

Ovaldach Messe Frankfurt - Tor Nord

Oval Roof at Messe Frankfurt - North Gate



Architekten / Architects:
Ingo Schrader Architekt,
Berlin
www.schrader-architekt.de

Mitarbeiter / Team:
Lena Klanten

**Tragwerksplaner /
Structural engineer:**
Bollinger + Grohmann
Ingenieure, Frankfurt am
Main
www.bollinger-grohmann.com

**Projektleiter / Project
manager:**
Agnes Weilandt

Bauherr / Client:
Messe Frankfurt Venue GmbH

**Lichtplanung / Architectural
lighting design:**
LichtKunstLicht AG, Berlin
www.lichtkunstlicht.com

**Elektroplanung / Electrical
planning:**
Centerplan, Staufenberg
www.centerplan-gmbh.de

**Sanitärplanung / Sanitary
engineering:**
IGT Ingenieurgesellschaft für
Gebäudetechnik, Pohlheim
www.igt-giessen.de

**Ausführende Firmen Oval-
dach / Manufacturers oval
roof:**
Prebeck GmbH, Bogen,
mit Rubner Holzbau, HEWA
und MERK Timber
www.stahlbau-prebeck.de

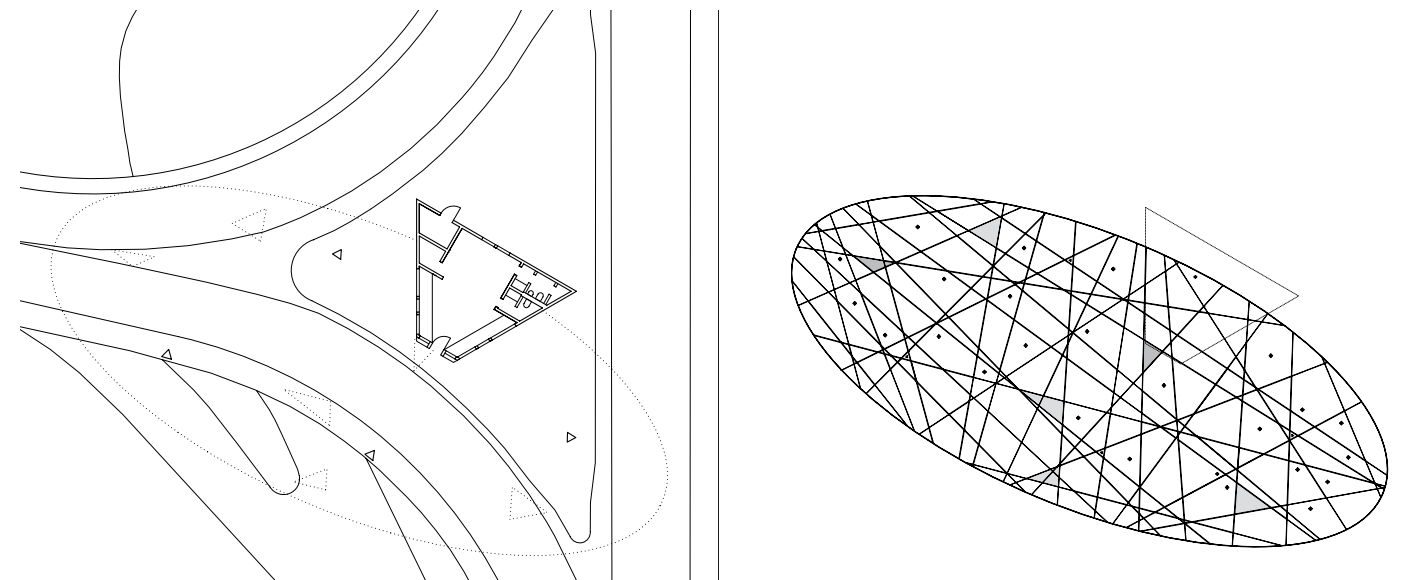
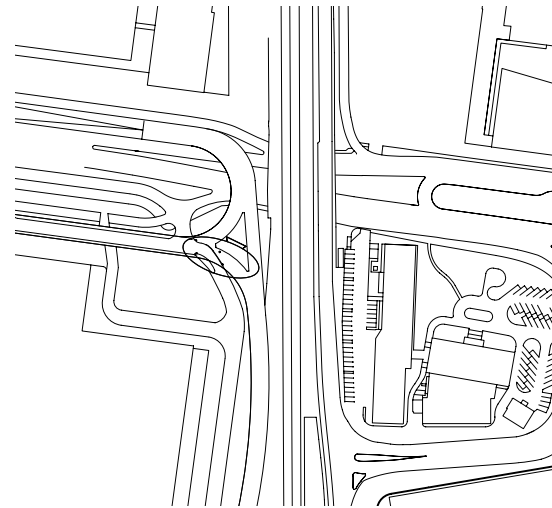
Lageplan
Maßstab 1:4000
Grundriss, Deckenspiegel
Maßstab 1:500

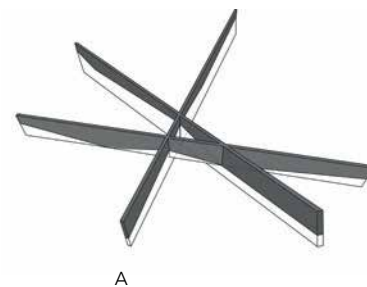
Site plan
scale 1:4000
Floor plan, ceiling plan
scale 1:500

Als weithin sichtbares Zeichen bildet das neue Ovaldach am Tor Nord der Frankfurter Messe einen markanten Orientierungspunkt mit hohem Wiedererkennungswert. Auf einer Straßenbrücke platziert, markiert die großflächige Überdachung das Messegelände an der Hauptzufahrt zur Frankfurter Innenstadt aus westlicher Richtung und integriert gleichzeitig ein rund um die Uhr besetztes rotes Gebäude für das Wachpersonal. In intensiver Zusammenarbeit entwickelten Architekten, Tragwerksplaner und Fachfirmen eine vorgefertigte ovale Stahlkonstruktion mit den Abmessungen 42 x 18 Meter. Charakteristisch für den Entwurf ist ein Trägerrost aus sich verschnellenden Flachstahllamellen. Durch die unregelmäßige Anordnung der Lamellen kann die Struktur an verschiedene Geometrien und Auflagersituationen angepasst werden und stellt somit die Matrix für weitere Dächer an anderen Standorten des Messeareals dar. Der Trägerrost lagert auf vier im Grundriss dreiecksförmigen, sich nach oben verjüngenden Stahlstützen, die zur Aufnahme der horizontalen Lasten am Fußpunkt eingespannt sind. Um Zwangsbeanspruchungen aus Temperaturschwankungen zu reduzieren, wird der Trägerrost auf zwei der vier Stützen gleitend gelagert. Die Position der Stützen ergibt sich aus den möglichen Lasteinleitungspunkten der Bestandsbrücke. Die Eindeckung des Dachs ist aus nichttragenden Holzplatten ausgebildet, in die einzelne dreiecksförmige Oberlichter eingelassen sind. Eine indirekte Beleuchtung der Dachunterseite akzentuiert bei Nacht die prägnante Struktur und unterstützt zudem ihre Signalwirkung.

SK

The new oval roof at the Messe Frankfurt North Gate is a striking landmark visible from afar and with high recall value. Along the main access road towards Frankfurt's city centre, this large roof is situated on top of a road bridge and signals the exhibition grounds. It also includes a red guard building that is in service around the clock. An intensive collaboration process between architect, structural engineer, and contractors led to a prefabricated oval steel construction measuring 42 x 18 meters. The design is characterized by a girder grid consisting of intersecting flat steel slats. The irregular arrangement of slats enables the structure to adapt to different geometries and support configurations. In this regard it represents a matrix for further roof structures at different locations along the exhibition grounds. The girder grid is supported by four steel columns with a fixed base to support horizontal loads and a triangular cross section that tapers upwards. In order to reduce stress resulting from temperature shifts, the girder grid is mounted on slide bearings along two of the four columns. The position of columns is derived from possible load transmission points into the existing bridge. The roof decking consists of non-load bearing wood panels featuring individual triangular skylights. Indirect lighting along the underside of the roof accentuates the impressive structure and supports its signal effect during nighttime.

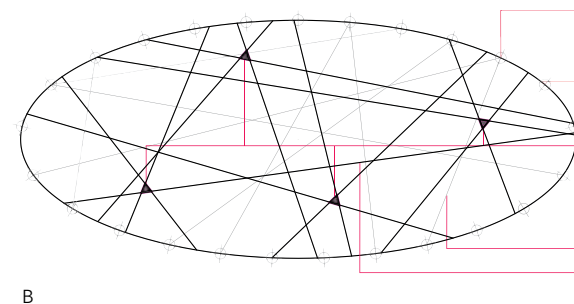




- A Drei sich verschneidende Träger bilden einen dreiecksförmigen Knotenpunkt.
- B Die Ausrichtung der vier Stützen bestimmt die Lage des ersten Trägersatzes. Platzierung des zweiten Trägersatzes und unterteilte Umrandung
- C Werkstattform einer gevouteten Flachstahllamelle Maßstab 1:20
- D Schnittpunkt zweier Flachstahllamellen
- E Gesamtlast der Dachkonstruktion mit Lastgruppen allgemeiner Spannungsnachweis maximale Spannungsausnutzung 86%
- F Verformungen sind für den Großteil des Tragwerks maßgebend für die Dimensionierung der Tragwerkselemente.

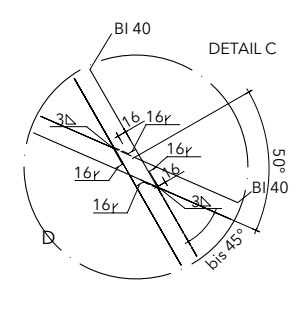
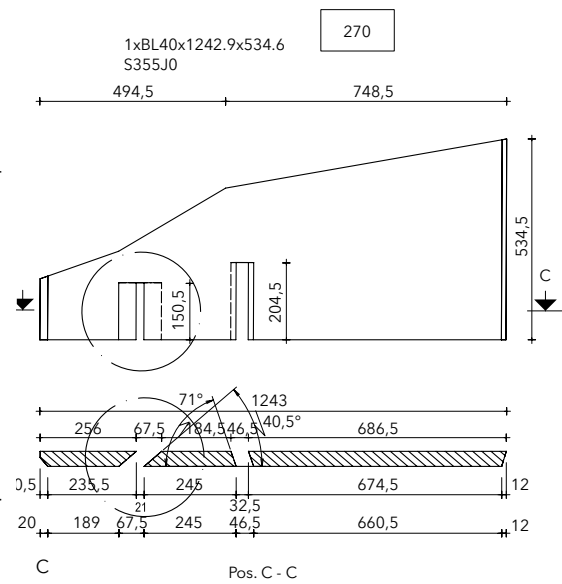
Entwicklung des Tragwerks

Der asymmetrische Trägerrost ist das Ergebnis eines mehrstufigen computerbasierten Entwurfs- und Optimierungsprozesses, der strukturelle, formale und herstellungsbedingte Randbedingungen in Einklang bringt. Mithilfe eines parametrischen Entwurfsskripts, das direkt mit einem Berechnungstool verbunden ist, konnte zunächst die optimale Lage der Lamellen definiert werden. In einem zweiten Schritt werden die Höhe und Dicke der Bleche in Abhängigkeit von den aufnehmbaren Spannungen des Materials und unter Begrenzung der maximalen Verformungen optimiert. Die erste Gruppe der Lamellen ergibt sich aus der Position und Ausrichtung der Stützen, die aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und aus architektonischen Gesichtspunkten festgelegt werden. Diese sind so angeordnet, dass jeweils drei sich verschneidende Lamellen den Kopf einer Stütze bilden. Um das Dach mit der geplanten Auskragung tragen zu können, werden weitere Tragelemente benötigt. Mithilfe eines generativen Algorithmus werden zusätzliche Stahllamellen in die Dachfläche platziert. Zwei zufällig gewählte Punkte entlang des Dachrandes stellen die Endpunkte der Trägerachsen dar. Somit entsteht nach und nach eine verwobene Struktur, die in der Lage ist, die gewünschten Auskragungen und Spannweiten zu realisieren. Nach der Generierung mehrerer möglicher Trägerkonfigurationen werden die Strukturen analysiert und ausgewertet. Bewertungskriterien sind hierbei die maximale Durchbiegung, das Gewicht der Struktur und die Randbedingungen aus der Herstellung. Die Strukturoptimierung ermittelt schließlich die erforderlichen Querschnittsabmessungen. Jede Lamelle, die von einem Dachrand zum anderen spannt, wird an den Verbindungsknoten unterteilt. Der Optimierungsalgorithmus, der mit einem homogenen Querschnitt startet, unterscheidet Höhe und Dicke jeder Lamelle und schrägt diese, je nach statischer Anforderung, ab. Die daraus resultierende Bauhöhe der gevouteten Flachstahlprofile mit 20 oder 40 mm Dicke variiert zwischen 150 und 600 Millimetern. Dieses nicht hierarchische Tragwerk erinnert nicht zufällig an eine organisch gewachsene Struktur. Inspiriert von der Natur, optimiert der angewandte Algorithmus die Konstruktion durch die Nachbildung von Wachstumsprozessen biologischer Strukturen.



Vorfertigung und Montage

Die Dachkonstruktion wurde vollständig in der Werkstatt vorgefertigt. Um die Schließzeiten des Zufahrtstors zur Messe und die Sperrung der öffentlichen Straße möglichst gering zu halten, war ein hoher Grad an Vormontage erforderlich. Aufgrund der umfangreichen Schweißarbeiten an den zahlreichen Verbindungsknoten bot sich eine Montage am Boden an. Die Lamellen werden an ihren Knotenpunkten auf zwei verschiedene Arten gestoßen. Im ersten Fall läuft eine Lamelle durch, die querende Lamelle ist auf der gesamten Höhe unterbrochen. Im zweiten Fall sind beide Lamellen jeweils bis auf die halbe Trägerhöhe ausgeklinkt und miteinander verzahnt. Die Detailstatik ermittelte automatisch die erforderlichen Stärken der Schweißnähte auf Grundlage der Finiten-Elemente-Berechnung. Das vorgefertigte Dach wurde anschließend in sieben transportfähige Segmente zerteilt und schließlich unmittelbar vor Ort zusammengebaut. Die Aufteilung der Elemente für den Transport erfolgte mit der Maßgabe, die Anzahl der erforderlichen Schweißnähte auf der Baustelle zu minimieren. Nach dem Eindecken mit werkseitig lackiertem Furnierschichtholz erfolgte die elektrische Verkabelung im Dachaufbau, das Aufbringen der Dachabdichtung, die Montage der Beleuchtung und schließlich der Hub des fertigen Dachs auf die vormontierten Stützen mithilfe zweier Schwerlastkräne.

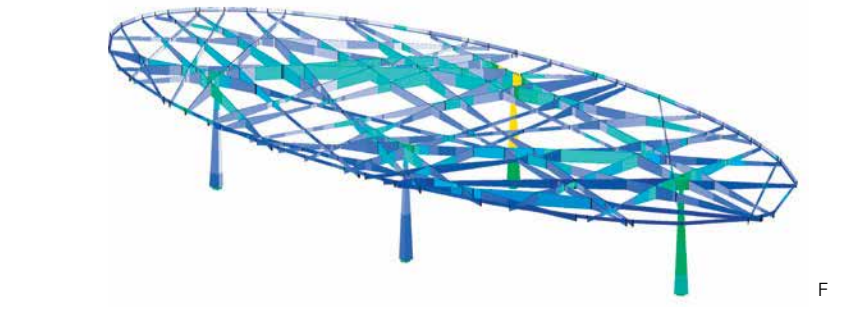
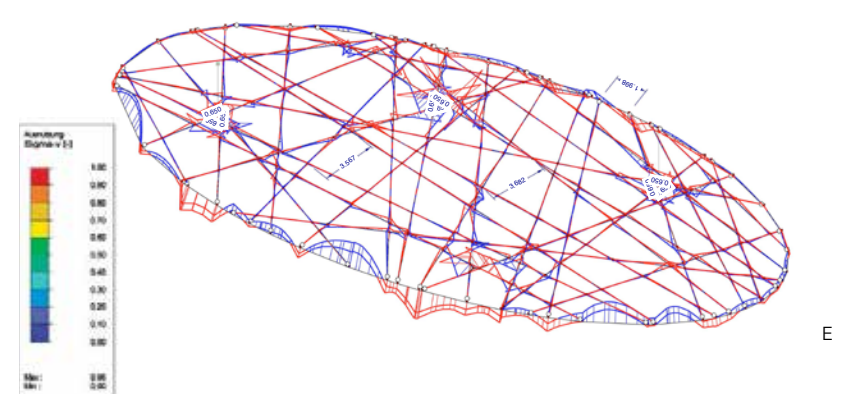


Development of the structure

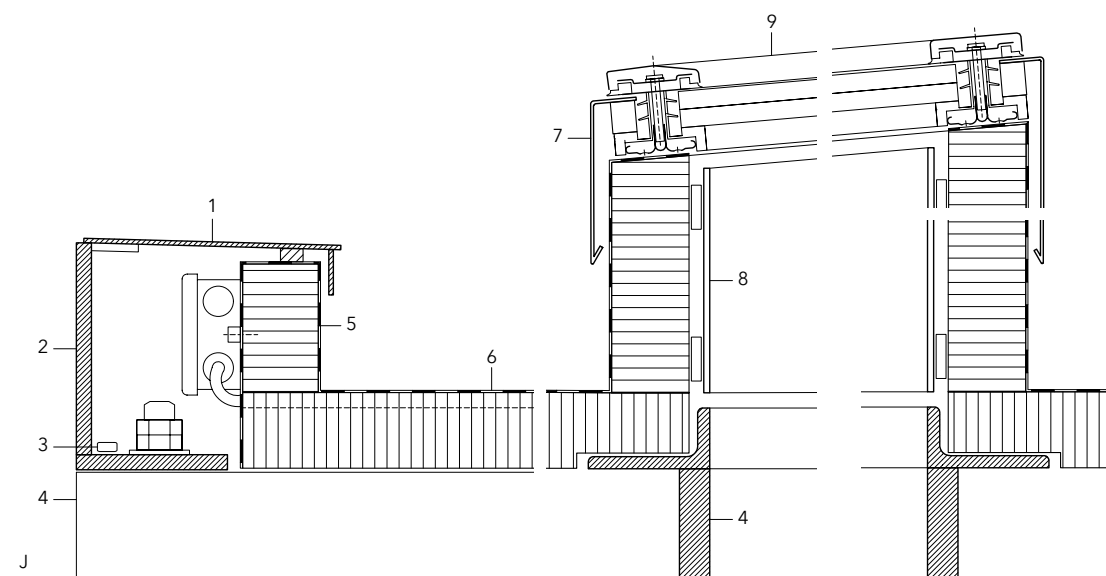
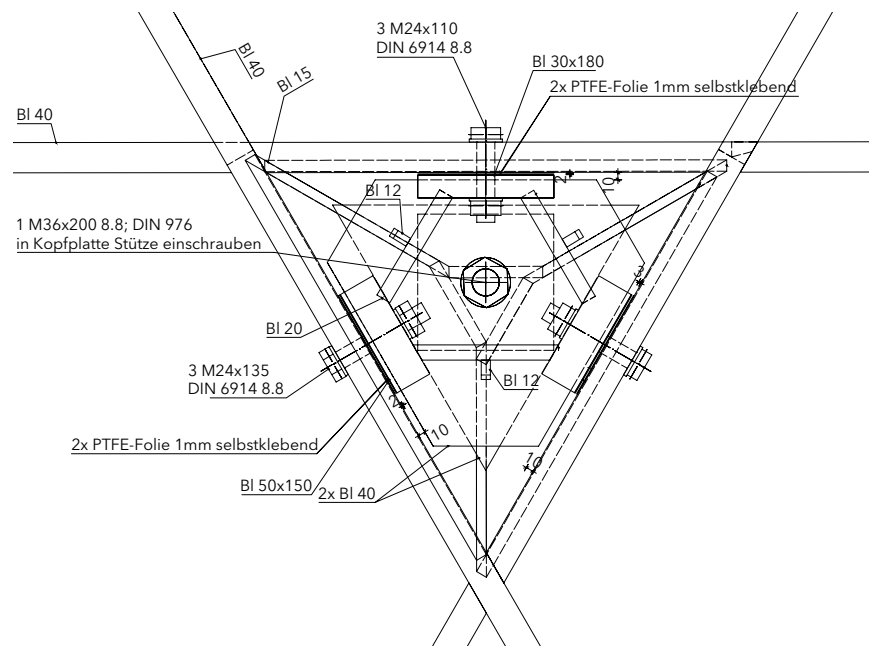
The arrangement of slats was defined by a parametric design script. The height and thickness of slats was determined in relation to the stress the material was capable of absorbing and the maximum permissible deformation. The first group of slats resulted from the position and orientation of columns. Column heads are created by three different intersecting slats. Additional steel slats are arranged within the roof by use of a generative algorithm. As result, a progressively interwoven structure is created. After generating multiple possible beam configurations, the structures are analysed and evaluated. Evaluation criteria include the maximum deflection, structural weight, and manufacturing boundary conditions. The optimization algorithm begins with a homogeneous cross section, distinguishes between height and thickness of each slat, and chamfers them according to structural necessity. Inspired by nature, the employed algorithm optimizes the structure by emulating growth processes of biological systems.

Prefabrication and assembly

The roof construction was completely prefabricated in the workshop. Slats are joined at connection nodes in two different ways. In the first case, one slat remains continuous, while the slat that crosses it is separated. In the second case, both slats overlap and are connected by use of half joints. The structural detail analysis indicated the required strength of welding seams based on a finite element calculation. The prefabricated roof was then separated into seven segments that permitted transport and re-assembly on site. The completed roof was lifted onto the columns by use of two cranes.



- A three intersecting beams forming a triangular connection
- B orientation of the four columns determined by the arrangement of the first set of beams placement of the second set of beams and subdivided roof outline.
- C working drawing of haunched flat steel slat scale 1:20
- D intersection of two flat steel slats
- E total loads of roof construction with load groups
- F allowable stress design, maximum stress ratio 86% deformations determine dimensions of structural members for the majority of the structure



G Draufsicht Stützenkopf
Festes Lager
Maßstab 1:10
H Vertikalschnitte Stützen
Maßstab 1:50
J Detailschnitt Dachrand
und Dachoberlicht
Maßstab 1:5

G top view, column head,
fixed base
scale 1:10
H vertical section columns
scale 1:50
J detail section roof border
and skylight
scale 1:5

G

- 1 Attikaabdeckung
Stahlblech 3 mm
- 2 Stahlwinkel
150/100/10 mm, im
Grundriss oval gebogen,
verschraubt mit
Flachstahlträgern, Bolzen
M 20 (5.6), l = 60 mm
- 3 Heizband elektrisch,
selbstregulierend
- 4 Trägerrost Flachstahl
20-40 mm, weiß lackiert
- 5 Randaufkantung Furnier-
schichtholz 50 mm,
kesseldruckimprägniert
- 6 Dachabdichtung
Furnierschichtholz 51 mm,
kesseldruckimprägniert
unterseitig Deckfurnier,
Farbanstrich weiß
- 7 Aluminiumblech 1,5 mm,
weiß beschichtet
- 8 Laibung Verbundplatte
Aluminium 4 mm,
weiß lackiert
- 9 Oberlicht:
Verglasung VSG
aus 2x Float 12 mm

