



Weltgrößtes Foucault'sches Pendel als Exponat
© Carsten Krämer

Wahrzeichen in Form und Material

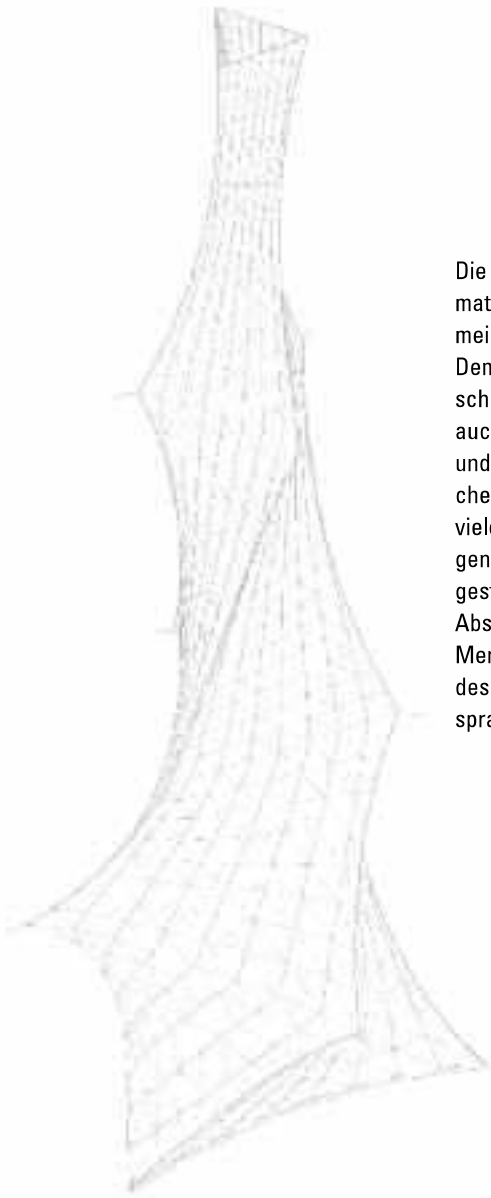
Die Membranhelix der Phänomena in Lüdenscheid

Turm mit Pendel

Das Technikmuseum Science Center Phänomena in Lüdenscheid wurde 1996 gegründet, zog 2000 in eine gründerzeitliche Fabrik nahe der Bahnhofstraße und wurde 15 Jahre später räumlich und inhaltlich erweitert. Das neue Wahrzeichen des Museums ist nun ein spitzer Stahlurm mit einer innenliegenden Membranhelix, in der das weltgrößte Foucault'sche Pendel schwingt. Im Innern des 76 m hohen Stahlturms spannt eine 46 m hohe Membranhelix, in

der sich ein Kaleidoskop in Form eines spitzen Tetraeders befindet – und in diesem wiederum schwingt ein 30 m langes Foucault'sches Pendel, das durch seine Lagebeharrlichkeit die Erddrehung ablesbar macht. Die Kaleidoskophülle ist einfach und wirkungsvoll: Eine warm auf ein Stahlgestell eingebaute verspiegelte Folie zieht sich beim Abkühlen zusammen und bildet mit präzis glatter Oberfläche die Reflexionsflächen.

Der Turm verschmilzt mit dem massiven Sockelbauwerk, das über zwei Etagen die Logik und Verdrehung aufnimmt und als polygonal skulpturale Pfeiler die Sockelräume prägt. Er besteht aus vier liegenden Dreiecken, die je »Etag« 60° zueinander verdreht sind und nach oben hin kleiner werden. Die »vertikalen« Stäbe verbinden dabei die jeweils nächsten Dreieckseckpunkte, drei Stäbe formen zudem die Turmspitze. Am obersten liegenden Dreieck beginnt die Membranhelix, die dann nach unten bis zum Dach des massiven Sockels reicht und dort an drei Stahlbögen endet.



Die Philosophie von formTL ist, einfach und materialsparend zu bauen, Biegung zu vermeiden und dem Kraftverlauf zu folgen. Dementsprechend entwickelten wir den schraubenförmigen Ansatz weiter, da er auch aus unserer Sicht »richtiger« wirkte und ein größeres Potential zum Vereinfachen und Reduzieren bot. Wir ersetzen die vielen HP-Membranen durch einen einteiligen Membranstrumpf und das innere, biegesteife Skelett gegen drei Seile und neun Abspannpunkte. Das reichte aus, um eine Membranhelix auszubilden, die der Logik des schraubenförmigen Stahlturms entsprach. Die formgebenden Seile spannen

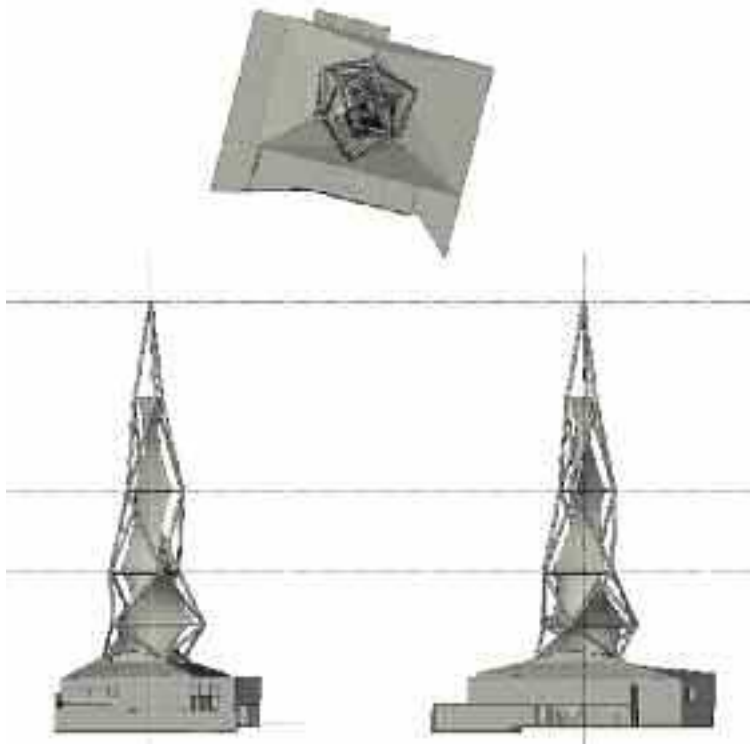
den Membranstrumpf nun schraubenförmig gegen den Turm vor und halten ihn auf definiertem Abstand zu den Turmrohren und dem eingestellten Pendeldreibein. Eine der wichtigsten Untersuchungen war hier, Größt- und Kleinstform der Membranhelix zu ermitteln: Beide Geometrien entstehen als virtuelle Form durch die Überlagerung aller durch äußere Kräfte verformten Membranformen. Mit der Größtform überprüften wir die Kollisionsfreiheit zu den Turmrohren, mit der Kleinstform jene zum eingestellten Pendeldreibein und der davor angeordneten Wartungsleiter.

Less is more

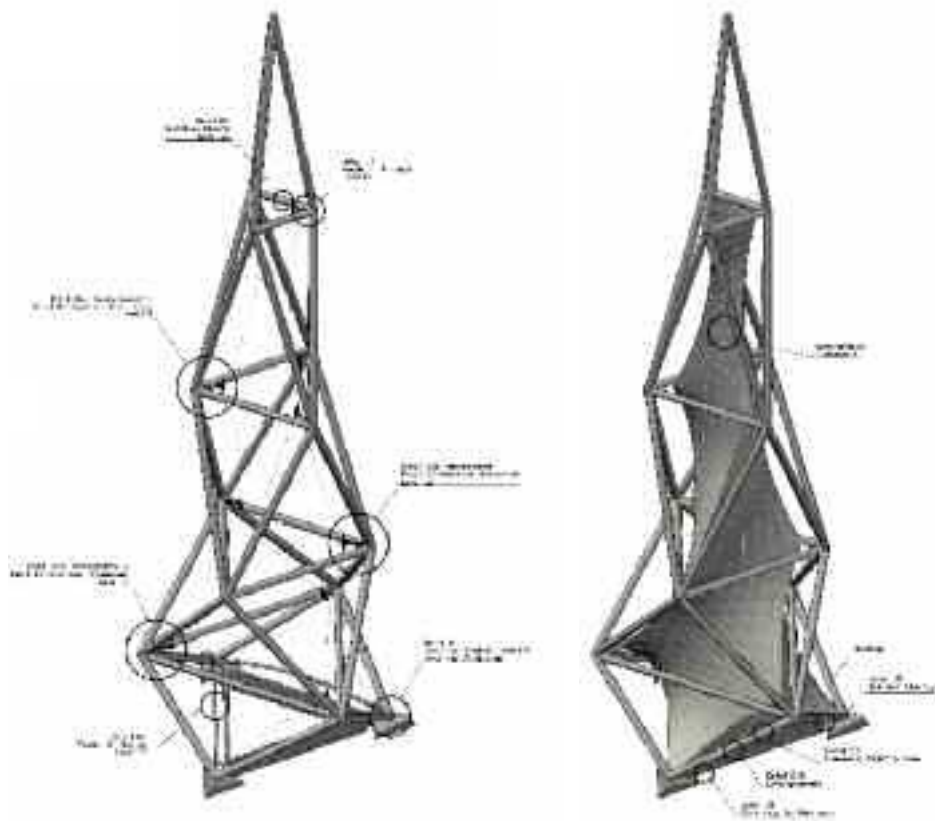
Als formTL 2012 durch die Empfehlung von Werner Bauingenieure in das Planungsteam kam, gab es bereits eine Machbarkeitsstudie von schneider + schumacher in Form einer Fischreuse mit einer sich nach oben verjüngenden und über mehrere Stahlringe aufgespannten Membrane. Da sich eine Fischreuse mit der Anmutung eines Strommasten von Schuchov in der polygonalen Struktur des Turms falsch »anfühlte«, untersuchte das Planerteam aus KKW Architekten und Werner Bauingenieure eine Alternative mit einer schraubenförmigen Membrane, die sich an der Logik des Turms orientierte.



Stahlurm mit innenliegender Kaleidoskophülle
© Robert Mehl



Ansichten und Draufsicht
© formTL

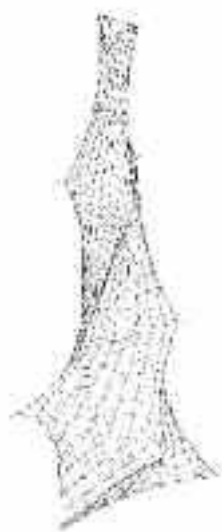


Tragstruktur mit und ohne Membrane
© formTL

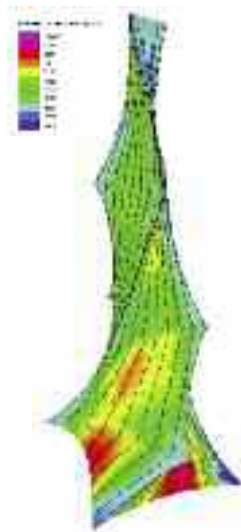
Aktive Form

Planmäßig ist die Membrane in Kette und Schuss mit je 2 kN/m vorgespannt. Wenn der Wind mit 37 m/s die Membranhelix 0,50 m nach innen bzw. außen auslenkt, steigen die Membranspannungen auf bis zu 10 kN/m in (vertikaler) Kett- und 12 kN/m in (horizontaler) Schussrichtung, die Kräfte an den Spannungspunkten wachsen dann von 75 kN auf 150 kN und die Seilkräfte von 100 kN auf 200 kN an. Diese erhöhten Vorspannungen wirken rückstellend und stabilisierend. Lässt der Wind nach, nimmt die Membranhelix wieder die energieärmere Vorspanngeometrie ein.

Da die Membrane schraubenförmig den Seilen folgt und sich nach oben hin verjüngt, planten wir ein schraubenförmiges und konisches Bahnenlayout, das die Höhe der Membranhülle betont. Resultierend aus der Tatsache, dass 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 weniger Promille kleiner gefertigt. Beim Spannen in die etwas größere Soll-Form baut sich so nach und nach die Soll-Vorspannung in Membrane, Seilen und den Spannungspunkten auf.



Nahtlayout im Entwurf
© formTL



Lastfall: Kettspannung
© formTL



Erscheinungsbild bei Dunkelheit
© Robert Mehl

Das wichtigste Konstruktionsteil sind die neun speziellen Beschläge, welche die Seile fassen und die Membrane zu den Turmknoten spannen. Sie bestehen aus einem Seilumlenksattel mit Stopperklemme zur Aufnahme der Seil-Differenzkräfte sowie längenverstellbaren Zugstangen und Gelenken, damit das Bauteil lastbedingte Schrägstellungen von $\pm 3^\circ$ zwängungsfrei abtragen kann.

Test und Mockups

Nachts sollte die Membranhelix leuchten und derart den Ort betonen. Im Lichtlabor wurde deshalb mit Hilfe eines raumhohen Membranmusters getestet, wie von außen aufgestrahltes Licht bzw. eine Hinterleuchtung mit den vorausgewählten Membranmaterialien harmonisieren. Zur Wahl standen PTFE-beschichtetes Glasgewebe, laminiertes Glasgewebe sowie PVC-beschichtetes Polyestergewebe, das den Membranstrumpf in eine Leuchtskulptur verwandelte, sobald er hinterleuchtet wurde. Hier zeigte sich bereits, wie wichtig es sein würde, das Nahtbild speziell zu untersuchen, da sich die Membranverdopplung im Durchlicht abzeichnete. 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 werden auch die wesentlichen Befestigungsdetails auf ihre tatsächliche Bruchlast getestet, wodurch Membranbauwerke eine hohe Ausführungsgüte erreichen. Da der Konfektionär anstelle von Verpressklemmen aufgeschraubte Seilstopper zum Übertragen der Differenzkräfte einsetzen wollte, musste er die Seilklemmen ebenfalls prüfen lassen, wozu mehrere Optimierungsrunden und der Test verschiedener Beschichtungen nötig waren, bis die erforderlichen Festigkeiten erreicht waren.



Montage der Membranhelix per Autokran
© Alexander Ring

die Membrane entfaltet. Nach dem Einbau der Seile, der neun 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.

Montage

Der »Membranstrumpf« besteht aus vier Etagen, drei Flächen je Etage und sechs Membranstreifen je Fläche, zusammen also aus 72 Membranstücken, die im Werk zu einem »Membranstrumpf« zusammengefügt 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 andererseits eine spezielle Montagemethode erforderlich – nicht im Sinn von aufwendig, sondern im Sinn von unüblich oder ungewöhnlich: Die Membranhelix wurde im Werk des Konfektionärs in einen großen Membransack hineingefaltet, per Autokran 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



Einbau der Seile
© Alexander Ring

Fazit

Less is more machte sich hier für den Bauherrn ganz besonders bezahlt: Durch den konsequenten Verzicht auf biegebeanspruchte Bauteile und ein »Fließenlassen« der Form entstand ein prägnantes »Leichtgewicht«, das nur 5 kg/m² Oberfläche wiegt – und das dem Bauherrn weit günstiger kam, als er dafür vorgesehen hatte.

Gerd Schmid
Dipl.-Ing. Architekt
formTL ingenieure für
tragwerk und leichtbau gmbh,
Radolfzell



Technikmuseum nach Erweiterung
© Robert Mehl

Bauherr
Stiftung Phänomena Lüdenscheid

Projektsteuerung
DU Diederichs Projektmanagement AG & Co. KG,
Wuppertal

Architektur Machbarkeitsstudie
schneider + schumacher Planungsgesellschaft
mbH, Frankfurt am Main

Objektplanung und Bauleitung
KKW Korte Kaldewey Wortmann Architekten, Altena

Tragwerksplanung Massivbau und Stahlurm
Werner Bauingenieure Partnergesellschaft,
Menden

**Tragwerksplanung Membranelix,
Ausschreibung, Fachbauleitung**
formTL ingenieure für tragwerk und leichtbau gmbh,
Radolfzell

Ausstellungsplanung
beier + wellach projekte, Berlin

Windgutachten
Ruscheweyh Consult GmbH, Würselen

Prüfingenieur
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Güldenpfennig, Aachen

Materialversuche
Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM,
Halle