

Autostadt Wolfsburg

Auslieferungspavillon

Struktur und Statik



Pahl & Weber-Pahl
Planungsgesellschaft mbH
Darmstadt

osd
office for structural design GmbH & Co. KG
Frankfurt am Main

Geometrie

Der Pavillon besitzt einen ovalen Grundriss mit einer überdeckten Gesamtfläche von ca. 1.600 m². Die Hochpunkte der Fläche liegen etwa 6 und 9 Meter über den beiden Tiefpunkten und geben dem Gebäude damit eine Gesamtneigung in Längsachse. Die Tragstruktur ist entlang der Längsachse symmetrisch.

Die geometrisch vorherrschende Form ist eine sogenannte Hypar- oder Sattelfläche. Hyperbolische Paraboloiden (kurz Hypare) bezeichnen regelmäßige doppelsinnig gekrümmte Flächen, deren Krümmung in beide Richtungen gegensinnig verläuft: Während in Längsrichtung eine positive Krümmung als stehende Parabel als Leitkurve vorhanden ist, wird die Querrichtung von einer fallenden Parabel beschrieben. Das mathematische Bildungsgesetz ist grob mit $z=ax^2-by^2$ zu beschreiben, wobei a und b Formparameter sind.

Tragstruktur

Die Tragstruktur gliedert sich in Primärtragwerk, Sekundärtragwerk und Hülle. Das **Primärtragwerk** besteht dabei aus einem Stahlrandträger als fünfeckiges geschweißtes Hohlkastenprofil aus Stahl hoher Festigkeit mit dynamischer Formgebung und sich kontinuierlich änderendem Querschnitt. Trotz seines Gewichtes von ca. 150 Tonnen wirkt der Hohlkastenträger leicht und elegant. Das Konstruktionsgewicht ist dabei u.a. auf die innenliegende Aussteifungskonstruktion aus Querschotts und Längsrippen zurückzuführen.

Die Auflagerung des Randträgers fällt so schlicht wie möglich aus, der Randträger wird in die massiven Fundamentblöcke durch innenliegende Spannanker an den Tiefpunkten eingespannt. Die Blöcke selbst liegen auf einem System aus Ankerpfählen.

Das **Sekundärtragwerk** besteht aus senkrecht zueinander stehenden Seilscharen mit offenen Spiralseilen, welche die Fläche in einem 1,5-Meter-Raster strukturieren. Die Seile der beiden Scharen sind an beiden Enden durch Gewinde-Gabelfittings mit dem Randträger verbolzt. Über ein Gewinde ist der Gabelkopf in Längsrichtung verstellbar. Auf diese Weise werden Toleranzen des Stahlbaus ausgeglichen und zugleich die Vorspannung der Seilscharen eingestellt.

Die **Gebäudehülle** oder Dachhaut besteht aus einer Membran aus Glasfasern in einer PTFE-Matrix. Die gesamte Membranfläche ist punktförmig in den Kreuzungspunkten der Seilscharen gehalten. In diesen Knotenpunkten ergänzt ein Auflagerteller mit Dichtabschluss die vierteilige Seilklemme aus Stahl zur Befestigung der Membran. Die Membran selbst wird über segmentierte Kederplatten am Randprofil befestigt und gespannt.

Besonderer Augenmerk lag auf einem Zusammenspiel der erforderlichen Membrannähte und dem Seilnetz. Die Details sind funktional ausgearbeitet. Sowohl die Nutzungsabsicht als auch der initiale Entwurfsgedanke wurden konsequent umgesetzt und führten zu einem minimalistischen Ingenieurbauwerk, bei dem sich Membran und Seile mit dem Stahlbau ideal ergänzen. Alle Elemente des Tragwerks sind sichtbar, nichts wird versteckt.

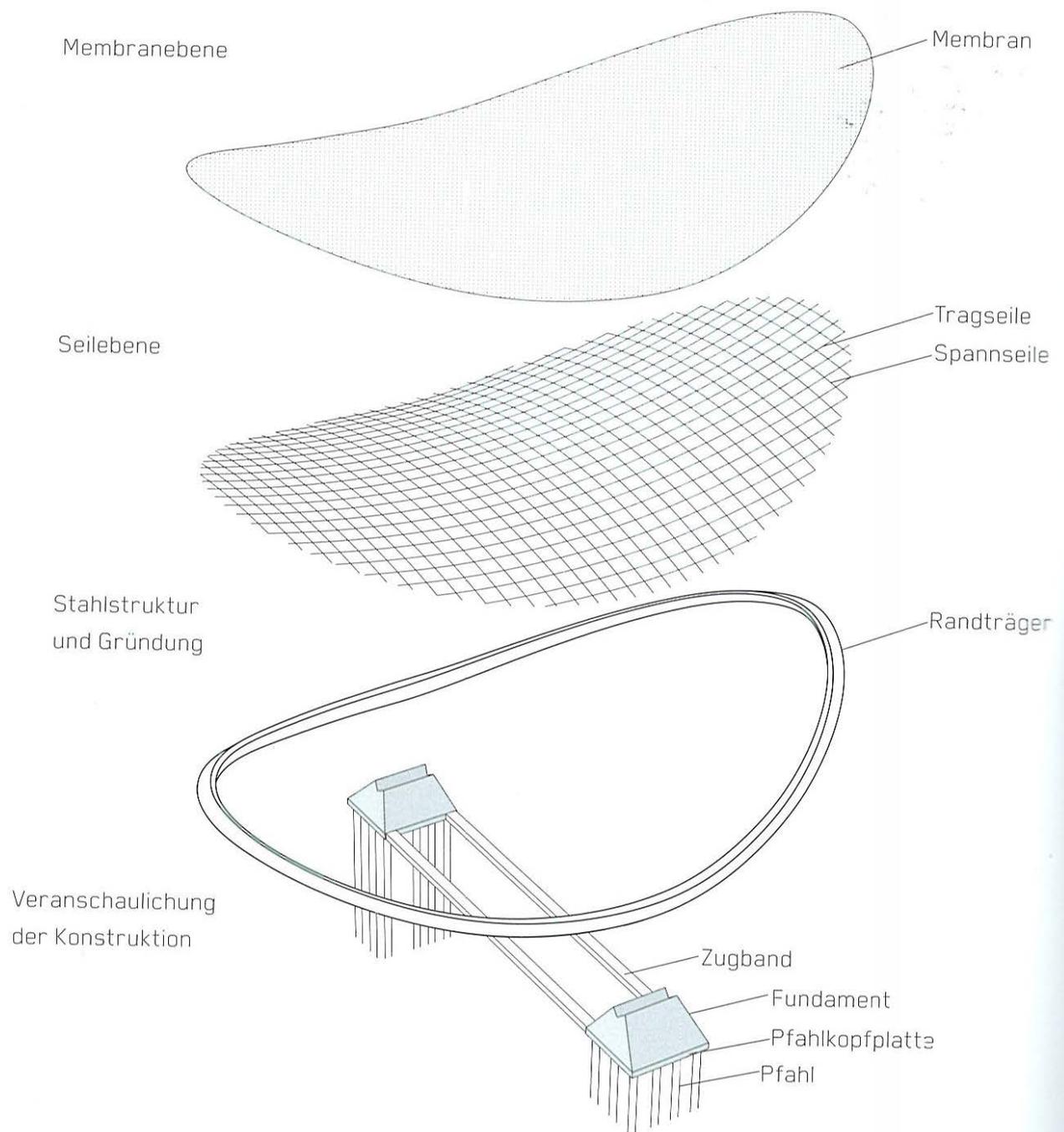
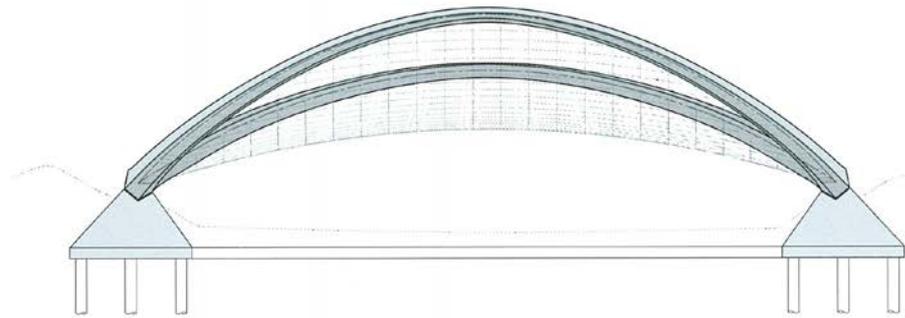
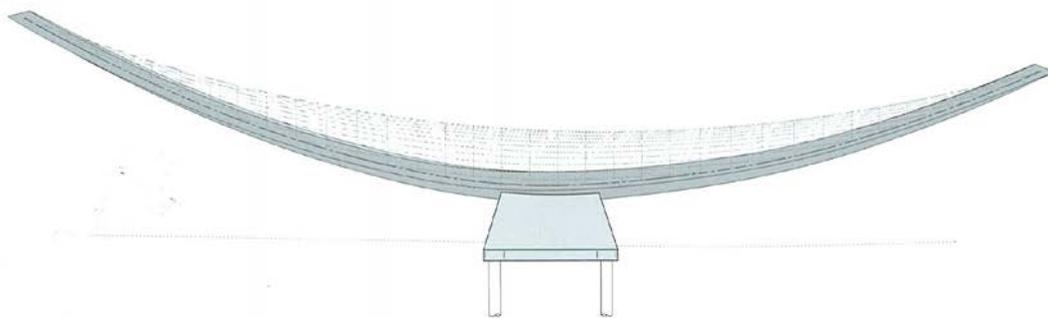


Abbildung 1 Tragstruktur



Ansicht und Querschnitt des doppelt gekrümmten Flächentragwerks



Die Parkplätze befinden sich unter der beleuchteten Konstruktion

Abbildung 2 Ansichten des Tragwerks in der Gesamtwirkung



Abbildung 3 Zufahrt zum Pavillon

Lastabtrag

Die außenliegende Membran wird am Ringträger befestigt und vorgespannt. Über Tellerhalter ist sie **punktförmig** mit dem darunterliegenden Seilnetz aus zwei orthogonalen Seilscharen verbunden. Damit kann die erforderliche Vorspannung der Membran reduziert werden. Das Seilnetz übernimmt dabei durch die punktförmige Einleitung sowohl Sogkräfte aus Wind als auch Druckkräfte z.B. aus Schnee.

Die Seilscharen zusammen wirken prinzipiell wie ein "flächiger Seilbinder": Die Seile in Längsrichtung bilden die sogenannten **Tragseile**, die die äußeren Einwirkungen übernehmen. Die zu den Längsseilen orthogonal stehende Seilschar bildet die **Spannseile**. Sie bringen die erforderliche Vorspannung auf die Längsseile und sorgen für die Form. Gemeinsam beteiligen sie sich am Lastabtrag indem vertikale Lasten über das biegeeweiche Seilnetz in Horizontalkräfte umgewandelt werden.

Die Horizontalkräfte aus den Seilen werden in den Ringträger übergeben, dieser übergibt durch Biegung und Torsion die Kräfte an die Fundamentblöcke an den Tiefpunkten der Hyparfläche. Von dort werden wiederum die Kräfte auf die Pfahlgründung und in den Baugrund weitergeleitet.

Der Ringträger ist dabei belastungsgerecht geformt. Siehe hierzu erläuternde Abbildung aus einer Finiten-Element-Berechnung unten.

Durch die Verwendung von innenliegenden Spannankern ist der Ringträger an den Tiefpunkten in Längsrichtung als eingespannt zu betrachten.

Horizontale Lagerreaktionen werden von einem unterirdischen Stahlbetonband kurzgeschlossen.

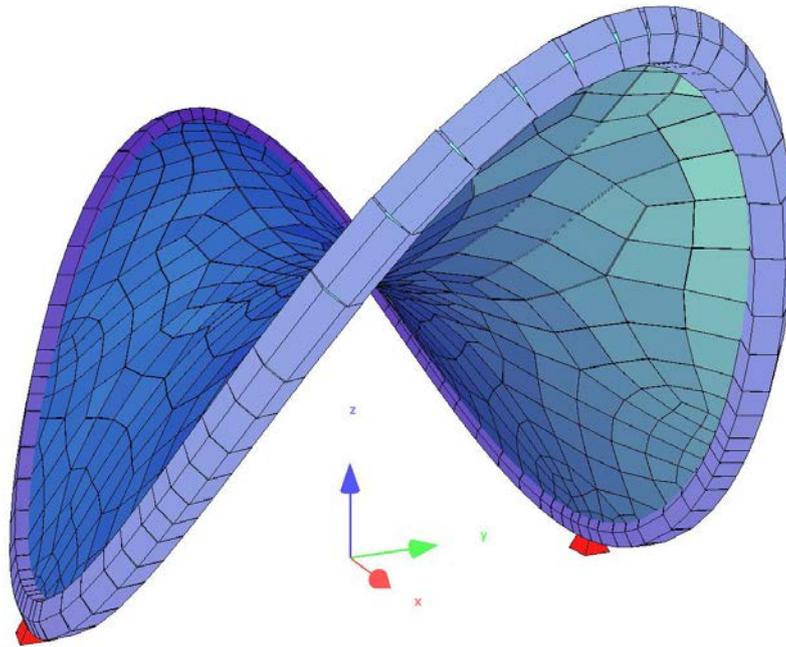


Abbildung 4 Vergleichssystem FEM

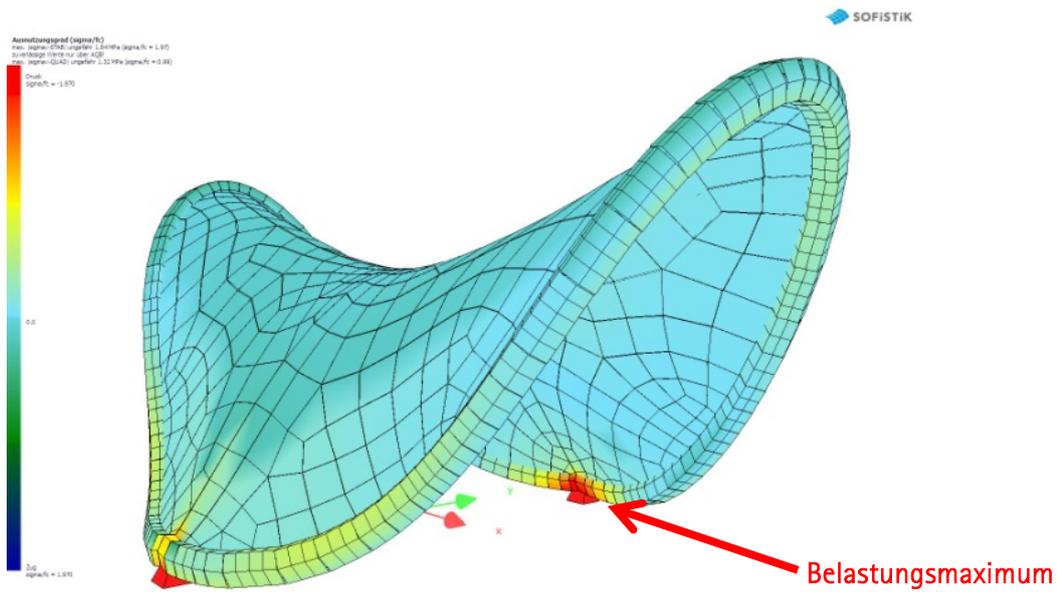


Abbildung 5 Ringträger mit weicher Schale unter Eigenlast

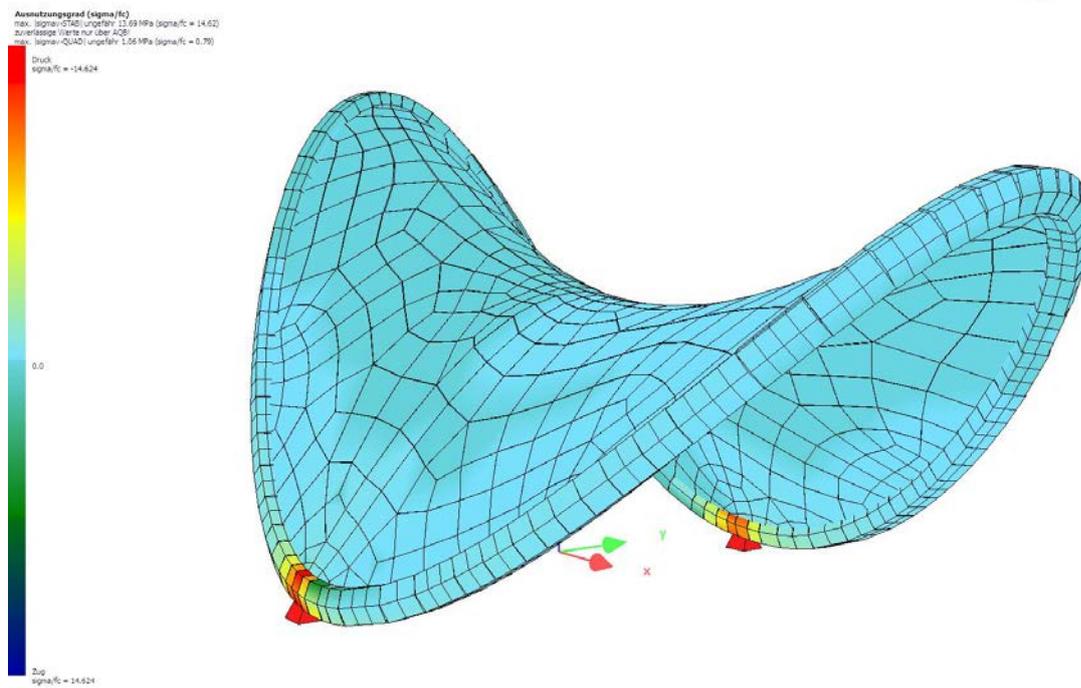


Abbildung 6 Vergleichssystem unter einseitiger Schneelast - Kippen in Lastrichtung



Abbildung 7 Untersicht auf die Dachfläche

Ausführung

Die Fertigung des Druckrings ist aufgrund der sich kontinuierlich ändernden Geometrie, welche affin zum Belastungsverlauf ist, und wegen der optischen Anforderungen der sichtbaren Konstruktion sehr anspruchsvoll.

Das Tragwerk ist so geformt, dass anfallendes Regenwasser zu den beiden Tiefpunkten geführt und dort durch den Randträger hindurch in das Entwässerungssystem der Gesamtanlage eingeleitet wird (Mischkanal?). Da der Randträger nicht verkleidet ist, galt es hohe Anforderungen an die Ebenheit der Bleche zu erfüllen. Der Farbton des Stahlträgers gab den Ausschlag für die Wahl der Membran: bei Einbau noch hellbraun, hellt sie sich in unseren Breitengraden unter Einfluss von Sonnenlicht innerhalb weniger Monate zu einem Cremeweiß auf.

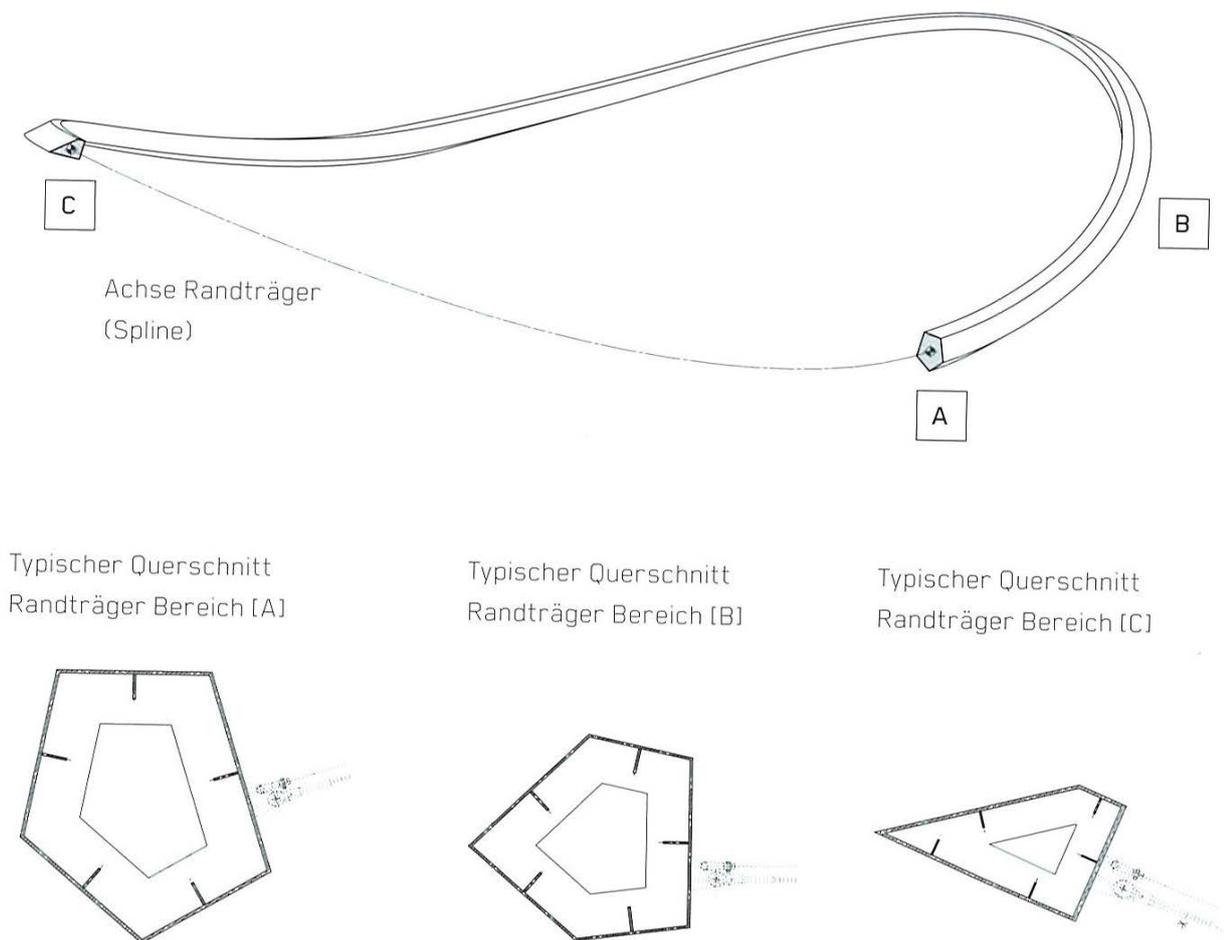


Abbildung 8 Ausführung des Randprofils

Synopse

Die überdachte Grundfläche des Auslieferungspavillons ist mit ca. 1.600 m² deutlich kleiner als die Fläche des Mittelsteigdaches des ZOB Wiesdorf mit über 2.000 m². Auch wenn beide Konstruktionen sich einander vom Aufbau ähneln, so sind sie sehr unterschiedlich - mit einem deutlichen Vorteil für das Mittelsteigdach des ZOB Wiesdorf. Während die Membran in Wolfsburg punktförmig auf einem Seilnetz abgestützt ist und eine sehr einfache formaktive Struktur hat, bestimmt die Formgebung der trichterförmigen Einlässe am Mittelsteigdach die Stahlkonstruktion. Der Randträger ist deutlich einfacher aufgebaut und nicht direkt gelagert, was den Nutzwert nicht negativ beeinflusst. Auch kommen Konzepte wie die ungerichtete Gitterschale unter numerischer Topologieoptimierung zum Einsatz, die vom office for structural design entwickelt werden. Das Tragwerk braucht keinen Vergleich zu komplexen Stahlbauten zu scheuen und ist von der Formgebung und Technik her eine echte Innovation. Alle Details werden stahlbauspezifisch entwickelt und kontinuierlich optimiert.

Auf eine aufwendige und teure Gründung kann durch die Verwendung von radialen Gitterstützen ganz verzichtet werden. Schäden an der Membran können u.a. durch Austausch eines Membransegments wesentlich leichter behoben werden.

Der ZOB Leverkusen wird damit nicht nur zu einem Portal für die Stadt, sondern auch zu einer Landmarke und einem Referenzbau, der den Standort unterstreicht.

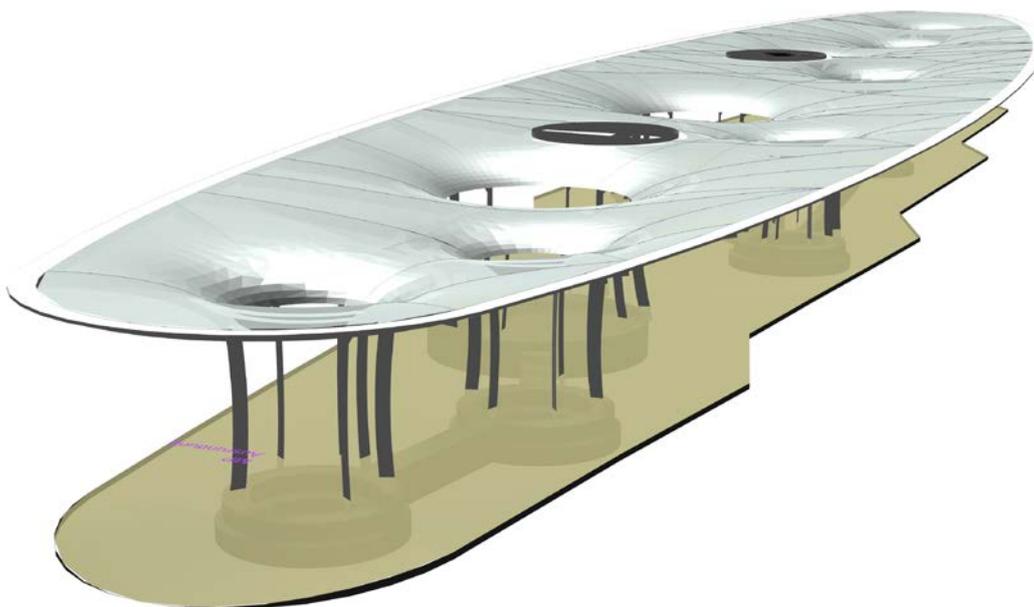


Abbildung 9 Strukturrendering Mittelsteigdach ZOB Wiesdorf in Leverkusen

ZOB Leverkusen-Wiesdorf

Verfasser:

osd: Klaus Fäth, Roland Werth,

Pahl & Weber-Pahl: Monika Weber-Pahl

Bildquellen:

bauforumstahl: Ausgezeichneter Stahlbau 2016, Callwey 2016, Abb. 1,2,8

competitiononline: Titelbild, Abb. 3, Abb. 7

office for structural design, Abb. 9

Roland Werth, Abb. 4,5,6