

Kurzbeschreibung des Bauvorhabens Innenhofüberdachung

Zur Überdachung eines Innenhofes wurde eine „Schirmkonstruktion“ aus Holz geplant, bei der ein gekrümmter, gitterartiger Lamellenstapel punktgestützt gelagert wird. Die Eindeckung erfolgt mit liniengelagertem Glas. Mit einer Grundfläche von ca. 9 m x 9 m besteht das Schirmdach aus diagonal verlaufenden jeweils drei übereinander angeordneten Gurten, die in den Kreuzungspunkten mit einem Passbolzen verbunden werden. An den Stellen, wo es erforderlich ist, werden die Anschlussbereiche verstärkt. Für die Erhöhung der Steifigkeit sind außerdem (in den Drittelpunkten der innerhalb der Kreuzungspunkte entstehenden Feldlängen) Zwischenhölzer angeordnet, so dass an dieser Stelle

die Gurte miteinander gekoppelt werden. So entsteht ein Trägerrost mit nachgiebigem Verbund. Die Gurte selbst bestehen aus Brettschichtholz (BSH) und werden in den hochbeanspruchten Bereichen durch Kunstharzpressholzlamellen (KHP) verstärkt, so dass dort BSH-KHP-Hybridträger mit hohen Festigkeiten und Steifigkeiten vorliegen. Der Lamellenrost ist auf vier Streben und einer Mittelstütze punktförmig gelagert.

Die Aussteifung des Daches erfolgt über die ebenfalls dreiteiligen gekrümmten Randträger. Sie zwingen den Rost in seine Form (Druckstäbe).

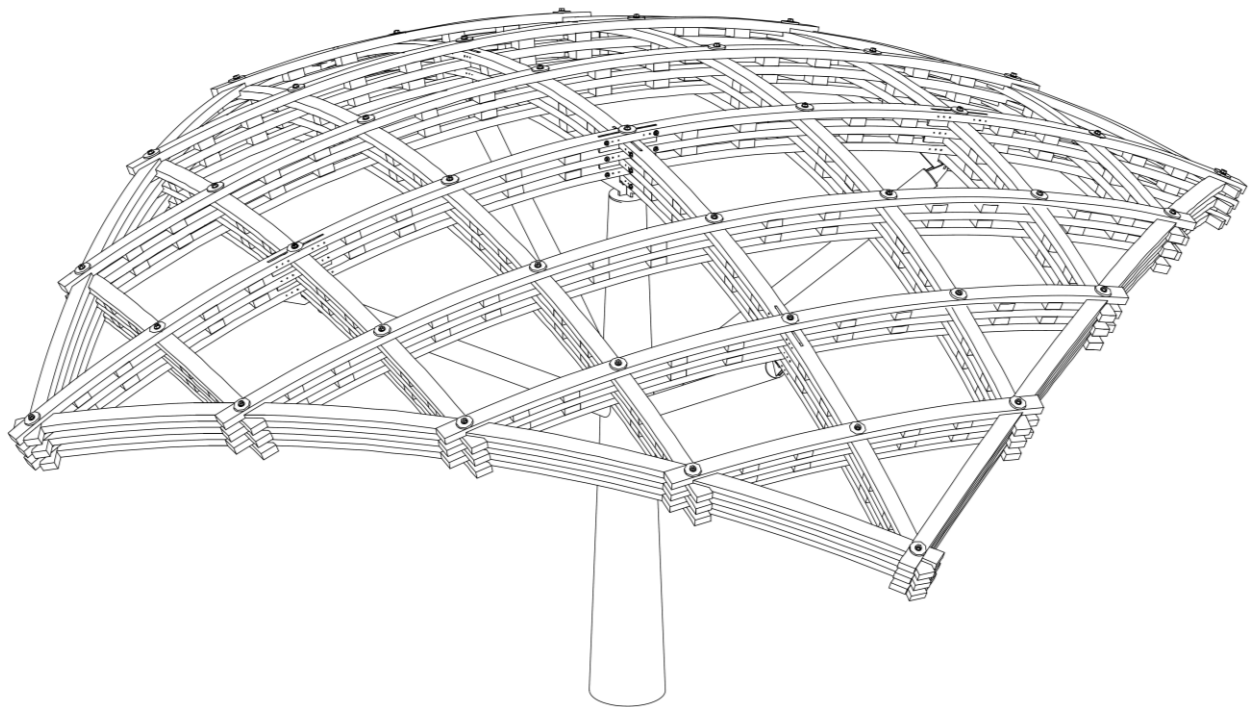


Abbildung 1: Schirmkonstruktion Innenhofüberdachung ohne Glaseindeckung

Zielsetzungen des Bauvorhabens

Die entwickelte Tragwerkslösung der Auflösung gekrümmter Träger in einzelne Querschnitte mit nachgiebigem Verbund und gleichzeitiger orthogonaler Stapelung bedingt hinsichtlich der Anschlüsse kleiner Querschnittsgeometrien bei hoher Belastung und besonders der Durchbildung möglichst steifer Anschlüsse eine anspruchsvolle Aufgabe. Deshalb lag der Schwerpunkt darin, Verbindungsmittel und Anschlussbereiche im Allgemeinen sowie Konzepte zur Verbindung und zum Anschluss von Formholzprofilen im Speziellen zu entwickeln und umzusetzen.

Gleichzeitig wird durch die Stapelung der Gurte und damit Wegfall der Stöße der Anspruch einer leichten und schnellen Montage gewährleistet.

Ein weiterer Fokus des Projektes lag darauf, die Bauteile beanspruchungsgerecht auszuführen. So werden beispielsweise an Stellen, wo eine hohe Bauteiltragfähigkeit erforderlich ist, Hybridbauteile aus Brettschichtholz und Kunstharzpressholz eingesetzt. Außerdem wurden Knotenpunkte mit maßgebender Anschlussfähigkeit mit textilen Verstärkungen ausgeführt.

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann, Fr. Lemke	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de

Bauteile und Materialien

Die Gurte haben Querschnittsmaße von Höhe/Breite = $h/b = 81\text{mm}/160\text{mm}$ und bestehen in den unverstärkten Bereichen aus BSH der Festigkeitsklasse GL28h. Für die hochbeanspruchten Hauptdiagonalen werden die oberen und unteren Gurte durch ober- und unterseitig aufgeklebte KHP-Lamellen verstärkt und für die mittleren Gurte die Festigkeitsklasse auf GL32h erhöht. Kunstharzpressholz (KHP) ist ein marktgängiges Holzwerkstoffprodukt, das bisher jedoch wenig im Bauwesen eingesetzt wird. KHP besteht aus verleimten, thermisch verdichteten und mit Kunstharz getränkten Buchenholz Furnierlagen. Die Verdichtung der Furnierschichten führt zu einer Erhöhung der Festigkeiten und Steifigkeiten des Materials (siehe auch HHT-Merkblatt „Kunstharzpressholz (KHP)“).

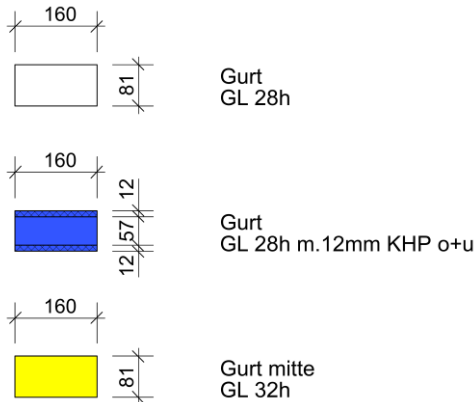
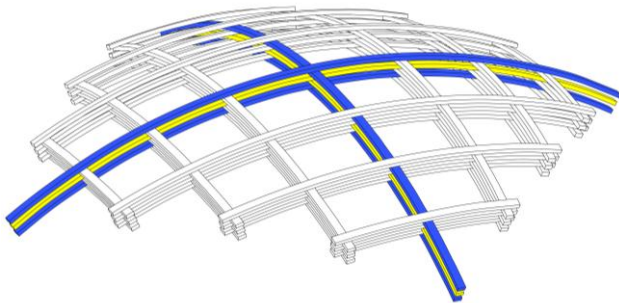


Abbildung 2: Verstärkungen der Hauptdiagonalgurte

Die Streben werden als Rundvollprofile ($d = 20\text{ cm}$) aus BSH der Festigkeitsklasse GL28h ausgeführt.

Bei der Stütze handelt es sich um ein konisches Rundhohlprofil, ebenfalls in GL28h. Geplant war, dies als Formholzprofil (siehe HHT-Merkblatt „Formholzprofile“) auszuführen, was aber aus fertigungstechnischen Gründen noch nicht möglich ist. Deshalb wird die Stütze alternativ als Hohlquerschnitt, gefräst aus einem geleimten Kastenprofil, geplant. Die Stütze ist 5,50 m hoch, die Wandungsstärke beträgt 110 mm. Mit einem Außendurchmesser von 700 mm am Fußpunkt und 350 mm am Kopfpunkt ergibt sich gegenüber der Mittelachse ein Winkel von ca. 2° . Zusätzlich wird die

Stütze mit einer textilen Verstärkung aus Glasfasern versehen, welche in einem Winkel von $\pm 45^\circ$ um die Stütze geflochten wird. Dadurch werden Festigkeit und Steifigkeit der Stütze erhöht.

Konstruktionsdetails

Konkret lagen die Schwerpunkte der Bearbeitung in der Entwicklung und Umsetzung folgender Punkte:

- Kopfpunkt der Stütze mit Torsionsbeanspruchung
- Anschluss der Streben an den Rost
- Verbindung der aufgelösten Konstruktion in den Kreuzungspunkten der Gurte
- Steifigkeitserhöhung in den Drittelpunkten zwischen den Kreuzungsknoten
- Verbindung der Gurte am Rand und in den Ecken
- Knotenkonzept für Formholzröhren für den konkreten Fall: durchgehende Stütze mit vier Verzweigungen

Die Anschlüsse von Stütze und Streben der Rund- bzw. Hohlprofile an den Rost werden auf ähnliche Weise umgesetzt. Der torsionssteife Anschluss der Stütze erfolgt mittels eines Bolzens ($d=20\text{mm}$) und zusätzlich eingeschlitzter Schlitzbleche, die mit Passbolzen ($d=12\text{mm}$) befestigt werden.

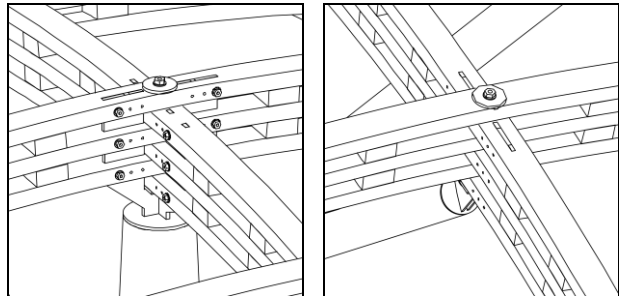


Abbildung 3: Anschlüsse an Stütze und Streben

In den Kreuzungspunkten der Gurte ist jeweils ein Bolzen mit einem Durchmesser von 20 mm angeordnet. Dort, wo Verbindungsmittelsteifigkeit oder Lochleibungsfestigkeit erforderlich machen, werden die Lochbereiche durch Einkleben sogenannter Patches (lamierte Gestricke aus textilen Fasern) verstärkt.



Abbildung 4: verstärkter Lochbereich mit eingeklebtem Patch

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann, Fr. Lemke	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de

In den Bereichen der Drittelpunkte zwischen den Kreuzungsknoten erfolgt die Verbindung der Gurte mittels schräg eingedrehter Schrauben. Der Bereich zwischen den Gurten wird mit Zwischenhölzern ($b \times l \times h = 160 \times 160 \times 81$) gefüllt.

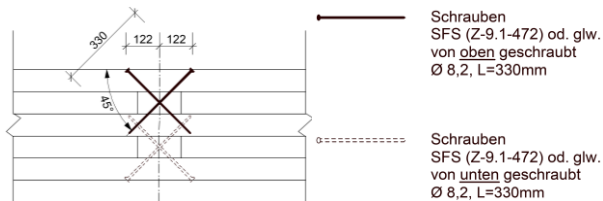


Abbildung 5: Anschluss „Zwischenknoten“ mit schrägen Schrauben

Die Randträger haben mit $b/h = 160/81$ die gleichen Querschnittsmaße wie die Gurte und sind gegenüber den obersten Gurten um eine halbe Querschnittshöhe nach unten versetzt, so dass in den Überblattungen der Randknoten die Gurte jeweils um 40,5 mm ausgeklinkt werden müssen. Die Verbindung des Randknotens erfolgt ebenfalls mit einem Passbolzen der Festigkeit 5.8, Durchmesser 20 mm. An den Ecken treffen die Randträger zweier Seiten auf gleicher Höhe orthogonal aufeinander. Im Winkel von 45° dazwischen, um eine halbe Querschnittshöhe versetzt, kommt jeweils ein Gurt der Hauptdiagonale dazu. Deshalb werden an diesen Stellen sowohl die Randträger als auch die Gurte je um die halbe Querschnittshöhe ausgeklinkt. Der Raum der dadurch zwischen den Gurtlagen entsteht, wird mit einem Zwischenholz der Höhe 40,5 mm aufgefüllt. Da hier höhere Belastungen als an den anderen Knoten auftreten, werden die Eckknoten mit einem Bolzen, Durchmesser 24 mm der Festigkeit 8.8, verbunden.

Die Verbindungsmittelsteifigkeiten wurden aufwändig durch Stabwerk- und FE-Modelle simuliert und mittels Versuchen verifiziert.



Abbildung 6: Biegeversuch eines nachgiebigen Trägers

Der Anschluss der Streben an die Stütze erfolgt durch einen einerseits – da für Formholzröhren bisher nicht angewandten – innovativen, andererseits – da altbekannt – klassischen Versatz. Dazu werden die Streben mit einer Versatztiefe von 8 cm in die Wandung der Stütze gesetzt und mittels Schrauben mit einem Durchmesser von 12 mm und ei-

ner Länge von 550 mm (z.B. Spax-S, Z-9.1-519) gesichert. Zur Stabilisierung des Anschlusses wird ein Füllstück der Holzgüte GL28h mit einer Gesamthöhe von 640 mm während der Herstellung in die Stützenröhre geklebt. Der dadurch entstehende Vollquerschnitt ermöglicht die große Versatztiefe der Streben und lässt Horizontalkräfte, die aus unsymmetrischen Strebennormalkräften resultieren, sicher in die Stütze ableiten

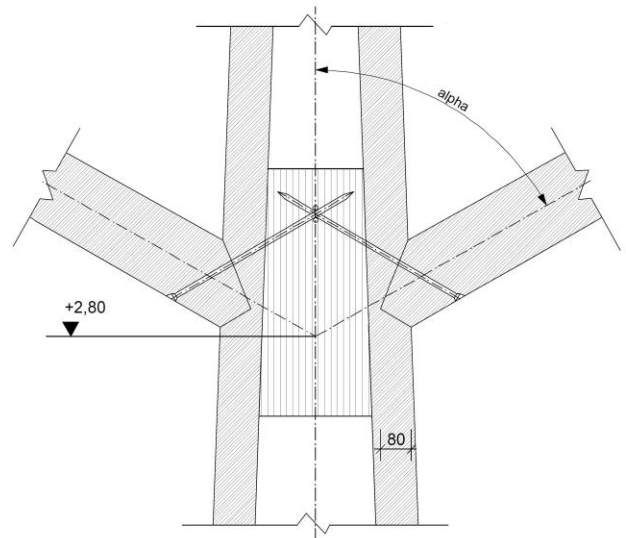


Abbildung 7: Anschluss Stirnversatz „Stütze-Streben“

Modellierung der Knoten

Bei der Modellierung im Stabwerksprogramm (RSTAB von Dlubal) entstand ein System mit 4470 Stäben und 2922 Knoten. Dieses komplexe System ergab sich aus dem Anspruch einer wirklichkeitsnahen, die vorhandenen Steifigkeiten abbildenden Modellierungsmöglichkeit. Es war erwünscht, eine Trennung der Nachgiebigkeitsanteile infolge des Verschiebungsmodul K_{ser} , der teilweisen Biegung des Verbindungsmittels selbst und der Verdrehbehinderung durch die Gurte bzw. Zwischenhölzer mit Verbindungsmitteln zu erzielen. Um dies zu erreichen, wurden im Stabwerkprogramm neben dem eigentlich vorhandenen Stab des Verbindungsmittels zusätzlich Stäbe in Form eines Bypasses eingefügt. Die vollständige Trennung der einzelnen Anteile ist insofern schwierig, als dass die Einzelstäbe mindestens statisch bestimmt gelagert sein müssen, also jeweils mindestens eine eigentlich unerwünschte Festhaltung bzw. Einspannung erhalten müssen, um freie Verschiebungen bzw. Verdrehungen des gesamten Bypasssystems zu verhindern.

Mit der gefundenen Lösung für den Zwischenknoten (Abbildung 7) wird die Verbundwirkung sehr gut abgebildet. Die Gesamtverformung ist klein, ebenso die Biegemomente in den Gurten, im oberen Gurt treten große Druck- und im unteren große Zugkräfte auf, welche das Gesamtmoment des Verbundträgers anzeigen.

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann, Fr. Lemke	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de

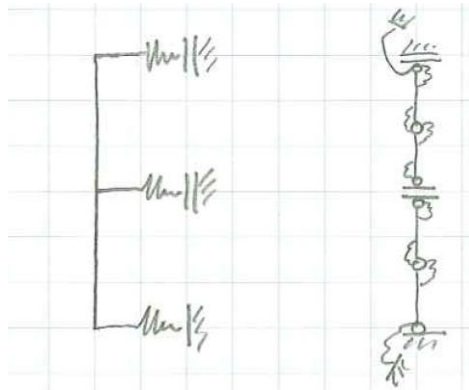


Abbildung 8: Bypassystem der Modellierungslösung des Zwischenknotens

Für die Schnittgrößen der „Bolzenstäbe“ und damit der Bemessung der Verbindungsmittel liegt dies auf der sicheren Seite, da die größten Momente und Querkräfte in den „Bolzenstäben“ entstehen. Für die Bemessung der Gurte – sowohl im Grenzzustand der Tragfähigkeit als auch im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit – wird darauf geachtet, die Ausnutzung unterhalb von etwa 80 % zu halten, da die Gefahr besteht, dass das Modell die Verbundwirkung zu stark abbildet und die Momente und Verformungen der Gurte daher nicht auf der sicheren Seite liegen. Die Normalkräfte hingegen sind auf der sicheren Seite, haben jedoch untergeordneten Einfluss auf die Auslastung. Der auftretende optische Nachteil des an jedem (Zwischen-)Knoten springenden Momentenverlaufes wird in Kauf genommen.

Zur Überprüfung der Modellierung und der angesetzten Steifigkeiten wurde neben einigen Abscherversuchen und Biegeprüfungen an kleinen nachgiebig verbundenen Biegeträgern auch ein Bauteilversuch durchgeführt. Hierbei wurde ein Ausschnitt eines Diagonalträgers mit den entsprechenden Bauteilmaßen gefertigt und im Vierpunktbiegeversuch mit verschiedenen Laststufen geprüft.



Abbildung 9: Bauteilversuch

Die gemessenen Verformungen stimmten guten mit den errechneten überein, auch wenn sich der Versuchsträger etwas steifer erwies als der modellierte, was jedoch den einzelnen Gurten zugeschrieben wird.

Dauerhaftigkeitsaspekte

Das gesamte Bauwerk wird wegen der vollständigen Überdachung aus Glas der Nutzungsklasse 2 zugeordnet.

Kunstharzpressholz in vollgetränkter Qualität ist nach aktueller Literatur und Versuchen im Rahmen des Forschungsprojektes „HHT – Hochleistungsholztragwerke“ sehr dauerhaft und wäre somit auch für den Einsatz im bewitterten Außenbereich (siehe auch Kurzdokumentation „Pilotprojekt Henzesteg“) geeignet. Die zur Verstärkung von Verbindungen genutzten Patches wurden ebenfalls für eine Verwendung in frei bewitterten Bereichen konzipiert, eine Überprüfung der Dauerhaftigkeit steht jedoch aus. Zudem müsste diesbezüglich sichergestellt werden, dass kein Wasser in das Innere der Verbindung eindringen kann.

Literatur

- [1] Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben „Hochleistungsholztragwerke – HHT – Entwicklung von hochbelastbaren Verbundbauweisen im Holzbau mit faserverstärkten Kunststoffen, technischen Textilien und Formpressholz“, Februar 2011