

*Linus Wortmann et al.

Science Center PHÄNOMENTA, Lüdenscheid D

MARKANTES ZEICHEN



Weithin sichtbar ist der spektakuläre Neubau für die Erweiterung des Science Center PHÄNOMENTA in Lüdenscheid – wie ein Fingerzeig ragt der 76 Meter hohe Turm gen Himmel.

*** Linus Wortmann**
Geschäftsführender Partner
KKW Architekten

Dr. Daniel Werner
Geschäftsführender Partner
WERNER Bauingenieure

Gerd Schmid
Geschäftsführender Gesellschafter
formTL Ingenieure

Entstanden ist das skulpturale Stahl-Fachwerk mit helixförmig eingespannter Membrane in interdisziplinärer Zusammenarbeit von KKW Architekten, Werner Bauingenieure und formTL Ingenieure. Eine Machbarkeitsstudie von schneider+schumacher, Frankfurt, lag dem Entwurf zugrunde.

Die ausdrucksstarke Stahl-Membranstruktur ist nicht nur optischer Blickfang – sie umhüllt nach dem Turm-im-Turm-Prinzip ein Foucault'sches Pendel, das an einem sekundären Tragwerk separat aufgehängt ist. Durch diese konsequente Trennung kann sich das Pendel unbeeinflusst vom Wind sowie von den Eigenschwingungen der Primärstruktur bewegen und den Besuchern des Science Center so die Erdrotation veranschaulichen. Weitere

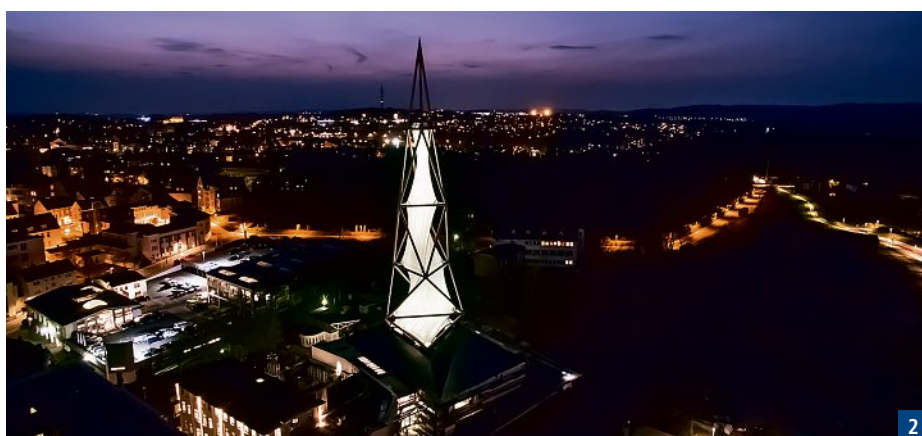
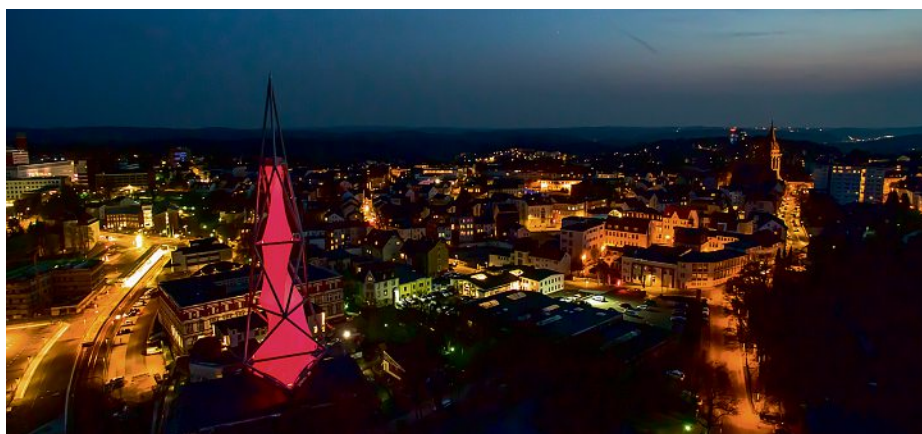
1400 m² Ausstellungsfläche für die PHÄNOMENTA bietet ein zweigeschossiger Anbau. Dieser monolithisch gestaltete Betonbau dient zugleich als Fundament für die markante Stahlkonstruktion – so setzt sich das Stabwerk durch schräg gestellte Stützen im Betonbau fort. Lediglich zwei Öffnungen in Form grosser Panoramafenster bieten Ausblicke in den umgebenden Stadtraum und den Besucherpark. Im Innenraum prägen expressive Formen das Raumerlebnis. Diese gewährleisten einerseits die Funktionsfähigkeit des Ausstellungsbereichs und resultieren andererseits aus den Anforderungen der Turmgeometrie. Ausser ist der Anbau vollständig mit dunkelgrau-metallfarbenen Alucobondplatten verkleidet, auch das gefaltete Dach. Diese Optik unterstreicht

den massiven Charakter des Sockelgebäudes und bildet einen Kontrast zu dem Stahlurm mit heller Membranbespannung.

Stahl-Fachwerk aus Stabdreiecken

Die klare Optik des Turms beruht auf einem von Stabdreiecken gebildeten, schlanken Stahl-Fachwerk aus luftdicht verschweissten Rundrohr-Hohlprofilen. Der Durchmesser der Rundrohre beträgt durchgängig 559 mm, die Wandungs-

stärke wird je nach statischer Beanspruchung bei gleichbleibender, glatter Aussenansicht gestaffelt. Hierbei steigt die Wandungsstärke von oben nach unten von 12,5 mm auf 20 mm. Die Knotenbereiche werden aufgrund der höheren lokalen Spannungen grundsätzlich in 20 mm bzw. in den unteren beiden Ebenen 30 mm Wandungsstärke ausgeführt. Damit ergibt sich auch hinsichtlich der Schwingungsanfälligkeit des Turms eine sehr günstige Massenverteilung über die Höhe.



Aufgrund des Charakters als schlankes Turmbauwerk musste dem Stabilitätsversagen unter Windbeanspruchung besonderes Augenmerk geschenkt werden. Die Untersuchung der Knick-eigenformen hat ergeben, dass stabweises Ausknicken massgeblich wird. Zudem wurde der Gesamtturm unter der Annahme einer anfänglichen globalen Schiefstellung von 22 cm gemäss Eurocode 3 nach Theorie II. Ordnung berechnet. Der gestalterische Wunsch nach einer kontinuierlich glatten Ansicht der Rohrwandungen, auch bei den komplexen Knotenpunkten und Montagestössen, erforderte in diesen Bereichen besondere konstruktive Lösungen: Vor allem die Knotenpunkte, bei denen bis zu sechs Rohre in unterschiedlichen Winkeln ineinanderlaufen, erforderten eine anspruchsvolle 3D-CAD-Analyse. Membrankräfte aus Vorspannung und Wind werden direkt in die Knoten eingeleitet, sodass eine Biegebeanspruchung der Stäbe weitgehend vermieden wird. Um den Turm in Einzelsegmenten einheben und fügen zu können, wurden etwas ausserhalb der komplexen Knoten-Geometrie revidierbare Schraubverbindungen in den Stäben angeordnet und mit speziellen Halbzylinderblechen verdeckt. Dadurch waren keine Schweissarbeiten in grosser Höhe erforderlich, zumal diese in grosser Höhe ohne Gerüst nur schwer qualifiziert auszuführen und zu überwachen gewesen wären. Darüber hinaus ist die montagetechnisch notwendige Segmentierung nicht ablesbar.

Statisches Gesamtmodell

Der Anbau des Science Center hat neben der Ausstellungserweiterung auch eine statische Bedeutung als sockelartiges Fundament des Turms. So entsteht ein hybrides Gesamttragwerk mit den wesentlichen Elementen Membrane, Stahlurm und Massivbau. Um die statische Interaktion dieser Tragwerksteile – auch mit dem anstehenden Baugrund – korrekt zu erfassen, wurde ein 3D-Gesamttragwerksmodell erstellt. Hierzu konnte das räumliche Architekturmodell der Objektplanung dem BIM-Gedanken folgend in ein statisches Gesamtmodell übersetzt werden. Diese Vorgehensweise ermöglichte es, einige wesentliche Fragestellungen im Rahmen der Tragwerksplanung besonders realitätsnah und wirtschaftlich zu beantworten.

Um die Funktion der Durchleitung der Turmkräfte in den Baugrund für die Besucher im Gebäudeinneren direkt erfahrbar zu machen, setzt sich das Stabwerk des Turms im Betonbau durch schräg gestellte Grossstützen 80/80 cm fort. In diesen Bauteilen ergaben sich aufgrund der F90-Anfor-

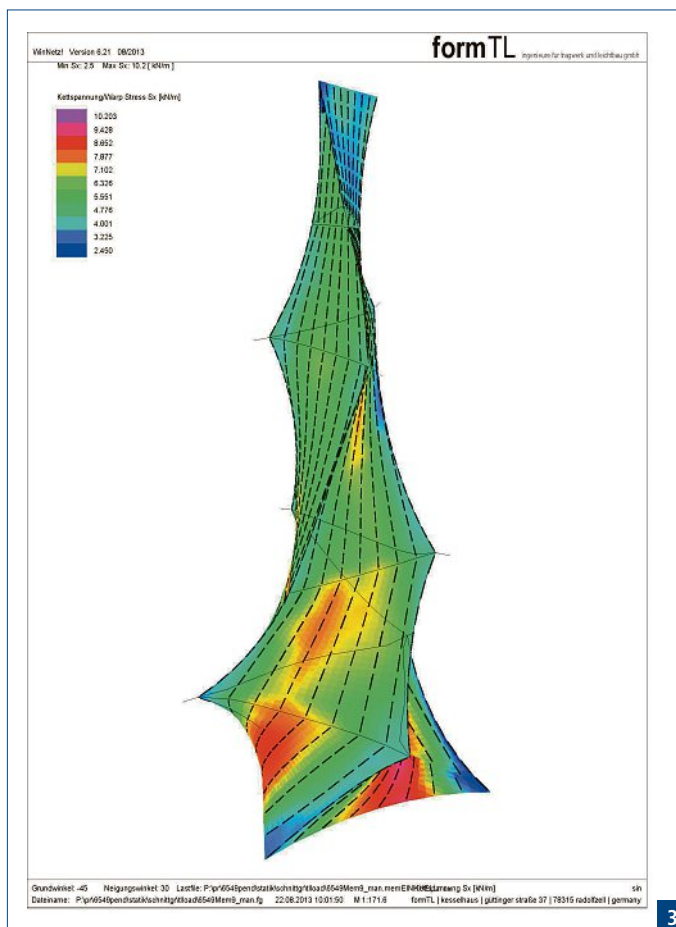
derung durch entsprechende statische Heissbemessung für die vollen Turmauflagerlasten sehr hohe erforderliche Bewehrungsgehalte. Mittels des 3D-Statikmodells konnte nun die Mitwirkung benachbarter Betonwände beim Abtrag der Turmlasten klar nachgewiesen werden und so eine wirtschaftliche Wahl der Stützenbewehrung getroffen werden. Auch die als Faltenwerk ausgebildeten Dachdecken mit ihrer komplexen Geometrie wurden räumlich mit finiten Schalelementen am Gesamtmodell berechnet. Im Vergleich zu ebenen Vergleichsrechnungen als frei spannende Platten konnten grosse Effizienzgewinne in der Bewehrungsbemessung erzielt werden.

Durch die Berechnung als räumliches Gesamtmodell wurden für die Decken grundsätzlich alle Einspann- und Lagerungsverhältnisse gleichsam automatisch erfasst. Somit konnten präzise Aussagen hinsichtlich der Biegesteifigkeiten der Decken gemacht und dem baodynamischen Gutachter übermittelt werden. Dieser konnte somit unter anderem die ausreichende Fusspunktsteifigkeit des Sekundärturms bestätigen. Dieser steht auf Stahl-Einbauteile geschweisst auf der freitragenden EG-Decke und trägt mit strengen Anforderungen an die Schwingungs- und Verformungsbegrenzung das Foucault'sche Pendel.

Membranhelix aus drei Bausteinen

Die Membranhelix innerhalb des Stahl-Tragwerks erscheint filigran und leicht – «eine Konstruktion, die mit fast nichts auskommt», wie es formTL-Geschäftsführer Gerd Schmid formuliert – und erzielt trotzdem eine beeindruckende Wirkung. Die Helix, in der das Foucault'sche Pendel schwingt, besteht aus lediglich drei Bausteinen: 990 m² hinterleuchtete Membrane, drei formgebende Seile und neun Spannbeschläge. Diese wenigen Elemente reichen aus, um die Membrane der sich drehenden und nach oben verjüngenden Turmstruktur folgen zu lassen und einen Kaltraum mit etwa 1400 m³ zu definieren, der im Bereich der Hautspitzen und im First offen ist. Für erhöhten Lüftungsbedarf sind im Fuss der Membrane Lamellenfenster eingebaut.

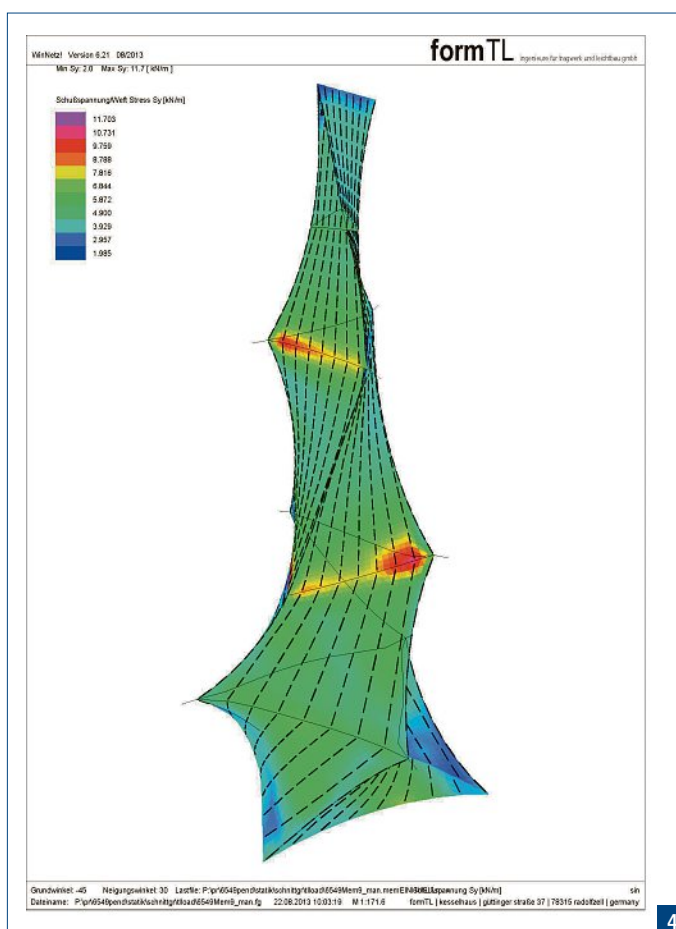
Nachts leuchtet die Membranhelix und betont den Ort. Das Membranmaterial und die Beleuchtungsmethode wurden im Erco-Lichtlabor mit Hilfe eines raumhohen Musters ausgewählt. PVC-beschichtetes Polyestergewebe setzte sich gegen PTFE-Glasgewebe und laminiertes PTFE-Glasgittergewebe durch, ebenso wie Licht von innen gegenüber Licht von aussen. Eine Anstrahlung von aussen führte aufgrund der Direktreflexion lediglich zu Glanzpunkten. Die



1 Die Stahl-Strebenkonstruktion visualisiert die Dynamik der Erdrotation im Science Center PHÄNOMENTA in Lüdenscheid.

2 Nachts leuchtet die Membranhelix in unterschiedlichen Farben.

3+4 Kettspannung des Turms.

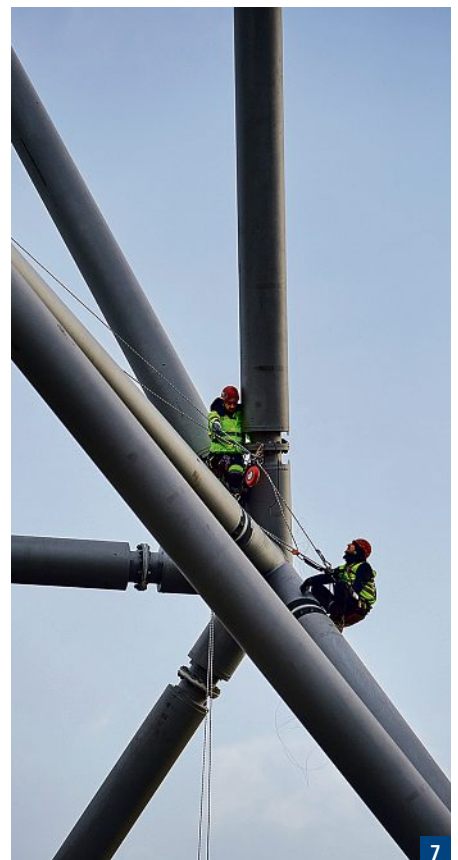


Bildnachweis:
Bild 1: Carsten Krämer
Bild 2: E-Komm IT & Kommunikation
Bild 3+4: formTL
Bild 5-7: Alexander Ring

5 Die Knotenpunkte sind mit Schraubverbindungen versehen, da Schweißarbeiten in solchen Höhen ohne Gerüst nur schwer qualifiziert auszuführen und zu überwachen sind.

6 Der Erweiterungsbau dient zugleich als Fundament für die markante Stahl-Membran-konstruktion.

7 An den Knotenpunkten des Stahlfachwerks laufen bis zu sechs Rohre in unterschiedlichen Winkeln ineinander.



Beleuchtung von innen zeigte sich deutlich wirkungsvoller: Da die Membrane das Licht mehrfach reflektiert, reichen bereits die geringe Transluzenz von 6% des gewählten PVC-beschichteten Polyestergewebes und wenige Lux Beleuchtung aus, um die Membranhelix in den Abendstunden in eine Leuchtskulptur zu verwandeln. Besondere Lebendigkeit erfährt das Ensemble durch das spiralförmige Nahtbild, das sich im Durchlicht lesbar aber unaufdringlich abzeichnet.

Die erste Idee für den Entwurf von schneider+schumacher basierte auf der Form einer Fischreuse. Diese wurde durch die Alternative einer schraubenförmigen Membrane, welche der Logik des Turms folgt, ersetzt. Grundgedanke des neuen Entwurfs war, dem Kraftverlauf zu folgen, Biegung zu vermeiden sowie einfach und materialsparend zu bauen. Die vielen HP-Membranen wurden durch einen einteiligen Membranstrumpf ersetzt und das innere, biegesteife Skelett gegen drei Seile und neun Abspannpunkte. Das reichte aus, damit sich eine Membranhelix ausbildet, die der Logik des schraubenförmigen Stahlturms folgt. Die formgebenden Seile spannen den Membranstrumpf schraubenförmig gegen den Turm vor und halten ihn auf definiertem Abstand zu den Turmrohren und dem eingestellten Dreibein.

Eine der wichtigsten Untersuchungen bestand darin, die Grösstform und die Kleinstform der

Membranhelix zu ermitteln. Beide Geometrien entstehen als virtuelle Form durch die Überlagerung aller durch äussere Kräfte verformten Membranformen. Mit der Grösstform wird die Kollisionsfreiheit zu den Turmrohren geprüft, mit der Kleinstform die Kollisionsfreiheit zum eingestellten Pendeldreibein und zur vorstehenden Wartungsleiter.

Um die Schraubenlinie zu betonen, folgen die Membrannähte den Seilen. Da sich die Membranhelix nach oben hin verjüngt, wurde ein konisches Bahnenlayout gewählt, das die Höhe der Helix unterstreicht. Der «Membranstrumpf» ist aus einem Stück vorgefertigt, was eine spezielle Montagemethode erforderte.

Montage der Membranhelix

Für die Montage wurde die Membranhelix im Werk des Konfektionärs in einen grossen Membransack hineingefaltet. Dieser wurde vor Ort vom Lastwagen per Pneukran bis zur oberen Anschlussebene des Turms angehoben, zwischen die Turmbeine mit Kettenzügen gezogen und oben mit Klemmleisten befestigt. Durch das anschliessende Ablassen des Membransacks konnte sich die Membrane entfalten. Nach dem Einbau der Seile, der neun Spannpunkte und des Anschlusses an die unteren Bogenrohre wurden die Spannpunkte nach aussen gezogen und die Membrane vorgespannt. Die gesamte Montage

war auf wenige Tage terminiert. Bedingt durch Schlechtwetter und zum Ausgleich von Toleranzen musste die Montage jedoch mehrere Wochen unterbrochen werden.

Da Membrane und Seile elastisch sind und sich erst unter Dehnung eine stabilisierende Vorspannung in die Membranhelix einprägt, wurde die Membranhelix wenige Promille kleiner gefertigt und dann auf Sollform gespannt. 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 Kettrichtung und 12 kN/m in Schussrichtung, die Kräfte an den Spannunkten 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.

Die Membranhelix ist für eine lange Nutzung ausgelegt. Alle Metallwerkstoffe sind hochwertig korrosionsgeschützt. Die Stahlteile sind feuerverzinkt und C4lang-Duplex-farbbeschichtet, die Seildrähte haben eine aluminisierte Feuerverzinkung und die Aluteile eine farblose Eloxierung. Die Membrane ist mit einem Fluorlackfinish für eine reduzierte Schmutzhaftung versehen.

Technische Daten

Abmessungen

Turmspitze: 76,1 m
 Membranspitze: 58 m
 Starthöhe Membrane: 12,5 m
 Grundfläche: 99 m²
 Oberfläche 990 m²
 Umschriebenes Luftvolumen: 5200 m³

Gewicht

Membrane: 1250 kg
 Umlenksattel mit Spannstab je 300 kg (9 Stück)
 Seil mit Seilköpfen je 195 kg (3 Stück)

Material

Membranbespannung aus Ferrari Precontraint 1202 S2, mit schweisbarem PVDF Finish

Spannpunkte feuerverzinkt mit einer Farbbeschichtung in C4 lang in Silbergrau Weissaluminium RAL 9006 Spiralseile DIN 3054 d=26 mm mit galvan-verzinkten Drähten und Differenzkraftsicherung Kedernutprofile aus eloxiertem Aluminium

Bautafel

Bauherr

Stiftung PHÄNOMENTA Lüdenscheid,
 Gustav-Adolf-Strasse 9–11,
 58507 Lüdenscheid D

Architektur und Bauleitung

KKW ARCHITEKTEN, Altena D
 Linus Wortmann, Julia Düppe, Corinna Cardaun, Svenja Asmann, Eduardo Abarca
www.kkw-architekten.de

Architektur Machbarkeitsstudie

schneider+schumacher, Frankfurt D
www.schneider-schumacher.de

Tragwerksplanung Stahlurm und Massivbau, Brandschutz, Wärmeschutz

WERNER Bauingenieure, Menden D
 Günter Werner, Dr. Daniel Werner, Detlef König, Tim Berg, Stefan Hostert, Henrik Sträter, Christoph König
www.ing-werner.de

Membranhelix Tragwerksplanung,

Ausschreibung, Fachbauleitung
 formTL ingenieure für tragwerk und leichtbau GmbH, Radolfzell D
 Gerd Schmid, Christian Würfl,
 Ciprian Tripon, Katrin Kaltenbrunner,
 Christoph Singer
www.form-TL.de

Konfektionär und Montage

A. Arnegger GmbH, Leutkirch D
www.arneggergmbh.de

Hersteller

Membrane: Serge Ferrari, Eglisau CH
www.sergeferrari.com

Fassade: 3A Composites GmbH, Singen D
www.alucobond.com

Fassade: Brillux GmbH, Münster D
www.brillux.de