mit der University of Florida, Mai 2011.

Räumliches Verformen

Heissdrahtschneider einschnitten. Da der Heissdraht das gesamte ZipShape-Profil in einem Arbeitsgang ohne Werkzeugwechsel schneidet, wurde der Prozess auf eine Fertigungszeit von 4.4 m pro Stunden verkürzt – 4-mal schneller als die 5-Achs-Fräse.

Der CNC-Heissdrahtschneider ist in der Lage, jede Regelfläche zu bearbeiten. Infolgedessen experimentierten wir ausgiebig mit Ausrundungen und anspruchsvollen Schnappverschlüssen. Der Heissdraht ist besonders interessant für verwundene Formen, bei denen die Zinkenflanken nicht eben sind und daher nicht gesägt werden können. Um die XPS-Formstücke widerstandsfähig gegen Zug zu machen, setzten wir wiederum beidseitig Furnier als Deckschichten ein.

Polystyrol ist schnell und einfach bearbeitbar, leicht und günstig. Jedoch ist es bezüglich der Oberflächenhaptik, Festigkeit und Nachhaltigkeit nicht mit Holz oder Holzwerkstoffen vergleichbar.

Erweiterungen des parametrischen Modells Toleranz und Rückfederung

Um mit einem ZipShape-Formstück die gewünschte Krümmung zu erreichen, sind verschiedene Materialeigenschaften zu berücksichtigen und in das parametrische Modell zu integrieren. Zunächst muss ein kontinuierlicher Toleranzabstand zwischen den beiden gezinkten Platten eingerichtet werden. Dieser Abstand hängt nicht nur von den Materialeigenschaften des gewählten Klebstoffs ab (z.B. Aufschäumeigenschaften), sondern auch von der gewählten Fertigungstechnik. So etwa stellte sich heraus, dass das Sägen der Zinken weniger Toleranz benötigte als das Fräsen der Zinken – und sogar die Schärfe der Schneiden spielt eine Rolle: Wir erlebten, dass die am Morgen gefertigten Bauteile sauber passten, während die am selben Tag am Nachmittag mit demselben Fräser produzierten Stücke kaum zu fügen waren.

Der zweite Faktor ist die Materialrückfederung, der besonders beim elastischen Recoflex eine Rolle spielt: Um gegen



Vier XPS Prüfstücke mit einem zunehmenden «Rückfederungs-Faktor», der die Krümmung in den abgewickelten Platten übersteigert. Die schwarze Kurve auf dem zweiten Prüfstück ist die ursprüngliche Ausgangskurve. ETH RAPLAB, Zürich, August 2010.

die Rückfederung zu wirken, übersteigert ein experimentell bestimmter «Rückfederungs-Faktor» die Krümmung in den abgewickelten Platten.

Mit Rücksicht auf Toleranz und Rückfederung kam die Krümmung unserer ZipShape-Prototypen sehr nahe an einen 1:1-Ausdruck der gewünschten Kurve auf Papier. Aber für jede neue Zusammenstellung von Material, Klebstoff und Fertigungstechnik müssen diese Faktoren wieder experimentell ermittelt werden.

Von gebogen zu verwunden

Für eine Ausstellung am Designers' Saturday 2010 in Langenthal¹¹ entwickelten wir ein grosses skulpturales Objekt, um das räumliche Potenzial von ZipShape und seine Eignung für nicht nur gebogene, sondern auch verwundene Formen auszuloten. Unser Ausgangspunkt war das Biegeverhalten eines Papierstreifens, wie es in jüngerer Zeit etwa von Mårten Nettelblatt¹² und Lorenz Lachauer¹³ untersucht worden ist. Diese räumlichen Formen schienen uns besonders interessant zu sein, da abgewickelte Papierstreifen verschnittfrei parallel auf Platten geschachtelt werden können. Um die «ZipSculpture» umzusetzen, entwickelten wir eine Erweiterung des parametrischen Modells, die in eine beliebige räumliche

Kurve einen linear abwickelbaren Papierstreifen konstruiert – entsprechend dem Biegeverhalten eines von Hand verformten Papierstreifens. Der Entwurf wird dabei auf eine räumliche Kurve beschränkt, während die konstruktive Ausformulierung ein ableitbarer (aber für uns als Gestalter nicht genau vorhersehbarer) Teil der Methode wird.

Fazit

2008 hatten wir als Fazit in einem Paper vorgeschlagen, «allgemeine Fertigung von Regelflächen», «Reduktion des Radius» und «Versuche mit anderen Materialien als Holz und Holzwerkstoffe» zu untersuchen¹⁴. Diese drei Punkte sind bearbeitet worden. Es ist uns kein anderes Kaltbiegeverfahren bekannt, das ein vergleichbares Verhältnis von Radius und Materialstärke ermöglicht. Während wir

¹¹ Nach dem Designers' Saturday wurde die zerlegbare «ZipSculpture» im November 2010 anlässlich des «Open Day» an der BFH-AHB in Biel gezeigt und war im Februar 2011 Teil der Ausstellung «The Art of Trees – A Forest Gallery» im UN Palais des Nations in Genf.

¹² <http://thegometryofbending.blogspot.com>

¹³ <http://eat-a-bug.blogspot.com>

¹⁴ Schindler, Christoph. ZipShape – A Computer-Aided Fabrication Method for Bending Panels without Molds. in: Architecture «in computro» [26th eCAADe Conference Proceedings], Antwerpen 17.–20. September 2008, S. 795–802.

Räumliches Verformen

auf diese Ziele hin arbeiteten, reflektierten wir unsere Ergebnisse und zogen die folgenden Schlüsse:

Von der Geometrie zur Erfahrung

Nachdem wir ZipShape zunächst als ein abstraktes geometrisches Modell konzipiert hatten, lernten wir zum einen, Fertigungsbedingungen zu berücksichtigen, und zum anderen, aktiv und bewusst die Materialeigenschaften in den Entwurf zu integrieren – Form, Material und Fertigungstechnik als untrennbares System. Wir waren besonders überrascht, dass die Auswirkungen von Material- und Fertigungsfaktoren sich nicht als unpräzise vorhersagbar herausstellten. Sobald wir Material und Fertigungstechnik berücksichtigten, mussten wir unser konsistentes geometrisches Modell hinter uns lassen.

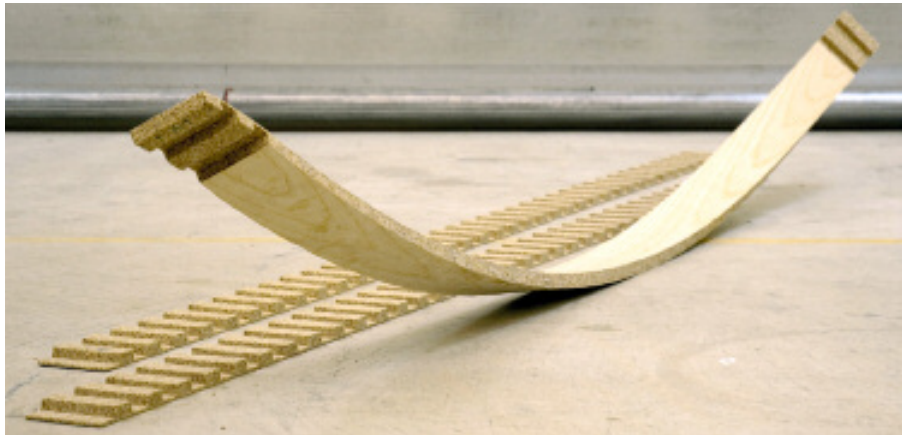
Von der Hochschule auf den Markt, oder: Der Weg ist das Ziel

Gegenwärtig kann das Projekt mit vier eingeladenen Workshops und zahlreichen Vorträgen als akademischer Erfolg gewertet werden, ergänzt durch eine Reihe von Auszeichnungen. Die anschauliche Art, Material- und Informationsverarbeitung miteinander zu verknüpfen, illustriert eine zeitgenössische Haltung in Architektur und Produktgestaltung.

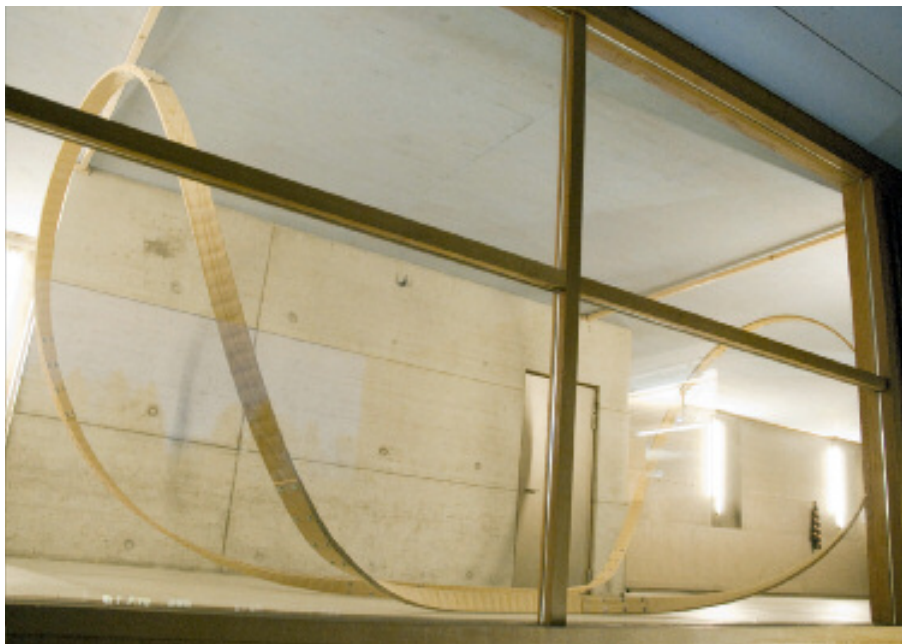
Die Markteinführung von ZipShape stellt sich jedoch anspruchsvoller heraus als erwartet. Die perfekte Materialkombination ist noch nicht gefunden. Es macht den Eindruck, dass es nicht die Stärke dieses Verfahrens ist, bestehende Techniken in bestehenden Anwendungsgebieten zu verdrängen. Wir sind der Auffassung, dass das Potenzial von ZipShape in der Suche nach neuartigen Anwendungen auf Grundlage der spezifischen Eigenschaften besteht.

Dank

schindlersalmerón ist ein privater Möbelhersteller mit begrenzten Forschungsmöglichkeiten. Ohne die Gelegenheit, an einer Reihe von Schulen Workshops zu veranstalten, hätten wir dieses Projekt nicht durchführen können.



Verwundene Formen aus abwickelbaren Streifen. BFH-AHB, Biel, Oktober 2010.



Die «ZipSculpture» ist ein geschlossenes, abwickelbares Band aus acht Bauteilen mit insgesamt 300 individuellen Zinkenformen und einer Gesamtlänge von fast 20 m. Sie konnte mit der Unterstützung von A. Rosenkranz, S. Kraft und C. Rehm umgesetzt werden. Open Day BFH-AHB, Biel, November 2010. Bilder (wo nichts anderes vermerkt): schindlersalmerón

Wir sind allen dankbar, die uns unterstützt haben – im Besonderen: Mark Wendt von der Fachschule für Holztechnik Hamburg gab uns die Möglichkeit, einen ZipShape-Schaukelstuhl umzusetzen, entworfen und gebaut von seiner Klasse von Holztechnikern. Mette Ramsgard Thomsen und Martin Tamke vom CITA in Kopenhagen belebten das Projekt, indem sie uns zu einem Workshop mit dem DigitalCrafting Network einluden.

Yves Ebnöther, Leiter des RAPLAB an der ETH Zürich, erlaubte uns, seine Anlagen zur Prototypenfertigung zu nutzen. Heiko Thömen und sein Team an der Berner Fachhochschule BFH-AHB ermöglichten die Umsetzung der ZipSculpture. Marco Hemmerling von der Detmolder Schule für Architektur und Innenarchitektur bot uns zusammen mit der Step Four GmbH die Möglichkeit zu Versuchen mit dem CNC-Heissdrahtschneider.