

Das Sonnensegel Dortmund: Sanierung der weltgrößten Holz-Hyparschale

Wilhelm Risse
Holzbau Wilhelm Risse GmbH
Meschede, Deutschland



Jürgen Hezel
MPA Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland



- 2 Das Sonnensegel Dortmund: Sanierung der weltgrößten Holz-Hyparschale | W. Risse, J. Hezel

Das Sonnensegel Dortmund: Sanierung der weltgrößten Holz-Hyparschale

1. Einleitung

Im Dortmunder Westfalenpark wurde im Jahr 1969 anlässlich der Bundesgartenschau Eurofloor im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. ein frei tragendes Holzhängedach errichtet. Das Sonnensegel wurde von dem Architekten Günther Behnisch, der als einer der bedeutendsten deutschen Architekten der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gilt, als Demonstrationsbauwerk für den modernen Ingenieurholzbau der damaligen Zeit entworfen und war ursprünglich als temporäres Bauwerk konzipiert. Die vorgespannte Holzrippenschale überdeckt eine Fläche von rund 1000 m² und gilt als herausragendes Experimentalbauwerk seiner Zeit. Die wesentliche Beteiligung von Julius Natterer und Günther Scholz zur endgültigen Formfindung des vorgespannten Holzflächentragwerks würdigt der Bauherr, die Arbeitsgemeinschaft Holz, in der Urheberbenennung: «Entwurf Büro Behnisch & Partner, Statik Ingenieurbüro Scholz, München, statische Prüfung Prof. Kupfer und konstruktive Beratung Julius Natterer.»



Abbildung 1: Das Sonnensegel im Westfalenpark Dortmund bei der Eröffnung 1969
(Bild: Informationsdienst Holz / TU München)

Nach dem Ende der Bundesgartenschau wurde das Sonnensegel als überdachte Veranstaltungsfläche für Konzert- und Tanzevents im Westfalenpark genutzt. Schon nach wenigen Jahren traten an dem Bauwerk Schäden an der Dachabdichtung auf. Die verwendeten Kunststoffbahnen erwiesen sich entgegen der ursprünglich angenommenen Robustheit als wenig dauerhaft, wodurch erste Reparaturarbeiten notwendig wurden und infolge dessen die Dachabdichtung mittels Bitumenbahnen erfolgte. Nach 40 Jahren Nutzungsdauer waren Bauschäden in erheblichem Umfang vorhanden, die zu ersten gravierenden Ertüchtigungsmaßnahmen führten. So wurden im Jahr 2009 die Stützen und Spannseile der Hochpunkte mit einem Stahlkorsett verstärkt, da die Tragsicherheit aufgrund feststellbarer Fäulnisschäden an den drei exponierten BSH-Holzstützen gefährdet war.

Im Lauf der Zeit mehrten sich die Schäden und führten zur Beeinträchtigung der Standsicherheit, so dass die Stadt Dortmund 2012 das Sonnensegel sperrte und der Bereich um das Sonnensegel nicht mehr betreten werden konnte. Erste Gutachten stellten die Umsetzbarkeit einer Sanierung aufgrund der Komplexität der Tragstruktur in Frage.

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie [1] der Wüstenrot Stiftung wurde 2017 mit einem interdisziplinären Team (Ingenieure, Architekten, Materialprüfungsanstalt, Denkmalpflege) ein umfassendes Sanierungskonzept erarbeitet und in Dortmund vorgestellt. Auf Basis dieser Machbarkeitsstudie wurden die rund 2 Jahre andauernden Sanierungsarbeiten am Sonnensegel von 2019 bis 2021 durchgeführt. Die Kosten der Instandsetzung wurden je zur Hälfte von der Stadt Dortmund und der Wüstenrot Stiftung getragen.

2. Konstruktion

Das weitgespannte hyperbolische Paraboloid überdeckt im Grundriss eine Fläche von rund 60 m Diagonalspannweite (jeweils zwischen den Tiefpunkten und zwischen den Hochpunkten). Die Schalenkonstruktion wird durch gekrümmte frei gespannte Randträger begrenzt.

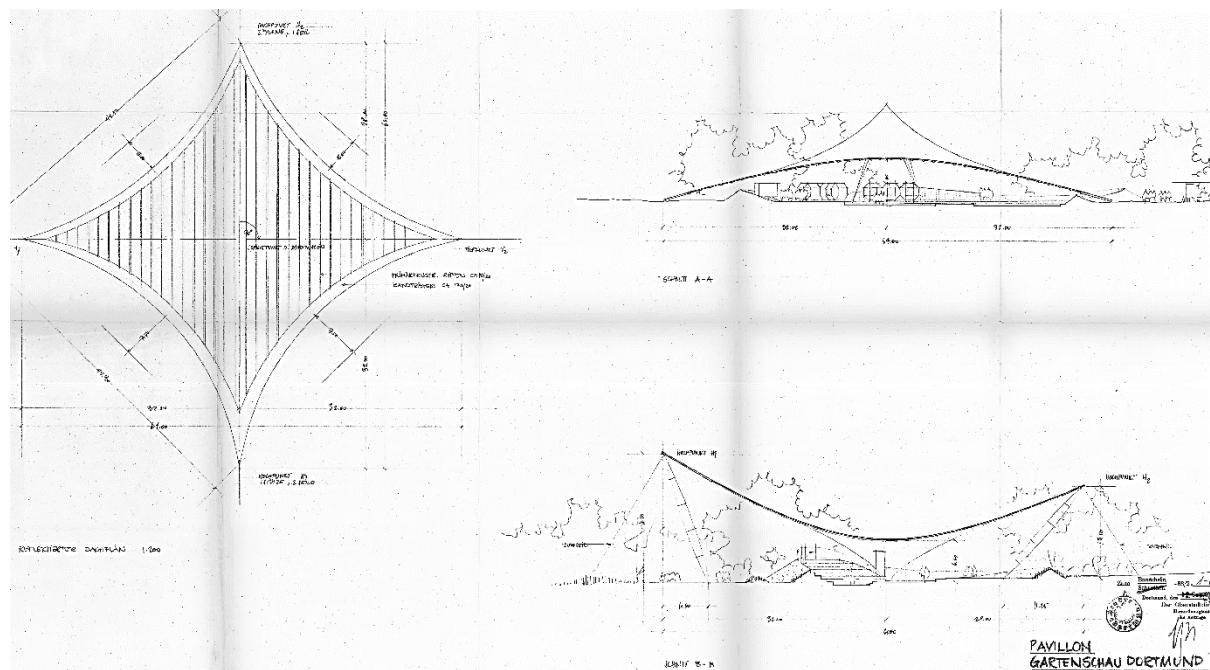


Abbildung 2: Dachplan und Schnitte, Ingenieurbüro Dr.-Ing. G. Scholz, München (Plan vom 07.08.1968)

Die Stützenhöhen betragen am südlichen Hochpunkt H1 18,5 m und am nördlichen Hochpunkt H2 13,5 m.

Die Holzkonstruktion besteht im Wesentlichen aus den nachfolgend stichpunktartig benannten Bauteilen:

- Vier Randträger: Brettschichtholz(BSH)-Doppelquerschnitte 2 x (18 cm x 140 cm), aufgebaut aus jeweils 3 cm dicken Lamellen (Fichte), verklebt mit Phenol-Resorzin-Harz-Klebstoff. Die übereinander liegend eingebauten BSH-Querschnitte sind mittels stabförmiger Verbindungsmittel (Bolzen und Stabdübel Ø 30 mm) miteinander verbunden. Die gekrümmten Randträger spannen jeweils von einem Tiefpunkt zu einem Hochpunkt.
- 32 Nebenträger: BSH-Träger mit Querschnitt 20 cm x 24 cm, aufgebaut aus 3 cm dicken Lamellen (Fichte), verklebt mit Phenol-Resorzin-Harz-Klebstoff. Die Spannrichtung der Nebenträger ist parallel zur Achse H1 – H2 orientiert, der Achsabstand zwischen den einzelnen Nebenträgern beträgt 1,5 m. Die Anschlüsse der Nebenträger an die Randträger erfolgt mit Stahlformteilen mittels stabförmiger Verbindungsmittel.

- Dreilagige Holzschale aus Fichtelamellen: Die untere Lage spannt parallel zur Tiefpunkt-Tiefpunkt-Achse, wobei die 26 mm dicken Lamellen mittels Längsstößen (Keilzinkenstoß) zug- und druckfest zu jeweils einer über die gesamte Länge durchgehenden Lamelle verbunden sind. Die Lamellen sind jeweils auf den Nebenträgern und auf den Randbindern vernagelt.
- Die mittlere Lage besteht aus 18 mm dicken Lamellen, die gegenüber der unteren Lage um 45° gedreht angeordnet sind.
- Die obere Lage besteht aus 18 mm dicken Lamellen, die gegenüber der mittleren Lage um 90° gedreht angeordnet sind.
- Die Lamellen der mittleren und der oberen Lage sind in Längsrichtung stumpf gestoßen und mit der jeweiligen unteren Lage vernagelt.
- BSH-Stützen an den Hochpunkten H1 (eine Stütze) und H2 (zwei Stützen), abgespannt mit Stahl-Spannseilen.
- An den Tiefpunkten sind die Randträger an (Beton-)Sockelfundamenten verankert.
- Die Dachabdichtung ist mit einer mehrlagigen Bitumenschweißbahn ausgeführt (ursprünglich war die Dachabdichtung mit einer hellen Folie ausgeführt, siehe Abbildung 1)

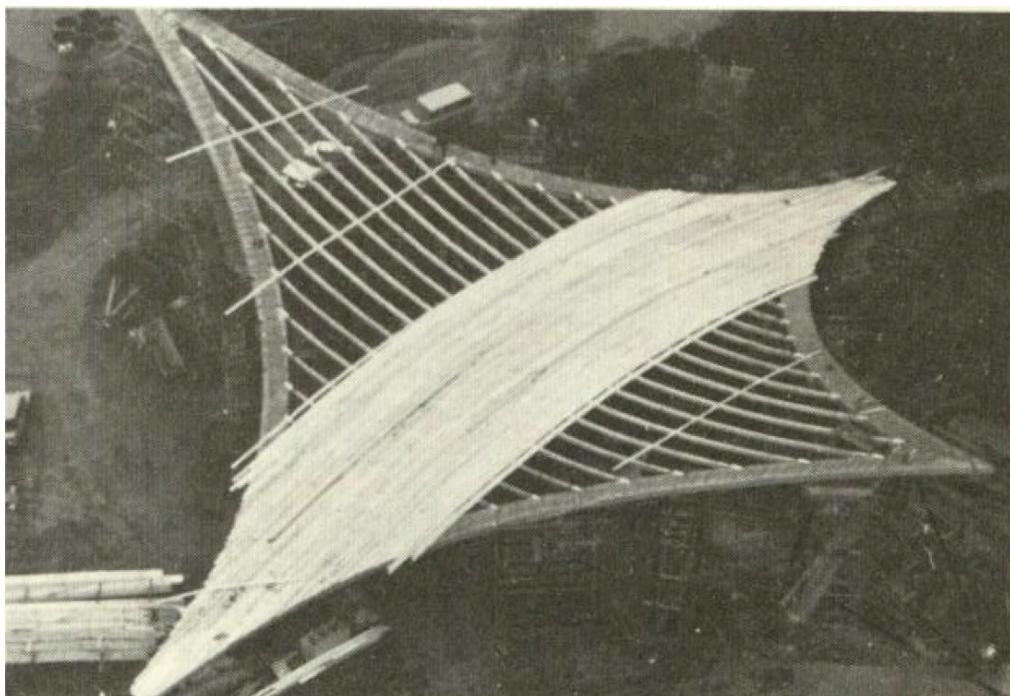


Abbildung 3: Blick auf das Sonnensegel während der Montage der unteren Lamellenlage der 3-lagigen Schalung (Bild: Informationsdienst Holz / TU München)

Die auftretenden Lasten des Flächentragwerks werden an den Tiefpunkten unmittelbar durch Stahlbetonfundamente in den Baugrund abgetragen. An den Hochpunkten werden die Lasten mittels Stahlanschlussteile über Stützen und Spannseile abgetragen. An dem höheren Hochpunkt bildet eine Holzstütze mit zwei Spannseilen die Stützkonstruktion, an dem niedrigeren Hochpunkt bilden zwei Holzstützen und ein Spannseil die Stützkonstruktion. Die Stahlbetonfundamente unterhalb der Tief- und Hochpunkte sind jeweils über Stahlbetonriegel im Erdreich miteinander verbunden, um die hohen horizontalen Lasten abzutragen.

3. Schadensbegutachtung

Im Auftrag der Wüstenrot Stiftung wurde durch die MPA Universität Stuttgart, im Rahmen der Machbarkeitsstudie, eine Schadensbegutachtung der Holzkonstruktion durchgeführt und eine Kartierung der Schäden vorgenommen. Die handnahe Begutachtung erfolgte im September 2016 an exemplarisch ausgewählten und zugänglichen Bereichen des Tragwerks.

3.1. Schadensbild an den Randträgern

An den Randträgern wurden in umfänglichen Bereichen die Oberflächen an den Trägerunterseiten inspiziert und Rissaufnahmen durchgeführt. Insgesamt konnte mit Hinblick auf Standzeit und Umgebungsbedingungen hierbei eine geringe Rissausprägung festgestellt werden. Die bauliche Ausführung der Tiefpunkte T1 und T2 lässt den benötigten Abstand der Holzkonstruktion zum Erdreich vermissen. Außerdem verhindert die vorhandene Sit-

uation der extrem eingewachsenen Tiefpunkte und der nahezu vollständigen Überdeckung des Tiefpunktes T1 mit Kiefernadeln und Laub eine funktionierende Entwässerung an den Fußpunkten. Diese Situation führt zu einem hohen Schädigungsrisiko der Holzbauteile. Feuchtebedingte Fäulnisschäden waren äußerlich, ohne Öffnen der Bitumenbahnen nicht erkennbar. Aufgrund der mangelhaften Umstände waren aber Schädigungen nicht auszuschließen.

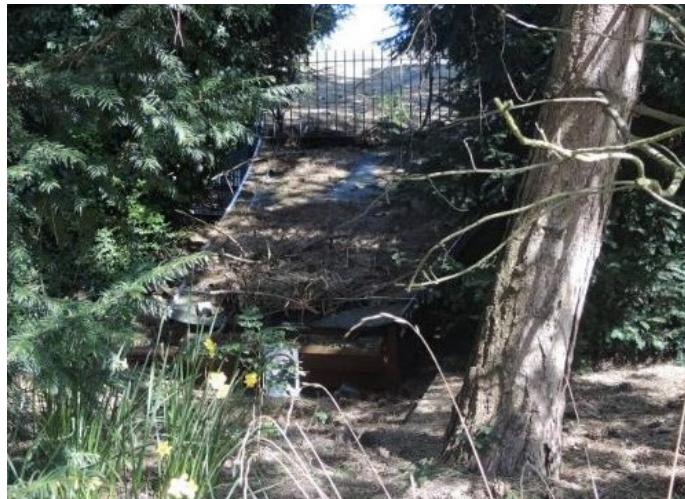


Abbildung 4: eingewachsener Tiefpunktbereich

3.2. Schadensbild an den Nebenträgern

An den symmetrisch angeordneten Nebenträgern, die mit Stahlanschlussteilen zwischen die Randträger eingehängt sind, war im Bereich der Stabdübelverbindung eine unterschiedlich ausgeprägte Rissbildung festzustellen. Die Befunde reichten von rissfreien Anschlussbereichen über geringfügig gerissene bis zu klaffenden Rissen über zwei oder mehr Stabdübel.

Die in eher geringem Umfang sanierungsbedürftigen Fugenrisse hatten Risstiefen von 90 mm und darüber hinaus. Auch über mehrere Meter lange Risse waren festzustellen. Wie bei den Rissen im Bereich der Stabdübelverbindungen war aber auch hier kein einheitliches Muster zu erkennen. Die Rissausprägung variierte bei den begutachteten Bereichen von rissfrei bis deutlich ausgeprägt.



Abbildung 5: Ansicht eines Nebenträger-Randträger-Anschlusses

3.3. Schadensbild an der dreilagigen Holzschale

Zur handnahen Untersuchung der dreilagigen Holzschalenkonstruktion war es erforderlich, bereichsweise die Bitumendachbahn aufzuschneiden und entsprechende Bereiche zur Inspektion freizulegen. Die Auswahl der Untersuchungsbereiche erfolgte zum einen mit Bezug auf Verfärbungen auf der Unterseite zum anderen aber auch zufällig, um zu überprüfen, ob die vermutete Schadenfreiheit auch tatsächlich vorliegt.

Bei der Begutachtung wurde ein deutlich unterschiedliches Schadensausmaß festgestellt. In drei Bereichen reichte die fortgeschrittenen Fäulnisschädigung über die drei Lagen

- 6 Das Sonnensegel Dortmund: Sanierung der weltgrößten Holz-Hypsarschale | W. Risse, J. Hezel

Schalung bis 40 mm tief in den Neben- bzw. Randträger. Im Bereich des Hochpunktes H1 waren Fäulnisschäden an der Unterseite der Schalung und an den Seitenflächen des Randträgers vorhanden.

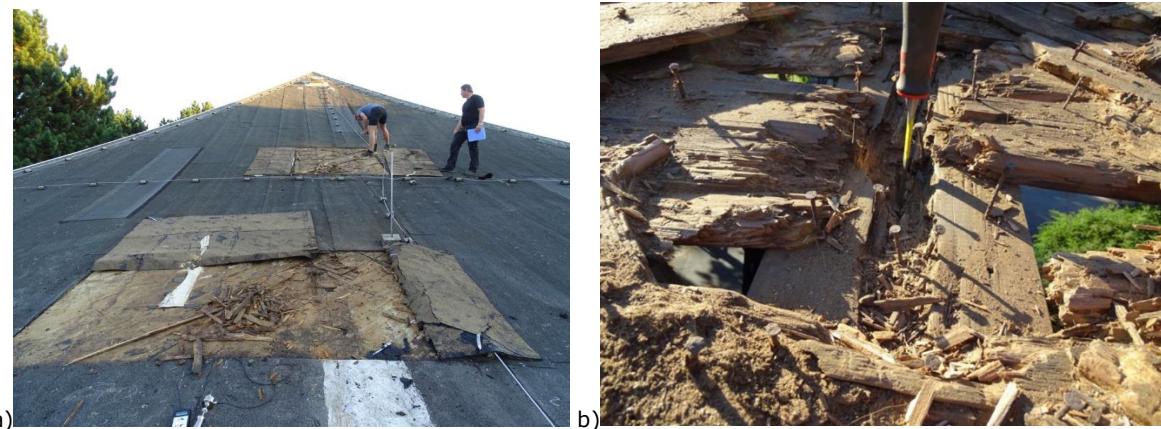


Abbildung 6: a) Geöffnete Inspektionsflächen, b) Schadensbereich über drei Lamellenlagen und Nebenträger

Weiterhin wurde bei der Begutachtung festgestellt, dass Teilflächen der Schalung bereits bei zurückliegenden Reparaturarbeiten über alle drei Lagen ausgetauscht waren. Lediglich an zwei der sechs Inspektionsflächen waren keine Auffälligkeiten erkennbar.

3.4. Schadensbild an den Hochpunktstützen



Abbildung 7: geschädigte Brettschichtholzstütze mit Stahlkorsett

Die jeweils aus drei BSH-Bauteilen kreuzförmig zusammengesetzten Stützen waren aufgrund der exponierten (Schräg-)Stellung quasi ohne Bewitterungsschutz. Die Fäulnisschädigungen an den drei Brettschichtholzstützen waren nach rund 40 Jahren Standzeit so weit fortgeschritten, dass eine vollständige Erneuerung unumgänglich erscheint.

Die Standsicherheit der Stützenkonstruktion wurde im Jahre 2009 durch ein provisorisch angebrachtes Stahlkorsett für eine Übergangszeit von zunächst 3 Jahren gesichert. Ebenso waren die korrosionsgeschädigten Spannseile jeweils mittels einer zusätzlichen Seilabspannung ertüchtigt worden.

4. Instandsetzungsplanung

4.1. Sanierungskonzept

Das Ingenieurbüro Knippers Helbig entwickelte im Rahmen der Machbarkeitsstudie [1] ein Sanierungskonzept. Ziel war es, die intakten Bereiche der Bauteile des Sonnensegels weitgehend zu erhalten und die Standsicherheit durch den Austausch der Holzstützen und Spannseile sowie mit partieller Erneuerung bzw. Sanierung der geschädigten Bereiche wiederherzustellen.

Nach umfangreichen Untersuchungen des zeitgeschichtlichen und bauhistorischen Materials wurde ein digitales Modell erstellt, mit dem die Beanspruchung der einzelnen Bauteile sowie die verschiedenen Belastungssituationen genau analysiert werden können. Die Vorspannung der Spannseile wurde programmintern so gewählt, dass auch bei Windsog-Belastung der Schale eine resultierende Zugspannung in den Spannseilen erhalten bleibt. Auf Basis des erzeugten 3D-Modells wurde ein innovatives Instandsetzungskonzept entwickelt. Hierzu wurde ein redundanter Ansatz mit Erzeugung zusätzlicher Tragreserven

erarbeitet. Im Fokus stand dabei die dreilagige Holzschale, deren durchgängige Zugkraftübertragung der unteren Lamellenlage an mehreren fäulnisgeschädigten Bereichen beeinträchtigt war.

Es entstand die Idee, die Holzrippenschale mit Carbonlamellen zu ertüchtigen und so auf eine aufwändige vollflächig kraftschlüssige Sanierung der gesamten geschädigten Schalungsbretter verzichten zu können. Eine auf der Schalenoberseite aufliegende Schar von Carbonlamellen, die lediglich an den Enden mit den Randträgern zugfest verbunden werden müsste, würde eine Substitution der Zugkraftübertragung ermöglichen. Somit würde es ausreichen die fäulnisgeschädigten Bereiche der Schalung lokal begrenzt auszutauschen und hierbei auf die Ausführung zugfester Verbindungen zu verzichten.

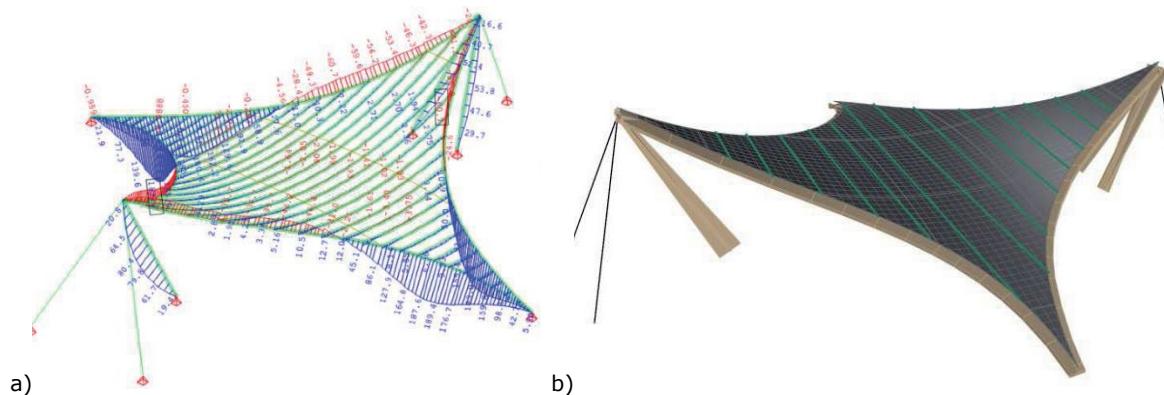


Abbildung 8: Digitales Rechenmodell des Sonnensegels, a) 3D-Modellierung der Biegemomentbelastung
b) Tragkonstruktion mit Kohlefaserstäben (grün) verstärkt (Bilder: Knippers Helbig)

Die Erneuerung der kreuzförmigen Holzstützen soll aus Dauerhaftigkeitsaspekten mit Accoya [2] erfolgen. Hierzu werden die Stützen in Geometrie und Abmessungen exakt mit dem Bestand übereinstimmend als blockverklebte Accoya-BSH-Stützen hergestellt (siehe Abbildung 9).

Das Sanierungskonzept sieht für die Randbinder und Nebenträger neben der Rissverpresung relevanter Risse, mit einem für diesen Anwendungsfall zugelassenen 2K Epoxidharzklebstoff [3], an den fäulnisgeschädigten Trägerbereichen lokale Querschnitts-ergänzungen vor, um an allen Querschnittsbereichen der einzelnen Bauteile wieder eine vollständig intakte Materialstruktur zu erhalten. Nach ausfräsen schadhafter Bereiche an den betroffenen Trägerbereichen werden in die geschwächten Querschnitte Lamellen mittels Schraubenpressklebung eingeklebt und zur Ursprungsabmessung ergänzt. Der Übergang der eingeklebten Lamellen zu den intakten Querschnittsbereichen erfolgt stets im Steigungsverhältnis 1:10 im sogenannten Schäftungsverfahren, womit die Zugkraftübertragung an den Reparaturstellen gewährleistet ist.

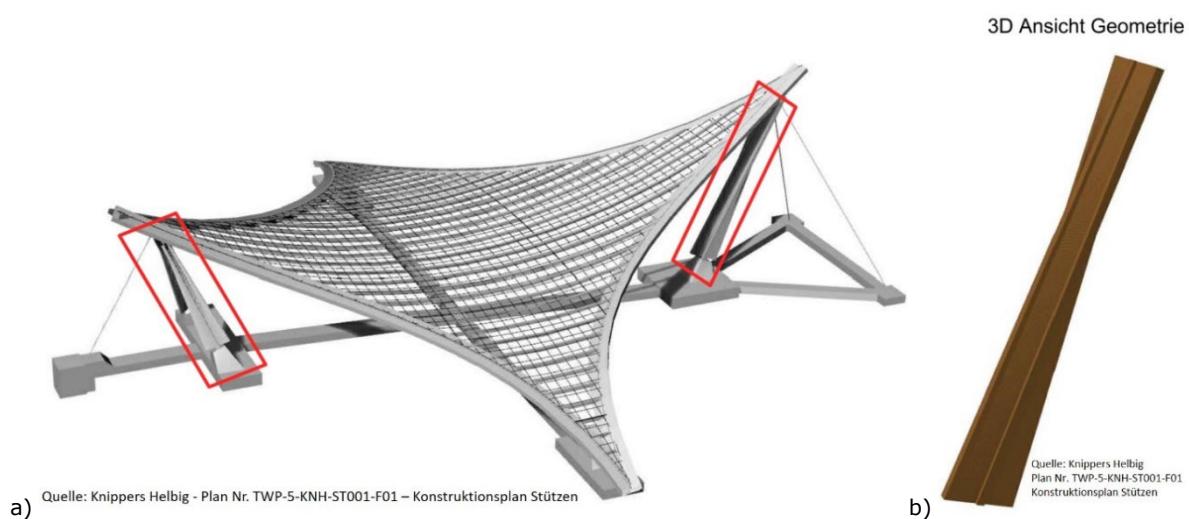


Abbildung 9: 3D-Ansichten a) Anordnung der Stützen (rot) und b) schematische Ansicht der Stützengeometrie des kreuzförmigen Querschnitts mit gegenläufiger variabler Querschnittsabmessung

Die Durchführung der Sanierungsarbeiten mittels Kleben tragender Holzbauteile im Bestand, erfordert einen möglichst spannungsfreien Zustand der Bauteile. Ferner ist zum Tausch der Stützen und Spannseile eine temporäre Abstützung der Hochpunkte notwendig. Daher ist über einen erheblichen Zeitraum der Sanierungsarbeiten eine vollständige Entlastung der vorgespannten Holzschale erforderlich. Hierzu werden die Randbinder auf ein Traggerüst abgelassen und liegen in engem Abstand auf einzeln hydraulisch steuerbaren Druckstempeln auf.



Abbildung 10: Einzelsteuerbare hydraulische Druckstempel unter den Randbindern ermöglichen ein kontrolliertes Ablassen der Konstruktion in einen spannungsfreien Zustand zur Erneuerung der Holzschalung

An die Ausführungsrandbedingungen zum Kleben tragender Holzbauteile sind hohe Anforderungen hinsichtlich des zulässigen Holzfeuchtebereichs (< 18%) und vor allem hinsichtlich der einzuhaltenden Temperatur während der Klebstoffaushärtung (17 °C – 35 °C) gestellt. Zur Einhaltung der genannten Parameter ist im Sanierungskonzept eine Einhaltung des kompletten Sonnensegels mit einem Notdach sowie abhängig von der umgebenden Temperatur auch eine örtliche Bauheizung vorgesehen.

Das Sanierungskonzept weißt auch nachdrücklich darauf hin, dass der Bewuchs um das Sonnensegel großräumig zurückgeschnitten und an den Fußpunktbereichen eine funktionierende Entwässerungssituation geschaffen werden muss.

4.2. Zustimmung im Einzelfall

Sowohl für die Ausführung der Carbonlamellenverstärkung, wie auch für die blockverklebten Bauteile aus Accoya BSH ist eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich.

Im Lauf der durchgeführten umfangreichen theoretischen und praktischen Untersuchungen zur Ausführung der Anschlussdetails der Carbonlamellen an die Randträger, wurde im Projektfortgang schließlich von der Umsetzung der Carbonfaser-Ertüchtigung Abstand genommen.

Um eine baurechtliche Verwendbarkeit für die blockverklebten Accoya Stützen zu erhalten, wurden an der MPA Universität Stuttgart die erforderlichen Materialuntersuchungen an einem nach Plänen von Knippers Helbig hergestellten vollmaßstäblichen 4 m langen Prüfkörperabschnitt (bei einer Querschnittsbreite der Kreuzstütze von 250 cm), durchgeführt und ausgewertet. Der ausführende Herstellbetrieb hat nachweislich große Erfahrung bei der Herstellung geregelter geklebter tragender Holzbauteile und auch in der Verklebung von Accoya BSH.

Im wesentlichen wurden Blockscherprüfungen an Proben aus der Verklebung der Blockfugen sowie aus der Flächenverklebung des maßstäblich verklebten Trägerabschnittes durchgeführt. Zur Berücksichtigung der Nutzungsklasse 3 Bedingungen der Stützen im Einbauzustand wurden die Scherprüfungen nach unterschiedlichen Klimalagerungen (Trocken- und Kochwechsellagerung) durchgeführt. Ferner wurden Auszugversuche an Gewindestangen die in Hirnholzflächen eingeklebt waren durchgeführt.

Sämtliche Proben mit Blockfugen sowie mit Flächenverklebungen des untersuchten Verbundbauteils aus Accoya-Brettschichtholz wiesen in Bezug auf die herangezogenen Anforderungswerte (als Anhaltswert wurden die DIN EN 14080 [4] aufgeführten Anforderungen für Nadelholz herangezogen) ausreichende Scherfestigkeiten und die für die jeweiligen Scherfestigkeiten geforderten Mindest-Faserbruchanteile auf.

Die erreichte mittlere Blockfugen-Scherfestigkeit der Prüfserie 1 (Blockfuge, unbehandelt) lag mit 10,8 N/mm² und einem mittleren Faserbruchanteil von 77 % auf einem vergleichbar hohen Niveau wie die BSH-Flächenverklebungs-Scherprüfserie 4 (Flächenverklebung, unbehandelt) mit 11,2 N/mm² bei 100 % Faserbruchanteil.

Die mittleren Scherfestigkeiten der Prüfserien 2 (Kochwechsellagerung, nass geprüft) und 3 (Kochwechsellagerung, wieder trocken geprüft) erreichten mit 82 % bzw. 75 % des Trocken-Blockscherfestigkeitsniveaus ausreichend hohe mittlere Scherfestigkeiten von 8,9 N/mm² bzw. 8,1 N/mm².

Für die Klebfugenfestigkeit von in Accoya-BSH faserparallel eingeklebten Stahlstäben gibt es keine normativen Anforderungen oder vergleichbare Regelungen, daher wurde als Anhaltswert die Anforderung gemäß nationalem Anhang zu dem EC 5-1-1, d.h. gemäß DIN EN 1995-1-1/NA [5] an die Klebfugenfestigkeiten von Klebefugen zwischen Stahlstäben und Nadelholz-BSH-Bohrlochwandungen herangezogen.

Bei den Prüfkörpern Nr. 1 -3 mit Einklebelängen von 250 mm übertrafen alle erprüften Klebfugenspannungen (Kleinwert: Prüfkörper Nr. 1 $f_{(k1,u,1)} = 4,74 \text{ N/mm}^2$) den charakteristischen Anforderungs-Festigkeitswert von 4,0 N/mm².

Bei den Prüfkörpern Nr. 4 -6 mit Einklebelängen von 500 mm übertrafen alle erprüften Klebfugenspannungen (Kleinwert: Prüfkörper Nr. 5 $f_{(k1,u,5)} = 5,82 \text{ N/mm}^2$) den charakteristischen Anforderungs-Festigkeitswert von 2,75 N/mm² deutlich.

Auf Basis der erprüften Werte wurde seitens des Bauordnungsamtes der Stadt Dortmund im August 2019 die Zustimmung im Einzelfall für die Verwendung von BSH-Stützen aus chemisch modifiziertem Holz (Accoya) erteilt.

5. Sanierung der Holzkonstruktion

Zur Durchführung der Sanierungsarbeiten an den geschädigten Holzbauteilen wurde die Zimmerei Wilhelm Risse GmbH beauftragt, die über die zur Sanierung von geklebten tragenden Holzbauteilen erforderliche Leimgenehmigung D [6] verfügt.

Im Zuge der Sanierungsarbeiten wurden nach vollflächigem Rückbau der Bitumenabdeckung weitere Schäden in bis dato nicht freigelegten Bereichen ersichtlich. Vor allem im Bereich der Tiefpunkte waren die Fäulnisschäden an den Randbindern extrem fortgeschritten. Zur Instandsetzung war eine Querschnittserneuerung in wesentlich größerem Umfang als zunächst erwartet notwendig. An dem Hochpunkt H1 zeigte sich im Bereich des Stützenanschlusses ebenfalls eine großflächige Fäulnissstelle an dem westlichen Randträger der schließlich auch durch eine Querschnitts-Teilerneuerung instandgesetzt wurde.

Die Verbindung der neu anzufertigenden Querschnittsteilbereiche (Prothesen) mit den Randträgerquerschnitten, die zuvor bis zum vollflächigen anstehen intakter Materialstruktur ausgefräst wurden, erfolgte mittels Klebe-Schäftsverbindungen. Eine zunächst angedachte Verbindungsvariante mit mechanischen Verbindungsmitteln wurde als nicht ausführbar erachtet. Die großflächigen Schäftsverbindungen an den Randträgerquerschnitten (18 cm x 140 cm) erforderte ein außerordentlich präzises ausfräsen und herstellen einer planen, im Steigungsverhältnis 1:10 geneigten Schäftsfläche im Bestand. Die anzuklebenden Reparaturstücke wurden auf Basis individuell angefertigter Schablonen jeweils passgenau im Werk hergestellt.

Der Schädigungsumfang an der dreilagigen Holzschalung erwies sich beim sukzessiven Rückbau erheblich größer als bei der Begutachtung festgestellt werden konnte, so dass final eine komplette Erneuerung der drei Lamellenlagen der Holzschale erfolgte. Die zugbeanspruchten Längsstöße der einzelnen Lamellen der unteren Lage wurden abweichend vom Originalzustand nicht als Keilzinkenverbindungen auf der Baustelle hergestellt, sondern mechanisch mit Lochblechen verbunden. Bei der mittleren und oberen Lamellenlage wurden die Längsstöße stumpf gestoßen ohne Längsverbindung ausgeführt.

Die Rissverpressung an den Nebenträgern und an den Randträgern erfolgte unmittelbar nach Sanierungsbeginn im Sommer 2019, wodurch hierfür keine Einhausung zur Einhaltung der klimatischen Randbedingungen notwendig wurde.

Im weiteren Sanierungsverlauf wurde über ein zwischen den Hochpunkten, über die Sattelfläche gespanntes Drahtseil, ein entsprechend der Grundrissform konfektioniertes Planendach über das Sonnensegel gezogen. Die Arbeiten an der Holzschalung konnten

somit witterungsunabhängig durchgeführt werden. Die nachfolgenden Bilder veranschaulichen die wesentlichen Schritte der Sanierungsarbeiten an den geschädigten Holzbauteilen.



Abbildung 11: Untersicht des Sonnensegels mit Flächengerüst zur Rissverpressung an Nebenträgern



Abbildung 12: Ansicht der Schädigung am Tiefpunkt T1 und nach Entfernen der schadhaften Bereiche



Abbildung 13: Ansicht des Tiefpunktes T1 mit angepassten Prothesen und final bereits mit Holzschalung



Abbildung 14: Ansicht des Hochpunktes H1 mit großflächiger Fäulnisschädigung



Abbildung 15: Ansicht der im Werk vorgefertigten Prothese, die mittels Schäftung angeklebt wurde

12 Das Sonnensegel Dortmund: Sanierung der weltgrößten Holz-Hypsarschale | W. Risse, J. Hezel



Abbildung 16: Ansicht der vollständig eingebauten, mit der unteren Querschnittshälfte des Randträgers verbolzten Prothese am Hochpunkt H1



Abbildung 17: Ansicht der Erneuerung der dreilagigen Holzschalung mit zugfester Längsstoßausbildung an den Lamellen der unteren Lage.



Abbildung 18: Ansicht der erneuerten Stützenkonstruktionen (Stützen und Spannseile erneuert, Stahlanschlussteile renoviert) am Hochpunkt H2 mit 2 Stützen und einem Spannseil und am Hochpunkt H1 mit einer Stütze und zwei Spannseilen nach Abschluss der Sanierungsarbeiten (Bilder: Landes / Wüstenrot Stiftung)



Abbildung 19: Das Sonnensegel nach Abschluss der Sanierungsarbeiten im Herbst 2021
(Bild: Landes/Wüstenrot Stiftung)

Nach Abschluss der rund 2 Jahre andauernden Sanierungsarbeiten sind alle nachträglichen Ertüchtigungen früherer Jahre, die zusätzlichen Seilabspannungen und das Stahlkorsett zurückgebaut. Die ursprüngliche Eleganz der Konstruktion ist wiederhergestellt und durch den Rückschnitt des engen Pflanzenbewuchses ist das Bauwerk für die Besucher des Westfalenparks auch wieder erlebbar.

6. Literatur

- [1] Wüstenrot Stiftung (2017): Sonnensegel Westfalenpark Dortmund – Machbarkeitsstudie für die Erhaltung der Holzhängeschale
- [2] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Z-9.1-865: Accoya Schnittholz, Antragsteller: Rhodia Acetow GmbH, Business Unit Accoya, Engesserstr. 8, 79108 Freiburg – Geltungsdauer vom 15. Januar 2019 bis 21. Februar 2022
- [3] Z-9.1-750 WEVO-Spezialharz EP 20 VP 1 mit WEVO-Härter B 20/1 zur Instandsetzung von tragenden Holzbauteilen. Geltungsdauer 23. Januar 2020 bis 23. Januar 2025. Antragssteller: WEVO-Chemie GmbH, Ostfildern-Kemnat
- [4] DIN EN 14080:2013, Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen; Deutsche Fassung EN 14080:2013
- [5] DIN EN 1995-1-1/NA:2013, Nationaler Anhang, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [6] DIN 1052-10:2012, Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken – Teil 10: Ergänzende Bedingungen