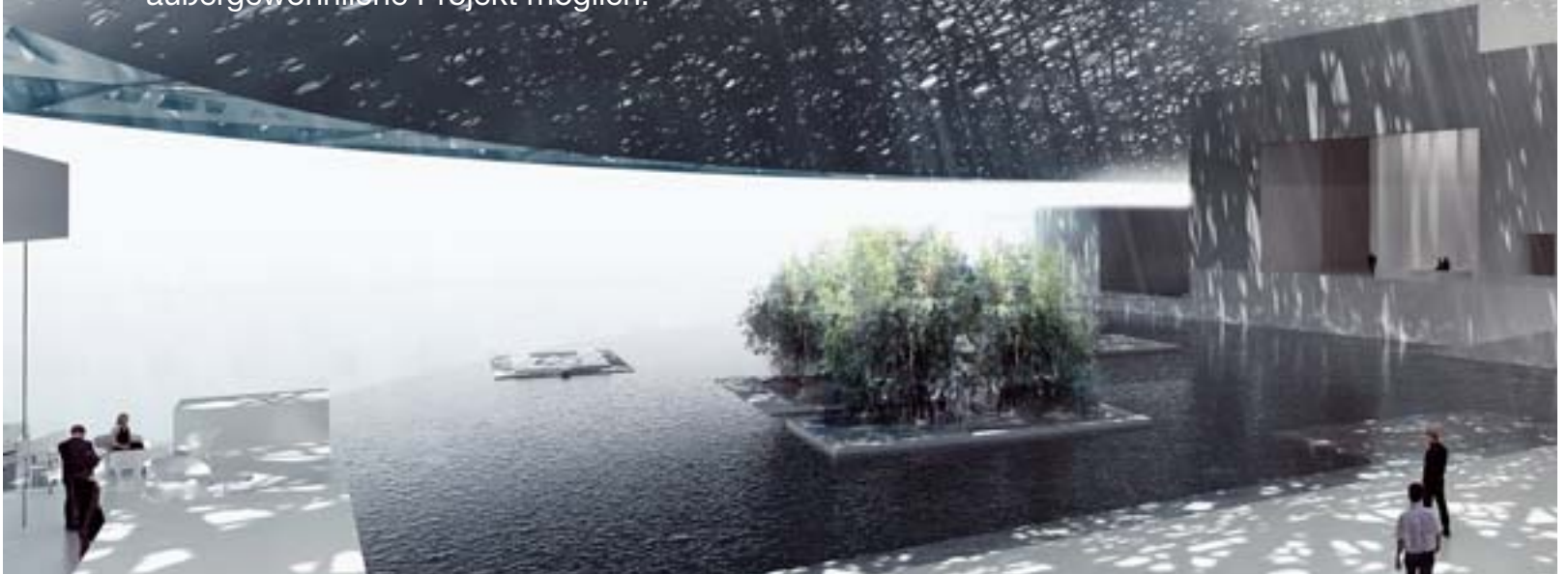


Lichtregen in Abu Dhabi

Für ein 1:33-Modell eines von Stararchitekt Jean Nouvel geplanten Gebäudes mussten über 15.000 Einzelteile programmiert und gefertigt werden. Die gute Zusammenarbeit von Daten- und Fertigungsspezialisten machte das außergewöhnliche Projekt möglich.



Bis zum Jahr 2013 soll in Abu Dhabi ein Ableger des Pariser Kunstmuseums Louvre entstehen. Stararchitekt Jean Nouvel hat sich dafür eine gigantische Kuppel mit 180 Metern Durchmesser ausgedacht, die aus einem Muster aus unzähligen perforierten Schichten besteht, die sich gegenseitig überlagern. Diese Kuppel soll die Wüstensonne filtern, die auf die unter ihr liegenden Museumsgebäude brennt. Sie dient somit nicht nur der Kontrolle des Mikroklimas, sondern erzeugt auch einen dynamischen Lichteffekt, den »Rain of Light«. Um die Lichtverhältnisse prüfen zu können, wurde während der Entwurfsphase beschlossen, ein großmaßstäbliches Modell im Maßstab 1:33 zu bauen.

Zum Zug kamen dabei die Unternehmen Modellbau Honkahe GmbH, der Datenspezialist One-to-One und die Schreinerei Georg Ackermann. Sie hatten bereits beim Bau großmaßstäblicher Akustik-

modelle der Elbphilharmonie und der Philharmonie de Paris erfolgreich zusammengearbeitet.

Das Modell muss vieles leisten

Die Vorgaben überstiegen die an ein Architekturmodell üblicherweise gestellten Anforderungen. Sie glichen eher einem wissenschaftlichen Versuchsaufbau, der alle Parameter des Gebäudeverhaltens und seiner Montage und Konstruktion vorwegnehmen sollte. 15.000 Einzelteile für die Struktur der Kuppel sowie ca. 1000 Kachelschichten für die lichtfilternde Haut waren in höchster Präzision zu fertigen. Da die Lichtverhältnisse unter der Kuppel unter der realen Sonne Abu Dhabis getestet werden sollten, würde das Modell einer enormen Temperaturdifferenz ausgesetzt sein, was die Wahl der Materialien enorm einschränkte.

Die Struktur. Die Geometrie der Struktur war fest definiert und wurde von den

Architekten und den Ingenieuren gestellt. Es fehlten jedoch jegliche Details, welche für den Bau des Modells im Maßstab 1:33 notwendig waren. Die Daten wurden im Hinblick auf die spätere Fertigung strategisch aufbereitet. Die geometrischen Eigenschaften des Entwurfs wurden in immer kleiner werdenden Maßstäben betrachtet, die Kuppel als Ganzes, die Bauteile und individuelle Module sowie die einzelnen Stäben und Knoten.

Beteiligte Unternehmen

Honkahe Interior + Furniture

Planung, Beratung
www.honkahe.de

One-to-One GmbH,

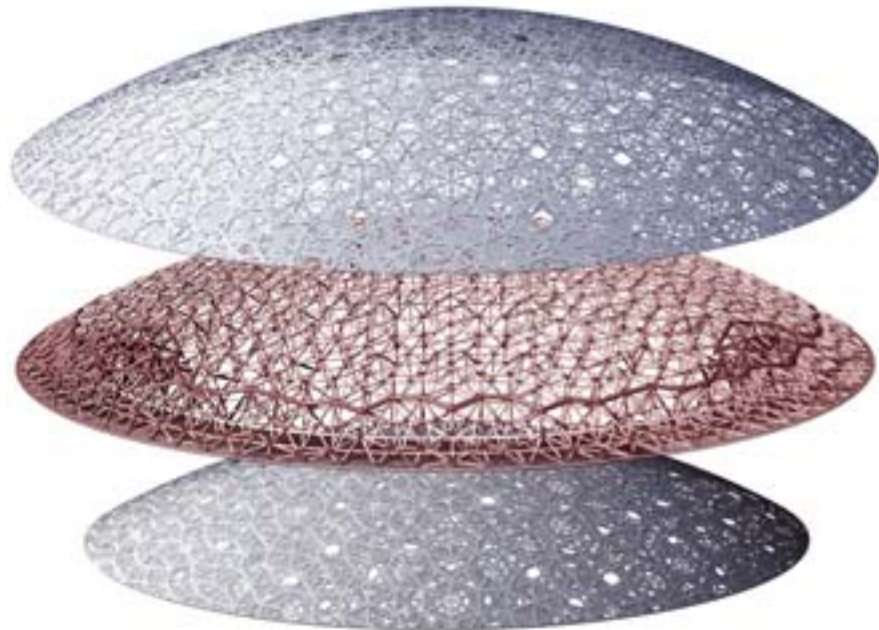
3D-Planung und Programmierung
www.1-to-one.com

Schreinerei Georg Ackermann GmbH

Fertigung, Montage
www.ackermanngbmh.de



Computersimulation des Louvre Abu Dhabi-Entwurfs



Schematischer Aufbau des 1 : 33-Modells, bestehend aus Außenhaut und Tragstruktur

Bild: One-to-One GmbH

Bild: Ateliers Jean Nouvel

Die Kuppel. Die Kuppel besteht aus einem räumlichen Fachwerk, dessen Unter- und Obergurt jeweils auf einem perfekten Kugelsegment liegt. Wie bei jeder Kuppel entwickelt sich zum Rand hin ein enormer Druck nach außen. Letzten Endes wird die Kuppel lediglich an vier Punkten aufgelagert, wodurch das zusätzliche Problem entsteht, dass lang auskragende Bereiche drohen durchzubiegen. Die Größe des Modells machte es erforderlich, die Struktur und Konstruktionsweise von einem Bauingenieur prüfen zu lassen. Entsprechend wurde die Struktur der Kuppel unterschiedlich detailliert: Der innere Bereich sollte aus Einzelementen mechanisch zusammengesteckt werden, der Rand, einem Zugang gleich, aus Edelstahlrohren fest verschweißt werden.

Bauteile. Auf vier Punkten ruhend ist die Struktur dahingehend rationalisiert, dass sie punktsymmetrisch ist – jedes Viertel ist identisch und in sich spiegel-



Der Meister persönlich begutachtet das Modell: Architekt Jean Nouvel in Abu Dhabi

Foto: Jens Kestler

symmetrisch. Da das 1:33-Modell in Deutschland vorgefertigt und in Teilen nach Abu Dhabi transportiert werden musste, wurde das Modell in fünf Bauteile aufgeteilt: vier Viertel sowie ein »Schlussstein«-Segment.

Module. Jedes Bauteil wurde in kleinere Module untergliedert. Eine Systemhierarchie zur Benennung der Module sowie zur Bezeichnung und Adressierung der Einzelelemente wurde mit der Fa. Ackermann entwickelt.

als Zentrumslinienmodell erzeugt. Sowohl die Stäbe als auch die Knoten wurden parametrisch definiert. Eigenschaften wie die Stärke, Länge, Knotenarmlänge, Anzahl der Bohrungen, Bezeichnung sowie die Bezeichnung benachbarter Elemente konnten somit jeder Komponente zugewiesen werden. Die Geometrie der Struktur erzeugt so beim ersten Durchlauf in dem Programm fast ausschließlich Einzelelemente. In jedem Viertel käme so jeder Stab zweimal, je-

Stabtypen auf 44 standardisierte Elemente reduziert werden, das ermöglichte überhaupt erst den Montageprozess.

Die gelaserten Knotenbleche wurden automatisch vereinzelt und beschriftet. Alle montagerelevanten Informationen wurden auf jeden einzelnen Knoten graviert: die Knotennummer, die Bezeichnungen benachbarter Knoten und Stabtypen. Danach wurden diese in der Werkstatt auf 1° bzw. 55° gekantet. Einem Baukasten gleich, Element für Element, Modul für Modul und Viertel für Viertel konnte die Struktur der Kuppel bei Ackermann zum fertigen Objekt zusammengesetzt werden.

Außenhaut aus Aluminium

Parallel wurde die Datenaufbereitung und Produktion der Außenhaut der Kuppel gelöst. Der Entwurf von Nouvel durfte an diesem Punkt vereinfacht werden. Da das Modell vor Ort in Abu Dhabi einer Temperaturdifferenz von ca. 60–70°K ausgesetzt werden würde, war es erforderlich, die Haut aus dem gleichen Alu wie die Struktur zu fertigen.

Die groben Daten der Außenhaut stellten die Architekten zur Verfügung: eine Vielzahl einzelner, flach überschneidender »Quad«-Streifen (ca. 43.000 an der Zahl), ohne Detailausformungsansätze. Diese galt es zu vereinfachen. Es wurde ein sich wiederholendes Kachelprinzip verfolgt, welches Bereiche der Streifen miteinander verschmolz, idealerweise aus einem einzigen Rohplattenformat erstellt. Es sollte grob der Struktur folgen, um die zentrische Befestigung an den Knoten zu gewährleisten. Eine Kachelform, von der Größe etwa ähnlich der Module der Struktur, im



Foto Manfred Weid

Das fertige Modell samt Aluminiumhaut vor dem Versand nach Abu Dhabi

Stäbe und Knoten. Das Hauptdetail, zur Erzeugung der Struktur notwendig, war eine Kombination aus Stäben und Knoten. Die Knoten sollten ursprünglich aus Alumide, einem Alu-gefüllten Polyamid, hergestellt werden. Die metallische Erscheinung wäre wünschenswert gewesen, aber gesinterte Einzelstücke werden überwiegend für visuelle Prototypen verwendet. Ein Test bestätigte leider, dass Alumide nicht in der Lage ist, auch nur geringen Schubkräften standzuhalten. So kamen ausschließlich metallische Elemente zum Einsatz: Edelstahlknoten, aus flachen Blechen gelasert, sowie gedrehte Aluminiumstäbe.

Komplexes Datenmaterial

Die gesamte Struktur musste zuerst komplett im 3-D generiert werden. Hierfür wurde von 1:One extra ein Plug-In für das Programm Rhinoceros 3D entwickelt. Ein 3-D-Modell der Kuppel wurde

der Knoten nur einmal vor, somit ergeben sich 1250 verschiedene Stabtypen, und 1079 verschiedene Knotentypen. Ein Modell aus einer solchen Vielzahl nicht-standardisierter Elemente bestehend, wäre weder zeitlich noch produktionstechnisch zu realisieren gewesen. Es musste ein Optimierungsalgorithmus entwickelt werden, um die Anzahl standardisierter Elemente zu erhöhen. Das Augenmerk wurde darauf gelegt, die Anzahl der Stabtypen zu reduzieren.

Die Durchschnittslänge der Stäbe wurde analysiert. Diese wurden in Gruppen zusammengefasst und alle Stäbe einer Gruppe wurden mit der Durchschnittsstablänge ersetzt. Der Längenverlust wurde durch die wachsenden, parametrisch definierten Arme der Knoten kompensiert. Auch dieser Optimierungsprozess wurde als zweiter Schritt in das Plug-In aufgenommen und somit konnten die 1250 unterschiedlichen

One-to-One GmbH

Die One-to-One GmbH war maßgeblich am Projekt Louvre Abu Dhabi beteiligt. Das Tätigkeitsfeld des Unternehmens erstreckt sich auf die 3-D-Planung und Programmierung, von der Entwurfsphase bis zur Ausführung im Maßstab 1:1. Geschäftsführer und Gründer ist der Programmierer Benjamin Koren. Neben der Umsetzung komplexer Projekte ist das Unternehmen auch als Dienstleister für Möbel- und Innenausbauer tätig. www.1-to-one.com

Grunde ein Oktagon mit kleinen quadratischen Nasen in jeweils einer Ecke zur Befestigung. Die Probleme, die sich aus der Projektion der gewölbten Kuppeloberfläche in die Ebene ergaben, mussten wiederum in Form eines extra erzeugten Plug-Ins gelöst werden.

Der Wasserstrahl schneidet

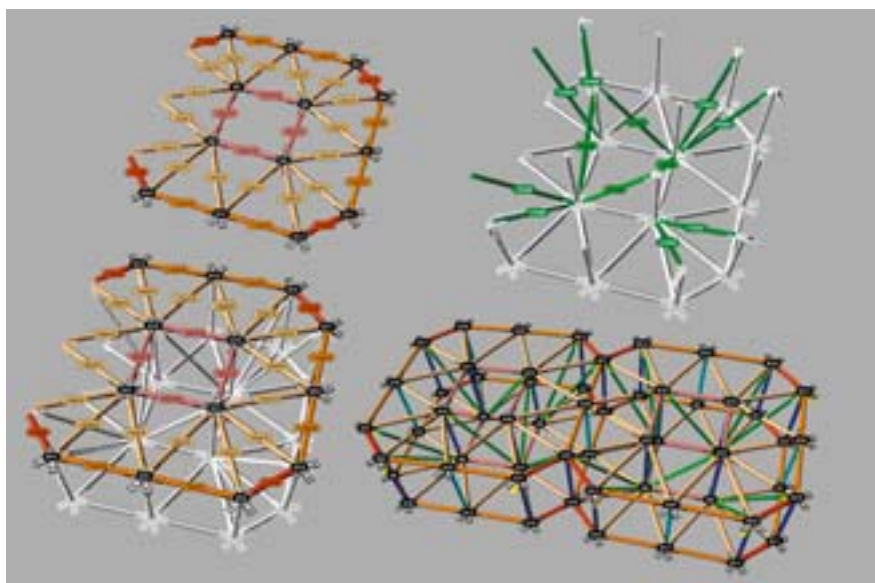
Die Daten der Haut-Module wurden zuerst im 3-D erzeugt, anschließend automatisch vereinzelt und für die Produktion exportiert. Diese wurden aus ca. 600x600 mm großen, sphärisch verformten Aluminiumplatten geschnitten, drei Schichten pro Modul (anstatt der im Entwurf vorgesehenen fünf Schichten). Die Rohplatten wurden aus Aluminiumblechen gepresst. Geformtes Alu federt zurück. Aus diesem Grund wurde ein Werkzeug für die Blechpresse gefräst, mit einem erheblich kleineren Radius, um dem Material zu erlauben, auf den vorgesehenen, größeren Radius zurückzufedern. Es gibt keine mathematischen Methoden, dieses Verhalten genau vorherzusehen. In zwei Versuchen wurden in enger Zusammenarbeit mit der Metallwerkstatt von Ackermann die Presswerkzeuge gefertigt.

Aus den gepressten Rohplatten wurden die einzelnen Schichten jedes Moduls per Wasserstrahl geschnitten. Jedes Modul und jede Schicht ist anders. Die drei Schichten jedes Moduls wurden anschließend verklebt und in einer Schablone verpresst. Dann wurde es flächendeckend auf die Ober- und Unterseite der Struktur geschraubt. Zum Schluss musste die Kuppel, in fünf Einzelteile zerlegt, per Luftfracht nach Abu Dhabi transportiert werden. Das Modell wurde vor Ort wieder aufgebaut und den Ingenieuren für die Lichttests übergeben.

Interdisziplinäres Team gefragt

Das Louvre-Abu-Dhabi-Modell im Maßstab 1:33 diente letzten Endes nicht nur als Lichttestmodell, der Modellbau nahm in gewisser Weise auch die Probleme, die sich beim Bau der echten Kuppel ergeben werden, vorweg. Das bestätigte den Bedarf an fortschrittlichen daten- und produktionstechnischen Prozessen sowie an einem interdisziplinären Team.

Oliver Hess



Schrittweiser Aufbau der Tragstruktur

Alle Bilder auf dieser Seite: One-to-One GmbH



Die Stäbe der Primärstruktur werden vorsortiert



Fertig verstiftetes Obergurt-Modul



Zusammenbau der einzelnen Module



Die Schichten der Aluhaut werden verklebt



Ein fertiges mehrschichtiges Aluhaut-Modul



Die fertige Primärstruktur vor dem Beplanken