

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 98 (1980)  
**Heft:** 51-52

**Artikel:** Betrachtungen zum Tragverhalten von Bolzenverbindungen im Holzbau  
**Autor:** Gehri, Ernst  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-74289>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Betrachtungen zum Tragverhalten von Bolzenverbindungen im Holzbau

Von Ernst Gehri, Zürich

## Einleitung

Unter Bolzen sollen hier *alle vorwiegend auf Biegung beanspruchten stabförmigen, schlanken, zylindrischen Verbindungsmittel* verstanden werden. Im Gegensatz zu den *Nägeln* besitzen sie *keine Spitze und werden in vorgebohrte Löcher eingelassen*. Werden derartige Bolzen in knapp gebohrte Löcher eingetrieben, haben sie genügend Haltekraft. Andernfalls sind Bolzen mit Kopf und Mutter, d. h. sog. *Bauschrauben*, zu verwenden.

Die Bolzenverbindung gehörte zu den frühesten mechanischen Verbindungsmitteln. Bauschrauben wurden um 1850 geläufig verwendet. Bolzenverbindungen in passend vorgebohrten Löchern tauchten bereits anfangs des Jahrhunderts unter den patentierten Namen *Meltzer-Stifte* und *Ambi-Stifte* auf. Diese Bolzen bestanden aus hochwertigem Stahl mit  $\sigma_u \approx 800$  bis  $900 \text{ N/mm}^2$  und wiesen Durchmesser von 8 bis 12 mm auf.

Mit dem Aufkommen der *Einlass- und Einpressdübel* und in den 30er Jahren der *Nagelverbindung* geriet die Bolzenverbindung in Vergessenheit. Entscheidend an diesem Vorgang war nicht die technische Überlegenheit der Nagelbauweise, sondern die unterschiedliche Behandlung beider Verbindungsarten. So erfreute sich die Nagelbauweise einer bevorzugten Behandlung in verschiedenen Normen. Im Rahmen der Normkommission des SIA, die ab 1945 an der Revision der Holzbaunorm arbeitete, setzte sich Prof. *Stüssi* für eine gleichartige Behandlung beider Verbindungsarten ein. Es ist ihm dies nur teilweise gelungen. *Stüssi* fand, dass die Nagelverbindung gegenüber der Bolzenverbindung im damaligen Normentwurf überbewertet werde [1].

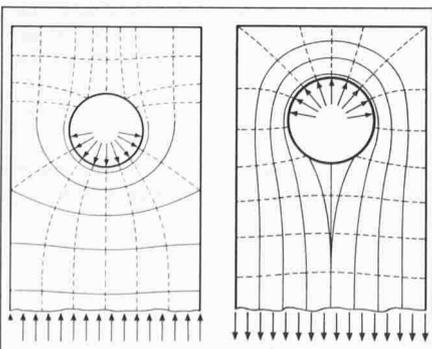


Bild 1. Spannungszustand im Holzteil in Abhängigkeit der Art der Krafteinleitung durch den Bolzen (Zug oder Druck); schematische Darstellung

Interessant war die Reaktion der «Nagelbaulobby». Wohl anerkannte diese die noch fehlenden Grundlagen, die auch eine starke Verklammerung der Vorschläge notwendig mache. Bei einer Reduktion der vorgeschlagenen Beanspruchungen für die Nägel wurde befürchtet, das eine kommerzielle Auswertung der Nagelbauweise stark behindert würde! Dies ist im Protokoll nachzulesen.

Bei einer derartigen Argumentation haben wissenschaftliche Erkenntnisse wenig Gewicht. Immerhin konnte *Stüssi* die Kommission zu einer richtigen Beurteilung der Bolzen verhelfen, ohne jedoch die Überbewertung der Nagelbauweise verhindern zu können. Die Richtigkeit der Aussagen von *Stüssi* bestätigen die neueren Erkenntnisse sowie die Aufnahme in neuere Vorschriften der Bolzenverbindung in passend vorgebohrte Löcher.

## Tragverhalten von Bolzenverbindungen

### Versagensarten

Bei einer Bolzenverbindung – wie im übrigen für alle mechanischen Verbindungsarten – können *zwei grundsätzlich unterschiedliche Versagensformen* auftreten:

- Versagen des Verbindungsmittels durch «Bruch» des Bolzens bzw. durch örtliches Versagen des Holzes im unmittelbaren Bereich des einzelnen Verbindungsmittels infolge Lochleibung, Abscheren und/oder Aufspalten;
- Versagen des Holzteiles durch Bruch im schwächsten Querschnitt, meist im Bereich des ersten Verbindungsmittels.

Versuche zeigen, dass in der Regel die Druckverbindung eine wesentlich höhere Tragfähigkeit aufweist. Zwar besteht hinsichtlich der Versagensform «Verbindungsmittel» kein genereller Unterschied zwischen einer Zug- und einer Druckkrafteinleitung, falls bei der Zugverbindung eine angemessene Vorholzlänge vorliegt. Bei der Versagensform «Holzteil» stellt man ein unterschiedliches Verhalten fest. Dies ist auf den bei Zugkrafteinleitung wesentlich ungünstigeren Spannungszustand im Holzteil und auf das andersartige Bruchverhalten des Holzes bei Zug oder Druck zurückzuführen. In Bild 1 ist der Spannungszustand in Abhängigkeit

keit der Kraftrichtung schematisch dargestellt.

Das unterschiedliche Bruchverhalten des Holzes auf Zug oder auf Druck wird durch die in Bild 2 dargestellte Spannungsdehnungsdiagramme ersichtlich. Entscheidend ist das *Fehlen von plastischen Verformungen bei Zugbeanspruchung*. Der Zugbruch weist demnach ein sprödes Verhalten auf.

### Versagen des Verbindungsmittels

Wie im Abschnitt «Versagensarten» erwähnt, kann sowohl ein Versagen des Bolzens als auch ein örtliches Versagen des Holzes vorliegen.

### Örtliches Versagen des Holzes

Die Lochleibungsfestigkeit  $\sigma_{l||}$  des Holzes wird oftmals in Funktion der Längsdruckfestigkeit  $\sigma_{d||}$  des Holzes ausgedrückt. Da gleichzeitig eine Spaltwirkung auftritt, werden je nach Holzart und Holzfeuchte sich andere Werte ergeben. Als Grössenordnung kann für lufttrockenes Holz gelten:

$$\text{Nadelholz } \sigma_{l||} \approx 0,8 \text{ bis } 1,0 \cdot \sigma_{d||}$$

$$\text{Buche } \sigma_{l||} \approx 1,4 \cdot \sigma_{d||}$$

Analog wie bei den Nägeln, wo mit steigendem Durchmesser ein Abfall an Lochleibungsfestigkeit eintritt, ist auch bei den Bolzen dieses Verhalten zu erwarten. Versuche von *Borkmann*, in [2] veröffentlicht, zeigen deutlich, dass bei

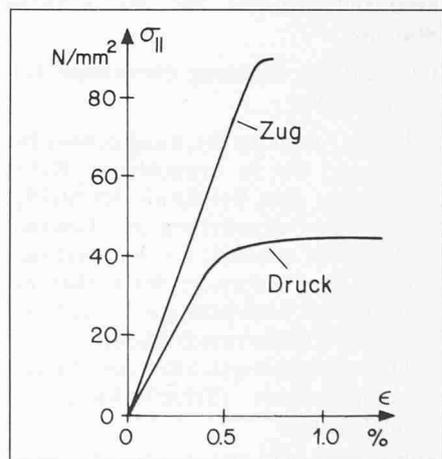


Bild 2. Spannungsdehnungs-Diagramme für «fehlerfreie» Proben aus Fichtenholz

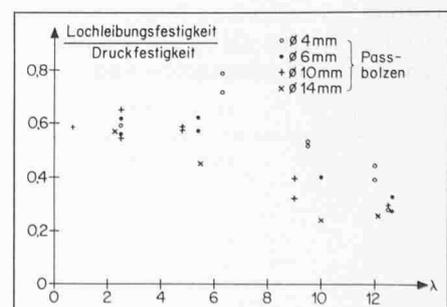


Bild 3. Auf die Druckfestigkeit  $\sigma_{d||}$  bezogene Lochleibungsfestigkeit  $\sigma_{l||}$  in Abhängigkeit vom Schlankheitsgrad  $\lambda = l/d$

gleicher Schlankheit die kleineren Stabdurchmesser höhere Lochleibungsfestigkeiten ergeben (vgl. Bild 3).

Der Einfluss der Druckfläche  $A$  auf die Lochleibungsfestigkeit kann näherungsweise mittels einer Beziehung der Art  $\sigma_l = k \cdot A^{-1/m}$  erfasst werden. Mit  $A = d \cdot l = \lambda \cdot d^2$  erhält man  $\sigma_l = k \cdot \lambda^{-1/m} \cdot d^{-2/m}$ . Für konstante Schlankheitsverhalten sich demnach die Lochleibungsfestigkeiten im Verhältnis  $(d_1/d_2)^{-2/m}$ . In Bild 4 sind die Versuchsergebnisse nach Bild 3 unter der Annahme von  $m = 5$  nochmals dargestellt. Daraus wird die bessere Übereinstimmung erkennbar.

Zum örtlichen Versagen des Holzes gehört auch das Abscheren des Vorholzes, falls der Abstand vom Stabende oder zum nächsten Bolzen ungenügend gewählt wird. Durch Festlegung dieser Abstände proportional zum Bolzendurchmesser strebt man die Ausschaltung dieser Versagensform an.

Bei gleicher Festlegung der Abstände zeigen Nadelholzverbindungen in der Regel ein Aufspalten des Holzes, während beim Buchenholz ein Abscheren vorkommt. Dies ist auf die geringe Querkzugfestigkeit des Nadelholzes zurückzuführen.

#### Versagen des Stahlbolzens

Der Bolzen wird im wesentlichen auf Biegung beansprucht. Die Tragfähigkeit der Verbindung wird durch die Biegesteifigkeit und den Biege- und Biegezugwiderstand des Bolzens beeinflusst, wobei der Biegezugwiderstand von grösserer Bedeutung ist. Nach Überschreiten des Biegezugwiderstandes weist der Stab ein Mehrfaches der elastischen Verformungen auf. Dies führt zu einer ungünstigeren Verteilung des Lochleibungsdruckes mit anschliessender Einleitung des Holzbruches.

Der Biegezugwiderstand  $M_u$  runder Stäbe kann festgelegt werden zu:

- ohne ausgeprägte Fließgrenze  $\sigma_f$   
 $M_u = 0,10 \cdot d^3 \cdot \sigma_u$
- mit ausgeprägter Fließgrenze  $\sigma_f$   
 $M_u = 0,17 \cdot d^3 \cdot \sigma_f$

wobei jeweils der kleinere Wert massgebend ist.

Mit Stählen höherer Festigkeit kann der Beginn der Plastifizierung des Bolzens hinausgezögert werden; dadurch wird im Falle «Stahlversagen» ein grösseres Tragmoment und höhere Tragfähigkeit des Verbindungsmittels erreicht. Schematisch kann der Einfluss der Stahlfestigkeit, wie in Bild 5 skizziert, dargestellt werden.

Aus der Darstellung in Bild 5 wird ersichtlich, dass die höheren Tragfähigkeiten für hochfeste Bolzen nur erreicht

werden, falls auch grössere Holzstaben vorliegen, da sonst das örtliche Versagen des Holzes massgebend wird. Die Grenzwerte der Schlankheiten sind demnach von der Stahlfestigkeit abhängig. Bei Verwendung von hochfesten Bolzen dürfen diese somit auch grössere Schlankheiten aufweisen.

Vergleicht man die in der Norm SIA 164 (1981) für Nagelverbindungen mit Vorbohrung und für Passbolzenverbindungen angegebenen Ansätze, so stellt man für gleiche Durchmesser eine um 36 Prozent höhere zulässige Belastung für die Nägel fest. Dies lässt sich teilweise durch die garantierte höhere Festigkeit des Nagelmaterials begründen. Während bei den Nägeln  $\sigma_u \approx$  bei  $600 \text{ N/mm}^2$  liegt, können Stähle mit  $\sigma_u \approx 400 \text{ N/mm}^2$  für die Bolzen verwendet werden. Parallel mit der Erhöhung der zulässigen Nagelbelastung müsste aber auch eine Erhöhung der Holzdicke von  $6d$  auf rund  $8d$  einhergehen. Die grösseren Nagelabstände kompensieren nur teilweise die fehlende Holzdicke des Mittelholzes (bei den Nagelverbindungen wird kein Unterschied zwischen der Mindestholzdicke des Mittelholzes und der Seitenhölzer gemacht). Bei einschneidigen Verbindungen ist dies ohne Bedeutung; die Übertragung auf mehrschneidige Nagelverbindungen (z. B. bei Stahl-Holz-Verbindungen) führt jedoch zu einer unzulässig hohen Holzbeanspruchung.

Die Tragfähigkeiten nach DIN 1052 (1969) weisen für Passbolzen ( $\Delta$  Stabdübel) und für Bauschrauben ( $\triangle$  Schraubenbolzen) den in Bild 6 dargestellten Verlauf auf.

Vergleicht man Bild 5 und Bild 6, so folgt daraus, dass die Passbolzen nach DIN 1052 eine wesentlich höhere Stahlfestigkeit als die der Bauschrauben aufweisen sollten. Obwohl dies heute nach DIN 1052 nicht der Fall ist, da bereits Stähle mit  $\sigma_u \approx 400 \text{ N/mm}^2$  zugelassen sind, darf nicht übersehen werden, dass die Beziehungen für die Passbolzen auf die Meltzer- und Ambi-Stifte zurückgehen, bei denen die  $\sigma_u$ -Werte bei  $800$  bis  $900 \text{ N/mm}^2$  lagen. Daraus wird ersichtlich, dass die Verwendung von Bolzen aus Stahl mit  $\sigma_u \approx 600$  bis  $800 \text{ N/mm}^2$  vorteilhaft sein kann. Eingehendere Versuche zur Abklärung des Einflusses der Stahlfestigkeit werden zurzeit am Institut für Baustatik und Stahlbau durchgeführt.

#### Einfluss der Bolzenlagerung

Die Einspannung des Bolzens oder die Verminderung der Stützweite des Bolzens hat eine ähnliche Wirkung wie die höhere Stahlfestigkeit, wobei dieser Einfluss sich auch im elastischen Bereich auswirkt. Eine direkte Folge davon ist, dass - wie aus Bild 7 ersichtlich - grössere Stabschlankheiten möglich

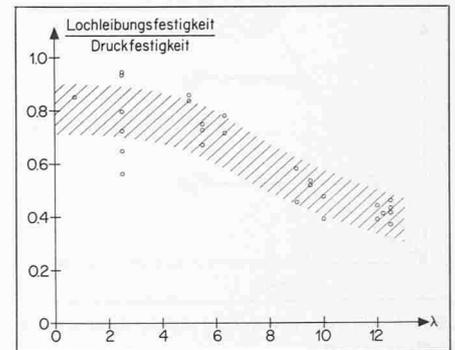


Bild 4. Bezogene Lochleibungsfestigkeit unter Beachtung der Lochleibungsfläche; für Kiefernholz mit  $\beta_{dII} = 56 \text{ N/mm}^2$  und Stahl mit  $\sigma_f = 450 \text{ N/mm}^2$ ; alle Werte auf Bolzen  $\varnothing 4 \text{ mm}$  bezogen

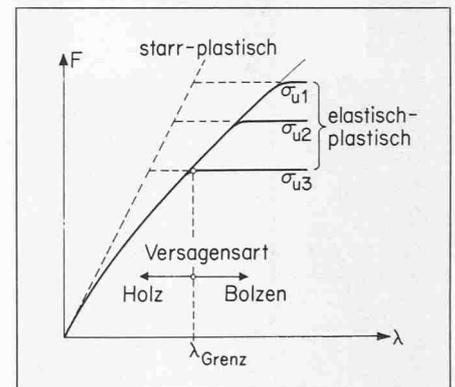


Bild 5. Einfluss der Stahlfestigkeit  $\sigma_u$  auf die Tragfähigkeit  $F_u$  des Verbindungsmittels; gestrichelt unter der Annahme starr-plastisch, ausgezogen für elastisch-plastisches Verhalten des Bolzens

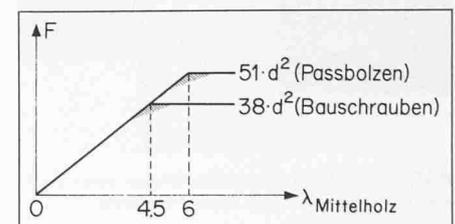


Bild 6. Zulässige Belastungen für Passbolzen und Bauschrauben in Nadelholz nach DIN 1052 (1969)

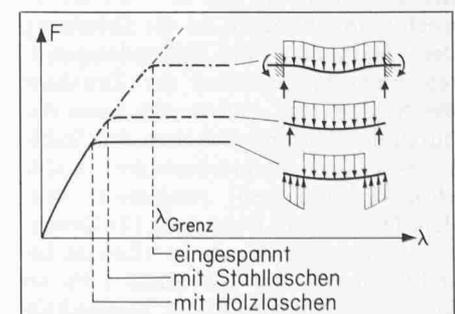


Bild 7. Einfluss der Lagerungsbedingungen auf die Grenzschlankheit des Bolzens

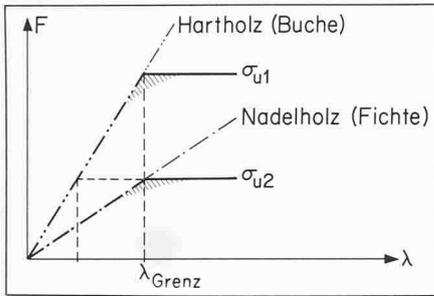


Bild 8. Einfluss der Holzart auf die Grenzschlankheit des Bolzens

schlankheit muss die Stahlfestigkeit für Verbindungen mit Buchenholz wesentlich höher gewählt werden.

### Versagen Holzteil

#### Einflussgrößen

Die wichtigsten Einflussgrößen auf den Tragwiderstand des Holzteils sind:

- Krafrichtung (Druck oder Zug),
- Strukturstörungen (insbesondere auf Zug),
- Kerbwirkungen (insbesondere auf Zug),
- lokale Instabilitäten (bei Druck).

Zu beachten ist zudem, dass durch Bohrungen, Einschnitte usw. der örtliche Spannungszustand im massgebenden Schnitt ungünstig verändert werden kann. Dies ist jedoch im Nachweis des Holzteiles zu berücksichtigen. Die Norm SIA 164 (1981), Art. 3 21 1, Absatz 2, verlangt:

«Im Anschlussbereich der Hölzer sind in den massgebenden Schnitten die Nachweise unter Beachtung des örtlichen Spannungszustandes, der Querschnittsverminderungen (Bohrungen, Einschnitte usw.) und der Kerbwirkungen zu erbringen.

#### Krafrichtung

In Bild 1 wurde bereits der unterschiedliche Spannungszustand dargestellt. Von Bedeutung sind das generell höhere Spannungsniveau auf Zug (da kein direkter Ausgleich des ersten Bolzens wie bei einer Druckeinleitung möglich ist) sowie die örtlich stärkeren Spannungskonzentrationen.

#### Strukturstörungen

Die Zugfestigkeit von «fehlerfreiem» Holz ist fast doppelt so gross wie dessen Druckfestigkeit (vgl. Bild 2). Bauholz mit zulässigen Strukturstörungen weist eine bedeutend tiefere Zugfestigkeit auf, die z. T. sogar tiefer als die Druckfestigkeit liegt. Die Grundwerte der zulässigen Spannungen in der Norm SIA 164 (1981) berücksichtigen dies bereits, indem  $\sigma_{zII} = \sigma_{dII}$  festgelegt wurde.

Der bedeutende Einfluss der Strukturstörungen auf die Tragfähigkeit der Verbindung ist ebenfalls bekannt. Bereits 1944 wies Graf [3] darauf hin, dass bei astigen Hölzern (entsprechend der Festigkeitsklasse II) nicht mehr die Tragfähigkeit des Verbindungsmittels sondern die Zugfestigkeit des Holzes im geschwächten Querschnitt massgebend sein kann. Für eine Zugverbindung mit Krallenplatten der Siemens-Bauunion fand Graf zwischen astreinem und astigem Holz eine Verminderung der Tragfähigkeit auf 57 Prozent.

#### Kerbwirkungen

Die von Kerben herrührende Abminderung der Tragfähigkeit auf Zug kann

nicht generell berücksichtigt werden, da diese von der Verbindungsart abhängig ist. Die Grösse der Kerbwirkung wurde zudem noch nicht systematisch untersucht. Aus Versuchsergebnissen an astreinem Holz lassen sich Richtwerte abschätzen. Für Ringdübelverbindungen sind bei Zugbeanspruchung Reduktionsfaktoren von 0,5 bis 0,7 und für Bolzenverbindungen von 0,8 bis 0,9 einzuführen. Für Druckbeanspruchungen kann in der Regel die Kerbwirkung vernachlässigt werden (plastischer Ausgleich möglich).

#### Lokale Instabilitäten

Bei Druckanschlüssen können geringe Exzentrizitäten und Schwächungen der Holzteile im Anschlussbereich zu ungewollten Abminderungen der Tragfähigkeit führen. Neben dem Festigkeitsnachweis für die geschwächten Querschnitte sind dabei auch Stabilitätsnachweise durchzuführen, wobei der Anschlussbereich als Teil des gedrückten Stabes zu betrachten ist.

Falls *steife Laschen* angeordnet werden und im Anschlussbereich keine wesentliche Verminderung der Biegesteifigkeit vorkommt, sind derartige Anschlüsse auf Druck unproblematisch. Bei mehrschnittigen Anschlüssen tritt, bedingt durch das Einschlitzen des Holzes, eine über den ganzen Anschlussbereich sich erstreckende starke Verminderung der Biegesteifigkeit, die zu einem frühzeitigen Versagen des Druckstabes führen kann. Bild 9 stellt einen derartig geschwächten, ausgeknickten Stabananschluss dar.

Ein derartiges Stabilitätsproblem ist theoretisch komplex, kann aber für die Praxis mit genügender Genauigkeit, wie in Bild 10 angedeutet, erfasst werden. Als Berechnungsmodell wird der an den Enden abgesetzte Knickstab verwendet.

Für den Tragfähigkeitsnachweis der Stahllaschen genügt die Berechnung unter der Annahme einer baupraktischen anfänglichen Schiefstellung der Laschen bzw. einer anfänglichen Exzentrizität in der Lastenteilung. Baupraktische Abweichungen in der Größenordnung von 1 bis 2 mm bezüglich jeder Lasche sollten stets berücksichtigt werden.

Für den Tragfähigkeitsnachweis im *Übergang Anschlussbereich/ungeschwächter Holzstab* kann die Berechnung über einen Knicknachweis für den abgesetzten Knickstab erfolgen. Für den gesamten Anschlussbereich können dabei nur die *Holzlamellen* als wirkend angenommen werden. Nachrechnungen zeigten, dass die Verbundwirkung Stahl/Holz im Anschlussbereich in der Regel vernachlässigbar klein ist. Damit lässt sich vereinfachend

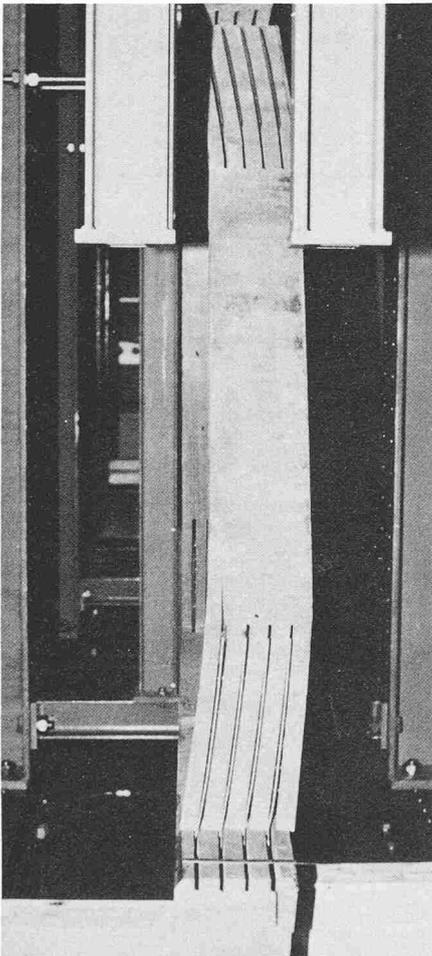


Bild 9. Knickeigenschaft eines Druckstabes eines Fachwerkes mit biegeweichem Anschlussbereich

bzw. dünnere Bolzen verwendet werden können.

Bei eingespannten Bolzen (Durchlaufwirkung) sind demnach für Nadelholz Schlankheiten bis um  $\lambda = 10$  bis 12 noch sinnvoll. Wohl ist die Erhöhung der Tragfähigkeit des Verbindungsmittels nicht proportional der Zunahme der Schlankheit, andererseits kann dadurch der Abstand zwischen den Stahllaschen (bei mehrschnittigen Stahl-Holz-Verbindungen) vergrössert werden. Dies ist von Bedeutung für Druckanschlüsse (vgl. Abschnitt «Lokale Instabilitäten») und vor allem falls an Stelle von Nadelholz z. B. Buchenholz verwendet wird. Das letzte wird aus Bild 8 ersichtlich. Für gleiche Grenz-

der Tragfähigkeitsnachweis nach Bild 11 durchführen.

Für baupraktisch mögliche Verhältnisse von  $l_1/l_0 = 0,15$  und eine auf  $1/10$  reduzierte Biegesteifigkeit (entsprechend einem zweifach geschlitzten Stab = 3 Lamellen) führt dies zu einer Verminderung der Knicklast auf rund 60 Prozent des ungeschwächten Stabes!

**Einfluss von Streuungen auf die Tragfähigkeit**

Die Streuungen in den Festigkeitseigenschaften der Stahlbolzen sind gering bzw. die Gewährleistung einer Mindestfestigkeit wie Fließgrenze  $\sigma_f$  oder Bruchfestigkeit  $\sigma_u$  bietet keine Schwierigkeiten.

Streuungen infolge örtlicher Strukturstörungen im Verbindungsbereich des Holzteils haben einen grösseren Einfluss, sind aber quantitativ schwer abzuschätzen. Dabei muss deren Einfluss auf die beiden Versagensarten «Verbindungsmittel» und «Holzteil» anders bewertet werden.

Bei der Versagensart «Verbindungsmittel» und der Annahme einer grösseren Anzahl von Bolzen, z. B.  $n \geq 5$ , ist zu erwarten:

- Bolzenversagen: Infolge des Plastifizierungsvermögens des Stahles kann hier mit einem Mittelwert der Stahlfestigkeiten gerechnet werden.
- Holzversagen: Falls Störungen geringer Abmessungen gegenüber dem Anschlussbereich vorliegen, z. B. einzelne kleine Äste oder Risse, kann ebenfalls mit einem Mittelwert gerechnet werden, bei grösseren Strukturstörungen, z. B. grössere Einzeläste, Schrägfaserigkeit, oder bei unterschiedlicher Holzdicke werden sich grössere Streuungen in der Tragfähigkeit einstellen.

Bei der Versagensart «Holzteil» ist die örtliche, im geschwächten Teil des Anschlusses auftretende Strukturstörung ausschlaggebend für die Tragfähigkeit. Die Streuungen bei dieser Versagensart werden dementsprechend gross sein. Durch sorgfältige Sortierung für den Anschlussbereich, z. B. Anforderungen entsprechend FK I in diesem Bereich, oder durch die Verwendung lamellierter Querschnitte können die Streuungen vermindert und die Tragfähigkeit für diese Versagensart wesentlich erhöht werden.

Der Einfluss von Streuungen auf die Tragfähigkeit ist schematisch in Bild 12 dargestellt. Strukturstörungen im Anschlussbereich vermindern nicht nur wesentlich die Tragfähigkeit  $F_u$ , sondern verschieben auch den Übergang Versagen «Verbindungsmittel» zu der Versagensart «Holzteil». Deutlich erkennbar ist das breitere Streuband des «Holzteilversagens» und die grosse Be-

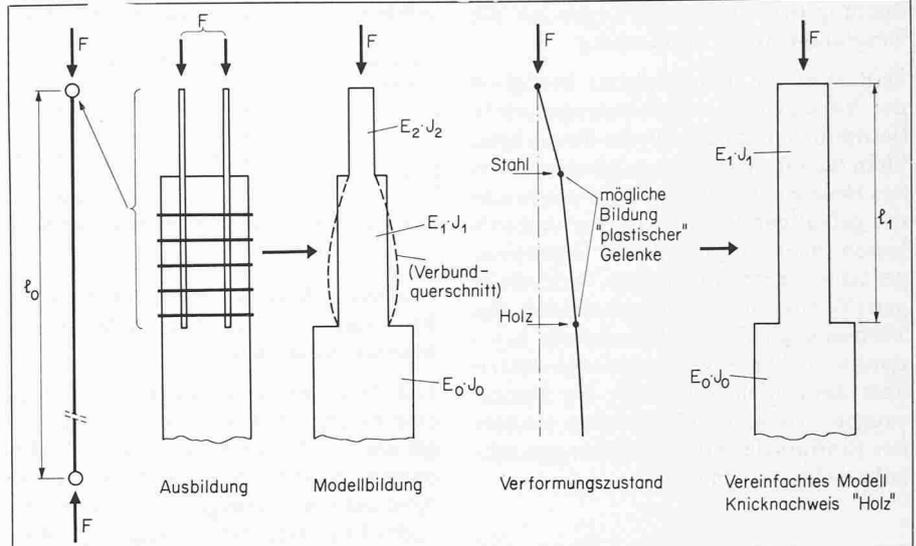


Bild 10. Vereinfachtes Berechnungsmodell für Druckstäbe mit biegeweichem Anschlussbereich

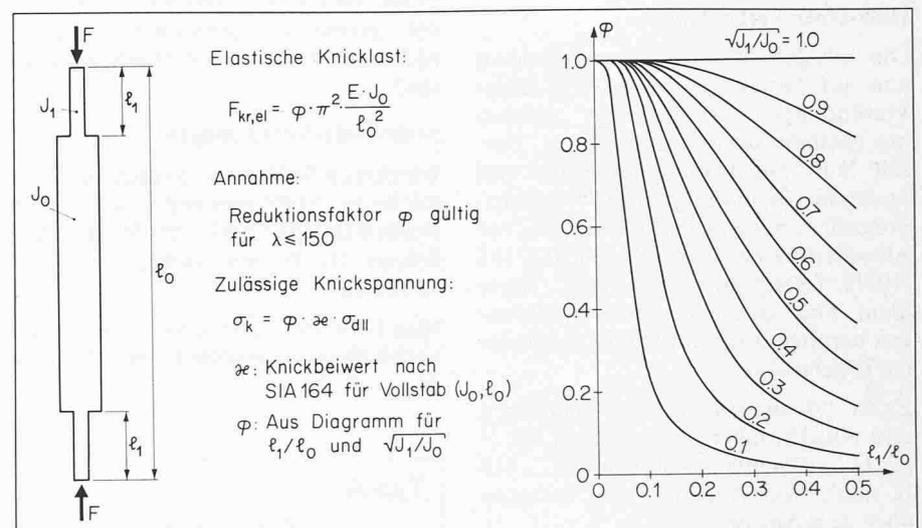


Bild 11. Tragfähigkeitsnachweis für abgesetzte Stäbe; Abminderungsfaktoren nach Tölke [4]

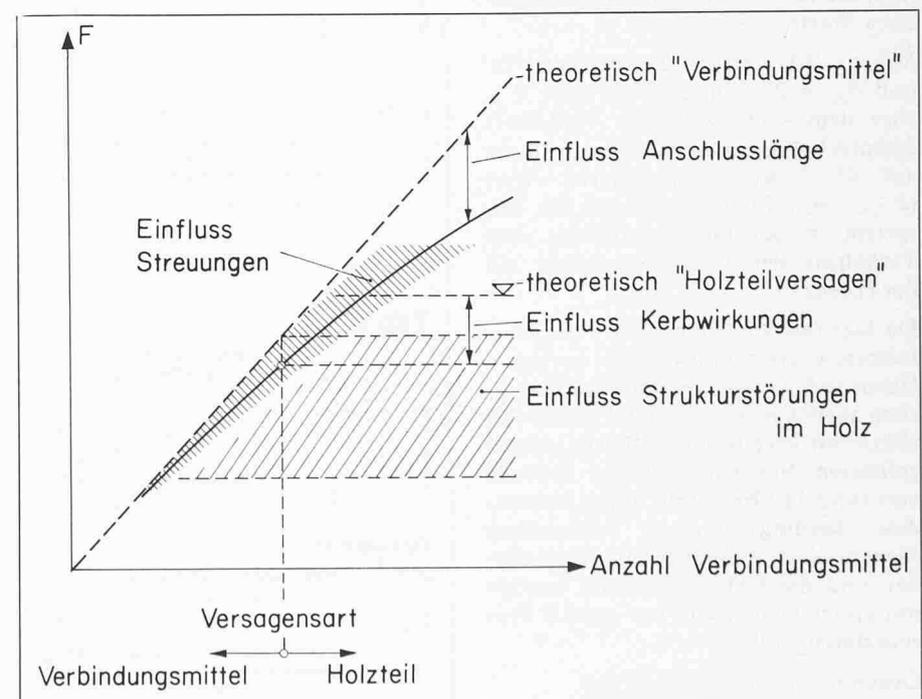


Bild 12. Schematische Darstellung der Tragfähigkeit in Abhängigkeit der Anzahl Verbindungsmittel n und der Streuungen in den Baustoffeigenschaften

deutung der Strukturstörungen auf die Tragfähigkeit der Verbindung.

Will man die Tragfähigkeit bezüglich der Versagensart «Verbindungsmittel» bestimmen und zugleich die Streuungen klein halten, so ist stets möglichst *astreines* Holz zu verwenden. Dies entspricht der geläufigen Prüfpraxis. Nur dadurch lassen sich vergleichbare Ergebnisse zwischen unterschiedlichen Verbindungen (Verbindungsart, Eigenschaften des Verbindungsmittels, Anordnung usw.) ermitteln. Diese Versuchswerte dürfen aber dann nicht direkt für die Bemessungspraxis verwendet werden, da hier der Einfluss der Strukturstörungen mitzuberücksichtigen ist.

### Experimentelle Untersuchungen an Zugverbindungen

#### Holz-Holz-Verbindungen

Die meisten Versuchsdaten stammen von auf Druck geprüften Holz-Holz-Verbindungen. Zugversuche wurden nur ausnahmsweise durchgeführt. Zurzeit läuft am Institut Baustatik und Stahlbau ein umfangreiches Versuchsprogramm mit Zuganschlüssen, das zur Absicherung der in der Norm SIA 164 (1981) festgelegten zulässigen Werte dient. Die nachstehenden Betrachtungen beruhen noch auf früher publizierten Ergebnissen.

Egner [5] untersuchte Pass-Schrauben und Bauschraubenverbindungen mit  $\varnothing$  12, 16 und 24 mm aus Stahl mit  $\sigma_u \geq 415$  N/mm<sup>2</sup>. Wertet man diese Versuche nach dem Ansatz

$$F_u = k \cdot d^{1.7}$$

aus mit  $d$  in mm und  $F_u$  in N, so erhält man die in Tabelle 1 zusammengestellten  $k$ -Werte.

Mit sog. B-Holz,  $r_{15} = 0,35$  bis  $0,40$  t/m<sup>3</sup> und  $\sigma_{d11} = 27,1$  bis  $29,1$  N/mm<sup>2</sup>, d. h. eher dem schweizerischen Nadelholz entsprechend, ergab sich für  $\varnothing$  16 ein auf 83 Prozent verminderter Wert ( $k_{\lambda=5} = 178$ ). Diese Reduktion entspricht in der Größenordnung dem Verhältnis der Druckfestigkeiten mit der Potenz  $1/2$ .

Da hier fast ausschliesslich Versagensformen «Verbindungsmittel» vorlagen, lassen sich Vergleiche mit Druckversuchen anstellen. Von der EMPA und von Stüssi mit jeweils einem Bolzen durchgeführten Versuche ergaben  $k$ -Werte von rund 180 bzw. 150. Stüssi verwendete allerdings dünnere Seitenhölzer (Seitenhölzer mit halber Mittelholzstärke), und die EMPA-Versuche wurden mit Holzfeuchten von nur rund 8 Prozent durchgeführt.

Gegenüber dem Normwert von

$$F_{zul} = 44 \cdot d^{1.7}$$

pro Passbolzen und Schnittebene

Tabelle 1.  $k$ -Werte für Zuganschlüsse mit A-Holz:  $r_{15} = 0,47$  bis  $0,57$  t/m<sup>3</sup> und  $\sigma_{d11} = 43,7$  bis  $49,4$  N/mm<sup>2</sup>

Durchmesser $d$ in mm	Pass-Schrauben		Bauschrauben		$\lambda$ des Mittelholzes	Schrauben- abstand mm
	$k$	$k_{\lambda=5}$	$k$	$k_{\lambda=5}$		
12	227	(227)	214	(214)	5,0	100 = 8,33 $d$
16	197	(225)	178	(203)	4,38	112 = 7 $d$
24	212	(231)	201	(219)	4,58	168 = 7 $d$

( ) Klammerwerte: auf  $\lambda = 5$  umgerechnete  $k$ -Werte

ergeben sich Sicherheiten von rund 3,5 bis 4, falls *astreines* Holz im Anschlussbereich vorhanden ist.

Die Normwerte verlangen allerdings eine minimale Holzstärke von  $6 d$  (gegenüber  $5 d$  bei der Auswertung). Anderseits gelten diese Werte für einen Abstand von  $6 d$  (gegenüber  $7 d$  im Versuch). Der in der Norm festgelegte Wert – dieser entspricht nur der Versagensform «Verbindungsmittel» – kann somit als gesichert gelten. Offen bleibt die Frage, ob für Brettschichtholz – infolge der geringeren Strukturstörungen – nicht höhere zulässige Werte möglich sind.

#### Stahl-Holz-Verbindungen

Werden an Stelle von Laschen aus Holz solche aus *Stahl* verwendet, so lässt die Norm SIA 164 (1981) für den gleichen Bolzen 10 Prozent höhere zulässige Kräfte zu.

Man kann das bessere Verhalten dieser Verbindung folgendermassen begründen:

- Durch die günstigere Lagerung des Bolzens wird dieser bei gleicher Bolzenlast weniger beansprucht; die Verformungen sind geringer bzw. der Bolzen verhält sich steifer; demzufolge ergibt sich eine günstigere Verteilung des Lochleibungsdruckes (vgl. Abschnitt «Einfluss der Bolzenlagerung»).
- Das Versagen beschränkt sich auf die Hälfte der Verbindung, da nur noch das Mittelholz versagen kann, sofern die Stahlaschen angemessen dimensioniert sind. Da ein Teil der Verbindungsbrüche auf das Versagen der Holzlaschen zurückzuführen sind, ergeben sich daraus höhere effektive Tragfähigkeiten.

Der effektive Nachweis ist nur durch umfangreiche Versuche möglich, wobei je nach untersuchten Schlankheitsverhältnissen andere Ergebnisse zu erwarten sind.

Von besonderem Interesse sind heute die *mehrschnittigen Stahl-Holz-Verbindungen*. Durch Schlitzten des Holzes

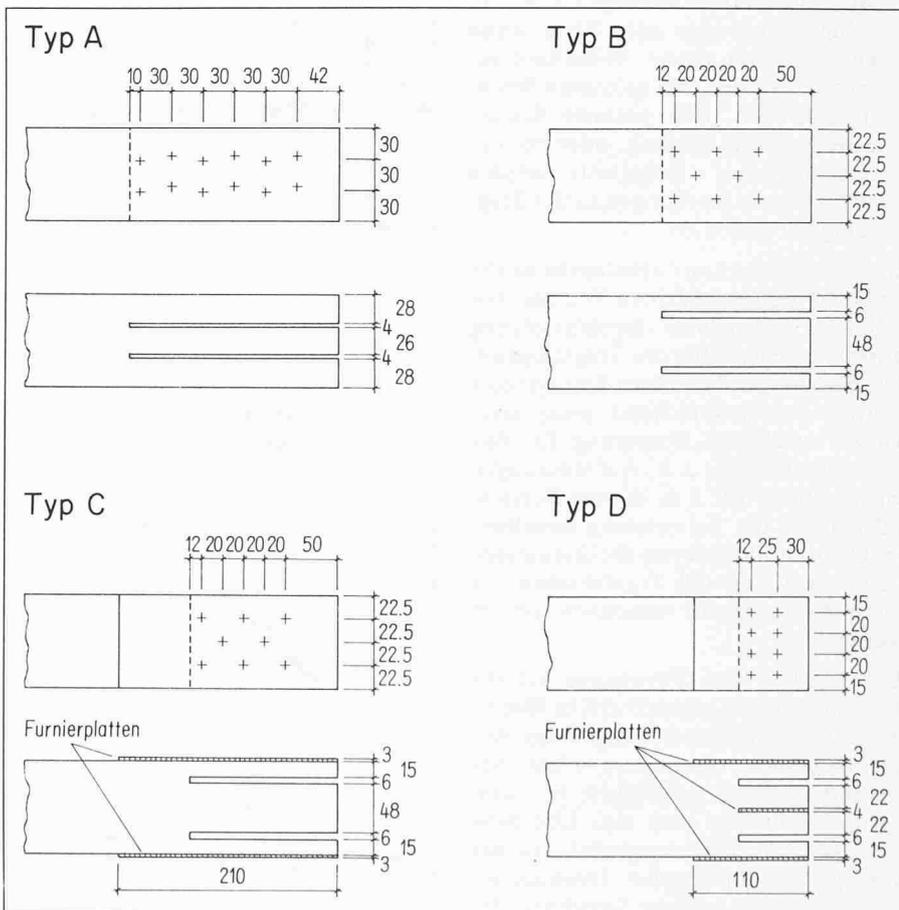


Bild 13. Untersuchte Ausbildungsformen

können mehrere dünnere Knotenbleche verwendet werden. Dadurch ergeben sich kürzere Anschlusslängen, zudem lassen sich auch dünnere Bolzen verwenden. Dadurch werden die Querschnittsverminderungen infolge der Schlitzkompensiert, so dass kurze Anschlüsse mit hohem Wirkungsgrad entstehen.

## Versuche an mehrschnittigen Stahl-Holz-Verbindungen

### Problemstellung

Untersucht wurde die Tragfähigkeit und die Verformung von Stabanschlüssen mittels Stahllaschen in eingeschlitzten Hölzern. Die Stahllaschen wurden  $\geq 2$  mm dick gewählt. Untersucht wurde Nadelholz (Fichte) und Buche. Verwendet wurden Stahlbolzen  $\varnothing 5$  bis 10 mm unterschiedlicher Festigkeit, die in passend vorgebohrte Löcher eingetrieben wurden. Ebenfalls variiert wurden die Abstände und die Anzahl der Bolzen. Zusätzlich wurde der Einfluss einer Vergütung der Stabenden durch auf- und eingeleimte Furniersperrhölzer untersucht, dies insbesondere um extrem kurze Anschlüsse hoher Tragfähigkeit zu entwickeln.

Reine Zuganschlüsse, d. h. mit genau zentrischer Krafteinleitung, stellen einen Sonderfall dar. In der Regel, insbesondere bei Fachwerkstrukturen werden neben Zug auch Biegemomente eingeleitet. Die Empfindlichkeit derartiger Anschlüsse auf exzentrische Krafteinleitung wurde deshalb ebenfalls überprüft.

### Probenausbildung

Untersucht wurden insgesamt 64 Stäbe mit Querschnitt  $90 \times 90$  mm mit beidseitigem Anschluss, d. h. effektiv wurden doppelt so viele Anschlüsse geprüft, wobei jeweils der kleinere Wert ermittelt wurde. In der Regel wurden je Typ und Abmessung drei Proben geprüft. In Bild 13 sind die verschiedenen Ausbildungsformen dargestellt

### Ergebnisse der Zugversuche

Die Ergebnisse der Versuche sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Das Fichtenholz entsprach der Festigkeitsklasse I, war im Anschlussbereich astrein und wies eine Holzfeuchte von 12 Prozent auf. Die Buchenproben bestanden aus Brettschichtholz mit Holzfeuchte von ebenfalls 12 Prozent.

Die Kurzzeitverformungen unter zulässigen Lasten waren ausserordentlich gering. Sie variierten zwischen 0,3 und 0,8 mm je Anschluss, wobei die grössten Werte auf Schlupfverformungen infolge ungenauer Bohrung zurückzuführen sind.

Tabelle 2. Versuchsergebnisse für mehrschnittige Stahl-Holz-Verbindungen

Serie <sup>1)</sup>	Stahlsorte <sup>2)</sup> N/mm <sup>2</sup>	$F_{\text{Bruch}}^{3)}$ kN	$F_{\text{Bruch}}/\text{Bolzen}$ kN	$\sigma_{\text{Bruch}} \text{ brutto}$ N/mm <sup>2</sup>	k-Werte
AF 5	600	99,1	8,3	12,2	99
AF 6	1000	138,5	11,5	17,1	120
AF 6	600	116,8	9,7	14,4	102
AF 8	600	131,6	11,0	16,3	94
BF 6	1000	127,3	15,9	15,7	174
BF 8	1000	134,6	16,8	16,6	151
BF 8	550	136,0	17,0	16,8	153
BF 10	1000	163,7	20,5	20,2	157
CF 8	1000	191,1	23,8	23,6	198
DF 8	1000	157,6	19,7	19,5	164
BB 8	1000	241,3	30,2	29,8	271
BB 8	550	263,3	32,9	32,5	295
CB 8	1000	280,0	35,0	34,5	291
DB 8	1000	272,4	34,0	33,6	283
BF 8/0	550/1000	135,2	16,9	16,7	
BF 8/05	1000	130,1	16,3	16,1	
BF 8/10	1000	106,6	13,3	13,2	
BF 8/15	1000	97,1	12,1	12,0	
BB 8/5	1000	264,9	33,1	32,7	
DB 8/5	1000	256,3	32,0	31,6	

Ansatz:  $F_u = k \cdot d^{1,7} \cdot \alpha$   
 $\alpha = \frac{12 \cdot d}{2a_s + a_m}$

für  $a_m = 6d$   
 $a_s = 3d$   
 wird  $\alpha = 1,0$

1) Schlüssel zur Seriebezeichnung: 1. Buchstabe: Anschlussbild  
 2. Buchstabe: Fichte/Buche  
 Zahl: Bolzendurchmesser in mm  
 Zahl nach Querstrich: Exzentrizität in mm

2) Bruchfestigkeit  $\sigma_u$  in N/mm<sup>2</sup>  
 3) In der Regel Mittelwert aus 3 Versuchen

### Auswertung der zentrisch beanspruchten Anschlüsse

Bei den nichtabgesperrten Anschlüssen trat der Bruch fast immer durch Aufspalten (bei der Fichte) und durch Abscheren (bei der Buche) auf. Infolge der geringen Schlankheit der Bolzen (im Mittelbereich kann der Bolzen als eingespannter Balken betrachtet werden) war kein Einfluss der Stahlfestigkeit zu erwarten. Der Einfluss der Stahlfestigkeit machte sich einzig beim Typ AF6 bemerkbar.

Bei höherer Stahlfestigkeit der Bolzen konnten hier die übermässig dicken Seitenteile besser aktiviert werden (bessere Kragarmwirkung des Bolzens).

Die Zwischenabstände längs zur Faser wurden für jeden Typ unabhängig von Bolzendurchmesser gehalten, dadurch ergeben sich meist geringere Abstände als nach der Norm SIA 164 (1981) erforderlich ( $5d$  an Stelle von  $6d$ ). Ähnliches gilt für den Endabstand.

Verwendet man den Normansatz  $F_u = k \cdot d^{1,7}$  und ermittelt für die verschiedenen Ausbildungsformen den entsprechenden Faktor  $k$ , so erhält man unter Beachtung, dass dieser Wert für  $\lambda = 6$  gilt, die in Tabelle 2, letzte Kolonne aufgeführten  $k$ -Werte für einen Bolzen

und eine Schnittenebene. Daraus können folgende Werte entnommen werden:

$$\text{Fichte } F_u \approx 150 \cdot d^{1,7}$$

$$\text{Buche } F_u \approx 280 \cdot d^{1,7}$$

mit Zwischenabstand von  $\approx 5 \cdot d$

Durch eine zusätzliche Absperrung mittels dünner Furnierplatten konnte – vor allem bei Fichte – die Tragfähigkeit gesteigert werden. Erstaunlich war, dass selbst mit den extrem kurzen abgesperrten Anschlüssen höhere Werte als mit den nichtabgesperrten Normalanschlüssen erreicht wurden! Daraus ergeben sich interessante Anwendungsmöglichkeiten, die noch weiter verfolgt werden.

### Auswertung der exzentrisch beanspruchten Anschlüsse

Die Auswertung der Versuche zeigte mit zunehmender Exzentrizität  $e$  einen Abfall der Tragkraft  $F_{u,e}$  gegenüber der zentrischen Tragkraft  $F_{u,0}$ . Die relative Abnahme ist in Bild 14 dargestellt. Für abgesperrte Anschlüsse lagen weniger Proben zur Verfügung; die Abminderung dürfte jedoch kaum grösser sein.

Fachwerke mit steifer Knotenausbildung weisen rechnerisch (Näherungsberechnung mit gelenkigen Knoten)

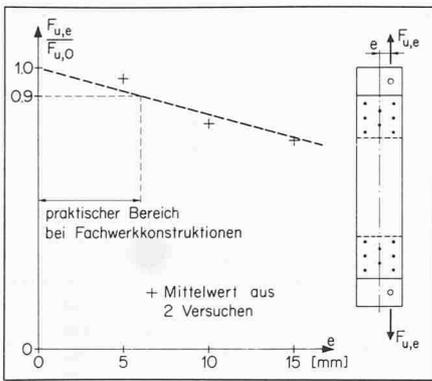


Bild 14. Einfluss der Stabmomente auf die Tragkraft  $F_u$  (Darstellung der Werte  $F_{u,e}$  bezogen auf die Tragkraft ohne Momenteneinwirkung  $F_{u,o}$ )

meist nicht berücksichtigte Stabmomente auf. Für geläufige Fachwerkausbildungen ohne direkte Stabbelastung dürfte die aus den Zwängungsmomenten resultierenden zusätzlichen Beanspruchungen zu einem Abfall der Tragkraft  $F_{u,o}$  von rund 10 Prozent führen. Dies ist bei der Bemessung durch entsprechende Abminderung der zulässigen zentrischen Anschlusskraft zu berücksichtigen.

### Holzverbindungen mit Sperrholzlaschen und Holznägeln

#### Problemstellung

Für Sonderzwecke kann die Verwendung von Sperrholzlaschen und von Bolzen aus tropischem Holz hoher Festigkeit angebracht sein. Für die Bemessung derartiger Verbindungen fehlen die entsprechenden Unterlagen, weshalb eine geringe Anzahl von Versuchen durchgeführt wurde.

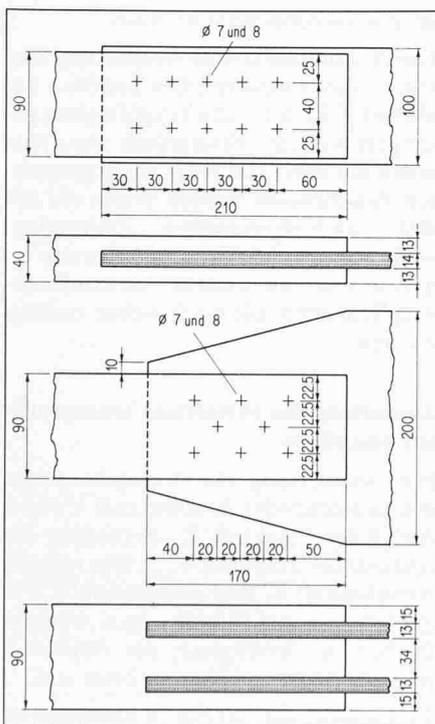


Bild 15. Probenabmessungen für Holznagelverbindungen

Die ersten Versuche zeigten überraschenderweise die grosse Kerbempfindlichkeit von Sperrholzplatten, die dazu führte, dass der Bruch in der Regel im Sperrholz erfolgte. Dies veranlasste zu einer speziellen Untersuchung der *Kerbempfindlichkeit des Sperrholzes*. Die Ergebnisse sind summarisch in [6] wiedergegeben.

#### Probenausbildung

Untersucht wurden Proben 90x40 mm mit einer Lasche und Proben 90x90 mm mit zwei Laschen (siehe Bild 15). Die Laschen waren 13,5 mm dick und bestanden aus sieben Lagen Buchenfurniere. Die Holznägel waren aus Bongossi.

#### Auswertung der Ergebnisse

Die Versagensart des Holznagels bei zwei Laschen wird aus Bild 16 deutlich sichtbar. Analog dem Stahlbolzen bilden sich auch hier «Fließgelenke». Bei Ausführung mit nur einer Lasche wird nur ein «Fließgelenk» ausgebildet, weshalb hier bei sonstig analoger Ausbildung tiefere Bruchwerte, bezogen auf eine Schnittebene, zu erwarten sind. Für die geprüften kleinen Nagelabmessungen  $\varnothing 7$  bis 12 mm ergaben sich folgende Bruchwerte je Schnittebene und Holznagel:

mit einer Lasche:

$$\lambda_s \approx 2 \quad F_u \approx 40 \cdot d^{1,7}$$

mit zwei Laschen:

$$\lambda_s \approx 1,5 \quad \lambda_m \approx 3,5 \quad F_u \approx 55 \cdot d^{1,7}$$

Für grössere Ausführungen liegen jedoch noch zu wenig gesicherte Ergebnisse vor. Obige Angaben dienen deshalb vor allem für die Auslegung weiterer Versuchsserien.

### Bemessungsformeln

#### Allgemeines

Um einfache Bemessungsformeln zu erhalten, können nur die wesentlichsten Einflussgrössen direkt berücksichtigt werden. Durch die Festlegung von Minimalanforderungen bezüglich der Holzsortierung und der Fließgrenze für die Stahlbolzen können hierfür Festwerte eingeführt werden. Dasselbe gilt für die Festlegung von Zwischen- und Endabständen. Ausser der Kraft- zur Faserichtung verbleiben somit nur noch die Holzdicke, der Bolzendurchmesser und die Holzart.

#### Bisherige Behandlung in den Normen SIA

Für eine zweischnittige, symmetrisch ausgebildete Bolzenverbindung (vgl. Bild 17) wurde im Laufe der Zeit eine unterschiedliche zulässige Belastung festgelegt. Die Werte sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

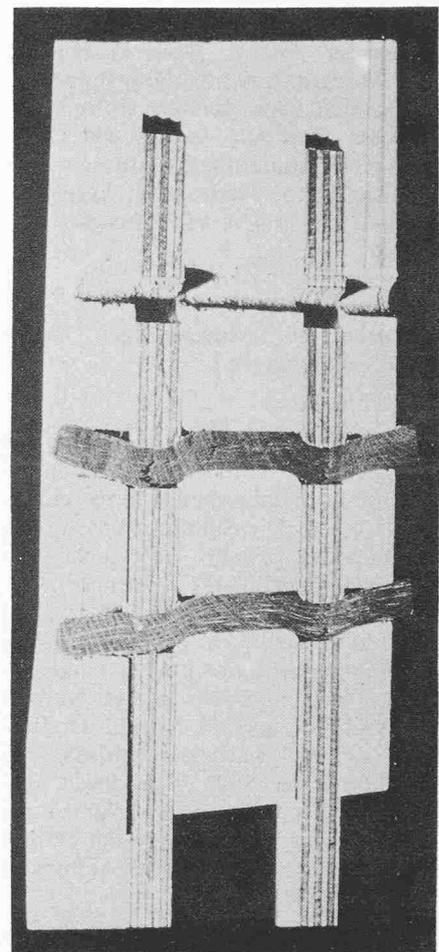


Bild 16. Schnitt durch eine Holznagelverbindung nach dem Versuch

#### Ansatz nach DIN 1052

Für die gleiche zweischnittige Bolzenverbindung (vgl. Bild 17) ergeben sich nach DIN 1052 (1969) folgende zulässige Belastungen

$$\text{Passbolzen } F_{zul} = 51 \cdot d^2$$

(Stabdübel)

$$\text{für } a_m \geq 6 \cdot d \quad a_s \geq 4,6 \cdot d$$

Abstände untereinander:

$$\parallel \text{ zur Faser: } 5 \cdot d$$

$$\perp \text{ zur Faser: } 3 \cdot d$$

$$\text{Bauschrauben } F_{zul} = 38 \cdot d^2$$

(Schraubenbolzen)

$$\text{für } a_m \geq 4,5 \cdot d \quad a_s \geq 3,5 \cdot d$$

Abstände untereinander:

$$\parallel \text{ zur Faser: } 7 \cdot d$$

$$\perp \text{ zur Faser: } 5 \cdot d$$

#### Norm SIA 164 (1981)

Die neue Holzbaunorm legt die zulässigen Belastungen für Nadelholz, für langfristige Lasten und vor Witterung geschützte Bauteile für die zweischnittige Verbindung fest zu:

$$\text{Passbolzen } F_{zul} = 44 \cdot d^{1,7}$$

$$\text{für } a_m \geq 6 \cdot d \quad a_s \geq 4 \cdot d$$

Abstände untereinander:

$$\parallel \text{ zur Faser: } 6 \cdot d$$

$$\perp \text{ zur Faser: } 3,5 \cdot d$$

**Vergleich der Normansätze**

Die Tragfähigkeit eines Bolzens gegebenen Durchmessers in Abhängigkeit der Schlankheit  $\lambda$  ist in Bild 18 schematisch wiedergegeben. Prinzipiell bestehen zwei Möglichkeiten zur Beschreibung der Tragfähigkeit  $F_{zul}$ :

- «Lokales Holzversagen» durch die Gerade I und «Stahlversagen» durch die Gerade II ausgedrückt, werden getrennt betrachtet; der kleinere Wert ist massgebend.
- Dem Wert von  $F_{zul}$  wird direkt eine Grenzlankheit  $\lambda_{Grenz}$  zugeordnet; für kleinere  $\lambda$ -Werte ist die Tragfähigkeit proportional abzumindern.

Für die Norm SIA 164 wurde die letzte Formulierung gewählt, während die DIN 1052 die erste Möglichkeit verwendet. Die Unterschiede in den zulässigen Werten rühren nicht von der gewählten Darstellung, sondern vom anderen Potenzansatz für  $F_{zul}$  her.

Vergleicht man die verschiedenen Ansätze und bezieht die zulässigen Bolzenbelastungen auf die Werte der Norm SIA 164 (1981), so erhält man den in Bild 19 dargestellten Verlauf.

Die Werte nach Stüssi [1] wurden ebenfalls auf Mittelholzdicken von  $6d$  umgerechnet, um eine Vergleichsbasis zu besitzen. Die Formel von Stüssi - und auch die davon abgeleitete bisherige Normfassung - zeigten eine weniger starke Zunahme mit zunehmendem Bolzendurchmesser. Die DIN 1052 zeigt einen gegensätzlichen Verlauf, der m. E. nicht begründbar ist.

Die geringere Zunahme der Tragfähigkeit nach Norm SIA 164 ist durch die mit der Belastungsfläche abnehmenden «Lochleibungsfestigkeit» des Holzes (vgl. auch Bild 4) begründet. Eine differenziertere Betrachtung müsste zu einem Ansatz führen, bei dem die Grenzlankheit noch als Funktion des Durchmessers  $d$  ausgedrückt wird, z. B. mit  $\lambda_{Grenz} = k \cdot d^{0.2}$ . Das bedeutet, dass für grössere Bolzendurchmesser eine Steigerung der Tragfähigkeit über der in der Norm festgelegten Grenzlankheit hinaus noch möglich ist. Für die Norm wurde jedoch darauf verzichtet, denn dies hätte zu variablen  $\lambda_{Grenz}$ -Werten geführt.

Für Bolzenverbindungen mit Lochspiel, d. h. für Bauschrauben wurden die zulässigen Werte, bei sonst gleicher Ausbildung, rund 10 Prozent tiefer angesetzt. Die festgestellten Unterschiede in der Tragfähigkeit einer passend gebohrten Verbindung und einer Verbindung mit einem Lochspiel von 1 mm sind gering. Der wesentliche Unterschied liegt in der Schlupfverformung der Verbindung, die je nach Gebrauchszweck unzulässig sein kann.

Tabelle 3. Zulässige Belastung in Newton für  $d$  in mm für Beanspruchung parallel zur Faser

Quelle	Formel	Bemerkungen
SIA 111 (1926)	$F_{zul} = 31,4 \cdot d^2$	mit $d_{min} = 18$ mm
SIA 111 (1936)	$F_{zul} = 23,6 \cdot d^2$	mit $d_{min} = 18$ mm
SIA 164 Entwurf (1946)	$F_{zul} = 23,6 \cdot d^2$	
Stüssi [1]	$F_{zul} = \frac{1100}{14+d} \cdot d^2$	mit $a_m \geq 5 \cdot d$ und $a_s \geq 2,5 \cdot d$
SIA 164 (1953)	$F_{zul} = \frac{942}{10+d} \cdot d^2$	mit $a_m \geq 6 \cdot d$ und $a_s \geq 3 \cdot d$ Bolzenabstände untereinander: $\parallel$ zur Faser: $7 \cdot d$ $\perp$ zur Faser: $3 \cdot d$

**Folgerungen**

**Wirkungsgrad von Bolzenverbindungen**

Mittels Bolzen lassen sich Holzteile mit hohem Wirkungsgrad und mit grosser Steifigkeit ausbilden. Die Vorbohrung kann heute dank leistungsfähiger mehrspindiger Bohrmaschinen wirtschaftlich ausgeführt werden. Dem etwas höheren Aufwand stehen grössere Leistungsfähigkeit und wesentlich kompaktere Anschlüsse gegenüber. Dies ist von besonderer Bedeutung für die mehrfach eingeschlitzten Verbindungen, da kürzere Anschlüsse zu einer Verminderung des Stahlverbrauches bei den Laschen führen. Entscheidend sind - wie im Abschnitt über «Lokale Instabilitäten» dargelegt - kompakt ausgebildete Anschlüsse für druckbeanspruchte Stäbe.

Hoher Wirkungsgrad lässt sich bei Krafteinleitung parallel zur Faserrichtung des Holzes erreichen. Bei anderer Kraft- zur Faserrichtung muss mit einem Abfall an Tragfähigkeit gerechnet werden (vgl. folgenden Abschnitt über «Anschlüsse schräg zur Faser»), weshalb stets eine Krafteinleitung parallel zur Faser anzustreben ist.

Die unterschiedlichen Versagensarten zeigen auf, wie ein Anschluss ausgebildet werden muss, um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen. Für die Bemessung des Verbindungsmittels genügt ein eigentlicher Festigkeitsnachweis (örtliches Holzversagen um den einzelnen Bolzen oder Stahlversagen des Bolzens) unabhängig von der Krafrichtung (Zug oder Druck). Für die Verbindung bzw. für den Nachweis des Holzteiles ist jedoch zu unterscheiden zwischen Zug- und Druckbeanspruchung.

Für Zuganschlüsse ergibt sich die Tragfähigkeit bei Holzteilen, die nur durch Bolzenlöcher geschwächt werden, unter Beachtung der Kerbwirkung zu:

$$F_{zul} = \eta \cdot A_{netto} \cdot \sigma_{z\parallel} \text{ mit } \eta \approx 0,8 \text{ bis } 0,9$$

Treten noch zusätzliche Kerben auf, z. B. infolge Einschlitzungen für Stosslaschen, so muss mit kleineren  $\eta$ -Werten gerechnet werden.

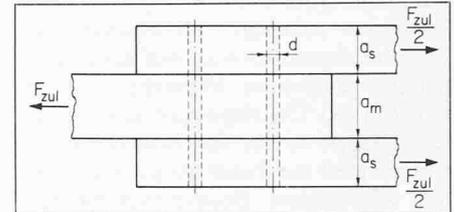


Bild 17. Zweischnittige Bolzenverbindung

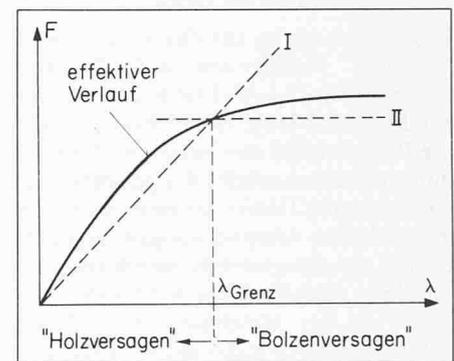


Bild 18. Tragfähigkeit eines Bolzens in Funktion der Schlankheit

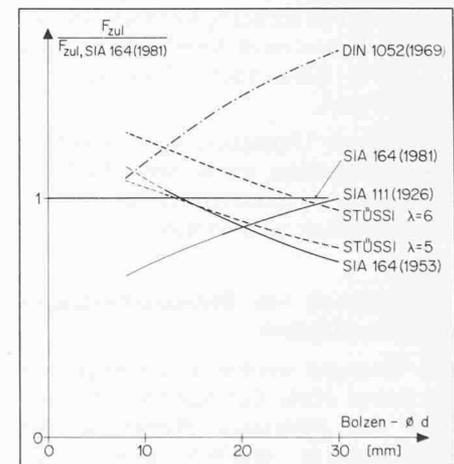


Bild 19. Vergleich verschiedener Ansätze für die zulässige Belastung von Bolzen bezogen auf den Normwert SIA 164 (1981)

Für Druckanschlüsse muss im Anschlussbereich eine genügende Biegesteifigkeit gewährleistet werden. Der Einfluss biegeweicher Anschlussbereiche kann mit genügender Genauigkeit über den Knicknachweis eines abgesetzten Stabes abgeschätzt werden. Bei dünnen Stosslaschen ist zusätzlich ein Ausknicken der Laschen zu beachten. Der entsprechende Nachweis kann als Traglastnachweis (Druck mit Biegung) für baupraktisch noch erfüllbare Exzentrizitäten durchgeführt werden.

### Angaben der Norm SIA 164 (1981)

Die neue Holzbaunorm legt die einzuhaltenden zulässigen Belastungen der Verbindungsmittel fest. Auf Grund der bekanntgemachten Versuche und der angeführten Überlegungen können die festgelegten Werte für Beanspruchungen parallel zur Faser als gesichert gelten. Für andere Beanspruchungsrichtungen liegen kaum Untersuchungen vor. Betrachtet man die neu eingeführten Werte, so stellt man fest, dass diese weitgehend mit den bereits 1947 von Stüssi [1] gemachten Vorschlägen übereinstimmen.

### Anschlüsse schräg zur Faser

Holz weist schräg zur Faser wesentlich geringere Festigkeiten auf. Werden durch Verbindungsmittel Kräfte schräg zur Faser ins Holz eingeleitet, so sinkt die Belastbarkeit des einzelnen Verbindungsmittels ebenfalls. Eingehende Untersuchungen fehlen, so dass man sich mit globalen Abminderungen begnügt. Da mit zunehmenden Bolzendurchmesser dieser Abfall stärker wird, kann dies – wie in der Holzbaunorm – durch einen geringeren Exponentialansatz berücksichtigt werden.

Entscheidend bei Beanspruchung schräg zur Faser ist der korrekte Nachweis des örtlichen Spannungszustandes im Anschlussbereich. Insbesondere falls grössere Bereiche auf Zug schräg zur Faser beansprucht werden, ist mit einem ausserordentlich geringen Wirkungsgrad zu rechnen, weshalb derartige Anschlüsse nach Möglichkeit durch geänderte Knotenausbildung zu vermeiden sind.

Ergänzende Untersuchungen sind hier noch vorgesehen, um besseren Einblick in den Versagensmechanismus derartiger Anschlüsse zu gewinnen.

### Tragfähigkeit von Bolzenverbindungen in Brettschichtholz

Die Versuche werden in der Regel mit astreinem Holz durchgeführt. Gegenüber den zulässigen Werten in der Holzbaunorm ergeben sich damit Sicherheitsgrade um 4, bei Verwendung von besonders dichtem Nadelholz ( $r_{15} \geq 0,5 \text{ t/m}^3$ ) sogar Werte um 5. Selbst-

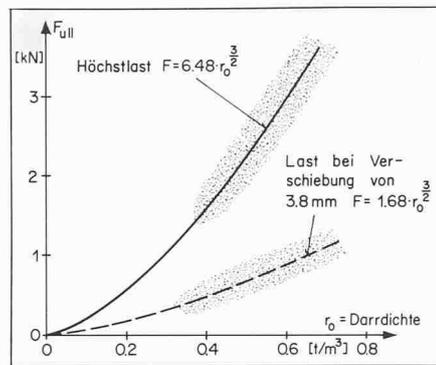


Bild 20. Belastbarkeit rechtwinklig zum Nagelschaft in Abhängigkeit von der Darrdichte

verständlich darf daraus nicht der Schluss gezogen werden, dass die Normwerte zu tief sind, da diese Normwerte die baupraktischen Strukturstörungen abzudecken haben. Versuche an Fachwerkträgern zeigten, dass infolge der natürlichen Strukturstörungen erheblich tiefere Sicherheitsgrade erreicht werden.

Die Norm SIA 164 (1981) stellt unter 3 21 1 «Holzteile» fest:

«Die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten von Verbindungen sind von den Eigenschaften der zu verbindenden Holzteile abhängig. Im Bereich der Verbindungen müssen diese mindestens der Festigkeitsklasse II bei Massivholz bzw. der Festigkeitsklasse C oder FC bei Brettschichtholz entsprechen, sofern für einzelne Verbindungsarten nicht schärfere Bedingungen gestellt werden.»

Für die Versagensform «Bruch im Holzteil» ergeben sich – ausgehend von den unterschiedlichen Grundwerten der zulässigen Spannungen – je nach Festigkeitsklasse des verwendeten Massivholzes bzw. Brettschichtholzes andere Tragfähigkeiten. Für die Versagensform «Verbindungsmittel» verzichtet die Norm auf eine Differenzierung, d. h. die Werte beziehen sich auf «normales Bauholz».

Versuche mit Brettschichtholz sollen nun darüber Auskunft geben, inwieweit für die Versagensform «Verbindungsmittel» höhere Bolzenbelastungen zulässig sind. Eine grössere Untersuchung wird zurzeit am Institut für Baustatik und Stahlbau durchgeführt.

### Tragfähigkeit von Bolzenverbindungen in Buchenholz

Wie die Versuche von Scholten [7] an Nagelverbindungen mit verschiedenen Holzarten (vgl. Bild 20) erwarten liessen, ergaben die Bolzen in Buchenholz – wie aus dem Abschnitt über die «Auswertung der zentrisch beanspruchten Anschlüsse» zu ersehen ist – eine rund 1,9-fache Belastbarkeit gegenüber Fichte/Tanne. Dieser Wert entspricht nach Scholten einem Verhältnis der Darrdichten von rund 1,5, einem Wert, der dem effektiven Verhältnis Buche/Fichte gut entspricht. Diese wesentlich höhere Belastbarkeit je Bolzen erlaubt bei Verwendung von Brettschichtholz aus Buche für Tragkonstruktionen (vgl. hierzu auch [8]) kleinere Anschlüsse trotz der höheren Ausnutzung des Buchenholzes.

### Tragfähigkeit von Bolzen aus tropischem Hartholz (Holznägel)

Die Holznagelverbindung kann nach den gleichen Grundsätzen wie eine Stahlbolzenverbindung bemessen werden. Infolge der geringeren Festigkeit des Holzes betragen die zulässigen Belastungen noch rund ein Drittel der von Stahlbolzen und bedingen zudem die Einhaltung von nur halb so grossen Grenzschlankheiten.

Der Wirkungsgrad von mehrschnittigen Anschlüssen liegt – auch bei Ausbildung längerer Anschlüsse – rund ein Drittel tiefer als bei einer Stahllaschenverbindung. Dies ist hauptsächlich bedingt durch die starke Herabsetzung der Festigkeit des verwendeten Buchenfurniersperrholzes infolge Kerbwirkung. Eine Verbesserung sollte durch die Verwendung von Sperrholz aus tropischen Holzarten oder durch den Einsatz von Pressholz möglich sein.

### Verdankung

Die kurzfristige Durchführung und Auswertung der zahlreichen Versuche war nur möglich dank dem vollen Einsatz der Herren dipl. Ing. ETH – M. Fontana, E. Peter und Masch.-Ing. HTL H. R. Arm. Der letzte war zudem für die fachgerechte Darstellung besorgt.

### Literatur

- [1] Stüssi, F.: «Über Grundlagen des Ingenieurholzbaues». Schweizerische Bauzeitung, 1947, S. 131–138
- [2] Pilgrim, V.: «Bolzenverbindungen, Bolzen im Holz». Ringbuch der Luftfahrttechnik, II B 7
- [3] Graf, O.: «Vergleichende Untersuchungen mit Dübelverbindungen». Bautechnik, 1944, S. 23–32 und 47–52
- [4] Tölke, F.: «Bedenkliche Tragschlüsse in der Bemessung gespreizter Druckstäbe». Bauingenieur 1926, S. 600–604
- [5] Egner, K.: «Versuche mit Bolzenverbindungen (Schraubenbolzen)». Fortschritte und Forschungen im Bauwesen, Reihe D, Heft 20
- [6] Gehri, E.: «Synthese und Schlussfolgerungen». Schlussbericht vom 11. IVBH-Kongress Wien, 1980
- [7] Scholten, J.: «Nail-holding properties of southern hardwoods». Southern Lumberman 1950, S. 208–210
- [8] Gehri, E.: «Möglichkeiten des Einsatzes von Buchenholz für Tragkonstruktionen». Schweizer Bauwirtschaft 1980, Heft 56

Adresse des Verfassers: E. Gehri, dipl. Ing. ETH/SIA, Institut für Baustatik und Stahlbau, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich