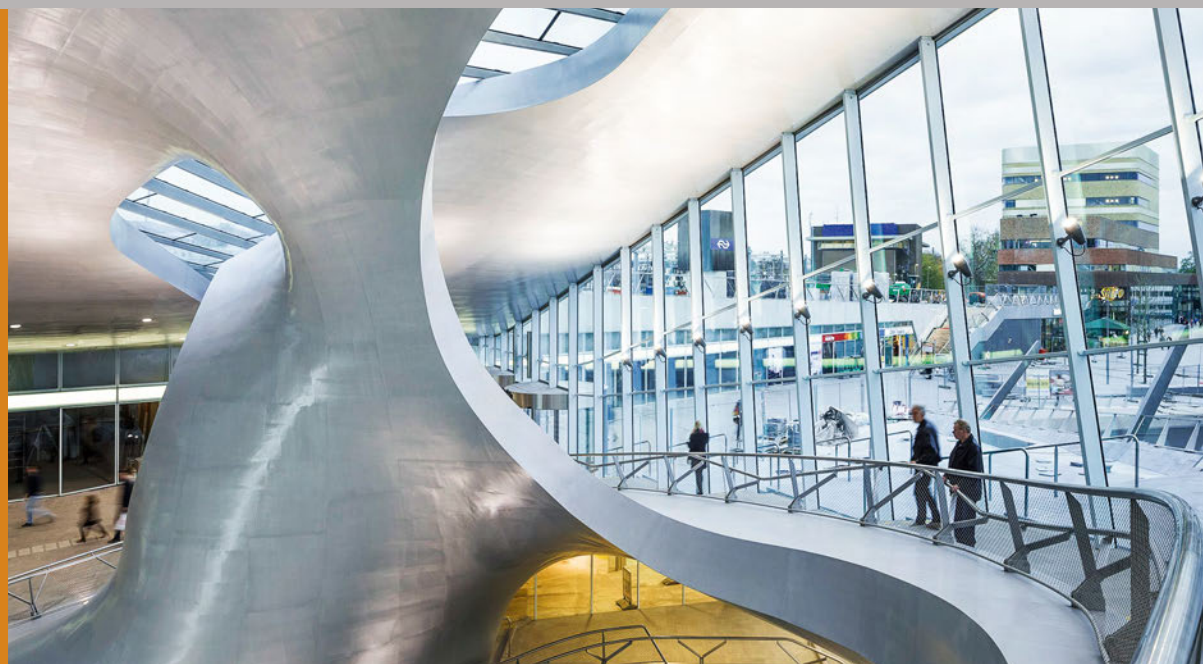


03/16 steeldoc

Stahl digital



Stahldach mit System

Bauherrschaft

Messe Frankfurt Venue GmbH

Architektur

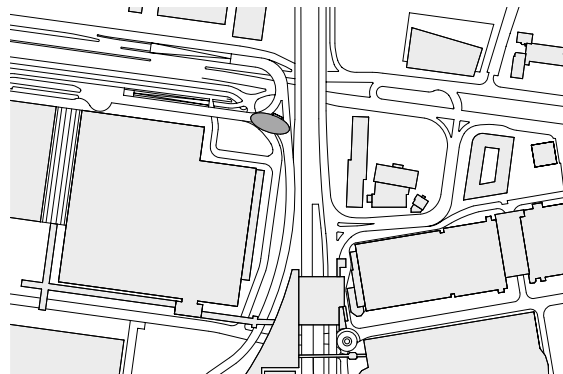
Ingo Schrader Architekt, Berlin

Ingenieure

Bollinger+Grohmann Ingenieure, Frankfurt

Baujahr

2013



Lageplan, M 1:8000

Den Eingangsbereich der Messe Frankfurt markiert ein aufsehenerregendes, parametrisch optimiertes, ovales Stahldach. Digitale Werkzeuge unterstützten die Planer bei der Formfindung.

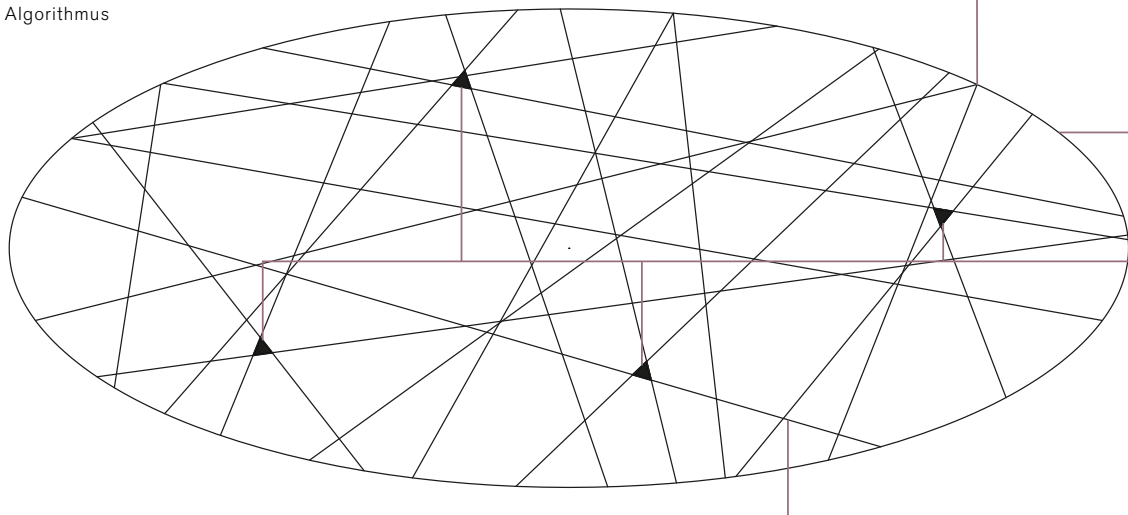
Die Stadt Frankfurt am Main ist, gemessen an ihrer Ausstellungsfläche, der weltweit zweitgrößte Messestandort. Das Tor Nord, die Hauptzufahrt zum Frankfurter Messegelände, sollte entsprechend repräsentativ überdacht werden. Es ist auf einer befahrbaren Betonbrücke gelegen, auf der auch ein Dienstgebäude für das Wachpersonal vorgesehen werden sollte.

Die vier Stützen der Überdachung mussten sich an der bestehenden Struktur orientieren, daher war ihre Lage bereits vorgegeben: Zwei der Stützen nutzen die Brückenpfeiler zur Lasteinleitung, während die beiden anderen in Brückenmitte, ausserhalb der Verkehrsachse, platziert sind.

Die ovale Form der Überdachung ergab sich aus der vorgesehenen Position des Dienstgebäudes und dem Bewegungsraum des Wachpersonals davor.

Die Herausforderung bestand darin, ein Tragwerk zu entwickeln, das diese spezielle Dachform und die asymmetrische Anordnung der Stützen in Einklang bringt. Da ursprünglich an zwei weiteren Standorten auf dem Messegelände je eine runde und eine rechteckige Überdachung geplant waren, musste zudem ein einheitliches konstruktives System entwickelt werden, das sich für die unterschiedlichen Dachformen und Standorte eignet. Ein herkömmliches Konstruktionsraster konnte hier nicht zur Anwendung kommen.

Einfügen der Trägerachsen mittels eines generativen Algorithmus



Zweiter Trägersatz, platziert anhand zweier zufällig gewählter Punkte entlang des Dachrands als Endpunkte der Trägerachsen

Ovale Stahlkonstruktion mit den Abmessungen 42 m x 18 m

Stützenposition

Lage des ersten Trägersatzes, bestimmt durch die Stützenposition.



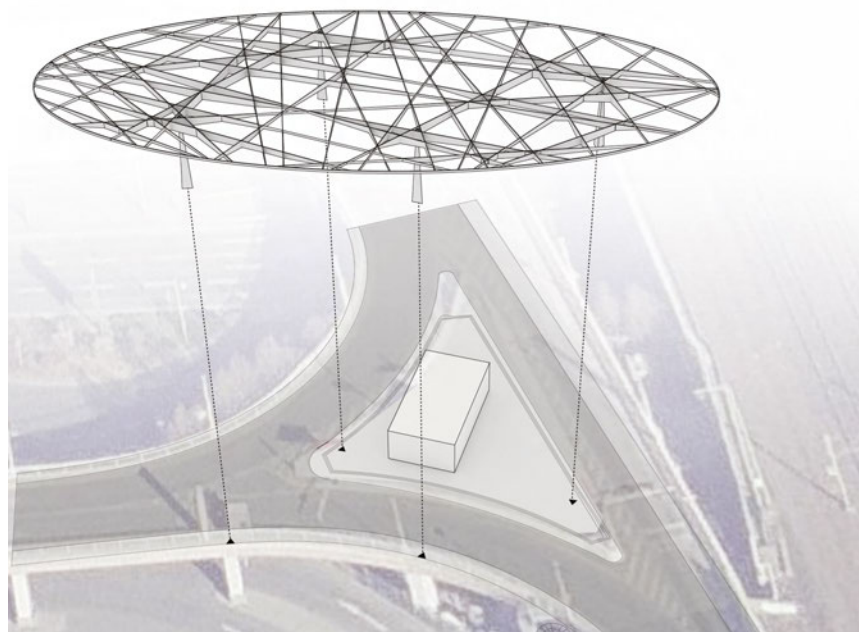
Die unterschiedlich hohen Flachstähle strukturieren die Untersicht der Überdachung.

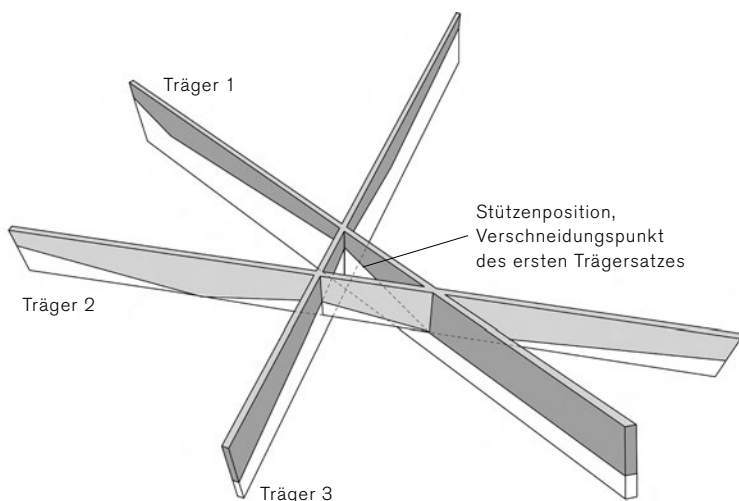
Die Lasten werden punktuell in die bestehende Tragstruktur eingeleitet.

Parametrisches Design zur Strukturoptimierung

Die Planer konzipierten für die Überdachung ein nichthierarchisches Tragwerk, bestehend aus einem Trägerrost sich verscheidender Flachstahl-lamellen. Im Entwurf verwendeten sie einen Algorithmus, der unterschiedliche formale, strukturelle und konstruktive Parameter verarbeiten kann, mit denen dann Varianten durchgespielt wurden. Ein parametrisches Entwurfsskript wurde mit einem Berechnungstool verbunden, um zunächst die optimale Lage der Lamellen und anschliessend die ideale Höhe und Dicke der Bleche anhand des Kräfteverlaufs zu bestimmen.

Die asymmetrische Platzierung der vier dreieckigen, sich nach oben verjüngenden Stützen bestimmte im parametrischen Entwurf die Lage der ersten



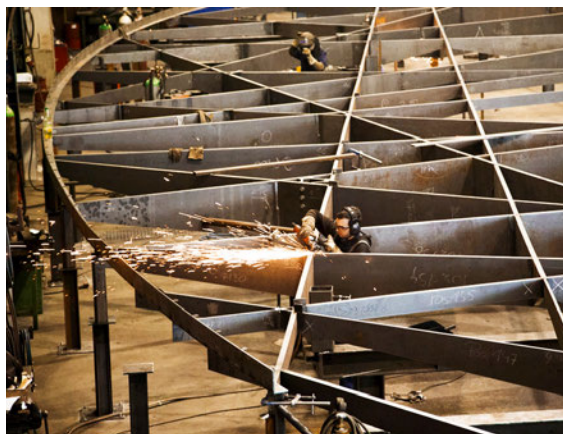


Um eine ebene Oberseite zu erreichen und dabei Material sowie Gewicht zu sparen, wurden die Höhen der Flachstahllamellen gegen unten hin optimiert.

Flachstahllamellen: Die Stützenköpfe werden jeweils von drei sich verschneidenden Lamellen gebildet. Um die Spannweite zwischen den Stützen und eine Auskragung von bis zu zehn Metern zu ermöglichen, mussten weitere Lamellen vorgesehen werden. Für die zu ergänzenden Trägerachsen wurden verschiedene Varianten analysiert. Hierfür kam der Algorithmus, implementiert in der Programmiersprache RhinoScript, zum Einsatz. Zwei zufällig gewählte Punkte entlang des Dachrands bildeten dabei immer die Endpunkte der nächsten Trägerachse. Mehrere der generierten Trägerkonfigurationen wurden dann untersucht. Ein wichtiger Parameter, um die Anordnung zu optimieren, war die Minimierung konstruktiv problematischer Verbindungspunkte der Lamellen mit einem Verschneidungswinkel unter 30 Grad.

Weitere entscheidende Aspekte waren die vorgegebene maximale Lamellenhöhe von 60 Zentimetern, eine minimale Bauhöhe von 15 Zentimetern sowie eine gleichbleibende Höhe an den Schnittpunkten der Lamellen. Ausserdem wurde die maximale Durchbiegung der Struktur in der Bewertung berücksichtigt. Sie beträgt am Kragarm-Ende des Dachs rechnerisch etwa 50 Millimeter unter veränderlichen Lasten. Für Eigengewicht wurde die Konstruktion überhöht. Die Lamellen variieren in der Dicke zwischen 20 und 40 Millimetern.

Auch das Konstruktionsgewicht konnte dank dem parametrischen Ansatz und einem Strukturalgorithmus minimiert werden. Die Planer benutzten ein individuell erstelltes Visual-Basic-Skript in Excel, um die in Rhinoceros modellierte Geometrie mit einer Finite-Elemente-Software zu verbinden. Der verwendete Algorithmus zur Strukturoptimierung erlaubte die Optimierung der Dachkonstruktion mittels der mathematischen Nachbildung von Wachstumsprozessen biologischer Strukturen. Die Querschnittsdimensionen der verwendeten Stahllamellen wurden so schrittweise reduziert. Äussere Lasten, die es zu berücksichtigen galt, waren Schnee mit $0,65\text{kN/m}^2$, Windsog und -druck mit maximal $w = 0,2\text{kN/m}^2$ auf die Gesamtfläche und als lokaler Spitzenwert $w = 1,1\text{kN/m}^2$, sowie Ausbaulasten aus Eigengewicht, Eindeckung und Stahlkonstruktion. Die auftretenden Beanspruchungen waren dabei ausschlaggebend für die Dimensionierung: Bereiche mit hohen Spannungskonzentrationen wurden verstärkt, während solche mit geringen Beanspruchungen schlanker ausgeführt werden konnten. Die einzelnen Lamellen sind daher in Höhe und Dicke je nach statischem Erfordernis ausdifferenziert und abgeschrägt, wobei der Verformungsnachweis für einen Grossteil der Lamellen massgebend war. In der Regel liegt



Das Dach wurde im Werk in sieben Segmenten vorgefertigt. Nach dem Zusammenfügen auf der Baustelle erfolgte das Versetzen des oberflächenbeschichteten Elements.



die Spannungsausnutzung unter 50–60% der zulässigen Spannung nach Norm. An den Knotenpunkten müssen alle dort anschliessenden Lamellen gleich hoch sein, daher bestimmt hier die Lamelle mit der höchsten Ausnutzung die Querschnittshöhe. Für die Dimensionierung des gesamten Dachs musste die Planung in iterativen Schritten erfolgen. Jedes Mal, wenn sich ein Lastpfad verschob, mussten entsprechend die Beanspruchungen der gesamten Struktur von Neuem berechnet werden.

Hoher Vorfertigungsgrad

Die Stahlkonstruktion wurde komplett vorgefertigt, um bei laufendem Messebetrieb schnell vor Ort errichtet werden zu können. Die Fügung erfolgte im Werk in Bodenmontage. Durchlaufende und querende Lamellen wurden bei der Montage entweder auf der gesamten Höhe gestossen oder bis auf die halbe Trägerhöhe ausgeklinkt und miteinander verzahnt. Das Dach wurde in sieben Segmente zerlegt, an den Installationsplatz vor seinem Standort transportiert und dort zusammengesweisst. In einem letzten Arbeitsschritt wurden die Eindeckung aus Furnierschichtholz sowie die Abdichtung aufgebracht und das Dach mit zwei Autokränen auf die vier Stützen versetzt.

Ein Dach für verschiedene Standorte

Mittels des parametrischen Entwurfs wurde hier ein Konzept entwickelt, das je nach Bedarf an unterschiedliche Dachgeometrien und asymmetrische Stützenpositionen angepasst werden kann und sich so auch für andere Standorte eignet. Gleichzeitig ist es den Planern gelungen, ein System mit hohem Wiedererkennungswert zu kreieren.

Das im Grundriss dreieckige, rote Wachgebäude bildet sowohl geometrisch als auch farblich einen starken Kontrast zum ovalen, weissen Dach.

Projekt Messe Frankfurt, Tor Nord

Ort Frankfurt am Main

Bauherrschaft Messe Frankfurt Venue GmbH

Architekten Ingo Schrader Architekt, Berlin

Ingenieure Bollinger + Grohmann Ingenieure, Frankfurt (Digitale Planung und Tragwerksplanung)

Lichtplanung Licht Kunst Licht AG, Berlin

Stahlbau Prebeck GmbH, Bogen

Stahlsorte S355 J0

Tonnage 75 t Stahl, Gesamtgewicht: ca. 110 t

Abmessungen Dachfläche: 593 m², Oval mit 42 m x 18 m, lichte Höhe: 4,55 m, Höhe über Fahrbahn: 5,30 m

Gesamtkosten ca. 1,2 Mio. Euro

Bauzeit 3 Monate

Fertigstellung August 2013 (Einhub Dachoval)

Digitale Werkzeuge Planung RhinoScript mit implementiertem generativem Algorithmus, Rstab von Dlubal als Finite-Elemente-Software, VBA-Skript in Excel, CAO-Algorithmus

Impressum

steeldoc 03/16, September 2016
Stahl digital

Herausgeber:
SZS Stahlbau Zentrum Schweiz, Zürich
Patric Fischli-Boson

Redaktion und Texte:
espazium – Der Verlag für Baukultur, Zürich
Judit Solt
Dr. Viola John, S. 20–26
Philippe Morel, S. 12–15
Christof Rostert

Johannes Herold, S. 4–11
Cornelia Froidevaux, S. 16–19

Übersetzung Französisch–Deutsch:
Johannes Herold

Layout:
Anna-Lena Walther, Stämpfli AG

Die Informationen und Pläne stammen von den
Planungsbüros.

Lageplan S. 12: swisstopo
Zeichnungen überarbeitet durch Martina Helzel,
circa drei, München.

Fotos:
Titel: Ronald Tillman
S. 4, 5, 8 unten, 9, 11: Hufton + Crow
S. 7: Maarten Meuleman
S. 13 und 15: DMK Architecture Photography / Adrien
Barakat
S. 3, 16–17: KPMG, Groven
S. 18: Valentiny Architectes
S. 21: Christian Richters
S. 22: Ingo Schrader; Messe Frankfurt / Ingo Bach
S. 23: Ingo Schrader
S. 24–26: Bollinger + Grohmann

Designkonzept:
Gabriele Fackler, Reflexivity AG, Zürich

Druck:
Stämpfli AG, Bern

ISSN 0255-3104

Jahresabonnement Inland CHF 60.– / Ausland CHF 90.–
Einzelexemplar CHF 18.– / Doppelnummer CHF 30.–
Preisänderungen vorbehalten.
Bestellung unter www.steeldoc.ch

Bauen in Stahl/steeldoc© ist die Bautendokumentation
des Stahlbau Zentrums Schweiz und erscheint viermal
jährlich in deutscher und französischer Sprache.
Mitglieder des SZS erhalten das Jahresabonnement
und die technischen Informationen des SZS gratis.

Die Rechte der Veröffentlichung der Bauten bleiben den
Architekten vorbehalten, das Copyright der Fotos liegt
bei den Fotografen. Ein Nachdruck, auch auszugsweise,
ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlags und
exakter Quellenangabe gestattet.

**steeldoc abonnieren für CHF 60.– im Jahr
(Studierende gratis) auf www.steeldoc.ch**