

---

# Verstärkung von Verbindungen

von H.J. Blaß, M. Schmid, H. Werner \*

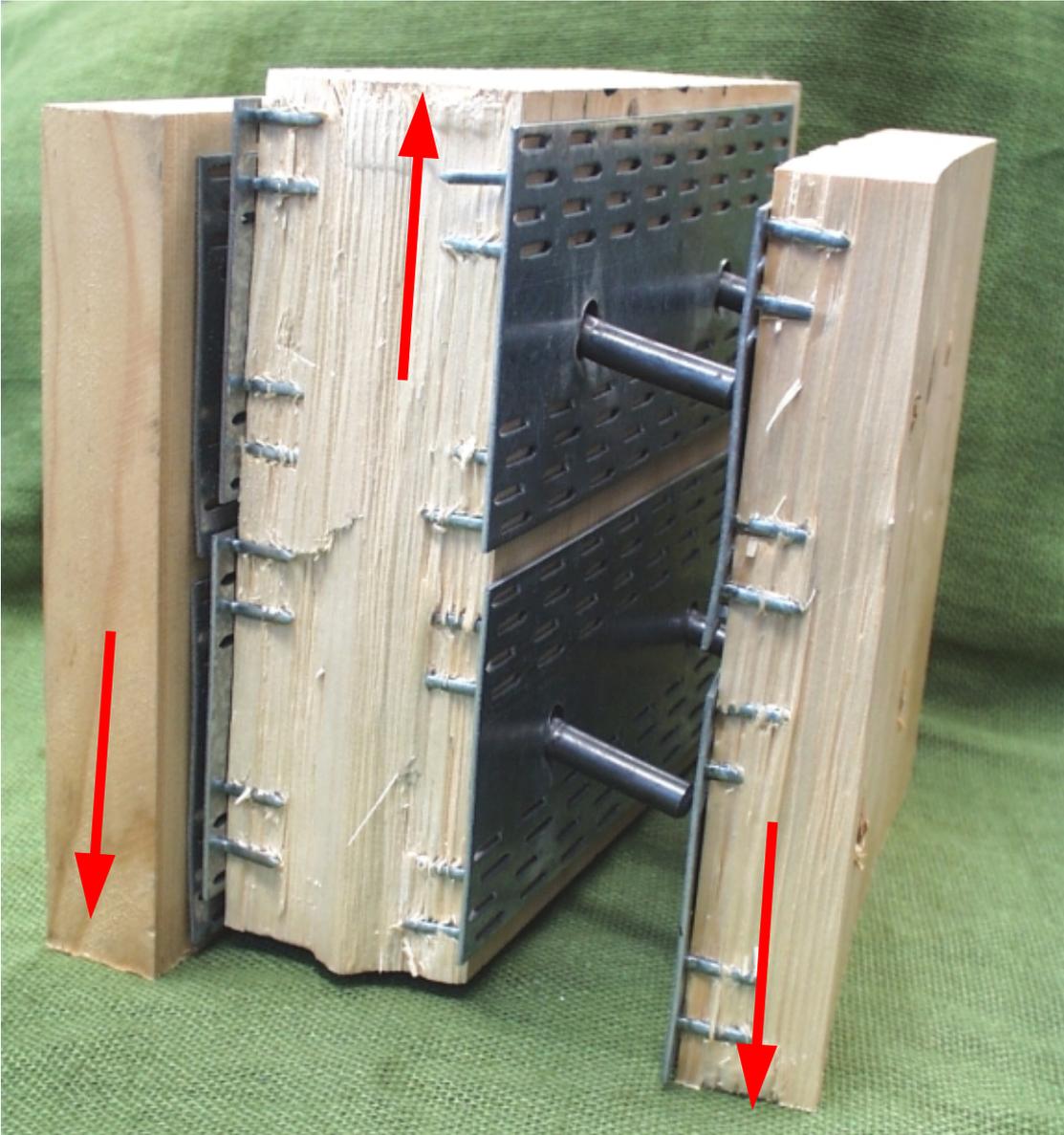
## 1 Einleitung

Eine in Finnland (Kevarinmäki et al., 1995) entwickelte Verstärkung für Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln besteht aus im Verbindungsbereich eingepressten Nagelplatten, bei denen Bereiche ohne Ausstanzungen vorhanden sind (Bild 1). In diesen Bereichen ohne Ausstanzungen werden Löcher für die Verbindungsmittel gebohrt. Dabei sollte bei eingepresster Nagelplatte gleichzeitig durch Holz und Nagelplattenblech gebohrt werden. Der Bohrlochdurchmesser ist wie bei einer Stabdübel- oder Passbolzenverbindung gleich dem Durchmesser des Verbindungsmittels zu wählen. Diese Art der Verstärkung wird im Weiteren als Nageldübel bezeichnet.

Bei einer Beanspruchung der Verbindungsmittel auf Abscheren wird außer dem Holz oder Holzwerkstoff auch die Nagelplatte auf Lochleibung beansprucht. Die Lochleibungsfestigkeit der Nagelplatte ist um ein vielfaches höher als die der anzuschließenden Holzbauteile. Dies bewirkt eine wesentliche Steigerung der Tragfähigkeit des Anschlusses. Die zweite positive Auswirkung dieser Verstärkungsart ist, dass das Spalten der Hölzer der Verbindung durch die als „Querbewehrung“ wirkende Nagelplatte verhindert wird.

Da bei Holzkonstruktionen oft der Anschlussbereich bestimmend für die Abmessungen der Bauteile ist, kann die Verstärkung mit Nageldübeln zu einer erheblichen Materialeinsparung und zu schlankeren Konstruktionen führen.

\* Univ.-Prof. Dr.-Ing. H.J. Blaß ist Inhaber des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe; Regierungsbaumeister Dipl.-Ing. M. Schmid ist wissenschaftlicher Angestellter am gleichen Lehrstuhl; Dr.-Ing. H. Werner ist Leiter des Ingenieurbüros Holzbau im Bruderverlag



**Bild 1:** Geöffneter verstärkter Anschlussbereich

## **2 Festigkeitsgrößen und Entwurf der Verstärkung**

Die Bemessung von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln nach Eurocode 5 oder E DIN 1052 beruht auf den Gleichungen von Johansen (1949). Erforderliche Eingangswerte für die Berechnung der Tragfähigkeit einer Verbindung sind die Lochleibungsfestigkeiten der zu verbindenden Teile und der Biege- und Torsionswiderstand des Verbindungsmittels.

Angaben zur Berechnung der Lochleibungsfestigkeiten werden in o.g. Normen bzw. in den bauaufsichtlichen Zulassungen von Holzwerkstoffen gemacht. Diese Angaben be-

ruhen auf Versuchen nach DIN EN 383 „Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit und der Bettungswerte für stiftförmige Verbindungsmittel“.

Angaben zum Biege widerstand des Verbindungsmittels können ebenfalls den Normen entnommen werden. Johansen geht von ideal plastischem Materialverhalten und der Ausbildung eines Fließgelenkes aus, d.h. die ausgebreiteten Fließzonen werden in einem Querschnitt zusammengefasst. Blaß, Bienhaus und Krämer (2000) zeigen jedoch, dass bei den üblicherweise sich einstellenden geringen Biege winkeln der Verbindungsmittel nicht von einem voll plastizierten Querschnitt ausgegangen werden kann. In E DIN 1052 wird infolge dieser Untersuchungen ein geringeres Fließmoment für Verbindungsmittel angesetzt als in Eurocode 5.



**Bild 2:** Verformter Stabdübel nach durchgeführtem Versuch

Bei der Bemessung der Nageldübel ist schließlich noch die Kenntnis der Lochleibungs festigkeit der Nagelplatte erforderlich. Dabei ist zu beachten, dass die Angaben der DIN 18800 (1990) Teil 1 zu Verbindungen mit Schrauben nur für Blechdicken  $t \geq 3$  mm gelten. Für die dünneren Bleche der Nagelplatten kann die DAST-Richtlinie 016 „Bemessung und konstruktive Gestaltung von Tragwerken aus dünnwandigen kaltgeformten Bauteilen“ (1988) verwendet werden.

In Anlehnung an die DAST-Richtlinie 016 wird die Lochleibungs festigkeit der Nagelplatte mit der Streckgrenze des Nagelplattenbleches  $f_{y,k}$  zu

$$f_{h,s,k} = 2 \cdot f_{y,k}$$

berechnet. Die Randabstände der DAST-Richtlinie 016 sollten hier als Abstand zu der ersten ausgestanzten Nagelreihe bestimmt werden (Bild 3).

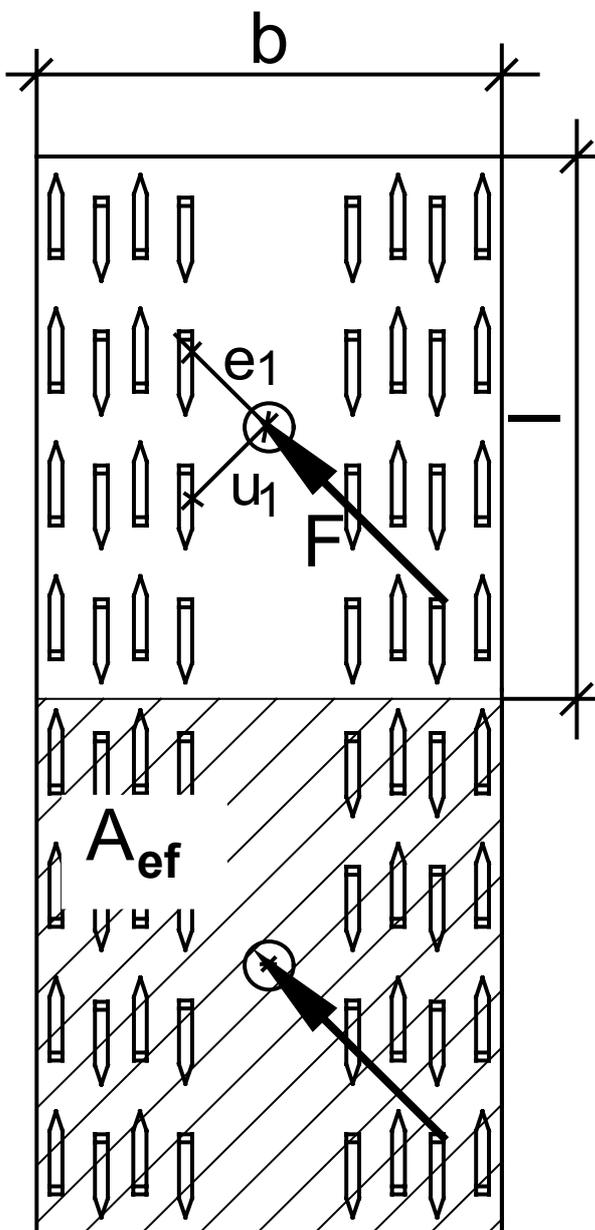
Mit der Blechdicke  $s$  der Nagelplatte, der Lochleibungs festigkeit  $f_{h,s,k}$  der Stahlblech-Bolzenverbindung und dem Bolzendurchmesser  $d$  kann die Nagelplatte mit einem charakteristischen Wert der Lochleibungskraft von

$$V_{l,R,k} = s \cdot f_{h,s,k} \cdot d$$

beansprucht werden. Die Nagelplatte muss diese Kraft in das zu verstärkende Holz einleiten können. Die erforderliche Anschlussfläche zwischen Nagelplatte und Holz beträgt

$$A_{ef} = V_{I,R,k} / (f_{a,\alpha,\beta,d} \cdot \gamma_M)$$

mit  $\gamma_M = 1,1$ , dem Teilsicherheitsbeiwert einer Stahlblech-Schraubenverbindung beim Nachweis der Lochleibungsfestigkeit mit der Streckgrenze.  $f_{a,\alpha,\beta,d}$  ist der Bemessungswert der Nageltragfähigkeit in Abhängigkeit von dem Winkel  $\alpha$  zwischen Plattenlängsrichtung und Krafrichtung und dem Winkel  $\beta$  zwischen Kraft- und Faserrichtung des Holzes.



**Bild 3:** Randabstände in Anlehnung an DASt-Richtlinie 016

Die Nachweise der Nagelplatte gegen Abscheren und gegen Zug- bzw. Druckversagen können nach E DIN 1052 Abschnitt 11.2.3 oder EC 5 Abschnitt D 6 geführt werden. Dabei sollte als Beanspruchung  $F$

$$F = V_{I,R,d} = V_{I,R,k} / \gamma_M$$

angenommen werden. Diese Last  $F$  darf für die Nachweise halbiert werden, wenn das Verbindungsmittel symmetrisch im Nageldübel eingebracht wird. Beispielsweise sind bei einer Anordnung nach Bild 3 die druck- bzw. zugbeanspruchten oder die scherbeanspruchten Längen  $l$  jeweils zweimal je Verbindungsmittel zur Lastabtragung vorhanden.

Der Entwurf der Anschlussfläche  $A_{ef}$  und die Nachweise der Plattentragfähigkeit sollte mit dem Wert  $V_{I,R,d}$  erfolgen, um die Lochleibungsfestigkeit des Stahlbleches der Nagelplatte in den im folgenden Abschnitt dargestellten Gleichungen voll ansetzen zu können. Bei den untersuchten Prüfkörpern konnte die Nachgiebigkeit zwischen Nagelplatte und Holz vernachlässigt werden.

Das Abscheren zwischen Bolzen und Nagelplatte kann ebenfalls nach DAST-Richtlinie 016 nachgewiesen werden. Ein Nachweis nach DIN 18800 (1990) ist ebenfalls möglich, da für das Abscheren im Gegensatz zum Nachweis der Lochleibung die Blechdicke keinen Einfluss hat.

### **3 Bemessung der verstärkten Verbindung**

#### **3.1 Bemessungsgleichungen für das Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte (EC5 und E DIN 1052)**

Verstärkungen mit aufgeleimten Sperrholzplatten wurden bereits von Blaß und Werner (1988) untersucht. Die hier dargestellten Bemessungsgleichungen für mit Nageldübeln verstärkte Verbindungsbereiche beruhen auf einer Erweiterung der Gleichungen von Johansen (1949).

In den Bemessungsgleichungen werden die nachstehend aufgeführten Variablen verwendet. Dabei wurde auf den Fußzeiger  $k$  zur Kennzeichnung der Werte als charakteristische Größen verzichtet, um die Form der Gleichungen etwas übersichtlicher zu halten:

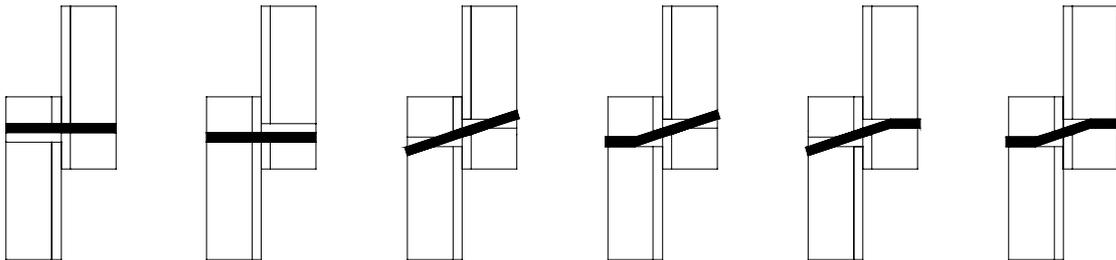
$t_1, t_2$  Holz- oder Holzwerkstoffdicke oder Eindringtiefe des Verbindungsmittels,

- s            Blechdicke der Nagelplatte,
- $f_{h,1}, f_{h,2}$     charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit der Hölzer oder Holzwerkstoffe,
- $f_{h,s}$             charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit der Nagelplatte,
- $M_y$             charakteristischer Wert des Fließmomentes des Verbindungsmittels,
- d            Durchmesser des Verbindungsmittels,

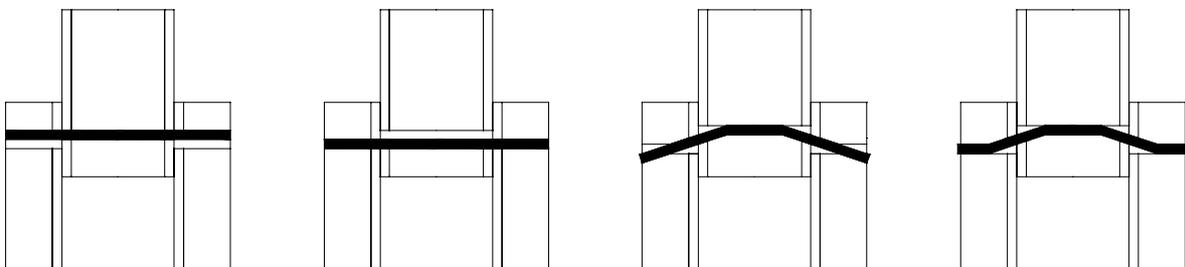
$$\beta = \frac{f_{h,2}}{f_{h,1}}, \quad \eta = \frac{f_{h,s}}{f_{h,1}},$$

$R = R_k$         charakteristischer Wert der Tragfähigkeit nach EC 5 oder E DIN 1052.

Eine Abminderung dieses Wertes R der Tragfähigkeit wegen mehrerer in Kraft- und Faserrichtung hintereinander liegender Stabdübel ist nicht erforderlich, da die Gefahr des Spaltens, die diese Abminderung begründet, bei mit Nageldübeln verstärkten Verbindungen nicht vorliegt.



Einschnittige Verbindungen



Zweischnittige Verbindungen

**Bild 4:**        Versagensbilder ein- und zweischnittiger Verbindungen mit Holz oder Holzwerkstoffen

Nach Blaß et al. (2000) ergeben sich folgende Gleichungen für die Tragfähigkeit je Verbindungsmittel und je Scherfuge. Für die Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeit ist der Kleinstwert maßgebend.

Für einschnittige mit Nageldübeln verstärkte Verbindungen von Hölzern oder Holzwerkstoffen:

$$R = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,2} \cdot t_2 \cdot d + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ \frac{f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \sqrt{\beta \left( 1 - 4\eta \frac{s^2}{t_1^2} \right) + 2\beta^2 \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} + \frac{t_2^2}{t_1^2} + 4 \frac{s}{t_1} + 8 \frac{s^2}{t_1^2} + 4 \frac{s \cdot t_2}{t_1^2} - 2\eta \frac{s^2}{t_1^2} \right) + \beta^3 \frac{t_2^2}{t_1^2}} - \frac{\beta \cdot f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left( 1 + 4 \frac{s}{t_1} + \frac{t_2}{t_1} \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ \frac{\beta \cdot f_{h,1} \cdot d}{2 + \beta} \left( \sqrt{(t_1 + 4s)^2 + \frac{2 + \beta}{\beta} \left( t_1^2 - 4\eta s^2 + \frac{4M_y}{d \cdot f_{h,1}} \right)} - (t_1 + 4s) \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ \frac{\beta \cdot f_{h,1} \cdot d}{1 + 2\beta} \left( \sqrt{(t_2 + 4s)^2 + (1 + 2\beta) \left( t_2^2 - 4\eta s^2 + \frac{4M_y}{\beta \cdot d \cdot f_{h,1}} \right)} - (t_2 + 4s) \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ \frac{2 \cdot \beta \cdot f_{h,1} \cdot d}{1 + \beta} \left( \sqrt{s^2 - \frac{1 + \beta}{2\beta} \left( \eta s^2 - \frac{2M_y}{d \cdot f_{h,1}} \right)} - s \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

Für zweischnittige mit Nageldübeln verstärkte Verbindungen von Hölzern oder Holzwerkstoffen:

$$R = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ 0,5 \cdot f_{h,2} \cdot t_2 \cdot d + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ \frac{\beta \cdot f_{h,1} \cdot d}{2 + \beta} \left( \sqrt{(t_1 + 4s)^2 + \frac{2 + \beta}{\beta} \left( t_1^2 - 4\eta s^2 + \frac{4M_y}{d \cdot f_{h,1}} \right)} - (t_1 + 4s) \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ \frac{2 \cdot \beta \cdot f_{h,1} \cdot d}{1 + \beta} \left( \sqrt{s^2 - \frac{1 + \beta}{2\beta} \left( \eta s^2 - \frac{2M_y}{d \cdot f_{h,1}} \right)} - s \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \end{array} \right.$$

Für einschnittige mit Nageldübeln verstärkte Verbindungen von Hölzern oder Holzwerkstoffen mit dünnen Stahlblechen:

$$R = \min \begin{cases} f_{h,1} \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 \cdot t_1^2 + 2 \cdot (2 - \eta) s^2 + 4st_1} - (t_1 + 2s) \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,1} \cdot d \cdot \left( \sqrt{(1 - \eta) s^2 + \frac{2M_y}{d \cdot f_{h,1}}} - s \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \end{cases}$$

Für einschnittige mit Nageldübeln verstärkte Verbindungen von Hölzern oder Holzwerkstoffen mit dicken Stahlblechen und für zweischnittige Verbindungen mit innen liegenden dicken oder dünnen Stahlblechen:

$$R = \min \begin{cases} f_{h,1} \cdot t_1 \cdot d + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,1} \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 \cdot t_1^2 + 2 \cdot (2 - \eta) s^2 + 4st_1 + \frac{4M_y}{d \cdot f_{h,1}}} - (t_1 + 2s) \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,1} \cdot d \cdot \left( \sqrt{(1 - \eta) s^2 + \frac{4M_y}{d \cdot f_{h,1}}} - s \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \end{cases}$$

Für zweischnittige mit Nageldübeln verstärkte Verbindungen von Hölzern oder Holzwerkstoffen mit außen liegenden dünnen Stahlblechen:

$$R = \min \begin{cases} 0,5 \cdot f_{h,2} \cdot t_2 \cdot d + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,2} \cdot d \cdot \left( \sqrt{\left(1 - \frac{\eta}{\beta}\right) s^2 + \frac{2M_y}{d \cdot f_{h,2}}} - s \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \end{cases}$$

Für zweischnittige mit Nageldübeln verstärkte Verbindungen von Hölzern oder Holzwerkstoffen mit außenliegenden dicken Stahlblechen:

$$R = \min \begin{cases} 0,5 \cdot f_{h,2} \cdot t_2 \cdot d + f_{h,s} \cdot s \cdot d \\ f_{h,2} \cdot d \cdot \left( \sqrt{\left(1 - \frac{\eta}{\beta}\right) s^2 + \frac{4M_y}{d \cdot f_{h,2}}} - s \right) + f_{h,s} \cdot s \cdot d \end{cases}$$

Die Unterscheidung zwischen dünnen und dicken Stahlblechen bei Stahlblech-Holz-Verbindungen ist erforderlich, da sich bei den zwei Fällen unterschiedliche Versagensmechanismen ausbilden können. Eine Einspannung der Verbindungsmittel ist in dünnen Stahlblechen nicht möglich, der Stift ist hier gelenkig gelagert. Als dünnes Stahlblech gilt eine Stahlflasche, deren Dicke weniger als die Hälfte des Verbindungsmitteldurchmessers beträgt:

$$s_{\text{Stahlflasche}} \leq 0,5 \cdot d.$$

Ein dickes Stahlblech, das eine volle Einspannung des Stiftes gewährleistet, liegt bei einer Dicke größer oder gleich dem Verbindungsmitteldurchmesser vor:

$s_{\text{Stahllasche}} \geq d$ .

Für  $0,5 \cdot d \leq s_{\text{Stahllasche}} \leq d$  darf linear zwischen den Ergebnissen R für ein dickes und ein dünnes Stahlblech interpoliert werden.

Die Versagensmechanismen für Stahlblech-Holz-Verbindungen sind im Anhang V 2 der E DIN 1052 und im Abschnitt 6.2.2 des EC 5 dargestellt.

### **3.2 Bemessungsgleichungen für das Konzept der zulässigen Spannungen der DIN 1052 (1988)**

Die z.Zt. als technische Baubestimmung eingeführte DIN 1052 (1988) mit Änderung vom Oktober 1996 beruht auf dem Konzept der zulässigen Spannungen. Dabei werden die charakteristischen Einwirkungen nach DIN 1055 (1971 - 1987) direkt zur Ermittlung der Schnittgrößen verwendet. Die Streuungen der Einwirkungen und der Festigkeiten der Baustoffe werden berücksichtigt, indem die Festigkeitswerte durch einen globalen Sicherheitsfaktor geteilt werden. Dieses Konzept wurde auch in der Stahlbaunorm DIN 18800 aus dem Jahre 1981 verwendet.

Sollen Nageldübel nun nach dem Konzept der zulässigen Spannungen der DIN 1052 (1988) berechnet werden, dann kann folgendermaßen vorgegangen werden:

In Anlehnung an die Zulassungen von Stahlblechformteilen kann ein zulässiger Lochleibungsdruck für das Nagelplattenblech festgelegt werden zu

$$\text{zul } \sigma_l = \sigma_{l,R,d} / 1,5 = 320 \text{ N/mm}^2 / 1,5 \cong 210 \text{ N/mm}^2.$$

Die zulässige Beanspruchung einer mit Nageldübeln verstärkten Verbindung ergibt sich dann aus der Addition der zulässigen Lasten (zul  $N_{St}$ ) einer Paßbolzen- oder Stabdübelverbindung nach DIN 1052 (1988) und der zulässigen Belastung

$$\text{zul } F_b = \text{zul } \sigma_l \cdot s \cdot d$$

einer Schraubenverbindung in Anlehnung an DIN 18800 (1981). Bei einer zweiseitigen Verbindung darf zweimal zul  $F_b$  addiert werden, da sich zul  $F_b$  auf eine Scherfuge bezieht.

Die erforderliche Anschlussfläche  $A_{ef}$  zwischen Nagelplatte und Holz ergibt sich bei diesem Konzept zu

$$A_{ef} = \text{zul } F_b / \text{zul } F_n.$$

Dabei ist zu  $F_n$  die zulässige Nagelbelastung in  $N / cm^2$  nach der jeweiligen Nagelplattenzulassung.

Die weiteren Nachweise der Nagelplatte für die Beanspruchungen durch Druck, Zug und Scheren können analog zu Abschnitt 2 dieser Veröffentlichung nach DIN 1052 (1988) Teil 2 Abschnitt 10 geführt werden.

#### 4 Versuche und Versagensbilder

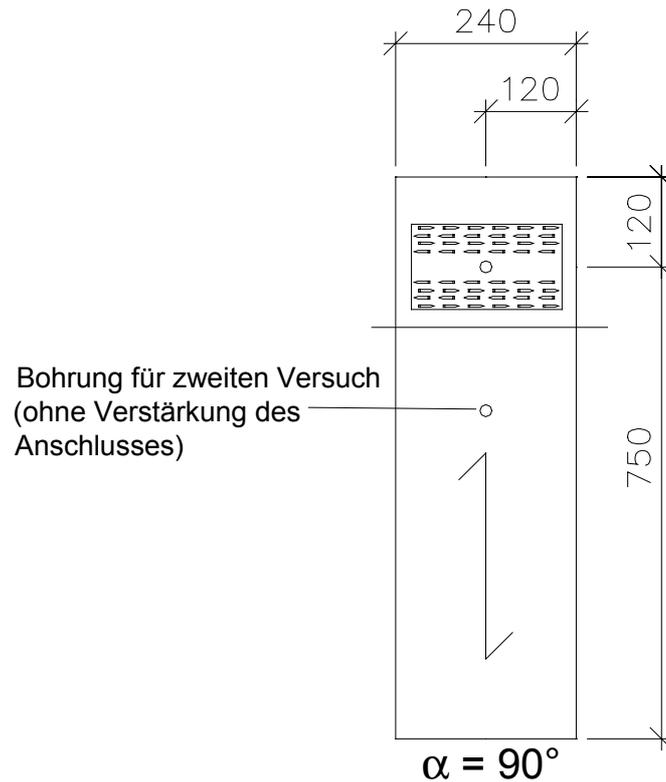
An der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau, der Universität Karlsruhe wurden in den Jahren 1997 bis 1999 Versuche mit durch Nageldübel verstärkten Verbindungen durchgeführt. In Tabelle 1 sind diese Versuche zusammengefasst. Die Prüfkörper wurden aus Fichtenvollholz oder Furnierschichtholz (FSH) hergestellt. Der Winkel  $\beta$  gibt den Winkel zwischen der Kraft- und Faserrichtung an.

**Tabelle 1:** Zusammenfassung der durchgeführten Versuche

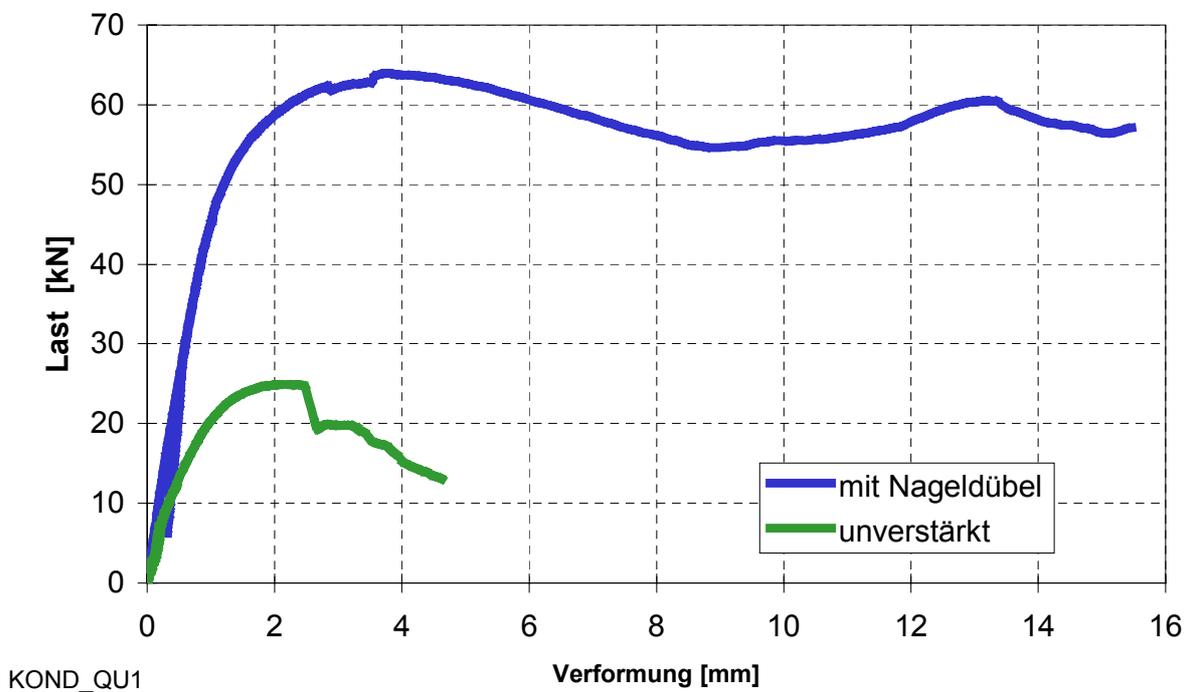
Reihe/ Anzahl	Seitenlaschen			Mittellasche			Winkel $\alpha$ zwischen Kraft- und Platten- längsrichtung	Stabdübel- durchmesser
	Material	Dicke	Winkel $\beta$	Material	Dicke	Winkel $\beta$		
1a/5	Stahl	$t_1 = 20 \text{ mm}$	-	FSH	$t_2 = 45 \text{ mm}$	$0^\circ$	$0^\circ$	16 mm
1b/5	Stahl	$t_1 = 20 \text{ mm}$	-	FSH	$t_2 = 45 \text{ mm}$	$0^\circ$	$90^\circ$	16 mm
1c/10	Stahl	$t_1 = 20 \text{ mm}$	-	FSH	$t_2 = 45 \text{ mm}$	$0^\circ$	ohne Nageldübel	16 mm
2a/5	Stahl	$t_1 = 20 \text{ mm}$	-	Fichte	$t_2 = 45 \text{ mm}$	$0^\circ$	$0^\circ$	16 mm
2b/5	Stahl	$t_1 = 20 \text{ mm}$	-	Fichte	$t_2 = 45 \text{ mm}$	$0^\circ$	$90^\circ$	16 mm
2c/10	Stahl	$t_1 = 20 \text{ mm}$	-	Fichte	$t_2 = 45 \text{ mm}$	$0^\circ$	ohne Nageldübel	16 mm
3/10	FSH	$t_1 = 75 \text{ mm}$	$90^\circ$	Stahl	$t_2 = 15 \text{ mm}$	-	$90^\circ$	24 mm
4a/10	Stahl	$t_1 = 30 \text{ mm}$	-	Fichte	$t_2 = 80 \text{ mm}$	$0^\circ$	$0^\circ$	12 mm
4c/10	Stahl	$t_1 = 30 \text{ mm}$	-	Fichte	$t_2 = 80 \text{ mm}$	$0^\circ$	ohne Nageldübel	12 mm
5a/5	Fichte	$t_1 = 40 \text{ mm}$	$0^\circ$	Fichte	$t_2 = 80 \text{ mm}$	$0^\circ$	$0^\circ$	12 mm
5b/5	Fichte	$t_1 = 40 \text{ mm}$	$0^\circ$	Fichte	$t_2 = 80 \text{ mm}$	$0^\circ$	$90^\circ$	12 mm

Nach Durchführung der Versuche der Serien 1, 2 und 4 wurden die verstärkten Bereiche abgeschnitten und mit den gleichen Prüfkörpern nochmals Versuche ohne Verstärkung durchgeführt.

In Bild 5 ist die Ansicht der Prüfkörper der Serie 1b dargestellt. Das Diagramm in Bild 6 zeigt zum Vergleich die Last-Verschiebungskurven eines verstärkten und zugehörigen unverstärkten Versuches der Serie 1b.



**Bild 5:** Ansicht der Prüfkörper der Serie 1b



**Bild 6:** Last-Verschiebungsdiagramme eines Prüfkörpers der Serie 1b (verstärkt) und der Serie 1c (unverstärkt)

Bei diesen Versuchen bildeten sich in den Stabdübeln keine Fließgelenke aus. Der verstärkte Prüfkörper erreichte eine Höchstlast von

$$F_{\text{verstärkt}} = 63,9 \text{ kN},$$

der unverstärkte eine von

$$F_{\text{unverstärkt}} = 24,9 \text{ kN}.$$

Das entspricht einer Steigerung der Tragfähigkeit von

$$\Delta F = 63,9 - 24,9 = 39,0 \text{ kN}.$$

Die zur Verstärkung verwendete Nagelplatte hatte nach Zulassung eine Streckgrenze von mindestens

$$f_y \geq 250 \text{ N / mm}^2$$

und eine Nenndicke von

$$s = 2 \text{ mm}.$$

Die Lochleibungsfestigkeit des Bleches kann daher angenommen werden zu:

$$f_{h,t,k} = 2 \cdot f_{y,k} = 2 \cdot 250 \text{ N / mm}^2 = 500 \text{ N / mm}^2$$

Bei dem beschriebenen Versagensfall reiner Lochleibung war somit durch die Verstärkung mit einem Nageldübel je Seite eine Laststeigerung von mindestens

$$\Delta F_{\text{Nageldübel}} = 2 \cdot s \cdot d \cdot f_{h,t,k} = 2 \cdot 2 \text{ mm} \cdot 16 \text{ mm} \cdot 500 \text{ N / mm}^2 = 32000 \text{ N}$$

zu erwarten.

Die tatsächlichen Tragfähigkeitsteigerungen der verstärkten Verbindungen lagen bei allen Versuchen über den rechnerisch zu erwartenden. Die Unterschätzung der Traglaststeigerung kann im Wesentlichen auf eine Verfestigung des Nagelplattenbleches nach Erreichen der Streckgrenze zurückgeführt werden

In Tabelle 2 sind die Kleinst- und Größtwerte, sowie die rechnerischen Tragfähigkeiten verstärkter und unverstärkter Verbindungen dargestellt.

**Tabelle 2:** Vergleich der rechnerischen Tragfähigkeiten mit den Versuchsergebnissen

Reihen nach Tabelle 1	rechnerische Tragfähigkeit einer unverstärkten Verbindung	rechnerische Tragfähigkeit einer verstärkten Verbindung	Kleinstwert der Höchstlast der Versuchsserie	Größtwert der Höchstlast der Versuchsserie
1a, 1b	23,8 kN	55,8 kN	63,9 kN	68,7 kN
2a, 2b	18,8 kN	50,8 kN	56,4 kN	60,7 kN
3	60,2 kN	106 kN	114 kN	128 kN
4a	21,2 kN	42,0 kN	44,3 kN	50,0 kN
5a, 5b	50,4 kN	139 kN	143 kN	167 kN

Die Zusammenstellung in Tabelle 2 verdeutlicht die möglichen großen Laststeigerungen von mit Nageldübeln verstärkten Verbindungen und die gute Übereinstimmung der Bemessungsgleichungen mit den in Versuchen erreichten Tragfähigkeiten.

Insbesondere in den Serien 1 und 2, bei denen die Stabdübel im Versagenszustand gerade blieben und somit ein gegen Spalten besonders empfindlicher Versagensfall vorlag, ist die größte Tragfähigkeitssteigerung möglich. Durch das Fließvermögen des Stahlbleches verhält sich die Verbindung sehr duktil.

Die Bilder 7 bis 9 verdeutlichen die für Verbindungen im Holzbau sehr hohen Beanspruchungen und die Duktilität der verstärkten Verbindungen.



**Bild 7:** Detail eines aufgetrennten Anschlusses



**Bild 8:** Verformung der Lochwand der Nagelplatte



**Bild 9:** Detail eines Stabdübels

## 5 Zusammenfassung

Die als Nageldübel bezeichnete Verstärkung von stiftförmigen mechanischen Verbindungsmitteln mit Hilfe von im Verbindungsbereich eingepressten Nagelplatten erwies sich in Versuchen als überaus effektive Möglichkeit der Tragfähigkeitssteigerung. Die rechnerischen Tragfähigkeiten auf der Grundlage eines erweiterten mechanischen Modells nach Johansen stimmen sehr gut mit den Versuchsergebnissen überein.

Die verstärkte Verbindung weist gegenüber der unverstärkten Verbindung ein sehr duktileres Verhalten auf, wie es mit traditionellen Verbindungsmitteln im Holzbau kaum zu erreichen ist. Dies stellt einen Vorteil dar, der insbesondere bei einer Wechselbeanspruchung oder bei Einwirkungen durch Erdbeben von großem Vorteil sein kann.

Werden die Nageldübel an innenliegenden Scherflächen angebracht, erzeugt diese Verstärkungsmaßnahme gegenüber aufgeklebten Sperrhölzern lediglich einen sehr dünnen Spalt von wenigen Millimetern und ist praktisch unsichtbar.

Weitere Entwicklungsmöglichkeiten bestehen in der Verringerung der Mindestabstände im Vergleich zu einer unverstärkten Verbindung und in der Verwendung spezieller

selbstbohrender Schrauben, die ein Vorbohren auch des Nagelplattenbleches unnötig machen.

## **Literatur**

Baehre, R. (1991). Vorlesungen über Stahlbau, Sicherheitskonzepte. Skriptum des Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau, Universität Karlsruhe (TH).

Blaß, H.J., und Werner, H. 1988. Stabdübelverbindungen mit verstärkten Anschlussbereichen. bauen mit holz 90, Bruderverlag, Karlsruhe. S. 601-607.

Hilson, B.O. 1995. Joints with dowel-type fasteners – Theory. In: Timber Engineering STEP 1. Centrum Hout, The Netherlands, ISBN 90-5645-001-8. pp. C3/1 – C3/11.

Johansen, K.W. 1949. Theory of timber connections. International association of Bridge and Structural Engineering. Publication No. 9. Bern, Switzerland. pp. 249 – 262.

Kevarinmäki, A., Kangas, J., Nokelainen, T., und Kanerva, P. 1995. Nail-plate reinforced bolt joints of Kerto-FSH structures. Publication 51, Helsinki University of Technology/LSEBP, ISSN 0783-9634. 23 p.

Blaß, H.J., Schmid, M., Litze, H., Wagner, B. (2000). Nail plate reinforced joints with dowel-type fasteners. World Conference on Timber Engineering 2000. Whistler, British Columbia, Canada. Proceedings pp. 8.6.4-1 – 8.6.4-8.