Wissens forum

für Architekten und Beratende Ingenieure

09/2015

WOLFGANG OTT GmbH

Spezialmakler für Architekten und Beratende Ingenieure

ARTUS GRUPPE

Weniger ist mehr:
990 m²
weiße Membrane
3 Seile
9 Spannpunkte

Der Membranstrumpf wurde im Werk des Konfektionärs in einen großen Sack aus Lasterplane hineingefaltet, per Pneukran vom Lastwagen bis zur oberen Anschlussebene des Turms angehoben, zwischen die Turmbeine mit Kettenzügen gezogen und oben mit Klemmleisten befestigt. Anschließend wurde der Membransack abgelassen und die Membrane entfaltet

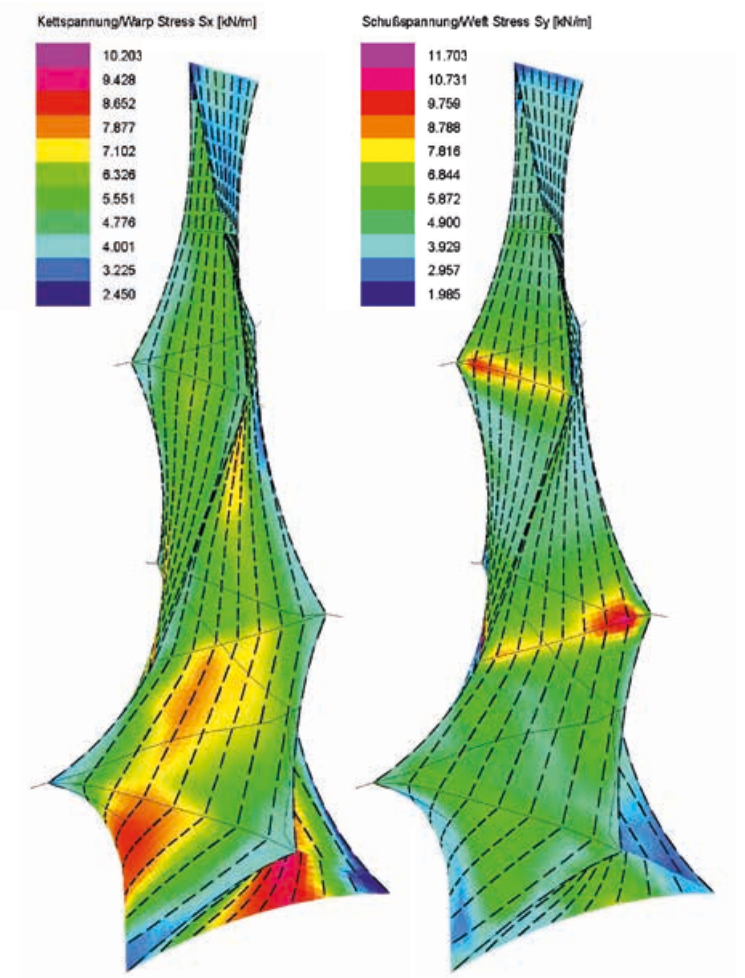
Nahtlayout und Zuschnitt

Um die Schraubenlinie zu betonen, folgen die Membrannähte den Seilen. Da sich die Membranhelix nach oben hin verjüngt, schrieben wir ein konisches Bahnenlayout aus, das wir mit Hartnäckigkeit und zum Vorteil der visuellen Wirkung auch gegenüber den „Vereinfachungsversuchen" der Konfektionsfirma durchsetzten. Die konischen 6 cm breiten Nahtlinien täuschen das Auge, denn die Nahtlinien fluchten schneller und betonen die Höhe der Helix.

Da Membrane und Seile elastisch sind und sich erst unter Dehnung eine stabilisierende Vorspannung in die Membranhelix einprägt, wird die Membranhelix am Rand und in der Fläche wenige Promille kleiner gefertigt. Beim Spannen in die Sollform baut sich dann nach und nach die Soll-Vorspannung in Membrane, Seilen und den Spannpunkten auf.

Bauteile

Ein wesentliches Konstruktionsteil sind die Beschläge, an denen die Membrane zum Stahlbau gespannt wird. Diese bestehen aus einer längenverstellbaren Zugstange sowie einem Seilumlenksattel. Die Zugstange ist eine Spezialanfertigung, da das Bauteil Schrägstellungen von ±3° abtragen kann, was mit handelsüblichen Zugstangen nicht machbar ist. Der Seilumlenksattel bündelt auch mehrere Funktionen. Zum einen werden die Differenzkräfte im Gratseil aufgenommen und verteilt und zum anderen wird die Membrane in einer 3D-Klemmlinie am Seilsattel angeschlossen.



Fotos: formTL; Alexander Ring

Test und Mockups

Für die Verwendung von Membranen als Baustoff wird eine Zustimmung im Einzelfall durch die obere Bauaufsicht benötigt. Dabei wird nicht nur die Membrane in einem zugelassenen Membranlabor, sondern auch die wesentlichen Befestigungsdetails auf ihre tatsächliche Bruchlast getestet, wodurch Membranbauwerke eine hohe Ausführungsgüte erreichen.

Da der GU Membrane anstelle von Verpressklemmen aufgeschraubte Seilstopper zum Übertragen der Differenzkräfte einsetzen wollte, musste er die Seilklemmen ebenfalls testen, wozu mehrere Optimierungsrunden und der Test verschiedener Beschichtungen nötig waren, bis die benötigten Festigkeiten erreicht waren.

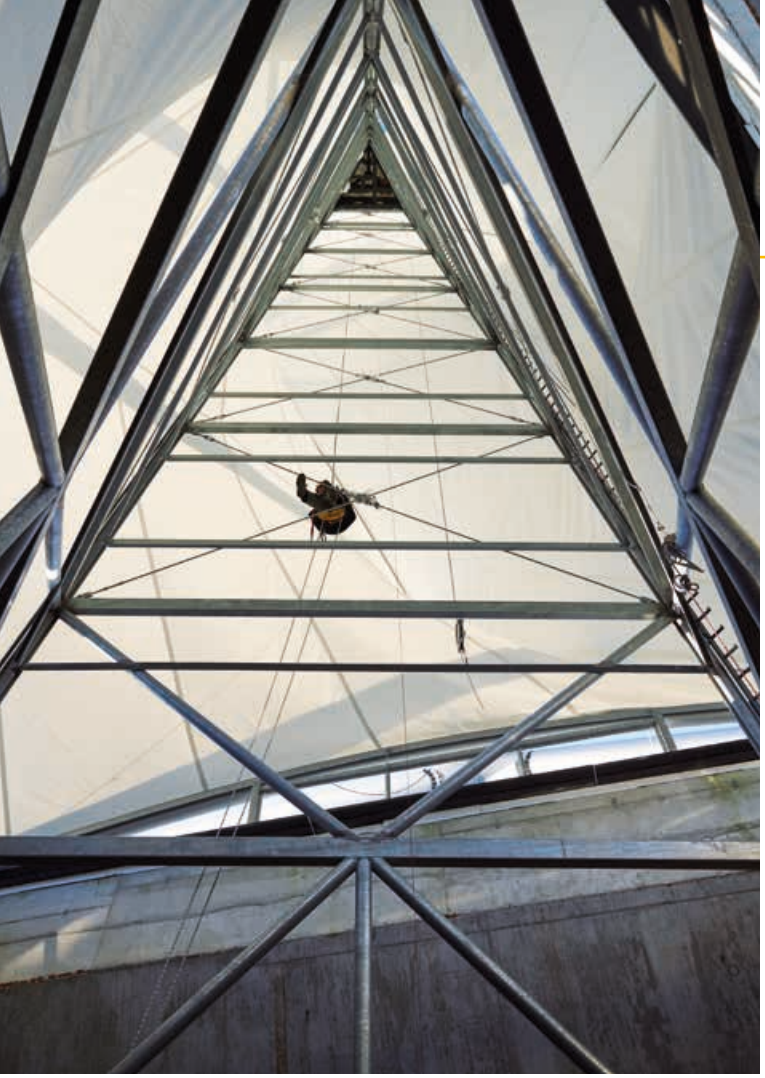
An den 9 Spannpunkten hat die Membranhülle Lüftungsöffnungen – um den Durchtritt von Regenwasser hinter die Membranhelix zu erschweren, wurde das Detail mit Hilfe von 1:1 Regenkedermustern optimiert.

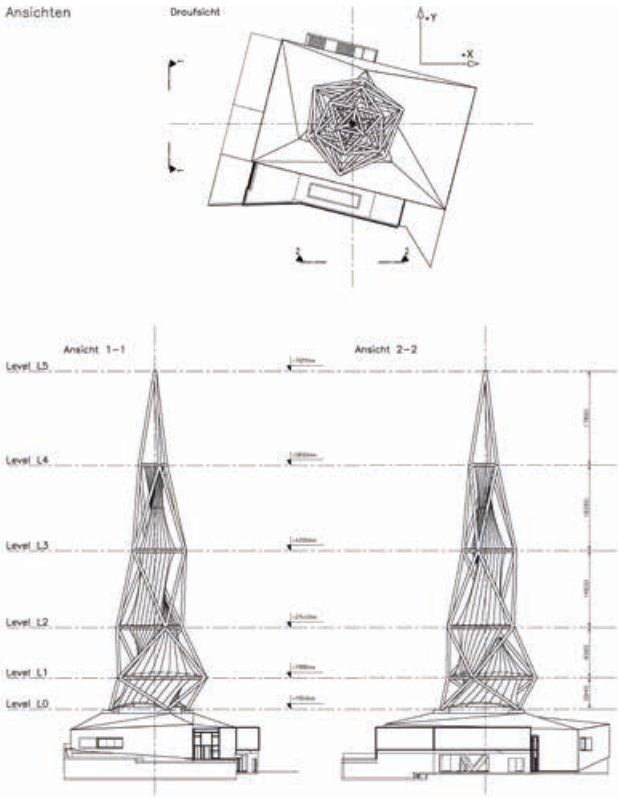
Montage

Der „Membranstrumpf“ besteht aus 4 Etagen, 3 Flächen je Etage und 6 Membranstreifen je Fläche, zusammen 72 Membranstücken, die im Werk zu einem Stück „Membranstrumpf“ vorgefertigt wurden. Die Einteiligkeit der Membranhülle hat den großen Vorteil, dass keine Baustellen-Klemmplattenstöße benötigt werden, die selbst bei sorgfältigster Detaillierung sichtbar bleiben. Die Einteiligkeit machte anderseits eine spezielle Montagemethode erforderlich, nicht im Sinn von aufwändig, sondern im Sinn von unüblich/ungewöhnlich: Die Membranhelix wurde im Werk des Konfektionärs in einen großen Membransack hineingefaltet, per Pneukran vom Lastwagen bis zur oberen Anschlussebene des Turms angehoben, zwischen die Turmbeine mit Kettenzügen gezogen und oben mit Klemmleisten befestigt. Anschließend wurde der Membransack abgelassen und die Membrane entfaltet. Nach dem Einbau der Seile, der 9 Spannpunkte und dem Anschluss an die unteren Bogenrohre wurden die Spannpunkte nach außen gezogen und die Membrane vorgespannt. Die gesamte Montage war auf wenige Tage terminiert, wurde aber bedingt durch Schlechtwetter und zum Ausgleich von Toleranzen mehrere Wochen unterbrochen.

MASSE	
Turmspitze	76,1 m
Membranspitze	58,0 m
Starthöhe Membrane	12,5 m
Grundfläche	99,0 m²
Oberfläche	990,0 m²
Umschriebenes Luftvolumen	1400,0 m³

GEWICHTE	
Stahlturm: aus Rundrohren d = 559 mit 12,5 – 30 mm Wandung Massivstützen im Sockelbauwerk: 80 x 80 cm	
Membrane	1.250 kg
Umlenksattel mit Spannstab (9 Stück)	je 300 kg
Seil mit Seilköpfen (3 Stück)	je 195 kg





Statik

Planmäßig ist die Membrane in Kette und Schuss mit je 2 kN/m vorgespannt. Wenn der Wind mit 37 m/sek. die Membranhelix einen halben Meter nach innen bzw. nach außen auslenkt, steigen die Membranspannungen auf bis zu 10 kN/m in (vertikaler) Kettrichtung und 12 kN/m in (horizontaler) Schussrichtung, die Kräfte an den Spannpunkten steigen dann von 75 kN auf 150 kN und die Seilkräfte von 100 kN auf 200 kN. Diese erhöhten Vorspannungen wirken rückstellend und stabilisierend. Lässt der Wind nach, nimmt die Membranhelix wieder die energieärmere Vorspanngeometrie ein.

Material

Membranbespannung aus PVC-beschichtetem Polyestergewebe mit PVDF-Lackierung; Spannpunkte aus Duplex beschichtetem Stahl in RAL 9006 und C4 lang, Spiralseile aus galfan-verzinkten Drähten, Kedernutprofile aus eloxiertem Aluminium .

Gerd Schmid

KONTAKT
formTL ingenieure für tragwerk und leichtbau gmbh,
Kesselhaus, Güttinger Straße 37, 78315 radolfzell
Tel. +49 7732 9464 40, E-Mail info@form-TL.de

LEGENDE

Auftraggeber	
Bauherr	Stiftung PHÄNOMENTA Lüdenscheid
Projektsteuerung	DU Diederichs, Wuppertal
Planungsteam	
Objektplanung und Bauleitung	KKW Architekten, Altena
Tragwerksplaner Massivbau und Stahlturm	WERNER Bauingenieure, Menden
Tragwerksplanung Membranhelix, Ausschreibung, Fachbauleitung	formTL ingenieure für tragwerk und leichtbau – www.form-TL.de Gerd Schmid, Christian Würfl, Ciprian Tripon, Katrin Kaltenbrunner, Christoph Singer
Architektur Machbarkeitsstudie	schneider+schumacher, Frankfurt www.schneider-schumacher.de
Haustechnik	Winkels Behrens Bospich Ingenieure für Haustechnik GmbH, Münster
Ausstellung	beier+wellach projekte, Berlin
Gutachter, Prüfer, Versuche	
Windgutachter	Ruscheweyh Consult GmbH, Würselen
Prüfingenieur	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Güldenpfennig, Aachen
Materialversuche	Fraunhofer IWM, Halle
Ausführende Firmen	
Stahlbau Turm	Heinrich Rohlfing GmbH, Stemwede
GU Membrane/Membrankonfektion	Arnegger GmbH, Leutkirch mit KTA Radolfzell und Wolfgang Mühlherr
Membranmontage	Pastors Membranworks, Ravensburg
Foucault Pendel	Kurt Hüttinger GmbH & Co. KG, Schwaig
Turmverspiegelung	konzept:werk GmbH, Berlin
Produkte	
Membrane Precontraint 1202S	Ferrari, La Tour du Pin Cedex
Spiralseile 1x37, d=26, galfanverzinkt	Redaelli Tecna S.P.A., Milano
Membranbeschläge	Faltenbacher GmbH, Pirk
LED Leuchten	Erco Leichten GmbH, Lüdenscheid

Foto: Alexander Ring; formTL