

Axial beanspruchte Gewindestangen in Brettsperrholz

Axially loaded threaded rods in cross-laminated timber

Goujons à sollicitation axiale employés en association avec des panneaux en lamellé-croisé

Markus Enders-Comberg
Holzbau und Baukonstruktionen
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
DE-Karlsruhe



Axial beanspruchte Gewindestangen in Brettsperrholz

1. Einleitung

Im Hinblick auf Klimaschutz, Erbebensicherheit, Formstabilität, Vorfertigung und Massenproduktion ist in den letzten Jahren ein steigender Bedarf an Brettsperrholz (BSP) zu verzeichnen. Durch das Verkleben einzelner kreuzweise angeordneter Bretter mit Hilfe von hydraulischen Pressen oder Vakuumpressen entsteht ein flächiger Werkstoff, dessen Scheiben- und Plattenwirkung einen Einsatz als Decken-, Wand- oder Dachbauteil ermöglicht. BSP zeichnet sich durch eine hohe Tragfähigkeit und sein flächiges Tragverhalten aus. Die Bemessung erfolgt nach Eurocode 5 [1] unter Berücksichtigung der Angaben der Zulassungen. Neben der flächigen Nutzung des Brettsperrholzes soll ein Einsatz als stabförmiges Bauteil ebenfalls ermöglicht werden. Blaß [2] präsentierte einen möglichen Zuganschluss für die Ausbildung der Füllstäbe in Fachwerkträgern. Da sowohl die Zug- als auch die Druckstäbe in einem Fachwerk fast ausschließlich durch Normalkräfte beansprucht werden, wird angestrebt, einen Holzwerkstoff zu verwenden, der eine hohe Zug- bzw. Drucktragfähigkeit in Achsrichtung der Stäbe besitzt. Im Verbindungsbereich der Füllstäbe mit den Gurten soll darauf geachtet werden, dass die Schwächung des Holzquerschnittes möglichst gering gehalten und eine steife Verbindung zwischen den Bauteilen realisiert wird. Frühere Untersuchungen [3] haben gezeigt, dass in Achsrichtung beanspruchte Holzschrauben und Gewindestangen hohe Kräfte übertragen können und damit sehr steife Verbindungen entstehen. Da das Langzeitverhalten von faserparallel eingedrehten Verbindungsmitteln nicht ausreichend bekannt ist, sind in Hirnholz eingebrachte Verbindungsmittel nur in Ausnahmefällen zugelassen. Um eine Verbindung mit Gewindestangen parallel zur Stabachse zu realisieren, wird Brettsperrholz in den Zugdiagonalen verwendet, die Verbindungsmittel werden senkrecht zur Faser in die Querlagen eingebracht. Aus einem Forschungsvorhaben über die Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz [4] ist bekannt, dass planmäßig in die Querlage eingedrehte Schrauben eine Ausziehtragfähigkeit aufweisen, die der Tragfähigkeit von rechtwinklig zur Faserrichtung eingebrachten Schrauben in Vollholz bzw. Brettschichtholz entspricht. Der Einsatz von eingedrehten Gewindestangen in Brettsperrholz als stabförmiges Bauteil zur Aufnahme von hohen Zugkräften scheint eine vielversprechende Anwendungsmöglichkeit zu sein, welche in diesem Beitrag näher betrachtet wird. Neben Ergebnissen aus experimentellen Untersuchungen sollen Produktions- und Anwendungshinweise gegeben werden. Für die Baupraxis relevante Bemessungsvorschläge werden ebenfalls präsentiert und anhand eines Beispiels erläutert.



Abbildung 1: Brettsperrholz (Quelle: www.mm-holz.com)

2. Experimentelle Untersuchung

Die Betrachtung des Tragverhaltens einer in BSP eingedrehten Gewindestange umfasste umfangreiche experimentelle Untersuchungen. Die Auszieh Widerstände wurden mit unter 90° zur Holzfaserrichtung der Querlage eingeschraubten Gewindestangen (s. Abbildung 2) experimentell ermittelt. Die verwendeten Gewindestangen sind nach [5] zugelassen. Die Einschraublängen der Gewindestangen im vorgebohrten Holz variierten von 400 mm bis 800 mm. Die Vorbohrdurchmesser betragen 13 mm für Gewindestangen mit Nenndurchmesser 16 mm (Querlagendicke $t = 17$ mm) sowie 16 mm für Gewindestangen mit einem Nenndurchmesser von 20 mm (Querlagendicke $t = 20$ mm). Durch Variation von Durchmesser d , Einschraublänge l_{efr} , Randabstand $a_{1,c}$ und Verbindungsmittelabstand a_1 untereinander sollten die Versagensformen der Verbindung untersucht werden. Die Eigenschaften der Gewindestangen wurden in früheren Versuchen bestimmt (s. Tabelle 1). Auf Grundlage dieser Untersuchungen wurden die Versuchskörper mit einem Verbindungsmittel bzw. drei Verbindungsmitteln pro Anschluss geplant. Der Querschnitt der Verbindung ist in Abbildung 3 dargestellt. Pro Versuchskonfiguration wurden 5 Ausziehversuche durchgeführt.



Abbildung 2: Gewindestange $\varnothing 20$ mm

Tabelle 1: Allgemeine Informationen zu den verwendeten Gewindestangen

	$\varnothing 16$ mm	$\varnothing 20$ mm
$d_{\text{au\ss en}}$	~ 16 mm	~ 20 mm
d_{innen}	~ 12 mm	~ 15 mm
Mittelwert der Stahlzugtragfähigkeit	100 kN	175 kN
$F_{\text{ax,mean}}$ in BSH; Einschraubwinkel 90° ; Einschraublänge 400 mm	94,1 kN	115 kN

Die Ausziehversuche wurden in Anlehnung an DIN EN 1382 [6] mithilfe einer Universalprüfmaschine durchgeführt. Dazu wurden die symmetrisch aufgebauten Prüfkörper an den Enden eingespannt und in axialer Richtung der Gewindestange mit einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit belastet (s. Abbildung 3). Die Verformungen wurden mit zwei induktiven Wegaufnehmern pro Verbindung gemessen.

Die Zugkräfte müssen dabei über die Verbindungsmittel in die Querlage eingeleitet werden und von dort über Rollschubbeanspruchungen in die Längslage der Füllstäbe übertragen werden. Daher ist ein Versagen dieser Verbindung entweder durch Stahlversagen, Rollschubversagen der Querlage oder Scherversagen des Holzes in der Mantelfläche des Schraubengewindes gekennzeichnet.

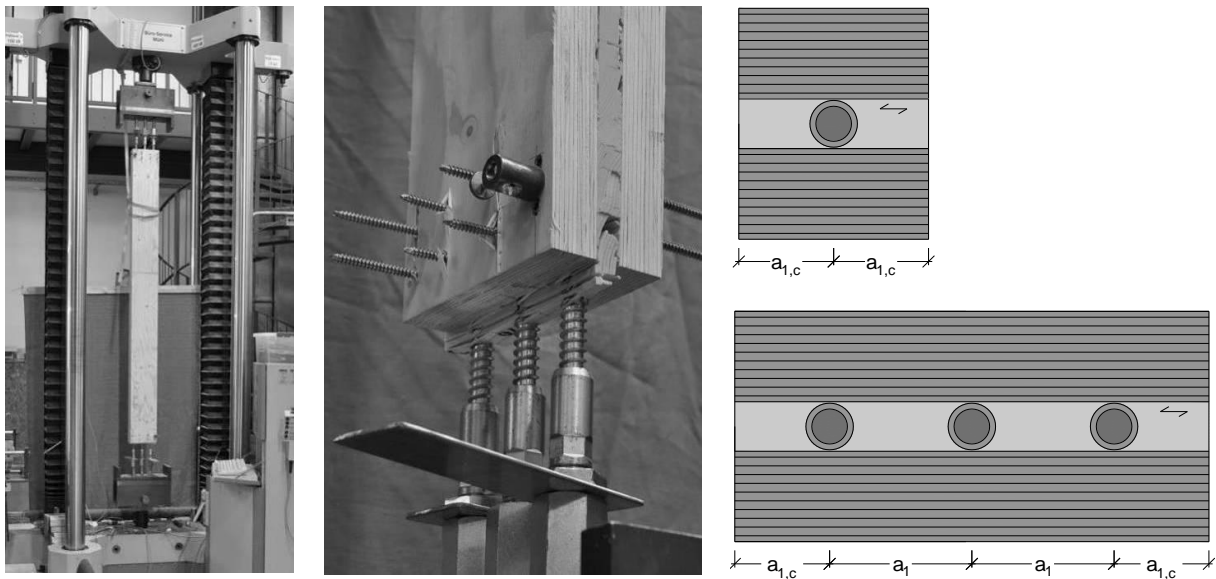


Abbildung 3: Prüfmaschine (links), Versagen der Querlage (Mitte) und Prüfkörperquerschnitte (rechts)

In den meisten Fällen trat ein Rollschubversagen auf und die Querlage wurde über die gesamte Einschraubtiefe blockartig aus dem Prüfkörper herausgezogen (s. Abbildung 3, Mitte). Des Weiteren war ein Stahlversagen aller einzeln geprüften Gewindestangen mit dem Durchmesser $\varnothing 16$ mm zu beobachten. Die mittleren und charakteristischen Ausziehparameter je Versuchsreihe sind in Tabelle 2 enthalten. Die Versuche mit drei Gewindestangen je Anschluss haben gezeigt, dass selbst bei geringen Verbindungsmittelabständen von $a_1 = 3 \cdot d$ bzw. Randabständen von $a_{1,c} = 2,0 \cdot d$ bzw. $2,5 \cdot d$ hohe Kräfte aufgenommen werden können und der charakteristische Ausziehparameter gegenüber einer einzelnen Gewindestange um lediglich 10% geringer ausfällt. Eine lineare Abhängigkeit der Ausziehtragfähigkeit von der Einschraublänge, Gewindeaußendurchmesser und Ausziehparameter wurde der Auswertung zugrunde gelegt.

Tabelle 2: Versuchsergebnisse

Anzahl VM	d mm	ℓ_{ef} mm	a_1 mm	$a_{1,c}$ mm	$f_{1,k}^{1)}$ N/mm ²	$f_{1,mean}$ N/mm ²	$f_{R,mean}$ N/mm ²	$K_{ax,mean}$ kN/mm
1	16	500	-	48	11,3 ²⁾	12,6 ²⁾	1,05 ²⁾	63,4
			-	40	11,1 ²⁾	12,4 ²⁾	1,24 ²⁾	61,7
			-	32	11,0 ²⁾	12,3 ²⁾	1,53 ²⁾	66,1
1	20	600	-	60	12,4	13,7	1,14	101
		700	-	60	10,7	11,9	0,99	106
		600	-	50	8,7	11,3	1,13	90,3
		700	-	50	10,6	11,8	1,18	94,1
		800	-	80	8,9	10,2	1,27	92,1
3	16	500	64	32	10,3	11,5	1,43	196
			48	32	9,8	10,9	1,63	166
3	20	400	80	50	9,9	11,4	1,32	222
			60	50	9,5	10,6	1,44	227

¹⁾ Auswertung nach [7]; durch den symmetrischen Aufbau der Versuchskörper wurden doppelt so viele Verbindungen wie Versuche geprüft

²⁾ Stahlversagen, somit wurde die Ausziehtragfähigkeit und Rollschubtragfähigkeit nicht voll ausgeschöpft

Unter der Annahme einer gleichmäßig verteilten Rollschubbeanspruchung zwischen Längslagen und Querlage ergeben sich die in Tabelle 2 angegebenen mittleren Rollschubfestigkeitswerte $f_{R,mean}$. Auf die Ermittlung der Rohdichtewerte wurde im Rahmen dieses

Versuchsprogramm verzichtet, da die Rollschubfestigkeit kaum von der Rohdichte, sondern von der Verklebung und der Jahrringlage maßgebend beeinflusst wird.

Die umfangreichen experimentellen Untersuchungen haben gezeigt, dass in die Querlage eingedrehte Schrauben hohe axiale Zugkräfte aufnehmen können und steife Verbindungen zwischen dem Verbindungsmittel und der Holzmatrix darstellen (vgl. mittlere axiale Verbundsteifigkeit $K_{ax,mean}$ in Tabelle 2). Allerdings sollten drei wichtige Bestandteile einer Verbindung berücksichtigt werden:

- Querszugverstärkung
- Querlagendicke
- Klebefugenqualität

Die genannten Punkte werden im Folgenden näher betrachtet.

2.1. Querszugverstärkung

Um ein frühzeitiges Aufspalten der Versuchskörperenden zu unterbinden, ist es notwendig je Verbindung mindestens vier Vollgewindeschrauben $\varnothing 6$ mm zur Querszugverstärkung einzubringen (s. Abbildung 4). Die axialen Zugkräfte in der Gewindestange bewirken senkrecht zur Beanspruchungsrichtung wirkende Kräfte, welche ein Querszugversagen begünstigen. Durch dieses Aufspalten der Querlage wird der Verbund zwischen Gewinde und Holzmatrix gestört und eine deutliche Ausziehtragfähigkeitsabnahme ist die Folge. Diese Beobachtungen wurden schon bei Vorversuchen [2] gemacht. Eine Querszugbewehrung ist somit bei allen Verbindungen einzubringen. Detaillierte Angaben der Rand- und Verbindungsmittelabstände der Bewehrungsschrauben sind der Literatur [8] zu entnehmen. Eine mögliche Verbesserungsmaßnahme durch Verstärkung über die gesamte Einschraublänge der Gewindestange mit Vollgewindeschrauben konnte durch Versuche nicht bestätigt werden. Eine vergleichende Versuchsreihe hat nahezu identische Versuchswerte wie die nur am Zugstabende bewehrten Prüfkörper geliefert. Somit wird deutlich, dass nur Bewehrungen am Zugstabende eine effiziente Verstärkung darstellen.

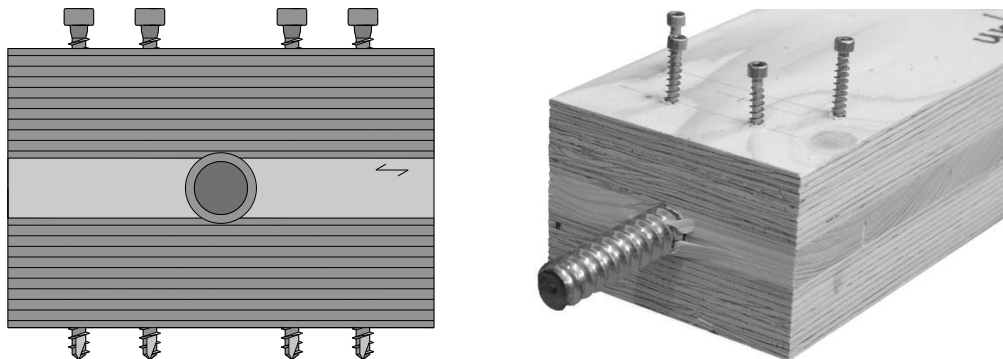


Abbildung 4: Querszugbewehrung

2.2. Querlagendicke

Die Querlage sollte mindestens so dick sein wie der Gewindeaußendurchmesser des Verbindungsmittels, damit mögliche Zwängungen aus Quell- und Schwindverformungen von der Querlage aufgenommen werden können. Genügend viele Fasern der Querlage sollten zur Verfügung stehen, um auftretende Spannungen (aus klimatischen und äußeren Beanspruchungen) aufnehmen zu können. Ist dies nicht der Fall, so ist der Querlagenbereich in Höhe des vorgebohrten Loches so stark geschwächt, dass die Querszugtragfähigkeit der Längslagen nicht ausreichend groß ist, um die Spaltkräfte bei axialer Beanspruchung der Gewindestange im Ausrundungsbereich aufnehmen zu können. Eine mögliche Spannungsverteilung aufgrund von Quellverformungen der Längslagen ist in Abbildung 5 dargestellt. Signifikante Spannungsspitzen treten am Bohrlochrand in der Querlage im Übergang zur Längslage auf. Die Löcher für die Gewindestangen werden mit dem Kerndurchmesser zusätzlich einem Millimeter vorgebohrt. Um die auftretenden Spannungen in Faserrichtung in der Querlage aufnehmen zu können und das Quellen der Längslage zu verhindern, sollte die Querlagendicke mindestens dem Gewindeaußendurchmesser entsprechen.

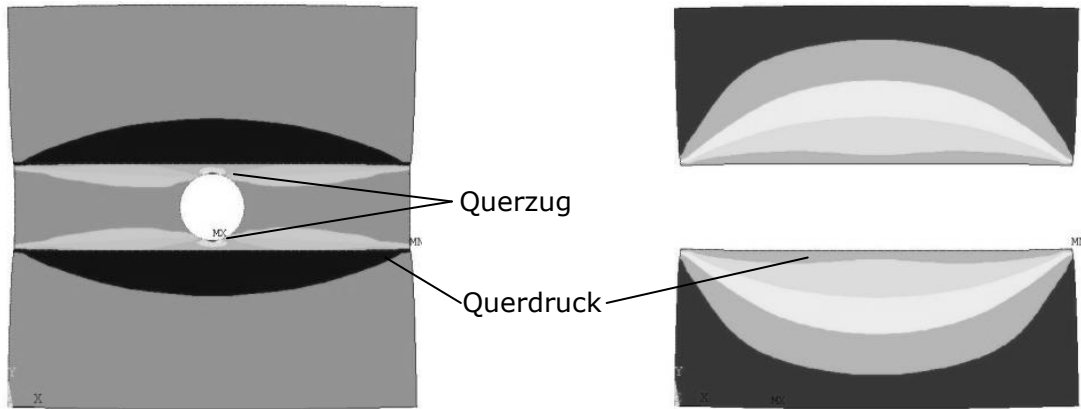
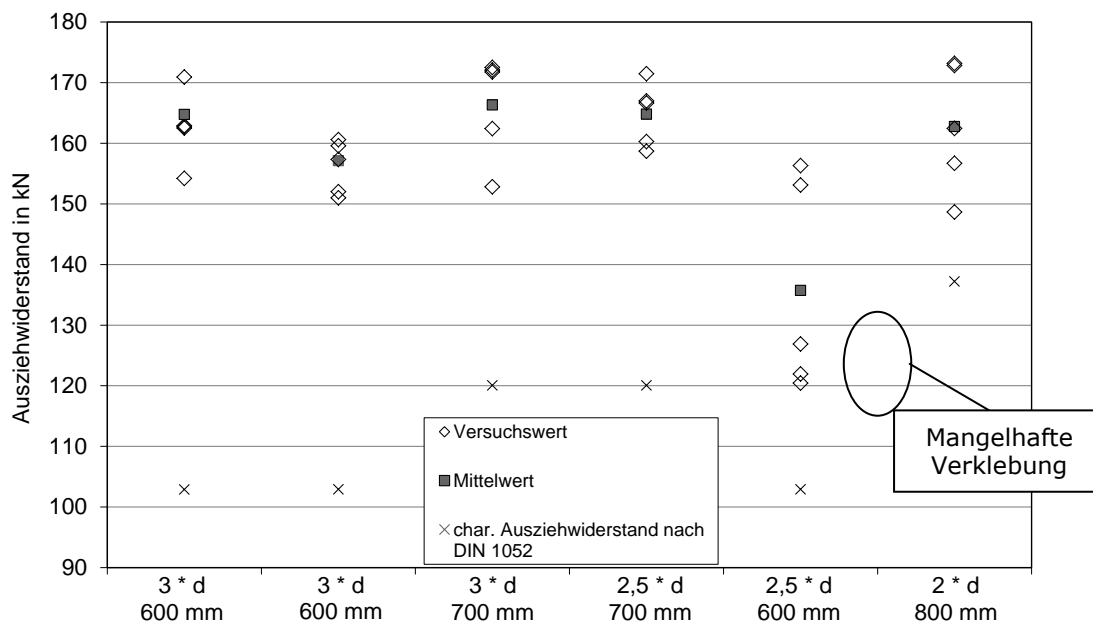


Abbildung 5: FE-Modell – Einfluss der Holzfeuchteänderung

2.3. Klebefugenqualität

In Abbildung 6 sind die Ausziehkräfte der einzelnen Gewindestangen $\varnothing 20$ mm in kN dargestellt. Zusätzlich zu den Versuchsergebnissen sind die Mittelwerte und die charakteristischen Ausziehtragfähigkeiten nach DIN 1052 [9] angegeben. Lediglich in der vorletzten Versuchsreihe ist der Mittelwert von 136 kN relativ gering, verglichen mit den restlichen Versuchsreihen. Die auffällig geringen Werte der Ausziehtragfähigkeit wurden durch eine fehlerhafte Verklebung zwischen Längslagen und Querlage verursacht, da die Kräfte nicht über die volle Kontaktfläche aus der Querlage in die Längslagen geleitet werden konnten. Das Brettsperrholz muss fehlerfrei hergestellt sein, um das gewünschte duktile Versagen der Gewindestange zu erzielen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass niedrige Tragfähigkeiten auf eine mangelnde Verklebung zurückzuführen waren. Die Qualität der Klebefuge ist für die Tragfähigkeit der Verbindung maßgebend.

Abbildung 6: Ausziehkräfte einer Gewindestange $\varnothing 20$ mm (Horizontale Achse: Randabstände $a_{1,c}$ und Verankerungslänge l_{ef})

3. Bemessung einer Verbindung

Mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung ist die Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit der Gewindestangen mit Holzgewinde als Holzverbindungsmittel nachgewiesen [5]. Die Bemessung erfolgt nach DIN 1052 [9] oder nach DIN EN 1995-1-1 [1] in Verbindung mit dem nationalen Anhang [10]. Die Bestimmung der axialen Tragfähigkeit einer in die Querlage von BSP eingedrehten Gewindestange wird in diesen Dokumenten nicht

explizit beschrieben. Aufgrund dessen soll im Folgenden schrittweise die Vorgehensweise der Bemessung einer solchen Verbindung kurz erläutert werden.

3.1. Ausziehtragfähigkeit

Der charakteristische Wert des Ausziehwiderstandes für eine unter einem Winkel $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ (α = Winkel zwischen Gewindestangenlängsachse und Holzfaserrichtung) eingedrehte Gewindestange darf nach [5] mit

$$R_{ax,k} = f_{t,k} \cdot l_{ef} \cdot d_r$$

in Rechnung gestellt werden.

d_r	Gewindeaußendurchmesser in mm
l_{ef}	Einschraubtiefe in mm
$f_{t,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	charakteristischer Wert des Ausziehparameters in N/mm ²
ρ_k	charakteristische Rohdichte in kg/m ³

Analog zur Bemessungsregel des Ausziehwiderstandes von Holzschrauben nach Eurocode 5 [1] kann $R_{ax,k}$ bestimmt werden. Zusätzlich kann bei einer ausreichend großen Einschraubtiefe davon ausgegangen werden, dass die Gewindestange mehrere Brettlagen durchdringt und somit eine charakteristische Rohdichte ρ_k für BSH angenommen werden kann, anstatt die charakteristische Rohdichte von Vollholz zu verwenden. Der charakteristische Ausziehparameter kann mit den in den Versuchen ermittelten charakteristischen Werten nach Tabelle 2 verglichen werden.

Zusätzlich muss bei einer Verbindungsmittelsammlung die wirksame Anzahl n_{ef} berücksichtigt werden:

$$n_{ef} = n^{0,9}$$

n Anzahl der verwendeten Verbindungsmittel

$$\rightarrow R_{ax,k,gesamt} = n_{ef} \cdot R_{ax,k}$$

3.2. Zugtragfähigkeit Längslagen

Die Zugspannung in den Längslagen eines Zugstabes aus BSP muss ebenfalls überprüft werden. Der Querschnittsnachweis kann in Anlehnung an den EC 5 [1], Abschnitt 6.1.2 geführt werden. Die Querlage darf allerdings nicht in Rechnung gestellt werden. Somit kann die charakteristische Zugtragfähigkeit eines Zugstabes folgendermaßen bestimmt werden:

$$R_{t,k} = A_{Längslagen} \cdot f_{t,k}$$

Es wird die charakteristische Zugfestigkeit der Festigkeitsklasse von Brettschichtholz zugrunde gelegt, da die Längslagen aus mehreren Brettern bestehen und somit die Annahme der Festigkeitswerte des Vollholzes eine sehr konservative Abschätzung darstellen würde.

3.3. Rollschubtragfähigkeit

Zusätzlich muss die Rollschubtragfähigkeit in den Fugen zwischen der Querlage und den Längslagen überprüft werden. Dazu kann folgende Gleichung zur Ermittlung der gesamten Rollschubtragfähigkeit des Zugstabes herangezogen werden:

$$R_{R,k} = A_{Fugen} \cdot f_{R,k}$$

Im Hinblick auf die gleichmäßig verteilt angenommene Rollschubbeanspruchung zwischen Längslagen und Querlage kann die charakteristische Rollschubfestigkeit $f_{R,k} = 1,0 \text{ N/mm}^2$ angenommen werden. An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass im deutschen nationalen Anhang [10] fälschlicherweise steht, dass „der Bemessungswert der Rollschubfestigkeit für alle Festigkeitsklassen mit $1,0 \text{ N/mm}^2$ in Rechnung gestellt werden darf“.

3.4. Stahltragfähigkeit

Der charakteristische Wert der Zugtragfähigkeit der Gewindestange $R_{t,u,k}$ darf ebenfalls nicht überschritten werden. Die Stahlzugtragfähigkeit der Gewindestange ist der Zulassung [5] zu entnehmen.

Unter Berücksichtigung unterschiedlicher γ_m - und k_{mod} -Werte können die Bemessungswerte $R_{ax,d}$, $R_{t,d}$, $R_{R,d}$ und $R_{t,u,d}$ bestimmt und der maßgebende Widerstand der Verbindung ermittelt werden. Ein sprödes Versagen sollte möglichst vermieden werden. Die Verbindung ist so zu dimensionieren, dass ein Stahlversagen maßgebend ist.

Obwohl die Versuche gezeigt haben, dass mit den Abständen $a_{1,c} = 2,0 \cdot d$ bzw. $2,5 \cdot d$ und $a_1 = 3 \cdot d$ hohe Tragfähigkeiten erzielt werden können, wird empfohlen, die Verbindung mit den Abständen $a_{1,c} = 3 \cdot d$ und $a_1 = 4 \cdot d$ zu dimensionieren. Dies sollte so lange beibehalten werden, bis die Tiefenbohrungen ohne nennenswerte Abweichungen realisiert werden können. In Abbildung 7 wird deutlich, dass eine geringe Abweichung vom geplanten Einschraubvorgang die Rand- und Verbindungsmittelabstände deutlich beeinträchtigen kann und das Tragverhalten negativ beeinflusst wird.

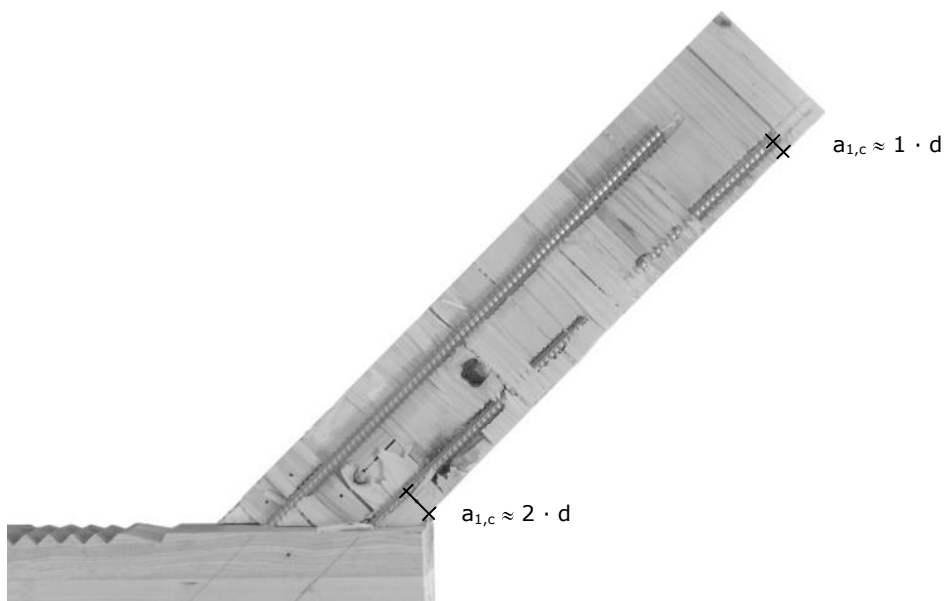


Abbildung 7: Tiefenbohrung – Unterschiedliche Randabstände über die gesamte Bohrtiefe

4. Beispiel Fachwerkknoten

4.1. Bemessung

In Abbildung 8 ist ein Teil eines Fachwerkknotens dargestellt. Die Zugdiagonale besteht aus Brettsper Holz der Gesamtdicke von 71 mm. Zwei Gewindestangen $\varnothing 16 \text{ mm}$ verbinden den Gurt und den Diagonalstab. Nachfolgend wird die charakteristische Tragfähigkeit der Verbindung bestimmt.

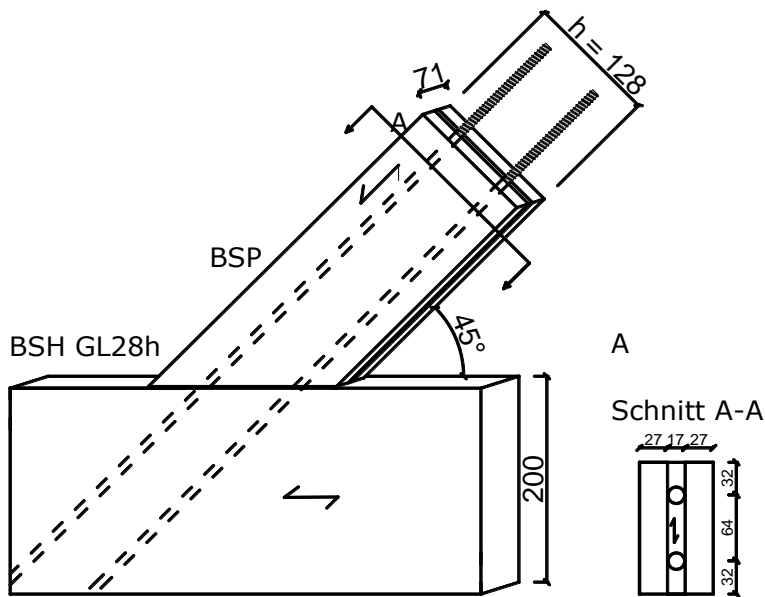


Abbildung 8: Gewindestange im Brettsperrholz; Maße in mm

Die Einschraubtiefe in der Zugdiagonale wird zu $\ell_{ef} = 500$ mm gewählt. Daraus ergibt sich analog zur Bemessungsregel des Ausziehwerstandes von Holzschrauben nach Eurocode 5 [1] die charakteristische Tragfähigkeit $R_{ax,k}$.

$$f_{1,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 10,1 \text{ N/mm}^2$$

nach [5] und $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ für GL24h.

$$R_{ax,k} = f_{1,k} \cdot d \cdot \ell_{ef} \text{ für } \alpha = 90^\circ \text{ und } d = 16 \text{ mm}$$

$$R_{ax,k} = 10,1 \cdot 16 \cdot 500 = 81 \text{ kN}$$

$$\text{wirksame Anzahl } n_{ef} = n^{0,9} = 1,87$$

$$\rightarrow R_{ax,k,ges} = 1,87 \cdot 81 = 151 \text{ kN}$$

Es ist zu beachten, dass diese Kräfte auch von den Längslagen aufgenommen werden müssen. Somit ergibt sich eine zusätzliche Betrachtung zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit des Holzes parallel zur Faser:

$$R_{t,k} = A \cdot f_{t,k} = (2 \cdot 128 \cdot 27) \cdot 16,5 = 114 \text{ kN}$$

Es wird die charakteristische Zugfestigkeit der Festigkeitsklasse GL24h zugrunde gelegt. Des Weiteren muss die Rollschubtragfähigkeit in den Fugen nachgewiesen werden:

$$R_{R,k} = A \cdot f_{R,k} = (2 \cdot 128 \cdot 500) \cdot 1,0 = 128 \text{ kN}$$

Die Stahlzugtragfähigkeit ($R_{t,u,k} = 2 \cdot 91,5 \text{ kN} = 183 \text{ kN}$) der Gewindestangen ist nicht maßgebend. Dieses Beispiel macht deutlich, dass die Wahl von großen Einschraubtiefen eine Dimensionierung der Stabquerschnitte beeinflusst, da die Zugtragfähigkeit des Stabes (Längslagen) und nicht die Verbindung selbst maßgebend werden kann.

Der Vollständigkeit halber soll die Ausziehtragfähigkeit der eingedrehten Gewindestange im Gurt ebenfalls bestimmt werden. Die Bemessung erfolgt nach den Angaben der Zulassung [5].

$$f_{1,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$$

$$\text{GL28h: } \rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$$

$$\rightarrow f_{1,k} = 11,77 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{ax,k} = f_{1,k} \cdot d \cdot \ell_{ef} = 11,77 \cdot 16 \cdot \sqrt{2} \cdot 200 = 53 \text{ kN}$$

$$R_{ax,k,ges} = 2 \cdot 53 = 106 \text{ kN}$$

Dieses Beispiel macht deutlich, dass hohe Zugkräfte von einer Verbindung mit eingedrehten Gewindestangen übertragen werden können aber eine ausreichend große Verankerungslänge im Gurt gewährleistet sein muss.

4.2. Abbund und Montage

Theorie und Praxis erweisen sich häufig als zwei schwierig zu vereinbarende Gegenspieler. Die in den vorangegangenen Kapiteln erarbeiteten Grundlagen sollten innerhalb eines Fachwerkträgers zum Einsatz kommen.

Ein Fachwerkträger wurde geplant und im Labor der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, wie in Abbildung 10 dargestellt, geprüft. Der Zugstabanschluss entspricht der in diesem Beitrag angenommenen innovativen Knotenausbildung und Abmessungen. Der Schlüssel einer tragfähigen Verbindung liegt im präzisen Abbund und erfordert ein hohes Maß an Sorgfalt und Planung. Ursprünglich wurde ein CNC-gesteuertes Abbinden angestrebt, allerdings wurden im Endeffekt die Bohrlöcher für die Gewindestangen, wie in Abbildung 9 dargestellt, von Hand realisiert, um ein zwängungsfreies Eindrehen der Gewindestangen zu garantieren. Dazu wurden die Bauteile ausgelegt und mit Schraubzwingen fixiert. Anschließend konnte mit einem Tiefenbohrer in einem Bohrvorgang der Gurt und die Diagonale vorgebohrt werden.

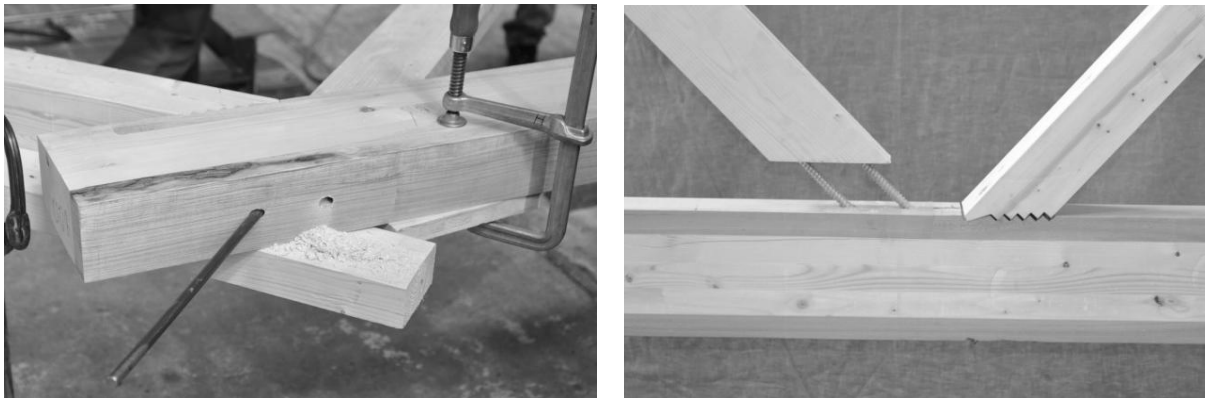


Abbildung 9: Montage (links) und Versagen der Verankerung (rechts)

Eine Vorbemessung des Trägers ergab, dass die Zugtragfähigkeit der Längslagen maßgebend wird und die charakteristische Tragfähigkeit des Trägers definiert.

Das Versagen des Trägers wurde jedoch durch ein Herausziehen der am höchsten beanspruchten Gewindestangen aus dem Untergurt bei einer Kolbenlast von $2 \times 83 \text{ kN}$ gekennzeichnet (vgl. Abbildung 9). In Abbildung 10 ist das Last-Verformungs-Verhalten des Trägers angegeben. Die Durchbiegung in Trägermitte ist auf der Abszisse aufgetragen. Da der Abbund stellenweise nicht die notwendige Präzision aufwies und dadurch die Verankerung der Gewindestangen geschwächt wurde, hätte vermutlich durch einen verbesserten Abbund eine höhere Tragfähigkeit erreicht werden können.

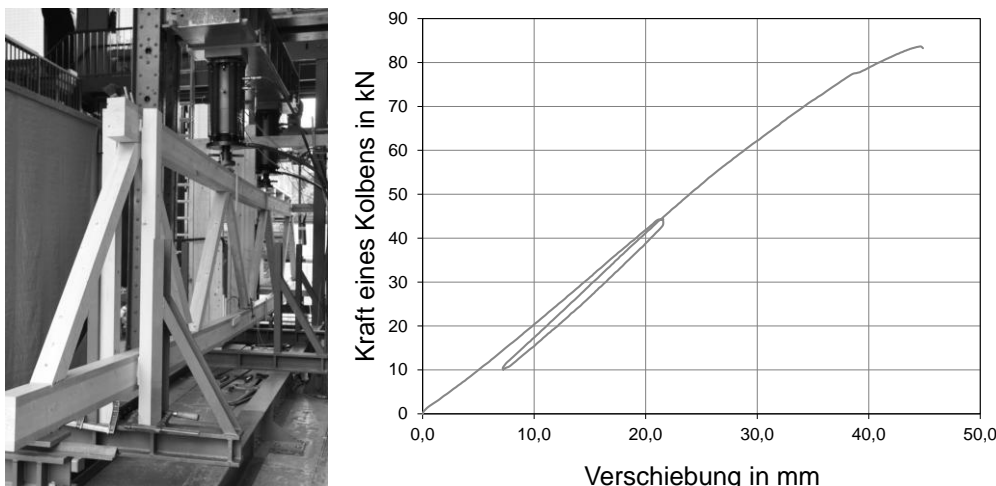


Abbildung 10: Versuchsaufbau Fachwerkträger (links) und Kraft-Verschiebungs-Kurve (rechts)

5. Schlussfolgerung

Neben dem Erfolg des Werkstoffs Brettsperrholz im Bereich der flächigen Tragelemente des Bauwesens, haben neue Forschungsergebnisse gezeigt, dass Brettsperrholz als stabförmiges Bauteil ein hohes Potential besitzt. Diese Beobachtung wird durch die von Flaig [11] gemachten Beobachtungen gestärkt. Die in diesem Beitrag betrachteten Verbindungen mit eingedrehten Gewindestangen in Brettsperrholz scheinen für den Einsatz in Fachwerkträgern prädestiniert zu sein. Hier kann die Verbindung mit Hilfe der Gewindestange zwischen Gurtbauteil und Füllstäben mit einem geringen Arbeitsaufwand realisiert werden. Der hohe Vorfertigungsgrad und die schnelle Montage sind weitere positive Aspekte, die für eine Verbindung mit eingedrehten Gewindestangen spricht. Im Gegensatz zu eingeklebten Gewindestangen wird keine Leimgenehmigung vom ausführenden Unternehmen benötigt und die Trocknungszeiten und die damit aufwendigen Montageabläufe entfallen. Allerdings sind äußerst präzise Abbundarbeiten im Vorfeld erforderlich, um Zwängungen beim Einbringen der Gewindestangen während der Montage zu verhindern. Der Qualität der Klebefuge sollte ebenfalls ein hohes Maß an Aufmerksamkeit zukommen.

Vor 50 Jahren kamen Gattnar und Trysna [12] zu folgender Erkenntnis: „Die zweckmäßigste und wirtschaftlichste Ausbildung von Knotenpunkten für Fachwerkbinder ist eine der wichtigsten und schwierigsten Aufgaben des Holzbaukonstruktors. Sie erfordert viel Erfahrung, Geschick und Sorgfalt, denn von einwandfrei ausgebildeten Knotenpunkten hängt das gute Gelingen eines Bauwerkes wesentlich ab.“

Möchte der Ingenieurholzbau konkurrenzfähig zu anderen Baustoffen bleiben, so muss genau dies beachtet und die Vorteile des Werkstoffs Holz sinnvoll genutzt werden.

6. Literatur

- [1] DIN EN 1995-1-1 (Eurocode 5), Ausgabe Dezember 2010, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [2] Blaß, H. J. (2008): Fachwerkträger – Neue Ansätze bei Material und Verbindungen, Ingenieurholzbau, Karlsruher Tage 2008, Bruderverlag, Universität Karlsruhe
- [3] Blaß, H. J.; Bejtka, I. & Uibel, T. (2006): Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 4, Karlsruhe, Universitätsverlag
- [4] Blaß, H. J. & Uibel, T. (2007): Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmitteln in Brettsperrholz, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 8, Karlsruhe, Universitätsverlag
- [5] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-777: Gewindestangen mit Holzgewinde als Holzverbindungsmittel
- [6] DIN EN 1382, Ausgabe März 2000, Ausziehtragfähigkeit von Holzverbindungsmitteln
- [7] DIN EN 14358, Ausgabe März 2007, Holzbauwerke – Berechnung der 5%-Quantile für charakteristische Werte und Annahmekriterien für Proben
- [8] Blaß, H. J.; Enders-Comberg, M. (2012): Fachwerkträger für den industriellen Holzbau, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 22, Karlsruhe, KIT Scientific Publishing
- [9] DIN 1052, Ausgabe Dezember 2008, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- [10] DIN EN 1995-1-1/NA, Ausgabe Dezember 2010, Nationaler Anhang – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [11] Flaig, M. (2012): Stabförmige Bauteile aus Brettsperrholz, Holzbau – Forschung für die Praxis, Karlsruher Tage 2012, KIT Scientific Publishing
- [12] Gattnar, A. & Trysna, F. (1961): Hölzerne Dach- und Hallenbauten, Berlin, Ernst