

Die neue Pilatus-Produktionshalle Stans: Fachwerkträger aus Buchenfurnier- schichtholz mit eingeklebten Gewin- destangen

Thomas Strahm
neue Holzbau AG
Lungern, Schweiz



Die neue Pilatus-Produktionshalle Stans: Fachwerkträger aus Buchenfurnier- schichtholz mit eingeklebten Gewin- destangen

1. Einleitung

Mit der BauBuche (Furnierschichtholz aus Buche der Firma Pollmeier) ist für den Holzbauingenieur ein äusserst attraktiver Baustoff auf dem Markt. Die BauBuche ermöglicht den Einsatz von Holz auch in Konstruktionen, welche bisher nur anderen Baustoffen wie Stahl oder Stahlbeton vorbehalten waren. Ein effizienter Einsatz ist jedoch nur möglich, wenn genaueste Kenntnisse über das Material und eine leistungsfähige Verbindungstechnologie vorhanden sind. Aus diesem Grund haben die Firma Pollmeier und die neue Holzbau AG entschieden, zusammen mit Prof. Ernst Gehri eine grössere Prüfreihe zu starten, mit dem Ziel, die GSA-Technologie optimal auf die BauBuche abzustimmen.

1.1. BauBuche

Die BauBuche zeichnet sich durch ausgesprochen hohe Festigkeiten und Steifigkeiten aus. Durch die feingliedrige Herstellung aus Furnieren sind die Streuungen innerhalb des Materials gegenüber anderen Holzbaustoffen gering. Laubholzprodukte haben jedoch nicht nur Vorteile. Insbesondere die gegenüber dem Nadelholz deutlich höheren Schwind- und Quellmasse erfordern ein Umdenken beim Konstruieren. Deutliche Vorteile haben diese Produkte, wenn die Querschnitte nicht zu gross sind. Konstruktionen weg vom Vollholzträger hin zu aufgelösten Systemen wie zum Beispiel Fachwerke bieten sich besonders an.

Tabelle 11: Kennwerte für
Träger BauBuche GL70
in N/mm²

Lamellen		flachkant	hochkant
Festigkeitskennwerte in N/mm ²			
Biegung	$f_{m,k}$	70,0 ^{a)} – (87,5)	70,0
Zug	$f_{t,o,k}$	(49,3) – 55,0 ^{b)j)} – (71,0)	
	$f_{t,90,k}$	0,6	1,5
Druck	$f_{c,o,k}$	49,5 ^{g)h)} – (70,0)	
	$f_{c,90,k}$	8,5 ^{g)} – (10,2)	14,0
Schub	$f_{v,k}$	4,0 ^{l)} – (5,9)	8,0
Steifigkeitskennwerte in N/mm ²			
Elastizitäts- modul	$E_{0,mean}$	16.700	
	$E_{0,05}$	15.300	
	$E_{90,mean}$	470	
	$E_{90,05}$	400	
Schubmodul	G_{mean}	850	760
	G_{05}	760	630
Rohdichtekennwerte in kg/m ³			
	ρ_k	680	
	ρ_{mean}	740	

Abbildung 1: Kennwerte BauBuche GL70

1.2. GSA-Technologie

Mit parallel oder rechtwinklig zur Faserrichtung in Brettschichtholz eingeklebten profilierten Stahlstäben können auf kleiner Fläche grosse Kräfte in Holzbauteile eingeleitet werden. Meistens werden dabei Stahlstangen in Form von Gewindestangen mit metrischem Gewinde verwendet. Diese werden mit einem speziell für diese Anwendung entwickelten Klebstoff ins Holz eingeklebt. Zusammen mit Herrn Prof. Ernst Gehri forscht und entwickelt die neue Holzbau AG seit nun 18 Jahren im Bereich eingeklebter Gewindestangen. Unter dem Markennamen „GSA-Technologie“ sind dabei die verschiedensten Anschlusssteile entstanden, die erfolgreich in diversen Holztragwerken eingesetzt werden.

Verbindungen mittels eingeklebter Gewindestangen zählen zu den leistungsfähigsten Verbindungsmitteln im modernen Ingenieurholzbau. Wie bei allen anderen Verbindungsmitteln müssen dabei sämtliche Komponenten – wie Stahlstab, Holz, Klebstoff, geometrische Parameter (Rand-, Achsabstände) – optimal aufeinander abgestimmt werden. Optimale Anschlüsse werden erreicht bei Beachtung bestimmter Regeln und Voraussetzungen:

Die Verbindung muss so ausgelegt werden, dass im Bruchzustand die Stahlstangen (duktil) versagen und das spröde Versagen des Holzes (Schubbruch in der Klebefuge) oder des Klebstoffes (Kohäsions- und Adhäsionsbruch) ausgeschlossen bleiben. Bei Zugverbindungen mit mehreren gleichzeitig wirkenden Stäben ist die notwendige gleichmässige Kraftverteilung auf die einzelnen Stäbe nur bei ausreichender Duktilität des Einzelstabanschlusses erreichbar.

Ohne Betrachtung des Stahls geschieht das Versagen im Normalfall nicht im Klebstoff, sondern am Bohrlochrand. Der berechnete Festigkeitswert bezieht sich demnach auf die Scherfestigkeit des Holzbaustoffes. Dieser kann durch die Änderung des Baustoffs (z.B. Laubholz) verändert werden.

2. Prüfungen

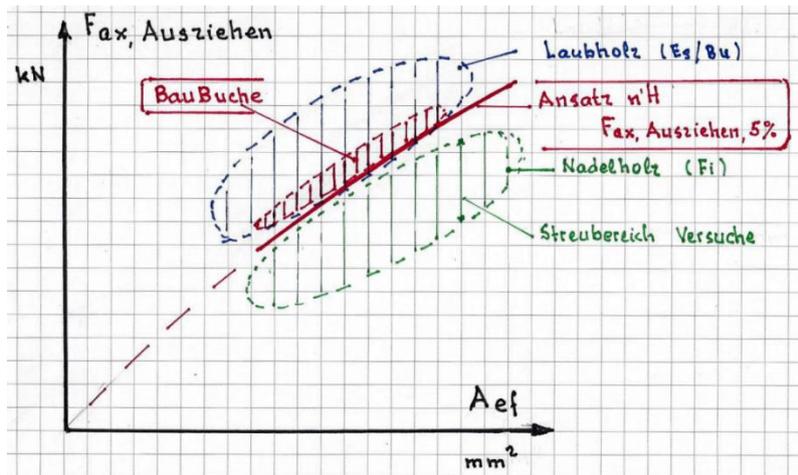
Ziel der internen Untersuchungen waren Bemessungsdaten für Fachwerkträger BauBuche-GSA. Dabei wurden unter Aufsicht von Prof. Ernst Gehri folgende Prüfungen durchgeführt:

- Einzelankerprüfungen parallel und senkrecht zur Faser.
- Prüfungen parallel zur Faser von Gruppen (2^{er}, 4^{er}) sowie 6^{er} und 8^{er} Gruppen mit GSA M12 (Anlagebedingte maximale Prüflast: 600 kN).
- Prüfungen senkrecht zur Faser von 2^{er} und 4^{er} Gruppen (Ausreissen sowie Rollschub), beschränkt auf GSA M12 und M16.
- Prüfungen an Fachwerkknoten (Zusammenspiel Gurt/Strebe); Erfassung der Knotensteifigkeit.
- Überprüfung an rund 6 m langen Fachwerkabschnitten mit unterschiedlicher Ausbildung der Auflagerbereiche.

2.1. Einzelprüfungen parallel zur Faser

Die Einzelankerprüfungen sind noch heute Grundlage für Zulassungen. Geprüft wird dabei das Ausziehverhalten. Bei Verwendung von GSA-Harz erfolgt das Versagen in der BauBuche entlang der Lochwandung. Für die Baupraxis von grösserer Bedeutung – insbesondere für den Einsatz von BauBuche für Fachwerkträger – ist der Auszieh widerstand parallel zur Faser. Bei der Beanspruchung parallel zur Faser sind die Scherfestigkeiten am tiefsten. Um eine angemessene Anschlussleistung zu erreichen, ist eine enge Anordnung der Anker wichtig.

Durch die Versuche konnte ein Ansatz für einen charakteristischen Auszieh widerstand eines Einzelankers parallel zur Faser ermittelt werden. Im Gegensatz zu den anderen bereits geprüften Baustoffen wie BSH in Fichte oder BSH in Esche zeichnet sich die BauBuche mit einer deutlich geringeren Streuung aus.

Abbildung 2: Auszieh Widerstand in Funktion von A_{ef} BB im Vergleich LH und NH

2.2. Einzelprüfungen quer zur Faser

Erwartungsgemäss ergeben sich höhere Auszieh Widerstände senkrecht zur Faser bzw. für die gleichen Anschlusswerte werden geringere Einklebelängen l_{ad} benötigt. Auch sind die Auszieh Werte senkrecht zur Faser wesentlich weniger beeinflusst durch Grössenverhältnisse, entscheidend für die Bemessung quer zur Faser ist demnach allein die Holzoberfläche der Bohrlochwandung A_{ef} . Neben den Versuchen quer wurden in Anbetracht der Fachwerkknoten auch Auszieh Werte bei 45° Kraft zur Faserrichtung durchgeführt. Die Prüfwerte 45° werden durch den Ansatz für 90° gut abgedeckt. Somit können die Auszieh Werte zwischen 45° und 90° mit dem gleichen Ansatz ermittelt werden.

2.3. Gruppenversuche

Aufgrund der Resultate von Einzelprüfungen wurden Gruppenversuche ausgelegt. Diese Gruppenversuche wurden so ausgeführt, dass eine «Abriegelung» auf den rund 0.8-fachen Auszieh Widerstand erfolgte. Bei keinem der Anschlüsse erfolgte ein frühzeitiger Ausbruch, sondern duktile Brüche im Stahl. Reine Stahlzugproben anstelle von Gruppenversuchen hätten genügt.



Abbildung 3: Plastische Verformung im Anschlussbereich

2.4. Fachwerkknoten

Durch Prüfungen an Fachwerkknoten soll das Zusammenspiel Gurt/Streben genauer erfasst werden. Dabei steht das Verhalten des Gurtes im Vordergrund, insbesondere die Kraftüberleitung zwischen den sich kreuzenden Ankerstäben. Die Ergebnisse dürften sich weitgehend auf das Verhalten ganzer Fachwerke übertragen lassen.

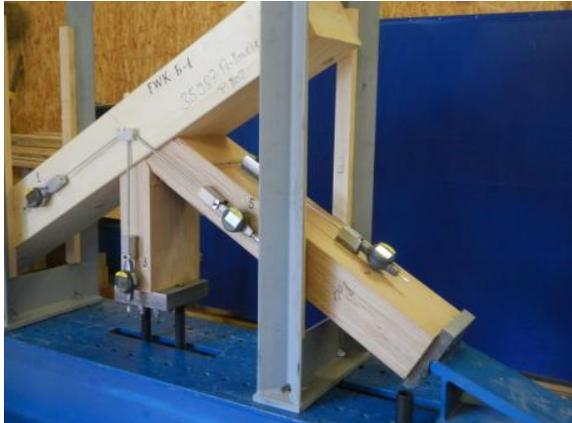


Abbildung 4: Prüfeinrichtung Fachwerkknoten

In der ersten Serie waren die Gurten in Fichte GL34h ausgeführt. Die Ankeranordnung wurde dabei auf die Streben der BauBuche ausgelegt. Beim Fichtengurt wurde demnach ein Versagen des Knoten erwartet. Das Versagen trat ein durch Ausziehen der Ankergruppe aus dem Gurt.



Abbildung 5: Versagen Knoten Fichtengurt



Abbildung 6: Versagen Knoten BauBuchengurt

Durch die Änderung des Gurtes von Fichte zu BauBuche konnte die Leistung des Knotens verdoppelt werden. Die Leistung des Gurtes in BauBuche liegt sogar noch höher, denn die Anker wurden so dimensioniert, dass ein duktiler Stahlversagen möglich war.

Baubuchenträger GL 70 sind nur in 18 m Länge bestellbar, nicht unbedingt die Spannweite eines Hochleistungsbaustoffs. Eine Lösung mit BSH Fichten-Gurten und BauBuche-Streben ist denkbar; die Leistung der GSA ist auch in der Fichte quer zur Faser grösser als parallel. Der Anschluss muss jedoch so ausgebildet sein, dass ein Versagen nicht im Knoten, sondern in den Anker geschieht. Dies ist bei einem Aufeinandertreffen der unterschiedlichen Festigkeiten zwischen Fichte und Buche nicht einfach zu erreichen. Fundiertes Wissen ist erforderlich darüber, wie die Lastumlagerung zwischen Druck- und Zugstrebe im Knoten funktioniert. Auch ist es kaum möglich, die Leistung der BauBuche-Strebe zu nutzen; die Anordnung der Anker muss auf die benötigten Scherebenen im Gurt angepasst werden. Die Erkenntnisse aus den Knoten wurden an mehreren Fachwerken geprüft. Da wir davon ausgingen, dass bereits die ersten BauBuchen-Fachwerke mehr als 18 m gespannt werden, wurde ein Stoss der Gurten vorgesehen. Auch die Stöße in den Gurten wurden mittels GSA-Technologie zusammengebaut. Die Versuche bestätigten die getroffenen Annahmen bezüglich Festigkeit und Verformungsverhalten.



Abbildung 7: Prüfkörper Fachwerk

2.5. Bemessungstabelle

Zusammen mit der technischen Universität München werden zurzeit die Grundlagen für eine ETA GSA-Technologie BauBuche erarbeiten. Neben Einzelprüfungen parallel und quer werden fundierte Klebstoffprüfungen wie auch Klima- und Thermoprüfungen durchgeführt. Die Prüfungen sind bereits grösstenteils abgeschlossen. Die unten aufgeführten Werte sind noch nicht offiziell, geben jedoch eine Grössenordnung der erwarteten Bemessungswerte.

BauBuche Träger GL70, Platten S oder Q parallel zur Faser (Faserwinkel 0-45°)

\emptyset	l_{ad}	l_v	a_2	$a_{2,c}$	$R_{ax,F,k}$
M	mm	mm	mm	mm	NK 1
24	400	100	75	37.5	180 kN
20	350	80	60	30	145 kN
16	290	65	50	25	100 kN
12	200	50	40	20	65 kN

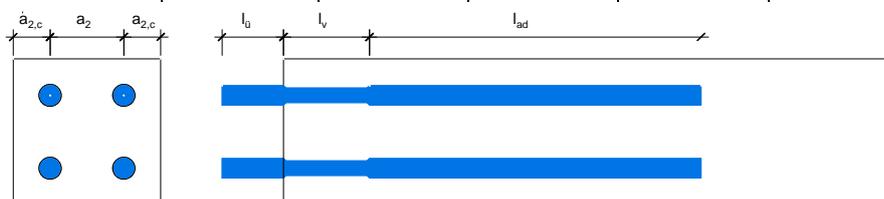


Abbildung 8: Bemessungswerte parallel zur Faser

Der Grundriss der Pilatus-Produktionshalle zeigt ein vierachsiges Gebäude, das in 29 Querachsen unterteilt ist. Die senkrechten Lasten werden von 12 Stahlbetonstützen abgetragen, die teilweise in die Zwischenwand zwischen Haupt- und Nebentrakt integriert sind. Die Stützen unter den Primär- und Sekundärträgern (A 9, 17, 23; D 9, 17, 23; B, C 1; B, C 29) sind ins Fundament eingespannt und tragen auch horizontale Lasten ab. Auch die seitliche Stahlbeton-Zwischenwand wird zur Aussteifung herangezogen.

Als Primärträger der Halle fungieren drei auf 52 m unterspannte BSH-Träger mit unterschiedlichen Querschnitten: 1200 x 1560 mm (Achse 9), 1040 x 1560 mm (Achse 17) und 780 x 1560 mm (Achse 23).



Abbildung 11: Aussenansicht Montagehalle, sichtbar die grossen Tore längsseitig

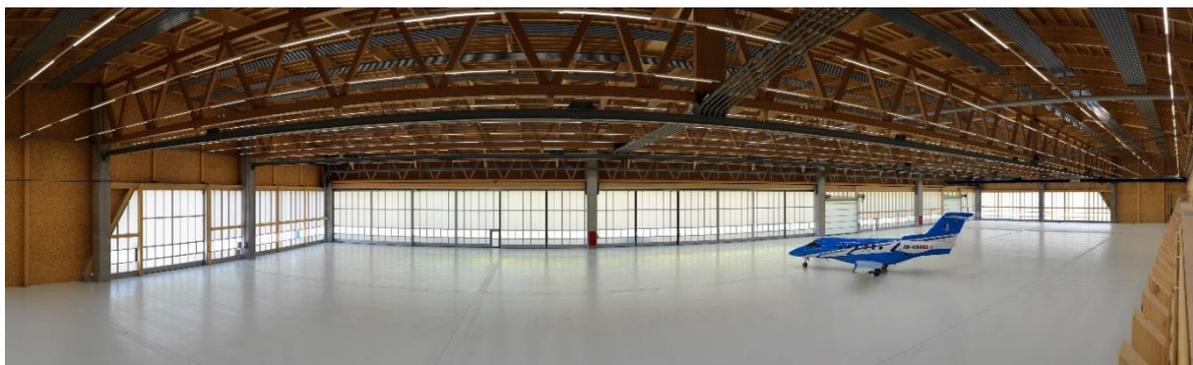


Abbildung 12: Innenansicht BauBuche-Fachwerke

Neben diesen Hauptträgern bilden drei in Längsrichtung gespannte BauBuche-Fachwerkträger das Haupttragwerk der Halle. Der Träger an der Nordflanke ist in vier Felder unterteilt und in die tragenden Stahlbetonstützen eingehängt, die Träger in der Hallenmitte sind als Durchlaufträger ausgebildet. Die Vertikallasten dieser Durchlaufträger werden teilweise über Stahlverbindungen in die Primärträger bzw. deren Unterspannung geleitet, teilweise von den Stützen am Hallenende abgetragen. Zug- und Druckkräfte der Gurte werden durch die Primärträger durchgeleitet. An den Hallenenden sind die Träger oben in den Betonstützen eingespannt, so dass Wind- und Erdbebenlasten über die Rahmenwirkung, ins Fundament abgeleitet werden können. Die vorgefertigten BauBuche-Fachwerke

sind zwischen die unterspannten Primärträger gehängt. Dank dem Einsatz von BauBuche waren in Stans filigrane Fachwerke möglich. Die Gurte der zentralen Träger haben einen Querschnitt von 420 x 400 mm, die Fachwerke an der Nordflanke haben 320 x 360 mm starke Unter- und Obergurte. Der Querschnitt der Streben variiert je nach Last zwischen 240 x 240 und 360 x 360 mm.

Darüber sind Tertiär-Bogenträger mit dazwischenliegenden Dachrippen in einem Abstand von 4,30 m auf die Fachwerke aufgelegt. Die Konstruktion wird über eine OSB-Platte ausgesteift.



Abbildung 13: Montage BauBuchen-Fachwerke

Der für 5 t zugelassene Kran der Pilatus-Montagehalle hängt an insgesamt vier Kranbahnen. Die Doppel-T-Träger der inneren Kranbahnen hängen dabei teilweise an den Stahlbauteilen der Primärträger-Unterspannung, teilweise an den durchlaufenden Fachwerkträgern. Dabei fungieren die Kreuzungen von Unterspannung und Sekundärträger als vierseitig verspannte Fixpunkte, während die Kranbahnen in den Fachwerken lediglich vertikal aufgehängt sind. Verglichen mit den hohen Schneelasten waren die Kranlasten bei der Konstruktion der Halle ein untergeordnetes Problem. Viel entscheidender war es, auf der großen Hallenfläche die unterschiedlichen Verformungen durch veränderliche Lasten in den Griff zu bekommen. Deshalb sind die Kranbahnen an den Hallenflanken so an die Bogenträger angehängt, dass die Verbindung etwas Bewegung zulässt. Außerdem ist der Kran in seiner Mitte mit einem Gelenk ausgestattet, mit dem er kleine Veränderung in der Kranbahngeometrie ausgleichen kann.

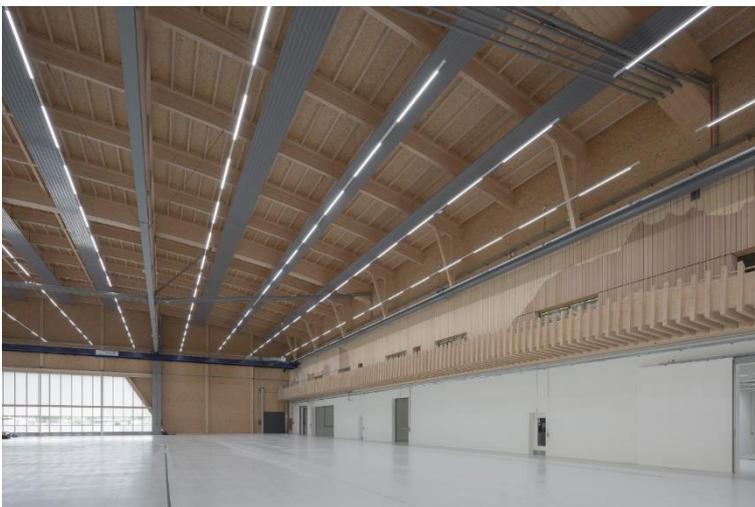


Abbildung 14: Innenansicht Montagehalle