

# Passbolzenverbindungen für Holzfachwerke

Autor(en): **Fontana, Mario**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht**

Band (Jahr): **12 (1984)**

PDF erstellt am: **16.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-12224>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

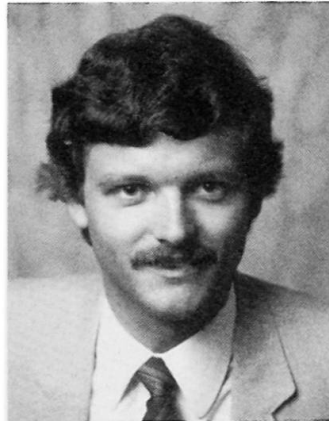
## Passbolzenverbindungen für Holzfachwerke

Dowel-Connections for Timber Trusses

Assemblages par broches pour poutres à treillis en bois

### Mario FONTANA

Dr. sc. tech.  
Eidg. Technische Hochschule  
Zürich, Schweiz



Mario Fontana erhielt 1979 von der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich sein Diplom als Bauingenieur. Nach einem kurzen Auslandsaufenthalt arbeitete er am Institut für Baustatik und Stahlbau der ETH Zürich als Assistent und wissenschaftlicher Mitarbeiter, wobei er hauptsächlich auf dem Gebiet des Ingenieur-Holzbaues tätig war. 1984 promovierte er mit einer Arbeit zum Problemkreis der Knotenausbildung hölzerner Fachwerkträger.

### ZUSAMMENFASSUNG

Obwohl Holzfachwerke mit Nagelplattenverbindungen in letzter Zeit eine starke Verbreitung gefunden haben, können Fachwerkträger mit traditionellen Holz-Holz Verbindungen zu wirtschaftlichen Lösungen führen. Als Verbindungsmittel dienen vorzugsweise Passbolzen aus hochfestem Stahl, Hartholz oder Glasfaserstäben.

### SUMMARY

Even though for timber trusses nail plate connections have become widely used, traditional timber trusses with wood-wood connections can lead to very economical solutions. Preferably dowels of high resistant steel, hardwood or glassfibre are used as connectors.

### RESUME

Bien que les connecteurs à dents sont de plus en plus appliqués pour l'assemblage de treillis en bois, les assemblages traditionnels bois sur bois peuvent conduire à des solutions économiques. Comme moyens d'assemblage on utilise de préférence des broches en acier à haute résistance, en bois dur ou en fibre de verre.



## 1. EINLEITUNG

Traditionelle Fachwerktypen mit Holz-Holz-Verbindungen mittels Nägel oder Passbolzen sind einfach herzustellen, weisen aber im Knotenbereich hohe lokale Beanspruchungen auf. Obwohl dieser Fachwerktyp oft und seit langen Jahren angewandt wird, liegt nur wenig Datenmaterial zum Trag- und Verformungsverhalten solcher Fachwerke vor. In einer Forschungsarbeit an der Professur für Baustatik und Stahlbau der ETH Zürich wurden die Grundlagen zur Berechnung erweitert und Tragmodelle für den Knotenbereich geschaffen. Ausgehend von diesen Daten fanden sich auch Möglichkeiten zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit solcher Fachwerkträger [1].

## 2. EIGENSCHAFTEN KLASSISCHER HOLZFACHWERKE MIT NAGEL- ODER PASSBOLZENVERBINDUNGEN

Die unter der Bezeichnung "Nagelbinder" bekannten Fachwerke zeichnen sich aus durch:

- Reine Holz-Holz-Verbindungen in den Knoten, wobei Gurtungen oder Diagonalen doppelläufig geführt sind.
- Einfache Herstellung ohne Spezialeinrichtungen (keine Pressen wie z.B. bei Nagelplattenverbindungen), dadurch leicht in Kleinbetrieben mit einfachen Maschinen und Werkzeugen ausführbar.
- Keine Beschränkung auf Nadelholz wie bei Nagelplatten. Der Einsatz von Hartholz ist bei Verwendung von Bolzen mit Vorbohrung möglich, was in Ländern mit einem reichen Angebot an Harthölzern hoher Festigkeit und Resistenz von Bedeutung ist.

Nachteilig wirkt sich der etwas höhere Arbeitsaufwand bei der Herstellung und der höhere Holzverbrauch infolge der ungünstigen Beanspruchungsverhältnisse im Knoten aus.

## 3. GRUNDLAGEN ZUM TRAG- UND VERFORMUNGSVERHALTEN

### 3.1 Beanspruchungsverhältnisse im Knotenbereich

Im Knotenbereich von Nagelbindern müssen die Gurtungen die Kräfte von einer Diagonalen zur anderen übertragen und werden daraus stark lokal beansprucht. Aus Platzgründen für die Verbindungsmittel müssen zudem die Diagonalen meist exzentrisch angeschlossen werden.

Beobachtungen an Versuchsträgern und Bilder von Schadensfällen zeigen zunächst eine starke S-förmige Verbiegung der Gurtungen gefolgt von Querrissen, welche schliesslich zum Bruch der Gurtungen führen. Abbildung 1 zeigt einen solchen Knoten nach Erreichen der Bruchlast.

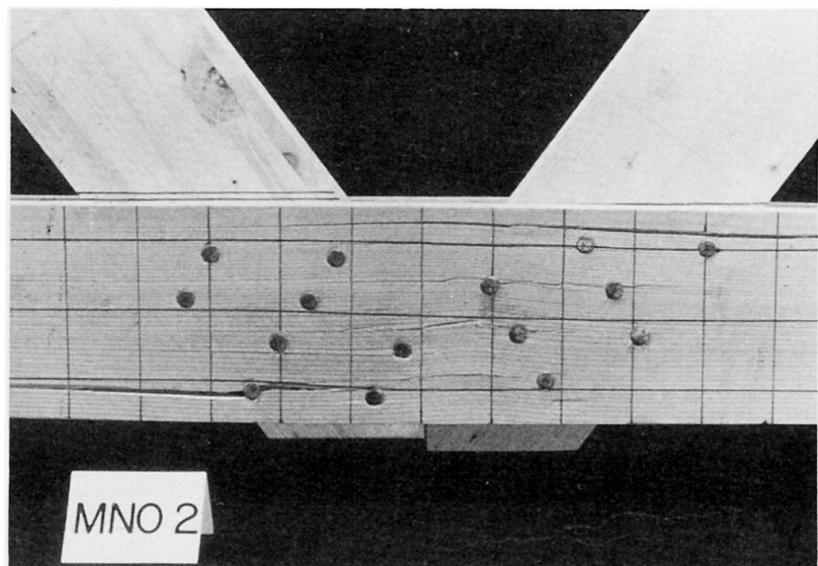


Abb. 1: Typischer Nagelbinderknoten nach dem Bruch

Ueber die Versagensursachen gingen bisher die Meinungen auseinander, daher sollte mittels Berechnungen und Versuchen der Versagensmechanismus genauer analysiert werden. Mögliche Bruchursachen sind in Abbildung 2 zusammengestellt:

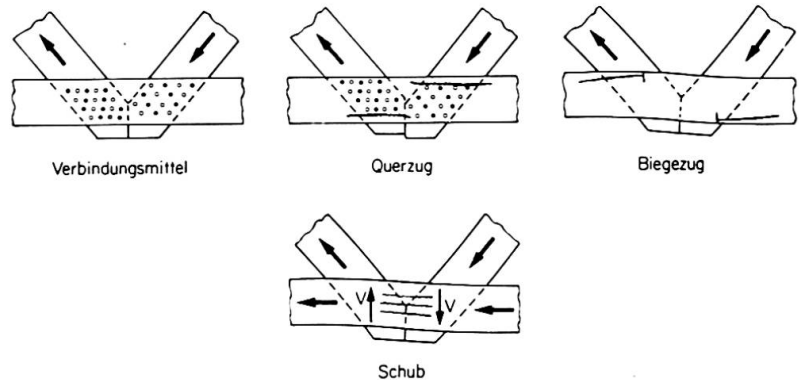


Abb. 2: Mögliche Bruchursachen des Knotenbereiches von Nagelbindern

Beobachtungen in den Versuchen und Berechnungen zeigten:

- Momente infolge baupraktisch üblicher Exzentrizitäten sind nicht primäre Versagensursache.
- Ein Versagen der Verbindungsmittel kann leicht erkannt und durch entsprechende Bemessung vermieden werden.
- Querkzugversagen infolge der Krafteinleitung wird oft aufgrund der Querrisse vermutet. Die Querkzugspannungen hängen hauptsächlich von der geometrischen Anordnung der Verbindungsmittel ab. Eine möglichst gleichmässige Verteilung über die Gurthöhe ergibt nur geringe Querkzugspannungen.
- Schub ist die eigentliche Bruchursache des Knotenbereiches. Infolge der "Knotenplattenwirkung" der Gurtungen entstehen hohe Schubbeanspruchungen in den Gurtungen. Diese Schubspannungen sind vor allem in den auflagernahen Knoten parallelgurtiger Fachwerke gross und führen falls keine Massnahmen zur Verstärkung getroffen werden, zu frühzeitigem Versagen.

### 3.2 Tragmodell für den Knotenbereich

Berechnungen ergaben in etwa einen parabelförmigen Verlauf der Schubspannungen im Knoten. In den Versuchen konnten die ersten Risse im Bereich der grössten rechnerischen Schubspannungen beobachtet werden.

Die aus den Versuchsergebnissen errechneten Schubspannungen lagen infolge des geringen hochbeanspruchten Holzvolumens hoch, so dass hier im Knotenbereich mit höheren zulässigen Schubspannungen gerechnet werden darf. Abbildung 3 zeigt den Einfluss des beanspruchten Volumens auf die Schubfestigkeit von Nadelholz nach [2] und einige Resultate aus Versuchen an Fachwerkknoten [1]:

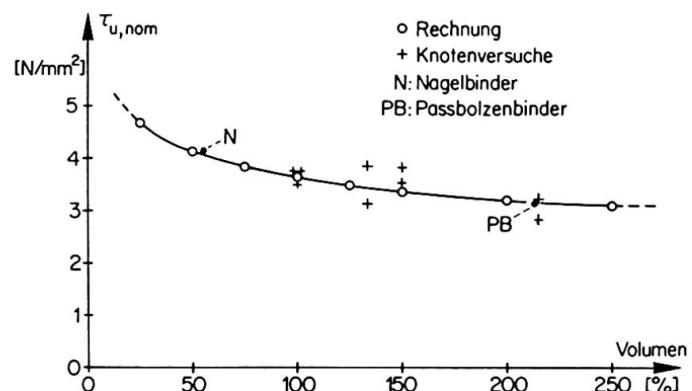


Abb. 3: Verlauf der Schubfestigkeit von Nadelholz in Funktion des beanspruchten Holzvolumens

Als einfaches Nachweisverfahren bietet sich eine Ueberprüfung der nominellen Schubspannung im Knoten an, wobei  $\bar{\tau} = V/A = \tau_{zu}$  sein soll. Vergleichsrechnungen zeigen, dass die damit implizit vorgenommene Erhöhung der zulässigen Schubspannung auf der sicheren Seite liegende Bemessungswerte ergibt.



Selbst bei Versuchen mit ausgeprägten Holzfehlern (vgl. Abb. 4) konnte für derart bemessene Knoten eine ausreichende Sicherheit festgestellt werden, sofern die Bedingungen für normales Bauholz eingehalten werden.

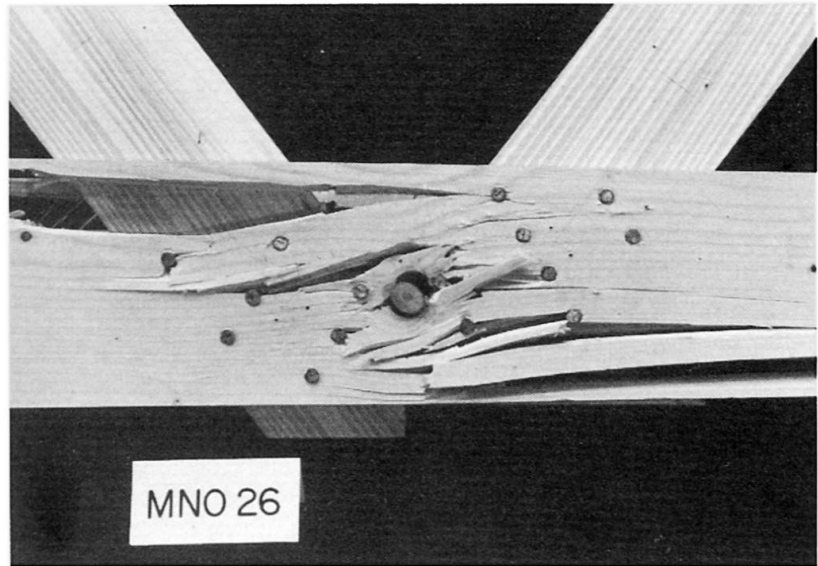


Abb. 4: Knoten mit grösserem Ast im Bereich der grössten Schubspannungen

Eine Betrachtung des Knotens als Gleichgewichtsmodell mit Querkraftübertragung mittels schrägen Druckbändern ergibt ebenfalls eine gute Übereinstimmung von Berechnung und Versuch. Für eine baupraktische Anwendung ist dieses Modell jedoch aufwendig.

### 3.3 Einflüsse der durchlaufenden Gurtungen und der Knotenausbildung auf das Verhalten von Holzfachwerken

Infolge der meist durchlaufend ausgebildeten Gurtungen und den biegesteifen Anschlüssen, treten neben den Normalkräften auch Biegemomente in den Stäben auf, welche sich im Gegensatz zu z.B. Stahlfachwerken nicht durch Plastifizierung abbauen können. (Einzig in den Verbindungen ist ein beschränkter Abbau möglich).

Eine direkte Anwendung der Gelenkfachwerktheorie ist im Holzbau nicht zulässig. Einige Holzbaunormen erlauben aber zur Vermeidung aufwendiger Rahmenberechnungen vereinfachte Berechnungsverfahren. So lässt z.B. die Schweizer Holzbaunorm SIA 164 (1981) [7] eine Berechnung ausgehend von den Stabkräften nach Culmann zu, wobei der Einfluss der Biegemomente durch Abminderung der zulässigen Spannungen in den Gurten auf  $\frac{2}{3}$  berücksichtigt wird.

Durch die "Verdrehsteifigkeit" der Verbindungen werden auch die Diagonalen auf Biegung beansprucht, so dass auch dort mit reduzierten Spannungen gerechnet werden sollte. (Eine Forderung die im Normalfall automatisch erfüllt wird, da sich aus dem Platzbedarf für die Verbindungsmittel meist grössere Diagonalabmessungen ergeben). Ebenso ist bei der Bemessung der Verbindungsmittel dem Einfluss der Biegemomente Rechnung zu tragen.

Wie Vergleichsversuche und -berechnungen zeigten, lassen sich mit diesem vereinfachten Verfahren die Beanspruchungen i.a. genügend genau erfassen.

Sollen die Schnittkräfte genauer mittels eines Rahmenmodelles ermittelt werden (z.B. infolge grosser Exzentrizitäten oder steifen Gurtungen ...) so müssen die Steifigkeiten der Anschlüsse bekannt sein. Diese hängen nicht nur von der

Art und Anzahl der Verbindungsmittel ab, sondern auch von deren geometrischer Anordnung im Knoten. Messungen an den Versuchsknoten ergaben Diagonalenendmomente von etwa 60% eines biegesteifen Anschlusses bei Verwendung von Nägeln mit Vorbohrung und von etwa 40% beim Einsatz von Hartholzbolzen.

Der Anteil der nachgiebigen Verbindungen verdient bei der Berechnung der Durchbiegungen besondere Aufmerksamkeit. Insbesondere bei parallelgurtigen Fachwerken betragen die wirklichen Durchbiegungen i.a. mehr als das Doppelte der ohne den Verbindungseinfluss berechneten Verformungen [3].

#### 4. MÖGLICHKEITEN FÜR EINE BESSERE MATERIALAUSNUTZUNG

Durch den Platzbedarf für die Verbindungsmittel müssen die Stabquerschnitte oft grösser als statisch nötig gewählt werden. Eine hohe Anschlussdichte ist somit entscheidend. Welche Möglichkeiten bieten sich an?

Normalerweise werden Nagelbinder mit Nägeln ohne Vorbohrung ausgeführt. Infolge der höheren Aufspaltgefahr sind grössere Nagelabstände einzuhalten. Bei Nägeln mit Vorbohrung oder Passbolzenverbindungen ist die Gefahr des Aufspaltens weit kleiner, so dass kleinere Regelabstände möglich sind. Abbildung 5 zeigt am Beispiel eines Schräganschlusses den wesentlich kleineren Holzbedarf bei gleichzeitig höherer zulässiger Anschlusskraft, falls die Nägel vorgebohrt werden [7].

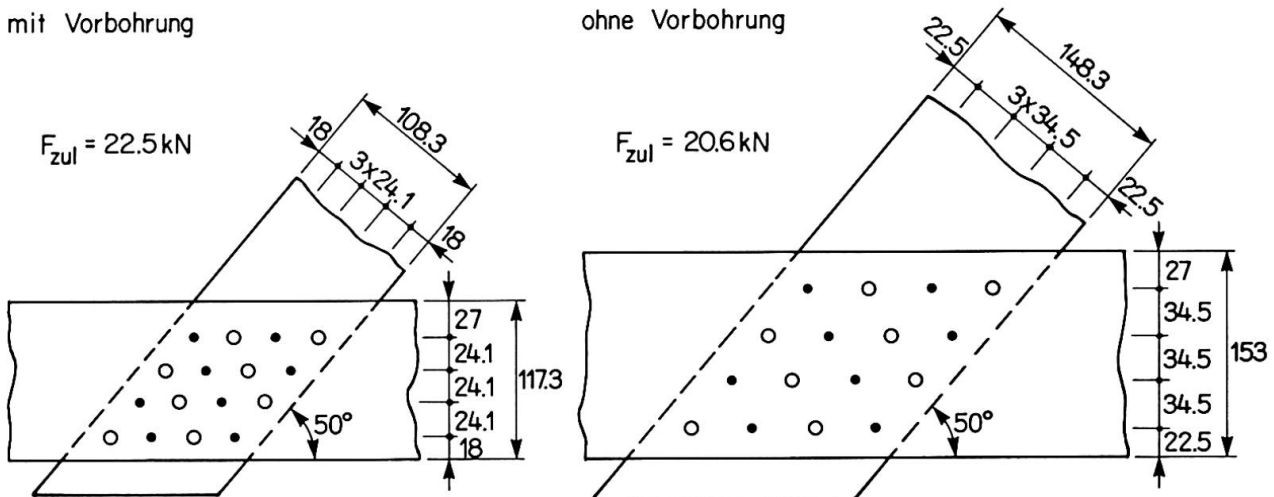


Abb. 5: Einfluss der Vorbohrung auf die zul. Anschlusskraft und den Holzbedarf - Schräganschluss mit und ohne Vorbohrung (16 Nägel  $\phi$  4.5 zweischnittig)

Wie oben erwähnt, werden die Gurtungen im Knotenbereich stark auf Schub beansprucht, was oft eine Vergrößerung der Gurtquerschnitte nötig macht. Meist sind aber nur wenige Randknoten stark beansprucht, so dass lokale Verstärkungen dieser Zonen Einsparungen bei den Gurtquerschnitten ergeben.

Wirkungsvoll sind Aufleimer aus Sperrholz. Sperrholz weist infolge der kreuzweisen Anordnung der Furnierlagen gegenüber Vollholz eine wesentlich höhere Schubfestigkeit auf. Die grösste Schubfestigkeit wird bei einer Beanspruchung unter  $45^\circ$  beobachtet, weil dann die Fasern in Richtung der schrägen Hauptspannung liegen.

Versuche mit Aufleimern aus Sperrholz zeigten bei nur 9% Sperrholzanteil an den Gurtungen eine Verbesserung der Traglast von 22% bei faserparalleler und gar um 36% bei Anordnung unter  $45^\circ$  zur Gurtachse.



Neben der Schubverstärkung ergibt sich vor allem bei innenliegenden Sperrholzaufleimern auch ein verbessertes Verhalten der Verbindung. Durch die Aufleimer wird die Lochleibungsfestigkeit erhöht und ein Aufspalten im Anschlussbereich verhindert [4]. Als Beispiel für eine solche Verstärkung zeigt Abbildung 6 einen Anschluss mittels Passbolzen und Blechen in eingeschlitzten Fichtenstäben. Mittels nur 3 mm starken Aufleimern konnte die Traglast um über 40 % gesteigert werden.

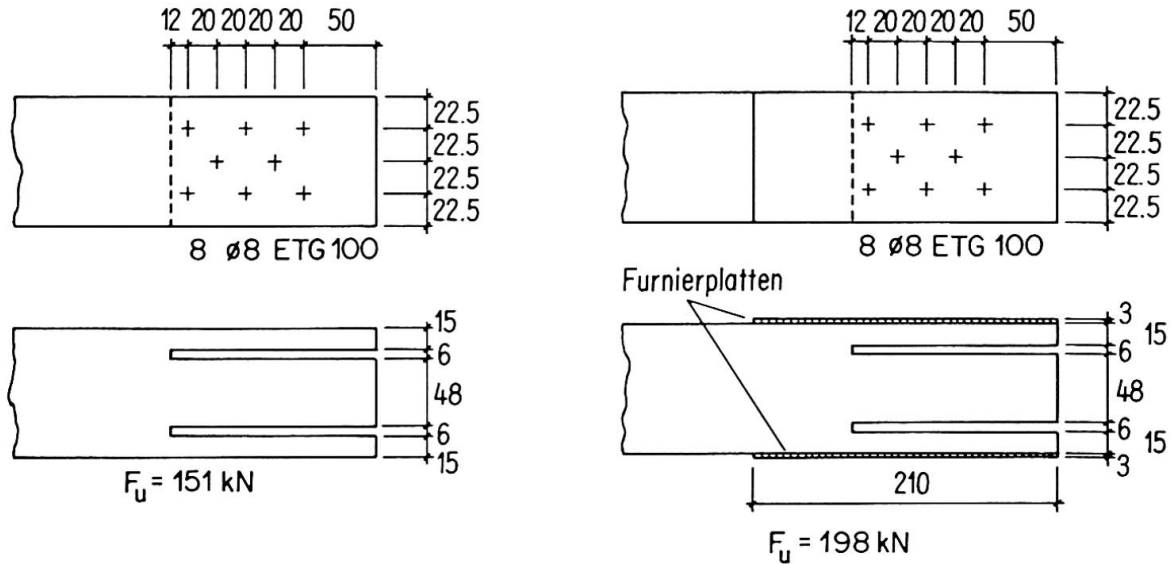


Abb. 6: Anschluss mittels Passbolzen - Einfluss der Sperrholzverstärkung (Traglast  $F_u$  = Mittelwert aus 3 Versuchen)

## 5. MÖGLICHKEITEN FÜR EINE RATIONELLERE HERSTELLUNG

Nagelbinder zeichnen sich durch geringe Ansprüche an die Werkzeuge und Maschinen aus. Dafür ist der Arbeitsaufwand im Vergleich zu Nagelplattenbindern leicht höher.

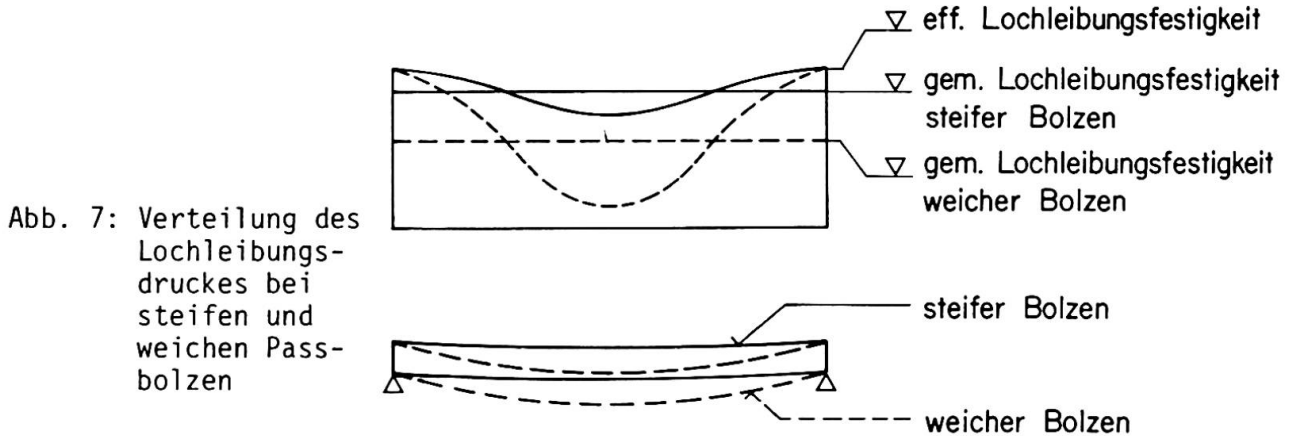
Ein Grossteil des Herstellungsaufwandes ist bedingt durch das Vorbohren der Nagellöcher. Hier kann mittels standartisierten Bohrbildern und durch den Einsatz von Mehrspindelbohrern viel Zeit eingespart werden. Solche standartisierten Bohrbilder werden in der Schweiz für Fachwerke mit Knotenplatten aus Stahl bereits erfolgreich eingesetzt.

Das Aufleimen der Sperrholzverstärkungen verlangt ein Vorhobeln der Gurtungen im Knotenbereich. Dies bedingt nicht generell einen Mehraufwand, da heute für sichtbare Konstruktionen meist ohnehin gehobeltes Holz gewünscht wird. Es wäre sogar denkbar Gurtungen aus BSH mit einer speziellen Lamelle aus Sperrholz herzustellen.

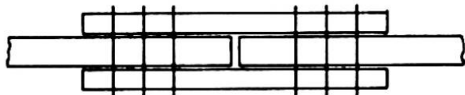
## 6. SONDERFORMEN DER KNOTENAUSBILDUNG MIT NEUARTIGEN BOLZENTYPEN

Aesthetische oder technische Gründe lassen manchmal den Wunsch nach stahlfreien Verbindungen für Fachwerke aufkommen. So werden von Architekten sichtbare Fachwerke ohne Stahlteile für den Wohnungsbau gewünscht oder selbst gegen Rost geschützte Stahlteile zeigen in sehr aggressiver Atmosphäre (z.B. Salzlagerhallen) bereits nach kurzer Zeit Korrosionsansätze. Bei empfindlichen elektronischen Anlagen und bei Antennen können Stahlteile zu Störungen führen. Welche Möglichkeiten stahlfreier Verbindungen bieten sich an?

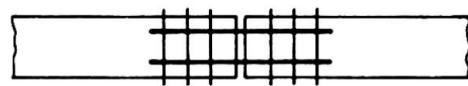
Die traditionellen Zimmermannsverbindungen wie Versatz und Stoss eignen sich nur zur Uebertragung von Druckkräften. Zur Uebertragung von Zug- und Druck wurde die Eignung von Passbolzen aus Hartholz oder Kunststoff untersucht. Solche Stifte wirken analog zu Passbolzen aus Stahl als Scherverbindung. Infolge der geringeren Steifigkeit von Holz- oder Kunststoffdübeln verbiegen sich diese unter Last stärker, was zu einer ungünstigeren Verteilung der Lochleibungsdrücke führt.



Die Traglast von Holzbolzenverbindungen ist daher generell tiefer und die Anschlussverformungen sind grösser. Durch Anpassung der Bolzenschlankheit lässt sich etwa ein Drittel der Traglast entsprechender Stahlbolzenverbindungen erreichen. Ein gutes Verhalten zeigen Knoten mit Knotenplatten aus Sperrholz in eingeschlitzten Stäben. Einen Ueberblick über die Traglasten verschiedener Passbolzenverbindungen gibt Abbildung 8. Dargestellt ist die ungefähre Bruchlast pro Bolzen und Schnitt wie sie sich in Versuchen ergeben haben [4] [5].



- Passbolzen aus Stahl  
 Holzlaschen :  
 Nadelholz (Fichte)  $F_u = 115 \cdot d^{1.7}$   
 Laubholz (Buche, Opépé)  $F_u = 210 \cdot d^{1.7}$



- Passbolzen aus Stahl  
 Stahllaschen :  
 Nadelholz (Fichte)  $F_u = 220 \cdot d^{1.7}$   
 Laubholz (Buche)  $F_u = 360 \cdot d^{1.7}$
- Nadelholz und Sperrholzlaschen:  
 Passbolzen aus Hartholz (Bongossi)  
 $F_u = 55 \cdot d^{1.7}$   
 Passbolzen aus Kunststoff  
 (Polystahl U)  $F_u = 120 \cdot d^{1.7}$

Abb. 8: Ungefähre Bruchlast pro Bolzen und Schnitt für verschiedene Anschluss- und Bolzentypen ( $F_u$  in [N],  $d$  in [mm]; gültig für Bolzen  $\varnothing$  5 bis 16 mm).

Ein Fachwerkträger mit Knotenplatten aus Sperrholz und Passbolzen aus Hartholz (Bongossi) wurde am IBS geprüft [6]. Die Knoten wiesen je zwei Knotenplatten auf, so dass jeder Bolzen vierschnittig wirkte. Mit dieser Trägerart lassen sich etwa 2/3 der Traglast entsprechender Träger mit Knotenblechen und Stahlbolzen erreichen.





## 7. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Passbolzenverbindungen und Nagelverbindungen mit Vorbohrung eignen sich wegen ihrer Anschlussdichte für die Herstellung von Fachwerkbinder. Trotz den komplizierten lokalen Beanspruchungsverhältnissen im Knotenbereich, kann die Traglast solcher Binder mittels eines einfachen Tragmodelles mit baupraktisch genügender Genauigkeit erfasst werden. Bei kleineren Serien oder bei Verwendung von Harthölzern wie sie in tropischen Ländern häufig vorkommen, können sich solche Träger auch gegenüber Nagelplattenbinder durchsetzen und zu holzgerechten Lösungen führen. Passbolzen aus Hartholz oder Kunststoff dürften diesem Trägertyp neue Einsatzmöglichkeiten eröffnen.

## 8. LITERATUR

1. FONTANA M.: Festigkeits- und Verformungsverhalten von hölzernen Fachwerkträgern unter besonderer Berücksichtigung der Knotenausbildung. Publikation Nr. 84-1. Baustatik und Stahlbau, ETH Höggerberg, 8093 Zürich.
2. FOSCHI/BARETT: Longitudinal shear strength of Douglas-fir. Can. Civil Eng. 1977 p. 86-95.
3. SCHEER C.: Berechnung von Fachwerkstrukturen unter Berücksichtigung des durchlaufenden Ober- und Untergurtes. Techn. Universität Berlin 1980.
4. GEHRI E./FONTANA M.: Betrachtungen zum Tragverhalten von Passbolzen in Holz-Holz-Verbindungen. Publikation Nr. 83-1. Baustatik und Stahlbau, ETH-Höggerberg, 8093 Zürich.
5. GEHRI E.: Betrachtungen zum Tragverhalten von Bolzenverbindungen. Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 51/52, Zürich 1980.
6. GEHRI E.: Fachwerkträger aus Buche und Fichte mit Stahlknotenplatten in eingeschlitzten Hölzern. Publikation Nr. 82-1. Baustatik und Stahlbau, ETH-Höggerberg, 8093 Zürich.
7. --: Norm SIA 164, Holzbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 1981.