

# Querzug- und Querdruckverstärkungen - Aktuelle Forschungsergebnisse

## 1 Allgemeines

Bei einer Zugbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung weist Holz nur eine sehr geringe Festigkeit auf. Der charakteristische Festigkeitswert von Vollholz bzw. Brettschichtholz bei Zugbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung beträgt nur etwa  $1/20$  bis  $1/60$  des entsprechenden Wertes parallel zur Faserrichtung. Holzkonstruktionen sollten daher so geplant werden, dass Zugspannungen rechtwinklig zur Faser vermieden werden oder nur möglichst geringe Werte annehmen. Beispiele für querzuggefährdete Bauteile sind Queranschlüsse, ausgeklinkte Trägersauflager und Trägerdurchbrüche. Als Verstärkungselemente wurden bisher ins Holz eingeklebte Stahlstäbe oder auf das Holz aufgeklebte Holzwerkstoffplatten verwendet. Eine Alternative zu den geklebten Querzugverstärkungen stellen bauaufsichtlich zugelassene selbstbohrende Vollgewindeschrauben dar. Selbstbohrende Vollgewindeschrauben können aber auch in querdruckgefährdeten Bauteilen eingesetzt werden. Bei einer Druckbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung weist das Holz ebenso eine geringe Festigkeit auf. Bei mit Hilfe von selbstbohrenden Vollgewindeschrauben verstärkten querdruckgefährdeten Bauteilen, wie z.B. Trägersauflagern, kann die Tragfähigkeit im Vergleich zu unverstärkten Bauteilen deutlich gesteigert werden.

Im Gegensatz zu den z.B. nach DIN 96, DIN 97 oder DIN 571 genormten Schrauben, die alle eine Gewindeform nach DIN 7998 aufweisen und in vorgebohrte Löcher eingedreht werden, werden bauaufsichtlich zugelassene selbstbohrende Holzschrauben nach dem Aufrollen des Gewindes gehärtet, um höhere Werte des Fließmomentes, der Torsionstragfähigkeit sowie insbesondere der Zugtragfähigkeit zu erreichen. Es sind Durchmesser bis zu 12 mm sowie Längen bis zu 600 mm verfügbar. Selbstbohrende Holzschrauben können als Teilgewindeschrauben oder als Vollgewindeschrauben mit durchgehendem Gewinde zwischen Schraubenkopf und Schraubenspitze hergestellt werden. Um das Einschraubdrehmoment sowie das Spalten des Holzes zu reduzieren, können selbstbohrende Holzschrauben mit einer Bohrspitze, einem Schneidengewinde oder einem Reibschaff zwischen dem Schaft- und dem Gewindebereich ausgestattet werden.

Nachfolgend werden für mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben verstärkte querzug- und querdruckgefährdete Bauteile Hinweise zur konstruktiven Ausfüh-

rung dieser Verstärkungselemente angegeben. Die Tragfähigkeitsnachweise für unverstärkte sowie verstärkte querzuggefährdete Bauteile können nach dem Bemessungskonzept der E DIN 1052 geführt werden. Für Trägerdurchbrüche sowie Querdruckverstärkungen werden ergänzende Berechnungshinweise angegeben, die im aktuellen Bemessungskonzept der E DIN 1052 bislang nicht enthalten sind.



**Bild 1:** Selbstbohrende Holzschrauben

## **2 Selbstbohrende Holzschrauben - Beanspruchung auf Herausziehen und Hineindrücken**

Wegen der profilierten Ausbildung des Gewindebereiches können selbstbohrende Holzschrauben hohe Kräfte in Richtung ihrer Achse übertragen. Daher werden selbstbohrende Holzschrauben in auf Querzug- und auf Querdruck beanspruchten Bauteilen vorwiegend rechtwinklig zur Holzfaserrichtung eingedreht und somit in Richtung ihrer Achse auf Herausziehen bzw. Hineindrücken beansprucht. In E DIN 1052, Abschnitt 12.8.2 sind für auf Herausziehen beanspruchte Holzschrauben Bemessungsgleichungen angegeben. Diese gelten für eine Beanspruchung parallel zur Schraubenachse sowie für Einschraubwinkel zwischen Faserrichtung des Holzes und der Schraubenachse von  $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ . Mit am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Universität Karlsruhe) durchgeführten Versuchen zur Bestimmung des axialen Ausziehwerstandes sowie des Widerstandes gegen Hineindrücken konnte gezeigt werden, dass der Widerstand gegen Hineindrücken von Schrauben ins Holz dem axialen Ausziehwerstand entspricht.

Der charakteristische Wert des Ausziehwerstandes sowie des Widerstandes gegen Hineindrücken ist in erster Linie vom charakteristischen Wert des Ausziehpa-

rameters (**Tabelle 1**) und somit insbesondere von der Tragfähigkeitsklasse (TFK) und vom charakteristischen Wert der Rohdichte des Holzes abhängig.

**Tabelle 1:** Charakteristische Werte des Ausziehparameters bzw. des Kopfdurchziehparameters

| Ausziehparameter  |                                   | Kopfdurchziehparameter |                                    |
|---|-----------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Tragfähigkeitsklasse  | $f_{1,k}$ in $\text{N/mm}^2$      | Tragfähigkeitsklasse   | $f_{2,k}$ in $\text{N/mm}^2$       |
| 1   | $60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$ | A                      | $60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$  |
| 2   | $70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$ | B                      | $80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$  |
| 3   | $80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$ | C                      | $100 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$ |
| Charakteristische Rohdichte $\rho_k$ in $\text{kg/m}^3$ , jedoch höchstens $500 \text{ kg/m}^3$ |                                   |                        |                                    |

Der charakteristische Wert der Zugtragfähigkeit ist von der Zugfestigkeit der Schraube abhängig. Für bauaufsichtlich zugelassene selbstbohrende Holzschrauben sind die Werte des Ausziehparameters bzw. der Tragfähigkeitsklasse sowie der Zugtragfähigkeit der entsprechenden Zulassung zu entnehmen. Für genormte Holzschrauben sind die Hinweise in E DIN 1052, Abschnitt 12.8.2 zu beachten.

Der charakteristische Wert des Ausziehwiderstandes bzw. des Widerstandes gegen Hineindrücken von Holzschrauben, die unter einem Winkel  $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$  zur Faserrichtung in das Holz eingeschraubt werden, darf somit wie folgt berechnet werden:

$$R_{ax,\alpha,k} = \min \left\{ \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cdot \cos^2 \alpha}, R_{t,u,k} \right\} \quad (1)$$

und  $45 \leq \alpha \leq 90^\circ$

Hierin bedeuten:

$R_{t,u,k}$  charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit der Schraube (gilt nur für auf Herausziehen beanspruchte Schrauben)

$f_{1,k}$  charakteristischer Wert des Ausziehparameters in  $\text{N/mm}^2$  nach **Tabelle 1**

$d$  Nenndurchmesser

$l_{ef}$  kleinerer Wert der Gewindelänge im Holzteil 1 bzw. 2

$\alpha$  Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung

Für Verbindungen mit axial beanspruchten selbstbohrenden Holzschrauben werden folgende Mindestabstände empfohlen (**Bild 2**). Diese Mindestabstände gelten ebenfalls für geneigt angeordnete, vorwiegend axial beanspruchte selbstbohrende Holzschrauben (**Bild 3**).

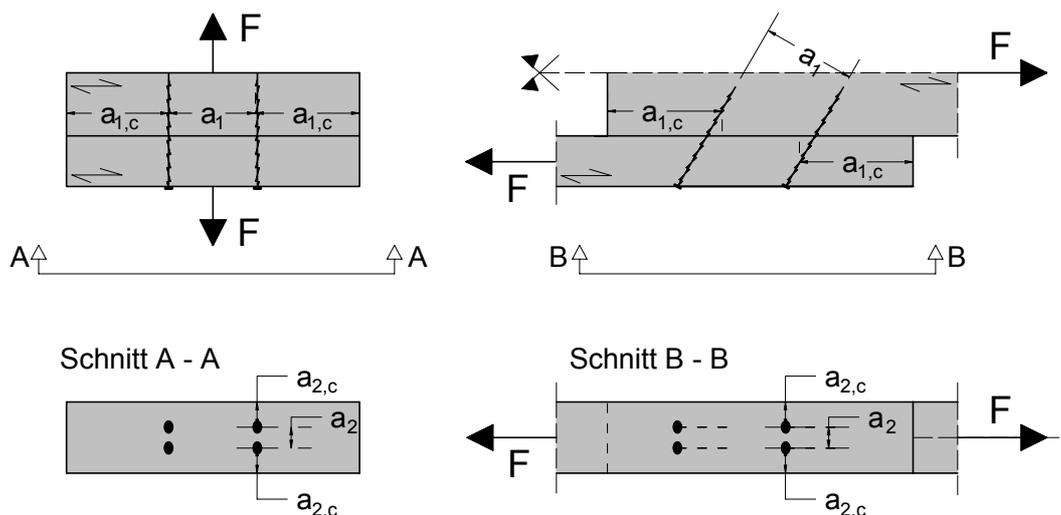
$a_1$  Achsabstand der Schrauben untereinander in einer Ebene parallel zur Faserrichtung:  
 $a_1 \geq 5 \cdot d$

$a_2$  Achsabstand der Schrauben untereinander rechtwinklig zu einer Ebene parallel zur Faserrichtung:  
 $a_2 \geq 2,5 \cdot d$

zusätzlich gilt:  
 $a_1 \cdot a_2 \geq 25 \cdot d^2$

$a_{1,c}$  Abstand des Schwerpunktes des im Holz eingedrehten Schaftteils von der Hirnholzfläche (parallel zur Faser):  
 $a_{1,c} \geq 5 \cdot d$

$a_{2,c}$  Abstand des Schwerpunktes des im Holz eingedrehten Schaftteils von der Seitenholzfläche (rechtwinklig zur Faser):  
 $a_{2,c} \geq 4 \cdot d$



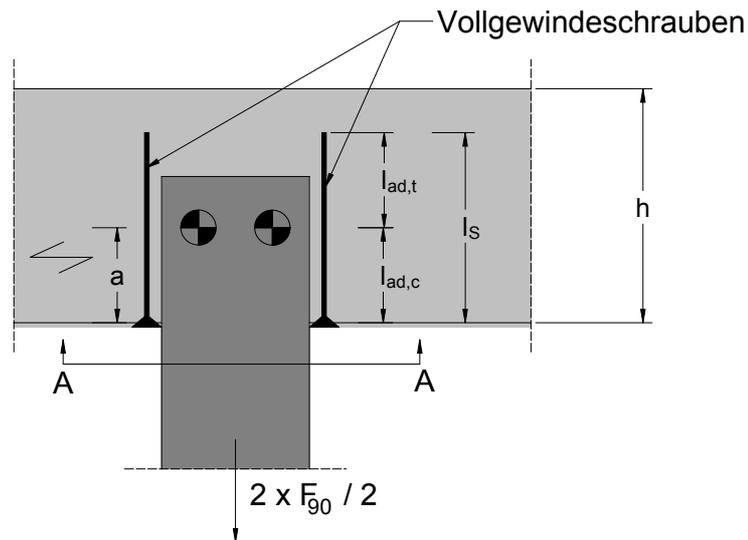
**Bild 2 (links) und 3 (rechts):** Mindestabstände von vorwiegend axial beanspruchten selbstbohrenden Holzschrauben

### 3 Querzugverstärkungen mit selbstbohrenden Holzschrauben

#### 3.1 Verstärkte Queranschlüsse

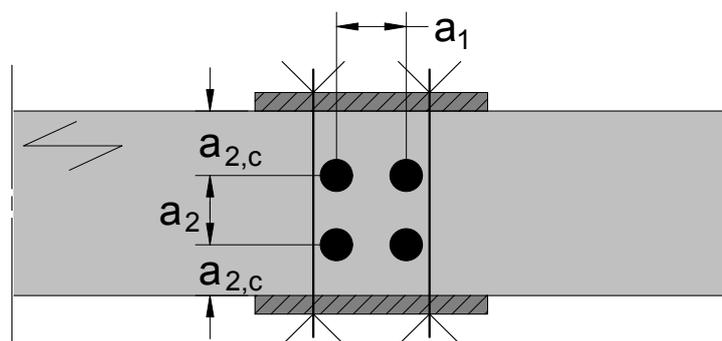
Für durch eine Krafteinleitung rechtwinklig zur Holzfaserrichtung beanspruchte unverstärkte Bauteile mit Rechteckquerschnitt dürfen die dadurch verursachten Querzugspannungen nach E DIN 1052, Abschnitt 11.1.5 berechnet werden. Werden Queranschlüsse durch rechtwinklig zur Holzfaserrichtung eingedrehte selbstbohrende Holzschrauben verstärkt (**Bild 4**), ist der Nachweis der Verstärkungselemente nach E DIN 1052, Abschnitt 11.4.2 zu führen. Dieser Nachweis basiert

auf der Annahme einer gerissenen Zugzone im Holz und somit auf der Übertragung der Kraftkomponente rechtwinklig zur Holzfaser allein durch die Verstärkungselemente. Daher kann bei nicht ausreichend verstärkten Queranschlüssen der Bemessungswert der Tragfähigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes  $R_{90,d}$  nach Abschnitt 11.4.2 kleiner sein als derjenige für unverstärkte Queranschlüsse. Für diesen Fall darf der Bemessungswert  $R_{90,d}$  wie für unverstärkte Queranschlüsse ermittelt werden.



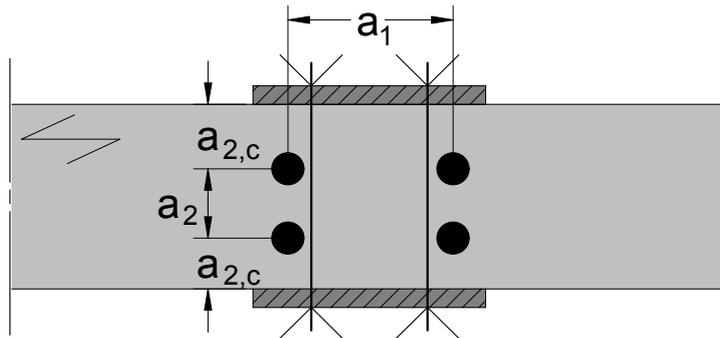
**Bild 4:** Queranschluss

Können die Mindestabstände  $a_1$  und  $a_2$  eingehalten werden, sollten die Verstärkungsschrauben zwischen die Verbindungsmittel des Queranschlusses rechtwinklig zur Holzfaserrichtung sowie rechtwinklig zu den Verbindungsmitteln des Queranschlusses angeordnet werden (**Bild 5**).



**Bild 5:** Schrauben mittig zwischen den Verbindungsmitteln des Queranschlusses (Schnitt A - A)

Anderenfalls können die Schrauben nur von außen (**Bild 6**) dicht an die Verbindungsmittel des Queranschlusses oder aber sowohl zwischen den Verbindungsmitteln als auch außerhalb eingedreht werden.



**Bild 6:** Schrauben außerhalb der Verbindungsmittel des Queranschlusses (Schnitt A - A)

Beispiel:

Als Beispiel wird ein verstärkter Queranschluss nach E DIN 1052 berechnet. An einen Träger aus Vollholz der Festigkeitsklasse C 24 mit einem Querschnitt  $h \times b = 160 \times 80 \text{ mm}$  werden zwei außenliegende Stahlbleche mit Hilfe von zwei nebeneinander liegenden Bolzen ( $d_B = 16 \text{ mm}$ ) angeschlossen. Der Abstand der Bolzen von beanspruchten Rand beträgt  $a = 60 \text{ mm}$ . Der Abstand der Bolzen untereinander in Faserrichtung beträgt  $a_f = 64 \text{ mm}$ . Der Queranschluss wird mit Hilfe von vier rechtwinklig zur Holzfaserrichtung eingedrehten Vollgewindeschrauben  $6,0 \times 120 \text{ mm}$  verstärkt. Die Anordnung der Vollgewindeschrauben entspricht der Schraubenanordnung in **Bild 5**. Das Gewinde der Vollgewindeschraube entspricht der Tragfähigkeitsklasse 2.

weitere Angaben:

NKL 2; KLED "kurz"  $\Rightarrow k_{\text{mod}} = 0,90$

für Gewinde entsprechend der Tragfähigkeitsklasse 2 gilt:

$$f_{1,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 8,58 \text{ N/mm}^2$$

für C 24 ist  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$

$$l_{\text{ef}} = \min \{ l_{\text{ad,c}} ; l_{\text{ad,t}} \} = 60 \text{ mm}$$

$$R_{\text{ax,k}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{\text{ef}}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cdot \cos^2 \alpha} \\ f_{2,k} \cdot d_k^2 \end{array} \right\}$$

$$R_{\text{ax,k}} = 3089 \text{ N}$$

Kopfdurchziehen ( $f_{2,k} d_k^2$ ) ist bei Vollgewindeschrauben nicht maßgebend.

sowie für die Zugfestigkeit der Vollgewindeschraube:

$$R_{ax,k} = 75 \cdot \pi \cdot (0,9 \cdot d)^2 = 6871 \text{ N}$$

$$R_{ax,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot R_{ax,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 6871 \text{ N} = 4714 \text{ N}$$

$$F_{t,90,d} \leq R_{ax,d}$$

somit gilt:

$$n \cdot R_{ax,d} \leq [1 - 3 \cdot \alpha^2 + 2 \cdot \alpha^3] \cdot F_{90,d}$$

mit  $\alpha = a / h$  sowie  $n = 4$  Schrauben folgt:

$$F_{90,d} \leq 12,5 \text{ kN}$$

Zum Vergleich kann der Bemessungswert der Kraftkomponente rechtwinklig zur Holzfaserrichtung  $F_{90,d}$  für einen identischen unverstärkten Queranschluss nach E DIN 1052, Abschnitt 11.1.5 zu  $F_{90,d} \leq 6,32 \text{ kN}$  berechnet werden.

Mindestabstände:

Bolzen:

$$a_{1,c,vorh} = 64 \text{ mm} \geq a_{1,c,erf} = 4 d_B$$

Vollgewindeschrauben:

Überprüfen, ob eine Anordnung zwischen den Bolzen möglich ist:

$$a_{1,max} = a_r - d_B - d = (64 - 16 - 6) \text{ mm}$$

$$a_{1,max} = 42 \text{ mm}$$

gewählt:  $d = 6 \text{ mm}$

$$a_{1,vorh} = 40 \text{ mm} \geq a_{1,erf} = 5 d$$

$$a_{2,vorh} = 30 \text{ mm} \geq a_{2,erf} = 2,5 d$$

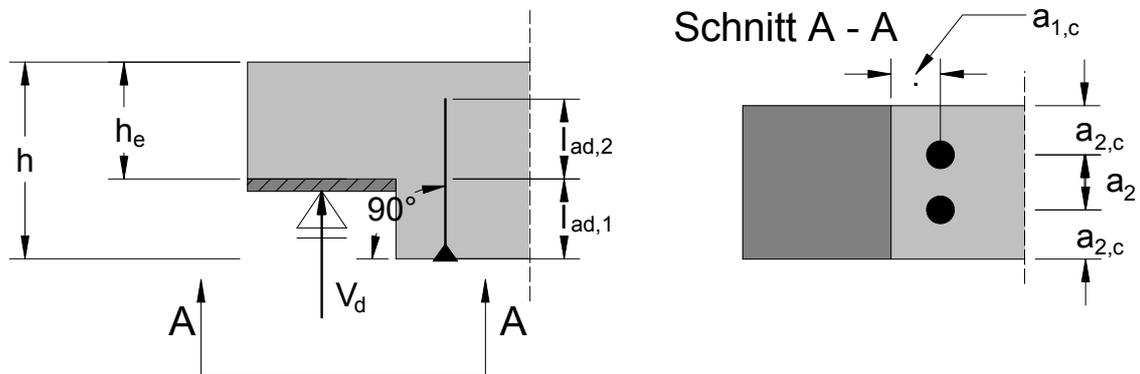
$$a_{2,c,vorh} = 25 \text{ mm} \geq a_{2,c,erf} = 4 d$$

$$a_1 a_2 = 40 \cdot 30 \text{ mm}^2 \geq 25 d^2$$

### 3.2 Verstärkte ausgeklinkte Trägersauflager

Bei unverstärkten Trägern mit Rechteckquerschnitt, die an den Enden ausgeklinkt sind, ist der Schubspannungsnachweis mit der Resthöhe  $h_e$  nach E DIN 1052, Abschnitt 11.2 zu führen. Für verstärkte ausgeklinkte Träger (**Bild 7**) gilt Abschnitt 11.4.3 der E DIN 1052. Bei nicht ausreichend verstärkten ausgeklinkten Trägersauflagern kann der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft  $V_d$  nach Abschnitt 11.4.3 kleiner sein als der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft für unverstärkte ausgeklinkte Trägersauflager. Für diesen Fall darf der Nachweis

der ausgeklinkten Ecke wie für unverstärkte ausgeklinkte Trägerauflager nach Abschnitt 11.2 geführt werden.



**Bild 7:** Ausklinkung

Die Verstärkungselemente sind stets unter  $90^\circ$  zur Holzfaserrichtung mit dem kleinst möglichen Abstand  $a_{1,c}$  zur Ausklinkungsecke in die Träger einzudrehen. Weiterhin darf in Trägerlängsrichtung nur eine selbstbohrende Holzschraube in Rechnung gestellt werden. Der Bemessungswert der Zugkraft  $F_{t,90,d}$  rechtwinklig zur Holzfaser muss kleiner sein als der Bemessungswert der axialen Tragfähigkeit der Schrauben. Für die Ermittlung der axialen Ausziehtragfähigkeit nach Abschnitt 12.8.2 der E DIN 1052 ist der kleinere Wert der Gewindelänge  $l_{ad} = \min \{ l_{ad,1} ; l_{ad,2} \}$  anzunehmen.

Beispiel:

Als Beispiel wird eine verstärkte rechteckige Ausklinkung am Ende eines Trägers aus BSH der Festigkeitsklasse BS 28c nach E DIN 1052 berechnet. Die Trägerhöhe beträgt  $h = 300$  mm, die Trägerbreite  $b = 80$  mm. Die Resthöhe am ausgeklinkten Auflager beträgt  $h_e = 150$  mm.

Die Ausklinkung wird mit Hilfe einer rechtwinklig zur Holzfaserrichtung eingedrehten Vollgewindeschraube  $8,0 \times 240$  mm verstärkt. Die Anordnung der Vollgewindeschraube entspricht der Schraubenanordnung in **Bild 7**. Das Gewinde der Vollgewindeschraube entspricht der Tragfähigkeitsklasse 2.

weitere Angaben:

NKL 2; KLED "kurz"  $\Rightarrow k_{mod} = 0,90$

Steigungswinkel des Anschnitts:

$$\varepsilon = 90^\circ$$

Abstand zwischen Kraftwirkungslinie der Auflagerkraft und Ausklinkungsecke:  $c = 50$  mm

für Gewinde entsprechend der Tragfähigkeitsklasse 2 gilt:

$$f_{1,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 11,8 \text{ N/mm}^2$$

für BS 28h ist  $\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$

$$l_{ad,1} = h - h_e = 150 \text{ mm}$$

$$l_{ad,2} = l_S - l_{ad,1} = 90 \text{ mm}$$

$$l_{ef} = \min \{ l_{ad,1}; l_{ad,2} \} = 90 \text{ mm}$$

$$R_{ax,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cdot \cos^2 \alpha} \\ f_{2,k} \cdot d_k^2 \end{array} \right\}$$

$$R_{ax,k} = 8496 \text{ N}$$

Kopfdurchziehen ( $f_{2,k} d_k^2$ ) ist bei Vollgewindeschrauben nicht maßgebend.

sowie für die Zugfestigkeit der Vollgewindeschraube:

$$R_{ax,k} = 75 \cdot \pi \cdot (0,9 \cdot d)^2 = 12,2 \text{ kN}$$

$$R_{ax,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot R_{ax,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 8,50 \text{ kN} = 5,89 \text{ kN}$$

$$F_{t,90,d} \leq R_{ax,d}$$

somit gilt:

$$n \cdot R_{ax,d} \leq 1,3 \cdot V_d \cdot [3 \cdot (1-\alpha)^2 - 2 \cdot (1-\alpha)^3]$$

mit  $\alpha = h_e / h$  sowie  $n = 1$  Schraube folgt:

$$V_d \leq 9,06 \text{ kN}$$

Zum Vergleich kann der Bemessungswert der Querkraft  $V_d$  für eine identische unverstärkte Ausklinkung nach E DIN 1052, Abschnitt 11.2 zu  $V_d \leq 10,7 \text{ kN}$  berechnet werden.

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft für die unverstärkte Ausklinkung ist größer als derjenige für eine mit einer Vollgewindeschraube  $8 \times 240 \text{ mm}$  verstärkte Ausklinkung. Entweder kann für die aufnehmbare Querkraft  $V_d$  der nach Abschnitt 11.2 berechnete Wert  $V_d = 10,7 \text{ kN}$  angenommen werden oder der Verstärkungsgrad ist zu erhöhen.

Neuwahl der Verstärkung:

Vollgewindeschraube:  $10 \times 300 \text{ mm}$

Mindestabstände:

$$a_{2,c,vorh} = 40 \text{ mm} \geq a_{2,c,erf} = 4 \cdot d$$

$$a_{1,c,vorh} = 50 \text{ mm} \geq a_{2,c,erf} = 5 \cdot d$$

$$l_{ad,1} = h - h_e = 150 \text{ mm}$$

$$l_{ad,2} = l_s - l_{ad,1} = 150 \text{ mm}$$

$$l_{ef} = \min \{ l_{ad,1} ; l_{ad,2} \} = 150 \text{ mm}$$

$$R_{ax,k} = \min \left\{ \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cdot \cos^2 \alpha} ; f_{2,k} \cdot d_k^2 \right\}$$

$$R_{ax,k} = 17700 \text{ N}$$

Kopfdurchziehen ( $f_{2,k} d_k^2$ ) ist nicht maßgebend.

sowie für die Zugfestigkeit der Vollgewindeschraube:

$$R_{ax,k} = 75 \cdot \pi \cdot (0,9 \cdot d)^2 = 19,1 \text{ kN}$$

$$R_{ax,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot R_{ax,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 19,1 \text{ kN} = 13,2 \text{ kN}$$

$$F_{t,90,d} \leq R_{ax,d}$$

somit gilt:

$$n \cdot R_{ax,d} \leq 1,3 \cdot V_d \cdot [3 \cdot (1 - \alpha)^2 - 2 \cdot (1 - \alpha)^3]$$

mit  $\alpha = h_e / h$  sowie  $n = 1$  Schraube folgt für die aufnehmbare Querkraft:

$$V_d \leq 20,3 \text{ kN}$$

Zusätzlich muss der Nachweis der Schubspannung im reduzierten Querschnitt mit der Trägerhöhe  $h_e$  geführt werden.

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 3,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 2,42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

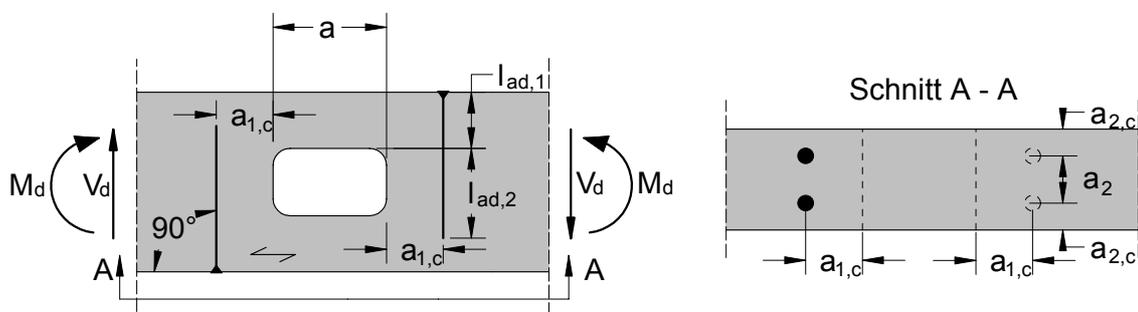
$$V_d = \frac{2}{3} \cdot h_e \cdot b \cdot f_{v,d} = 19,4 \text{ kN}$$

### 3.3 Verstärkte Trägerdurchbrüche

Durchbrüche in Trägern mit Rechteckquerschnitt sind runde bzw. rechteckige Öffnungen mit den lichten Maßen  $d > 50 \text{ mm}$ . Bei Trägerdurchbrüchen mit einer Beanspruchung infolge der Querkraft  $V_d$  und des Biegemomentes  $M_d$  entsteht eine Zugkraft  $F_{t,90,d}$  rechtwinklig zur Holzfaser. Der Nachweis für den Bemessungswert dieser Zugkraft rechtwinklig zur Holzfaser kann nach Abschnitt 11.3 der E DIN

1052 geführt werden. Für mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben verstärkte Trägerdurchbrüche (**Bild 8**) gilt Abschnitt 11.4.4. Hierbei ist die Zugkraft  $F_{t,90,d}$  bei rechteckigen Durchbrüchen in der Höhe der querzugbeanspruchten Durchbruchsecke, bei kreisförmigen Durchbrüchen in der Höhe des querzugbeanspruchten Durchbruchrandes unter  $45^\circ$  zur Trägerachse vom Kreismittelpunkt angenommen durch selbstbohrende Vollgewindeschrauben aufzunehmen.

Bei nicht ausreichend verstärkten Trägerdurchbrüchen kann die aufnehmbare Zugkraft  $F_{t,90,d}$  rechtwinklig zur Holzfaser kleiner sein als die aufnehmbare Zugkraft  $F_{t,90,d}$  für unverstärkte Trägerdurchbrüche. Für diesen Fall darf analog zum Vorgehen bei Queranschlüssen und ausgeklinkten Trägersäulen der Nachweis für verstärkte Trägerdurchbrüche wie für unverstärkte Trägerdurchbrüche nach Abschnitt 11.4.4 geführt werden.



**Bild 8:** Trägerdurchbruch

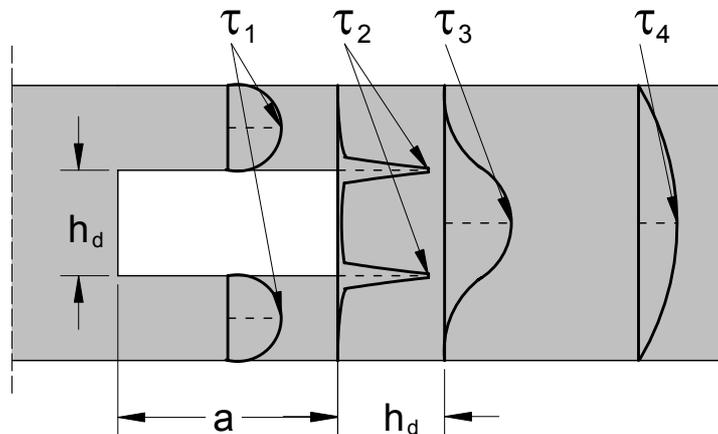
Für verstärkte Trägerdurchbrüche sind die Schrauben mit dem kleinst möglichen Abstand  $a_{1,c}$  zum Durchbruchrand rechtwinklig zur Holzfaserorientierung einzudrehen. Für den Nachweis nach Abschnitt 11.4.4 darf je Durchbruchseite in Trägerlängsrichtung nur eine Schraube in Rechnung gestellt werden.

Der Bemessungswert der Zugkraft  $F_{t,90,d}$  rechtwinklig zur Holzfaser muss kleiner sein als der Bemessungswert der axialen Tragfähigkeit der Schrauben. Für die Ermittlung der axialen Tragfähigkeit nach Abschnitt 12.8.2 der E DIN 1052 ist der kleinere Wert der Gewindelänge  $l_{ad} = \min \{ l_{ad,1} ; l_{ad,2} \}$  anzunehmen.

Zusätzlich zu der Berechnung von unverstärkten sowie verstärkten Trägerdurchbrüchen nach E DIN 1052, Abschnitt 11.3 und 11.4.4 ist nach [1] ein Schubspannungsnachweis mit erhöhten Werten der Schubspannung in der Nähe eines Durchbruches zu führen.

Infolge der Umleitung des Schubflusses treten bei Trägern mit rechteckigen bzw. runden Durchbrüchen an den Durchbruchsecken sowie in einem zur Holzfaser parallelen Abstand zum Durchbruchrand von etwa der Durchbruchhöhe  $h_d$  erhöhte Schubspannungen auf. In Abhängigkeit von der Durchbruchlänge  $a$  und der Durchbruchhöhe  $h_d$  können die an diesen Stellen auftretenden Schubspannung

um bis zu drei mal höhere Werte annehmen als die Schubspannungen im Restquerschnitt oberhalb bzw. unterhalb des Durchbruches. In **Bild 9** sind die Schubspannungsverläufe über den Querschnitt an den vier maßgebenden Stellen eines Trägers mit Durchbruch qualitativ dargestellt.



**Bild 9:** Schubspannungsverläufe

Für  $0,1 \leq a/h \leq 1,0$  und  $0,1 \leq h_d/h \leq 0,4$  gilt bei konstanter Querkraft für die maximalen Werte der Schubspannungen:

$$\tau_2 > \tau_3 > \tau_1 > \tau_4$$

Der Höchstwert der Schubspannung kann nach [1] wie folgt ermittelt werden:

$$\tau_{\max} = \kappa_{\max} \cdot 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot (h - h_d)} \quad \text{mit} \quad \kappa_{\max} = 1,84 \cdot \left[ 1 + \frac{a}{h} \right] \cdot \left( \frac{h_d}{h} \right)^{0,2} \quad (2)$$

mit  $0,1 \leq a/h \leq 1,0$  und  $0,1 \leq h_d/h \leq 0,4$

Beispiel:

Als Beispiel wird ein 2000 mm langer Einfeldträger aus BSH der Festigkeitsklasse BS 28h (Trägerquerschnitt  $h \times b = 200 \times 80 \text{ mm}^2$ ) mit einer Einzellast  $2 V_d$  in Trägermitte sowie einem verstärkten rechteckigen Durchbruch nach E DIN 1052 betrachtet. Der Durchbruch mit einer Durchbruchshöhe  $h_d = 60 \text{ mm}$  sowie einer Durchbruchlänge  $a = 100 \text{ mm}$  wird in einem Abstand  $l_v = 200 \text{ mm}$  zum Auflager angeordnet. Als Verstärkungselemente werden jeweils zwei Vollgewindeschrauben  $6 \times 120 \text{ mm}$  links und rechts vom Durchbruch nebeneinander vorgesehen.

Die Anordnung der Vollgewindeschrauben entspricht dem Schraubenbild in **Bild 8**. Das Gewinde der Vollgewindeschraube entspricht der Tragfähigkeitsklasse 2.

weitere Angaben:

NKL 2; KLED "kurz"  $\Rightarrow k_{\text{mod}} = 0,90$

für Gewinde entsprechend der Tragfähigkeitsklasse 2 gilt:

$$f_{1,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 11,8 \text{ N/mm}^2$$

für BS 28h ist  $\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$

$$l_{ad,1} = h_r = 70 \text{ mm}$$

$$l_{ad,2} = l_s - l_{ad,1} = 50 \text{ mm}$$

$$l_{ef} = \min \{ l_{ad,1}; l_{ad,2} \} = 50 \text{ mm}$$

$$R_{ax,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cdot \cos^2 \alpha} \\ f_{2,k} \cdot d_k^2 \end{array} \right\}$$

$$R_{ax,k} = 3540 \text{ N}$$

$$R_{ax,k} = 75 \cdot \pi \cdot (0,9 \cdot d)^2 = 6,87 \text{ kN}$$

$$R_{ax,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot R_{ax,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 3,54 \text{ kN} = 2,45 \text{ kN}$$

$$F_{t,90,d} \leq R_{ax,d}$$

somit gilt:

$$\frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[ 3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right] + 0,008 \cdot \frac{l_x \cdot V_d}{h_r} \leq n \cdot R_{ax,d}$$

mit  $h_d / h = 0,3$ ;  $a / h = 0,5$ ;  $h_r = 70 \text{ mm}$ ;  $l_x = l_v + a = 300 \text{ mm}$  sowie  $n = 2$  Schrauben folgt:

$$V_d \leq 19,4 \text{ kN}$$

Zum Vergleich kann der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft  $V_d$  für einen identischen unverstärkten Trägerdurchbruch nach E DIN 1052, Abschnitt 11.3 zu  $V_d \leq 7,13 \text{ kN}$  berechnet werden.

Weitere Nachweise:

Biegespannungsnachweis in Trägermitte:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 19,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_d \leq \frac{b \cdot h^2}{6 \cdot 1000 \text{ mm}} \cdot f_{m,d} = 10,3 \text{ kN}$$

Biegespannungsnachweis am Trägerdurchbruch:

$$V_d \leq \frac{2 \cdot I_{Netto}}{h \cdot l_x} \cdot f_{m,d}$$

$$I_{\text{Netto}} = 2 \cdot \left[ \frac{b \cdot h_r^3}{12} + b \cdot h_r \cdot \left( \frac{h_d}{2} + \frac{h_r}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_{\text{Netto}} = 5,1893 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$V_d \leq 33,6 \text{ kN}$$

Schubspannungsnachweis am Trägerdurchbruch nach Gleichung (2):

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 3,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 2,42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\kappa_{\text{max}} = 1,84 \cdot \left[ 1 + \frac{a}{h} \right] \cdot \left( \frac{h_d}{h} \right)^{0,2} = 2,17$$

$$V_d \leq \frac{2}{3} \cdot \frac{b \cdot (h - h_d)}{\kappa_{\text{max}}} \cdot f_{v,d} = 8,34 \text{ kN}$$

⇒ Für den verstärkten Trägerdurchbruch ist der Nachweis der Schubspannung in der Nähe des Trägerdurchbruchs nach Gleichung (2) maßgebend.

Damit hätte auch eine Schraube pro Seite genügt.

Mindestabstände:

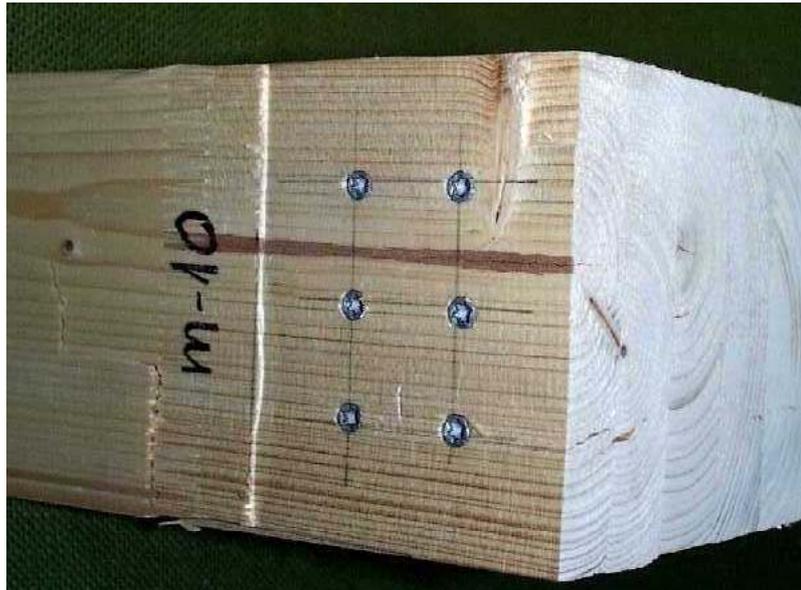
$$a_{2,c,\text{vorh}} = 30 \text{ mm} \geq a_{2,c,\text{erf}} = 4 d$$

$$a_{2,\text{vorh}} = 20 \text{ mm} \geq a_{2,\text{erf}} = 2,5 d$$

$$a_{1,c,\text{vorh}} = 30 \text{ mm} \geq a_{2,c,\text{erf}} = 5 d$$

#### 4 Querdruckverstärkungen mit selbstbohrenden Holzschrauben

Bei unverstärkten Trägersauflagern ist der Nachweis der Druckspannung rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes nach E DIN 1052, Abschnitt 10.2.4 zu führen. Hierbei ist nachzuweisen, dass der Bemessungswert der wirksamen Druckspannung rechtwinklig zur Holzfaser  $\sigma_{c,90,d}$  kleiner ist als der Bemessungswert der Querdruckfestigkeit unter Berücksichtigung der Teilflächenpressung  $k_{c,90} f_{c,90,d}$ . Kann der Nachweis der Auflagerpressung nicht eingehalten werden, besteht die Möglichkeit, Auflager mit rechtwinklig zur Holzfaserrichtung eingedrehten Vollgewindeschrauben zu verstärken (**siehe Bild 10**).



**Bild 10:** Auflager eines BSH-Trägers mit sechs Vollgewindeschrauben

Hierbei werden selbstbohrende Vollgewindeschrauben an der Stelle des querdruckbeanspruchten Trägerauflagers rechtwinklig zur Holzfaserrichtung eingedreht, so dass die Oberkante des Schraubenkopfes bündig mit der Holzoberfläche ist. Damit die Auflagerlast gleichmäßig über die Schrauben sowie über die Holzoberfläche ins Holz eingeleitet werden kann, sind die Schrauben gleichmäßig über die Auflagerfläche zu verteilen.

Die Tragfähigkeit eines mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben verstärkten Trägerauflagers ist von der Auflagerfläche und den Holzeigenschaften und insbesondere von der Geometrie und den Materialeigenschaften der Vollgewindeschrauben abhängig. In Abhängigkeit von diesen Parametern können beim Erreichen der Tragfähigkeit eines mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben verstärkten Trägerauflagers folgende drei Versagensmechanismen auftreten:

- 1) Unter der Annahme einer Lastausbreitung unter  $45^\circ$  wird die Querdruckfestigkeit des Holzes oberhalb der Schraubenspitze erreicht. Dieser Versagensmechanismus kann insbesondere dann auftreten, wenn bei kleinen Auflagerflächen zu kurze Schrauben als Verstärkungselemente eingebaut werden.
- 2) Unter der Annahme eines Zusammenwirkens des Holzes auf Querdruck und der Schrauben auf Hineindrücken werden die Schrauben ins Holz hineingedrückt. Dieser Versagensmechanismus kann ebenfalls bei zu kurzen Schrauben als Auflagerverstärkung auftreten.
- 3) Unter der Annahme eines Zusammenwirkens des Holzes auf Querdruck und der Schrauben auf Hineindrücken knicken die Schrauben im Holz aus. Dieses Stabilitätsversagen tritt nur bei schlanken Schrauben auf. Hierbei können mit steigender Schraubenlänge die Traglasten nicht mehr gesteigert werden.

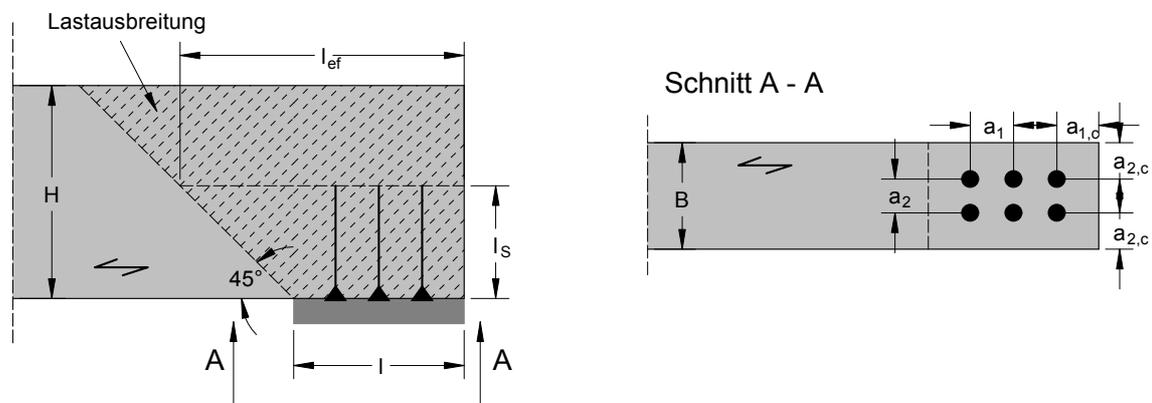
Für den Nachweis der Tragfähigkeit eines mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben verstärkten Trägersauflagers sind somit folgende Bedingungen einzuhalten:

Nachweis der Auflagerkraft  $F_{c,90}$  unter der Annahme eines Zusammenwirkens der Schrauben auf Hineindrücken und des Holzes auf Querdruck:

$$F_{c,90,d} \leq n \cdot R_d + k_{c,90} \cdot A_{ef,1} \cdot f_{c,90,d} \quad \text{mit} \quad A_{ef,1} = B \cdot l_{ef,1} \quad (3)$$

Nachweis der Druckspannung rechtwinklig zur Holzfaser oberhalb der Schraubenspitze unter der Annahme einer Lastausbreitung unter  $45^\circ$  (siehe Bild 11):

$$\frac{F_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot A_{ef,2}} \leq f_{c,90,d} \quad \text{mit} \quad A_{ef,2} = B \cdot l_{ef,2} = B \cdot (l_{ef,1} + l_s) \quad (4)$$



**Bild 11:** verstärktes Auflager

Hierin bedeuten:

- $F_{c,90,d}$  Bemessungswert der Auflagerkraft rechtwinklig zur Holzfaser
- $n$  Anzahl der Schrauben
- $k_{c,90}$  Beiwert zur Berücksichtigung der Teilflächenpressung (E DIN 1052, Abschnitt 10.2.4)
- $f_{c,90,d}$  Bemessungswert der Querdruckfestigkeit
- $B$  Auflagerbreite
- $l_{ef}$  Auflagerlänge parallel zur Holzfaser. Für die Ermittlung der wirksamen Querdruckfläche  $A_{ef,1}$  und  $A_{ef,2}$  darf die Auflagerlänge  $l$  an jedem Rand um bis zu  $\Delta l = \min \{ l; 30 \text{ mm} \}$  verlängert werden.
- $l_s$  Länge der Vollgewindeschraube bzw. die Gewindelänge
- $R_d$  Bemessungswert der axialen Schraubentragfähigkeit

Der Bemessungswert der axialen Schraubentragfähigkeit  $R_d$  ist der kleinere Wert aus dem axialen Widerstand der Schraube auf Hineindrücken  $R_{ax,d}$  und der Grenztragfähigkeit beim Ausknicken der Schraube im Holz  $R_{c,d}$ .

Es gilt:

$$R_d = \min \{ R_{ax,d} ; R_{c,d} \} \quad (5)$$

mit

$R_{ax,d}$  nach E DIN 1052, Abschnitt 12.8.2

und

$$R_{c,d} = \kappa_c \cdot N_{pl,d}$$

Der Bemessungswert der Grenztragfähigkeit beim Ausknicken  $R_{c,d}$  ergibt sich aus dem charakteristischen Wert  $R_{c,k}$  und dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M = 1,1$ .

Für  $\kappa_c$  gilt:

$$\kappa_c = 1 \quad \text{für } \bar{\lambda}_k \leq 0,2$$

$$\kappa_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_k^2}} \quad \text{für } \bar{\lambda}_k > 0,2$$

mit

$$k = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,49 \cdot (\bar{\lambda}_k - 0,2) + \bar{\lambda}_k^2 \right]$$

und einem bezogenen Schlankheitsgrad bei Druckbeanspruchung

$$\bar{\lambda}_k = \sqrt{\frac{N_{pl,k}}{N_{ki,G/E,k}}}$$

Hierin bedeuten:

$N_{pl,k}$  charakteristischer Wert der Normalkraft im vollplastischen Zustand bezogen auf den Schraubenkern mit:

$$N_{pl,k} = A_{Kern} \cdot f_{y,k} = \pi \cdot \frac{(0,7 \cdot d)^2}{4} \cdot f_{y,k}$$

Sofern nichts Anderes angegeben ist, darf  $f_{y,k}$  zu  $f_{y,k} = 400 \text{ N/mm}^2$  angenommen werden.

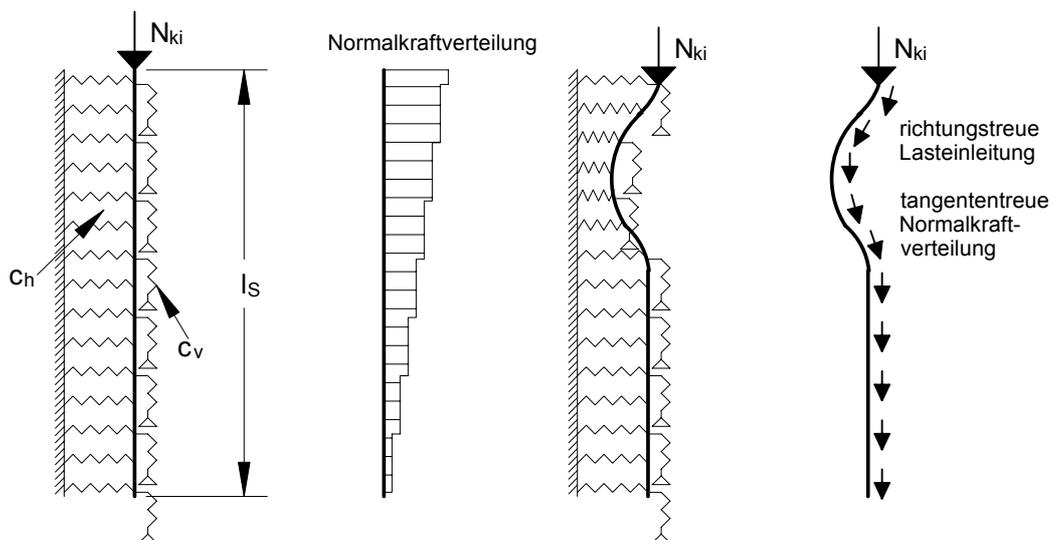
$d$  Schraubennendurchmesser

$N_{ki,G/E,k}$  charakteristischer Wert der kleinsten Verzweigungslast nach Elastizitätstheorie in Abhängigkeit vom Schraubennendurchmesser  $d$ , von der Schraubenlänge  $l_s$ , von der charakteristischen Rohdichte des Holzes  $\rho_k$  sowie von der Lagerungsart des Schraubenkopfes an

der Stelle der Lasteinleitung unter Berücksichtigung der elastischen Bettung des Holzes sowie einer dreieckförmigen Normalkraftverteilung in der Schraube.

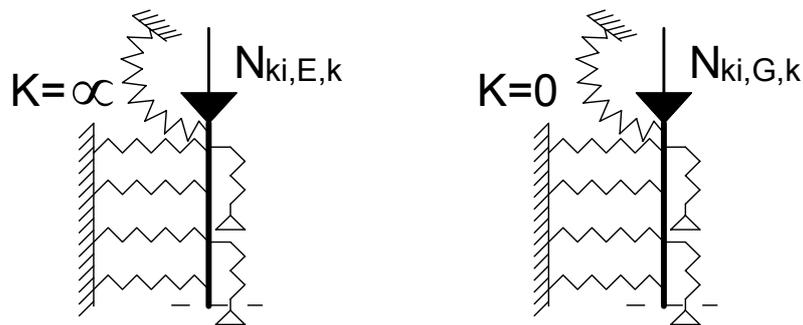
Die Mindestabstände  $a_1$ ,  $a_{1,c}$ ,  $a_2$  und  $a_{2,c}$  in **Bild 11** entsprechen den auf Herausziehen beanspruchten Schrauben (siehe Abschnitt 2).

Der charakteristische Wert der kleinsten Verzweigungslast  $N_{ki,G/E,k}$  nach Elastizitätstheorie kann entweder analytisch durch ein näherungsweise Lösen einer Differentialgleichung vierter Ordnung bzw. numerisch ermittelt werden. In **Bild 12** ist das angenommene System einer knickgefährdeten, selbstbohrenden Vollgewindeschraube als Auflagerverstärkung dargestellt. Hierbei ist  $c_h$  die elastische Bettung des Holzes und  $c_v$  die vertikale elastische Abstützung der Schraube beim Hineindrücken ins Holz. Der charakteristische Wert der elastischen Bettung des Holzes wurde aus 720 Versuchen zur Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit des Holzes am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Universität Karlsruhe) ermittelt und kann zu  $c_{h,k} = 0,32 \cdot \rho_k$  angenommen werden. Der charakteristische Wert der vertikalen elastischen Abstützung der Schraube beim Hineindrücken ins Holz kann zu  $c_{v,k} = 130 \text{ N/mm}^2$  angenommen werden. Da das Verhältnis der vertikalen elastischen Abstützung  $c_v$  zur Dehnsteifigkeit der Schraube  $E \cdot A_s$  sehr klein ist, kann die Normalkraft in der Schraube realitätstreu als stufenförmig sowie tangentialtreu bzw. für den Fall einer kontinuierlichen Abstützung als dreieckförmig sowie tangentialtreu verteilt angenommen werden. Darüber hinaus ist die Verzweigungslast nach Elastizitätstheorie von der Größe der vertikalen elastischen Abstützung  $c_v$  unabhängig. Die Verzweigungslast  $N_{ki,G/E,k}$  wurde bei der numerischen Berechnung als richtungstreu angenommen.

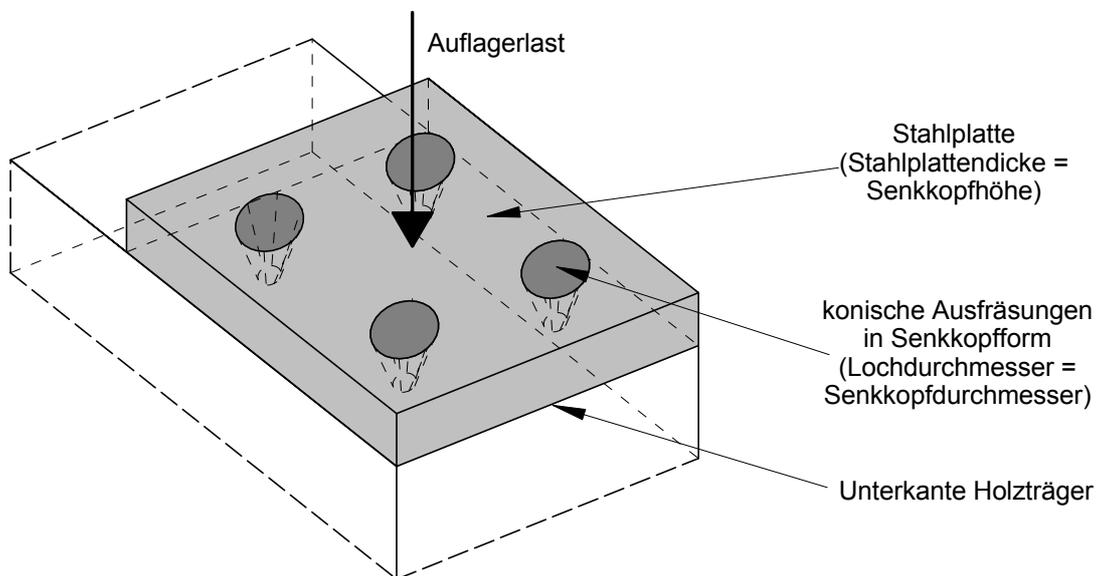


**Bild 12:** System einer knickgefährdeten schlanken Schraube als Auflagerverstärkung

Der charakteristische Wert der kleinsten Verzweigungslast  $N_{ki,G/E,k}$  sowie die Knickfigur sind weiterhin von der konstruktiven Ausführung der Stelle der Lasteinleitung am Auflager abhängig. Für den Fall der Ausführung einer Auflagerverstärkung mit Schrauben mit beliebigen Kopfformen ist für die Berechnung der kleinsten Verzweigungslast für die Drehfedersteifigkeit  $K$  an der Stelle der Lasteinleitung  $K = 0$  anzunehmen (**rechts in Bild 13**). Werden als Auflagerverstärkung Schrauben mit einer Senkkopfform sowie einer ausgefrästen Stahlplatte nach **Bild 14** verwendet, darf für die Berechnung der kleinsten Verzweigungslast die Drehfedersteifigkeit zu  $K = \infty$  angenommen werden (**links in Bild 13**).



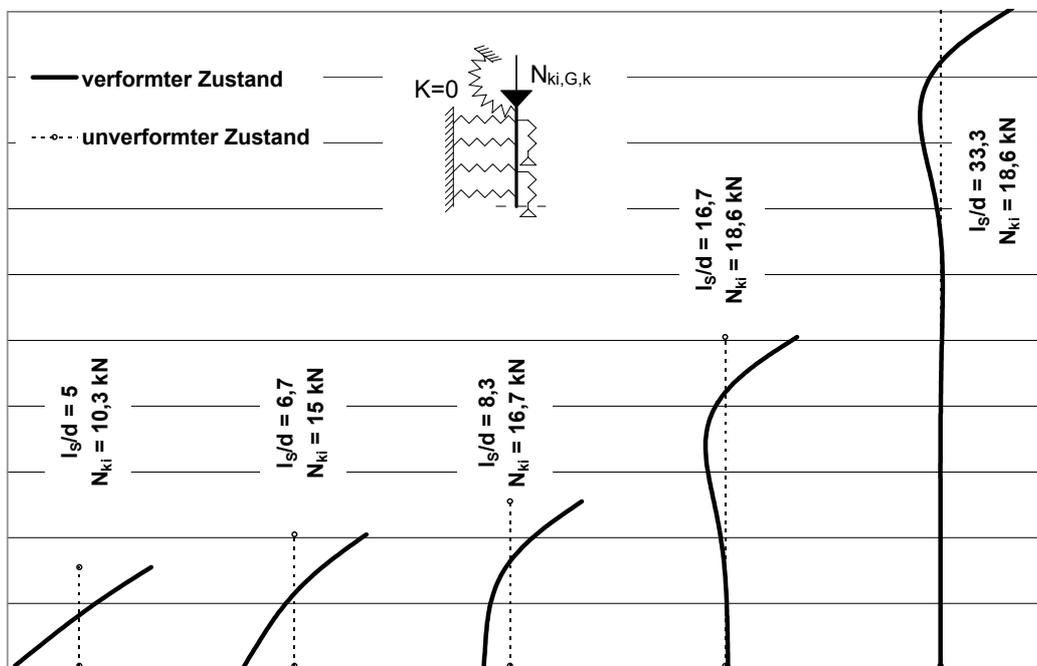
**Bild 13:** Lagerung der Lasteinleitungsstelle - links: Einspannung - rechts: Gelenk



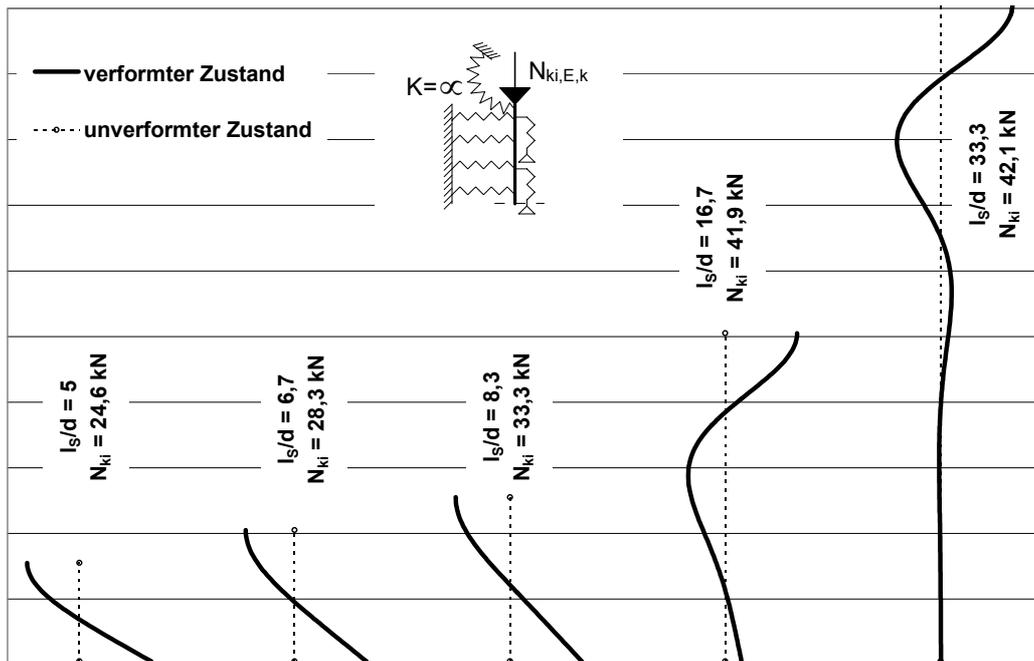
**Bild 14:** Konstruktive Ausführung eines verstärkten Trägersauflagers für  $K = \infty$   
 Auflagerverstärkungen mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben mit beliebigen Kopfformen ( $K = 0$ ) sind im Vergleich zu Auflagerverstärkungen mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben mit einer Senkkopfform sowie einer konisch ausgefrästen Stahlplatte nach **Bild 14** einfacher herzustellen. Allerdings sind bei gleichen Geometrie- und Materialeigenschaften der Schrauben die kleinsten Verzwei-

gungslasten  $N_{ki,G,k}$  für Vollgewindeschrauben mit beliebigen Kopfformen deutlich geringer als diejenigen Verzweigungslasten  $N_{ki,E,k}$  für Vollgewindeschrauben mit einer Senkkopfform sowie einer konisch ausgefrästen Stahlplatte.

In **Bild 15** sind für Knicksysteme mit einer Drehfedersteifigkeit  $K = 0$  an der Stelle der Lasteinleitung (gilt für Auflager mit Schrauben mit beliebigen Kopfformen) mit unterschiedlichen Verhältnissen von Schraubenlänge  $l_s$  zu Gewindeaußendurchmesser  $d$  die Knickfiguren sowie die kleinsten Verzweigungslasten  $N_{ki,G,k}$  nach Elastizitätstheorie dargestellt. Entsprechende Knickfiguren sowie Verzweigungslasten  $N_{ki,E,k}$  nach Elastizitätstheorie für Knicksysteme mit einer Drehfedersteifigkeit  $K = \infty$  an der Stelle der Lasteinleitung (gilt für Auflager mit Schrauben mit einer Senkkopfform sowie einer konisch ausgefrästen Stahlplatte) sind in **Bild 16** dargestellt.



**Bild 15:** Knickfiguren und Verzweigungslasten  $N_{ki,G,k}$  für  $K = 0$  (für  $\rho_k = 310 \text{ kg/m}^3$  und  $E_S = 210000 \text{ N/mm}^2$ ;  $d = 6 \text{ mm}$ )



**Bild 16:** Knickfiguren und Verzweigungslasten  $N_{ki,E,k}$  für  $K = \infty$  (für  $\rho_k = 310 \text{ kg/m}^3$  und  $E_S = 210000 \text{ N/mm}^2$ ;  $d = 6 \text{ mm}$ )

Für den Nachweis der Tragfähigkeit eines mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben verstärkten Trägersauflagers kann der charakteristische Wert der kleinsten Verzweigungslast  $N_{ki,G/E,k}$  nach Elastizitätstheorie in Abhängigkeit vom Schraubennennendurchmesser  $d$ , von der Schraubenslänge  $l_s$ , von der charakteristischen Rohdichte des Holzes  $\rho_k$  sowie von der konstruktiven Ausführung der Lasteinleitungsstelle unter Berücksichtigung der elastischen Bettung des Holzes sowie einer dreieckförmigen Normalkraftverteilung in der Schraube nach **Tabelle 2 bzw. 3** ermittelt werden. Die Werte in **Tabelle 2** gelten für Auflagerverstärkungen mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben mit beliebigen Kopfformen. Werden Auflagerverstärkungen mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben mit einer Senkkopfform sowie einer konisch ausgefrästen Stahlplatte unterhalb des Trägersauflagers nach **Bild 14** ausgeführt, sind die Werte der kleinsten Verzweigungslasten **Tabelle 3** zu entnehmen.

**Tabelle 2:** charakteristischer Wert der kleinsten Verzweigungslast  $N_{ki,G,k}$  in [kN]

| $N_{ki,G,k}$<br>in [kN] | $\rho_k = 310 \text{ kg/m}^3$ |      |      |      |      | $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ |      |      |      |      | $\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$ |      |      |      |      | $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ |      |      |      |      |      |
|-------------------------|-------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|------|------|
|                         | Durchmesser in [mm]           |      |      |      |      | Durchmesser in [mm]           |      |      |      |      | Durchmesser in [mm]           |      |      |      |      | Durchmesser in [mm]           |      |      |      |      |      |
|                         | 4                             | 6    | 8    | 10   | 12   | 4                             | 6    | 8    | 10   | 12   | 4                             | 6    | 8    | 10   | 12   | 4                             | 6    | 8    | 10   | 12   |      |
| 20                      | 5,34                          | 5,55 | 5,58 | 5,59 | 5,59 | 6,47                          | 6,78 | 6,83 | 6,84 | 6,85 | 6,94                          | 7,31 | 7,37 | 7,38 | 7,39 | 7,57                          | 8,02 | 8,09 | 8,10 | 8,11 |      |
| 40                      | 8,85                          | 15,0 | 16,3 | 16,6 | 16,7 | 9,84                          | 17,8 | 19,8 | 20,3 | 20,4 | 10,2                          | 19,0 | 21,3 | 21,8 | 22,0 | 10,8                          | 20,4 | 23,3 | 23,9 | 24,1 |      |
| 60                      | 8,77                          | 18,4 | 26,8 | 29,4 | 30,1 | 9,76                          | 20,6 | 31,5 | 35,6 | 36,8 | 10,2                          | 21,5 | 33,4 | 38,2 | 39,6 | 10,7                          | 22,6 | 35,8 | 41,6 | 43,3 |      |
| 80                      | 8,71                          | 18,5 | 30,6 | 40,3 | 43,9 | 9,69                          | 20,7 | 34,4 | 47,3 | 53,0 | 10,1                          | 21,6 | 36,0 | 50,1 | 56,7 | 10,6                          | 22,7 | 37,9 | 53,6 | 61,7 |      |
| 100                     |                               | 18,6 | 31,0 | 44,9 | 55,2 |                               | 20,8 | 34,8 | 50,9 | 64,9 |                               | 21,6 | 36,3 | 53,2 | 68,7 |                               | 22,7 | 38,3 | 56,2 | 73,5 |      |
| 120                     |                               |      |      | 31,4 | 45,8 | 60,8                          |      |      | 35,2 | 51,7 | 69,4                          |      |      | 36,8 | 54,0 | 72,7                          |      |      | 38,7 | 57,0 | 77,0 |
| 140                     |                               |      |      | 31,7 | 46,6 | 62,6                          |      |      | 35,4 | 52,5 | 70,8                          |      |      | 36,9 | 54,8 | 74,1                          |      |      | 38,8 | 57,9 | 78,4 |
| 160                     |                               |      |      |      | 47,3 | 63,7                          |      |      |      | 53,1 | 72,1                          |      |      |      | 55,4 | 75,4                          |      |      |      | 58,4 | 79,7 |
| 180                     |                               |      |      |      | 47,6 | 64,8                          |      |      |      | 53,4 | 73,2                          |      |      |      | 55,7 | 76,5                          |      |      |      | 58,7 | 80,8 |
| 200                     |                               |      |      |      |      | 65,7                          |      |      |      |      | 73,9                          |      |      |      |      | 77,2                          |      |      |      |      | 81,5 |
| 220                     |                               |      |      |      |      | 66,2                          |      |      |      |      | 74,5                          |      |      |      |      | 77,7                          |      |      |      |      | 81,9 |
| >240                    |                               |      |      |      |      | 66,7                          |      |      |      |      | 74,9                          |      |      |      |      | 78,1                          |      |      |      |      | 82,3 |

**Hinweis:** Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden

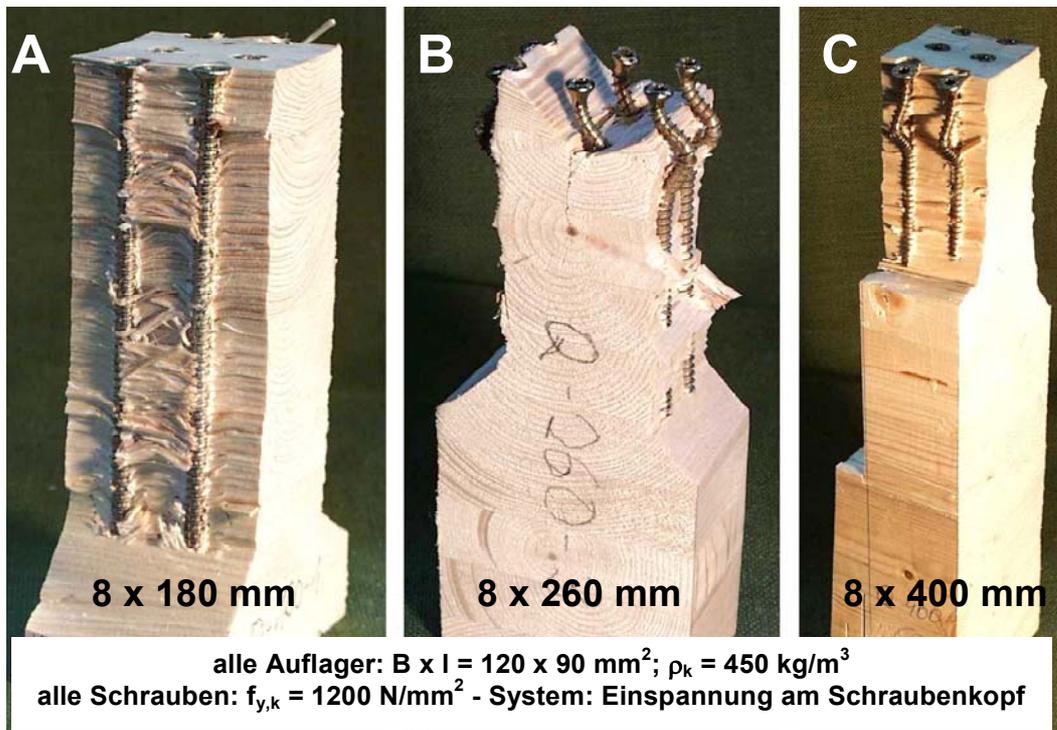
**Tabelle 3:** charakteristischer Wert der kleinsten Verzweigungslast  $N_{ki,E,k}$  in [kN]

| $N_{ki,E,k}$ in [kN]          | $\rho_k = 310 \text{ kg/m}^3$ |      |      |      |      | $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ |      |      |      |      | $\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$ |      |      |      |      | $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|-------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|------|------|
|                               | Durchmesser in [mm]           |      |      |      |      | Durchmesser in [mm]           |      |      |      |      | Durchmesser in [mm]           |      |      |      |      | Durchmesser in [mm]           |      |      |      |      |      |
|                               | 4                             | 6    | 8    | 10   | 12   | 4                             | 6    | 8    | 10   | 12   | 4                             | 6    | 8    | 10   | 12   | 4                             | 6    | 8    | 10   | 12   |      |
| Schraubenslänge $l_s$ in [mm] | 20                            | 15,2 | 20,8 | 20,8 | 20,8 | 16,8                          | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 17,5                          | 27,6 | 27,6 | 27,6 | 27,6 | 18,4                          | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 |      |
|                               | 40                            | 20,7 | 28,3 | 40,7 | 40,7 | 23,7                          | 32,9 | 49,5 | 49,9 | 49,9 | 24,8                          | 34,9 | 51,6 | 53,8 | 53,8 | 26,1                          | 37,5 | 54,2 | 59,0 | 59,0 |      |
|                               | 60                            | 20,5 | 38,2 | 45,3 | 57,8 | 60,5                          | 22,9 | 45,1 | 53,5 | 66,1 | 74,2                          | 23,9 | 47,8 | 57,0 | 69,7 | 80,0                          | 25,1 | 51,1 | 61,6 | 74,4 | 87,8 |
|                               | 80                            | 20,2 | 41,3 | 57,1 | 63,8 | 74,6                          | 22,4 | 46,4 | 68,2 | 75,9 | 86,8                          | 23,3 | 48,5 | 72,8 | 81,0 | 92,0                          | 24,4 | 51,2 | 78,7 | 87,8 | 98,9 |
|                               | 100                           |      | 41,9 | 65,7 | 76,7 | 83,2                          |      | 47,1 | 74,7 | 92,1 | 99,3                          |      | 49,2 | 78,3 | 98,6 | 106                           |      | 51,8 | 82,8 | 107  | 115  |
|                               | 120                           |      |      | 66,9 | 89,4 | 96,7                          |      |      | 76,0 | 105  | 116                           |      |      | 79,7 | 110  | 125                           |      |      | 84,5 | 118  | 136  |
|                               | 140                           |      |      | 68,5 | 94,2 | 111                           |      |      | 77,6 | 108  | 133                           |      |      | 81,2 | 113  | 141                           |      |      | 85,7 | 120  | 152  |
|                               | 160                           |      |      |      | 96,5 | 121                           |      |      |      | 111  | 141                           |      |      |      | 116  | 148                           |      |      |      | 123  | 158  |
|                               | 180                           | 19,9 | 42,1 |      | 99,1 | 126                           | 22,1 |      |      | 113  | 145                           | 22,9 |      |      | 118  | 152                           | 24,0 | 51,5 |      | 125  | 162  |
|                               | 200                           |      |      | 69,4 |      | 129                           |      |      |      |      | 149                           |      |      |      |      | 157                           |      |      |      |      | 167  |
|                               | 220                           |      |      |      | 101  | 132                           |      |      |      |      | 152                           |      |      |      | 120  | 160                           |      |      |      | 126  | 170  |
|                               | >240                          |      |      |      |      | 135                           |      |      |      |      | 154                           |      |      |      |      | 162                           |      |      |      |      | 172  |

Hinweis: Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden

Wie man den **Tabellen 2 und 3** entnehmen kann, können die charakteristischen Werte der kleinsten Verzweigungslasten  $N_{ki,G/E,k}$  ab einer Schlankheit der Schrauben von etwa  $l_s / d > 20$  nicht mehr gesteigert werden. Wird beim Nachweis der Tragfähigkeit eines verstärkten Trägers auf einem Auflager die Grenztragfähigkeit beim Ausknicken der Schraube im Holz  $R_{c,d}$  nach Gleichung (5) maßgebend, ist es nicht sinnvoll, selbstbohrende Vollgewindeschrauben mit einer Länge  $l_s > 20 \cdot d$  zu verwenden. Für diesen Fall kann die Tragfähigkeit eines verstärkten Trägers auf einem Auflager nicht mehr gesteigert werden.

Diese Erkenntnisse konnten durch am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Universität Karlsruhe) durchgeführte Versuche mit verstärkten Trägers auflagern belegt werden. In **Bild 17** sind drei verstärkte Trägers auflager mit unterschiedlichen Schraubenslängen nach der Versuchsdurchführung dargestellt.



**Bild 17:** Aufgeschnittene verstärkte Trägers auflager

Wie berechnet, wurden bei der Versuchsreihe A die Schrauben bei einer mittleren Traglast von  $R_{A,mittel} = 195 \text{ kN}$  in das Holz hineingedrückt. Der charakteristische Wert der aufnehmbaren Druckbeanspruchung rechtwinklig zur Faser kann hierbei zu  $F_{c,90,k} = 184 \text{ kN}$  berechnet werden. Entsprechend konnten bei den Versuchsreihen B und C die Versagensarten sowie die Traglasten sehr gut hervorgesagt werden. Alle Prüfkörper aus der Versuchsreihe B und C versagten infolge Ausknicken der Schrauben im Holz, wobei sich gleiche Knickfiguren einstellten wie bei der numerischen Berechnung (**siehe Bild 16**). Obwohl die Schraubenlängen mit  $l_s = 260 \text{ mm}$  für die Versuchsreihe B und  $l_s = 400 \text{ mm}$  für die Versuchsreihe C unterschiedlich waren, waren für beide Versuchsreihen die mittleren Traglasten mit  $R_{B,mittel} = 230 \text{ kN}$  und  $R_{C,mittel} = 241 \text{ kN}$  fast gleich. Der charakteristische Wert der aufnehmbaren Druckbeanspruchung rechtwinklig zur Faser kann für beide Versuchsreihen zu  $F_{c,90,k} = 193 \text{ kN}$  berechnet werden. Zum Vergleich betrug die mittlere Traglast von unverstärkten Trägersauflagern  $R_{mittel} = 52 \text{ kN}$ .

#### Beispiel:

Als Beispiel wird der Bemessungswert der aufnehmbaren Beanspruchung rechtwinklig zur Holzfaser  $F_{c,90,d}$  eines verstärkten Trägersauflagers ermittelt. Das Auflager eines 600 mm hohen Trägers aus Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS 28h weist eine Auflagerfläche von  $B \times l = 160 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$  auf. Die Nutzungs-kategorie des Bauteils ist 2, die Klasse der Lasteinwirkungsdauer ist kurz. Als Verstärkung sollen selbstbohrende Vollgewindeschrauben  $\varnothing 12 \text{ mm}$  bündig mit der Oberfläche des Holzes in den Träger eingedreht werden. Das durchgehende Gewinde entspricht der Tragfähigkeitsklasse 3. Der charakteristische Wert der Streckgrenze des gehärteten Stahls beträgt  $f_{y,k} = 1000 \text{ N/mm}^2$ .

Für ein **unverstärktes Trägersauflager** kann der Bemessungswert der aufnehmbaren Kraftkomponente rechtwinklig zur Holzfaserrichtung  $F_{c,90,d}$  nach E DIN 1052, Abschnitt 10.2.4 zu  $F_{c,90,d} = 87,2 \text{ kN}$  berechnet werden.

#### Nachweis eines **verstärkten Trägersauflagers**:

Anzahl  $n_1$  der Schrauben in Faserrichtung:

$$a_{1,c,erf} \geq 5 d = 60 \text{ mm}$$

Auflagerlänge parallel zur Faser  $l = 120 \text{ mm} \Rightarrow n_1 = 1 \text{ Schraube}$

Anzahl  $n_2$  der Schrauben rechtwinklig zur Faser:

$$a_{2,c,erf} \geq 4 d = 48 \text{ mm}$$

$$a_{2,erf} \geq 2,5 d = 30 \text{ mm}$$

Auflagerbreite rechtwinklig zur Faser  $b = 160 \text{ mm}$

$$\Rightarrow n_2 \leq 1 + \frac{b - 2 \cdot a_{2,c,erf}}{a_{2,erf}}$$

$$\Rightarrow n_2 = 3 \text{ Schrauben}$$

Gesamtanzahl n der Schrauben:

$$\Rightarrow n = n_1 \cdot n_2 = 3 \text{ Schrauben}$$

gewählte Schraubenlänge:

$$l_S = 400 \text{ mm}$$

Widerstand gegen Hineindrücken:

$$f_{1,k} = 80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 13,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

$$f_{1,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{1,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 13,5 = 9,31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$R_{ax,d} = f_{1,d} \cdot d \cdot l_S = 9,31 \cdot 12 \cdot 400 \text{ N}$$

$$\Rightarrow R_{ax,d} = 44,7 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit beim Ausknicken:

$$N_{pl,k} = A_{Kern} \cdot f_{y,k} = \pi \cdot \frac{(0,7 \cdot d)^2}{4} \cdot f_{y,k}$$

$$N_{pl,k} = \pi \cdot \frac{(0,7 \cdot 12)^2}{4} \cdot 1000 \text{ N} = 55,4 \text{ kN}$$

$N_{ki,k}$  aus **Tabelle 2** mit  $\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$  und  $d = 12 \text{ mm}$

$$\Rightarrow N_{ki,k} = 78,1 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_k = \sqrt{\frac{N_{pl,k}}{N_{ki,k}}} = \sqrt{\frac{55,4}{78,1}} = 0,842$$

$$k = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,49 \cdot (\bar{\lambda}_k - 0,2) + \bar{\lambda}_k^2 \right]$$

$$k = 1,012$$

$$\Rightarrow \kappa_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_k^2}} = 0,636$$

$$R_{c,d} = \kappa_c \cdot N_{pl,d} = 0,636 \cdot \frac{N_{pl,k}}{1,1}$$

$$\Rightarrow R_{c,d} = 32,0 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow R_d = \min \{R_{ax,d}; R_{c,d}\} = 32,0 \text{ kN}$$

⇒ maßgebend ist das Ausknicken der Vollgewindeschraube im Holz.

mit

$$k_{c,90} = 1,75$$

für  $l = 120 \text{ mm} < 400 \text{ mm}$

$$A_{ef,1} = B l_{ef,1} = B (l+30 \text{ mm}) = 24000 \text{ mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{c,90,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 3,0 = 2,08 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

folgt nach Gleichung (3):

$$F_{c,90,d} \leq n \cdot R_d + k_{c,90} \cdot A_{ef,1} \cdot f_{c,90,d} = 183 \text{ kN}$$

Nachweis nach Gleichung (4):

mit

$$k_{c,90} = 1,00$$

für  $(l + l_s) = 520 \text{ mm} > 400 \text{ mm}$

$$A_{ef,2} = B (l_{ef,1} + l_s) = B (l + l_s + 30 \text{ mm}) = 88000 \text{ mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{c,90,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 3,0 = 2,08 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

folgt nach Gleichung (4):

$$F_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot A_{ef,2} \cdot f_{c,90,d} = 183 \text{ kN}$$

Die aufnehmbare Kraftkomponente rechtwinklig zur Holzfaser wurde für das verstärkte Trägerauflager zu  $F_{c,90,d} = 183 \text{ kN}$  ermittelt und ist somit mehr als doppelt so groß wie der Wert für ein unverstärktes Trägerauflager.

Hierbei ist die Tragfähigkeit des verstärkten Trägerauflagers durch das Erreichen der Querdruckfestigkeit des Holzes oberhalb der Schraubenspitze bzw. durch das Ausknicken der Schrauben im Holz begrenzt. Dadurch kann in diesem Beispiel die aufnehmbare Kraftkomponente rechtwinklig zur Holzfaser durch eine größere Schraubenlänge bzw. durch eine konstruktive Ausführung des Trägerauflagers mit Schrauben mit Senkkopfform sowie einer konisch ausgefrästen Stahlplatte nicht mehr gesteigert werden.

## 5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden Anwendungsmöglichkeiten von selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde gezeigt. Selbstbohrende Vollgewindeschrauben kön-

nen wie ins Holz eingeleimte Gewindestangen oder auf das Holz aufgeleimte Holzwerkstoffplatten als Verstärkungselemente in querzuggefährdeten Bauteilen eingesetzt und berechnet werden. Der Einsatz von selbstbohrenden Vollgewindeschrauben als Querdruckverstärkung in Trägerauflagern zeigt weitere Anwendungsmöglichkeiten dieser neuartigen Verbindungsmittel, die ohne Vorbohren ins Holz eingedreht werden. Durch diese einfache Montage wird ein problemloser Einsatz dieser Schrauben im Werk als auch auf der Baustelle ermöglicht.

Grundsätzlich können selbstbohrende Vollgewindeschrauben überall in Bauteilen eingesetzt werden, wo Zug- bzw. Druckkräfte übertragen werden müssen, die Tragfähigkeit des Holzes insbesondere rechtwinklig zur Faserrichtung jedoch nicht ausreichend ist. Dies eröffnet weitere Perspektiven für sinnvolle Anwendungen mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben im Ingenieurholzbau.

## **6 Literatur**

- [1] Blaß, H.J.; Bejtka, I. "Querzugverstärkungen in gefährdeten Bereichen mit selbstbohrenden Holzschrauben" Forschungsbericht 2003. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe
- [2] Blaß, H.J.; Ehlbeck, J.; Kreuzinger, H.; Steck, G.; "Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken" Schlusssentwurf Bemessungsnorm Holzbau BEKS - 2002 in Tagungsband 2002 - Ingenieurholzbau - Karlsruher Tage