

Selbstbohrende Holzschrauben und ihre Anwendungsmöglichkeiten

Hans Joachim Blaß, Karlsruhe

Ireneusz Bejtka, Karlsruhe

1 Allgemeines

Für tragende Holzverbindungen stehen zwei Arten von Holzschrauben zur Verfügung: Genormte Holzschrauben z.B. nach DIN 96, DIN 97 oder DIN 571, die alle eine Gewindeform nach DIN 7998 aufweisen und in vorgebohrte Löcher eingedreht werden, und bauaufsichtlich zugelassene Holzschrauben, die ohne Vorbohren eingeschraubt werden (**Bild 1**). Die genormten Schrauben weisen unter dem Kopf einen glatten Schaft auf, dessen Durchmesser dem Gewindeaußen- bzw. dem Nenndurchmesser entspricht. Der Durchmesser der Schrauben nach DIN 571 liegt zwischen 8 mm und 20 mm, für Senkkopfschrauben oder Halbrundkopfschrauben zwischen 4 mm und 8 mm. Die Gewindelänge beträgt in der Regel 60% der Gesamtlänge. Schrauben nach DIN 96 sowie DIN 97 sind in Längen bis zu 150 mm verfügbar.

Bauaufsichtlich zugelassene selbstbohrende Holzschrauben werden im Gegensatz zu den genormten Schrauben nach dem Aufrollen des Gewindes gehärtet, um höhere Werte des Fließmomentes, der Zug-

tragfähigkeit sowie der Torsionstragfähigkeit 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 Schneidgewinde oder einem Reibschiff zwischen dem Schaft- und dem Gewindebereich ausgestattet werden.



Bild 1: Selbstbohrende Holzschrauben

2 Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben

2.1 Beanspruchung auf Abscheren

Selbstbohrende Holzschrauben als Verbindungsmittel können wie andere metallische stiftförmige Verbindungsmittel (Nägel, Bolzen, usw.) rechtwinklig zu ihrer Achse auf Abscheren beansprucht werden. Die Tragfähigkeit einer auf Abscheren beanspruchten Verbindung mit metallischen stiftförmigen Verbindungsmitteln hängt neben der Geometrie der Verbindung insbesondere von der Lochleibungsfestigkeit des Holzes oder der Holzwerkstoffe und vom Biege widerstand der Stifte ab. Unter der Annahme eines idealplastischen Verhaltens des Holzes unter Lochleibungsbeanspruchung und der Stifte unter Biegebeanspruchung kann die Tragfähigkeit einer auf Abscheren beanspruchten Verbindung nach der Theorie von Johansen ermittelt werden. Die Tragfähigkeit ist danach durch das Erreichen der Lochleibungsfestigkeit in mindestens einem der verbundenen Bauteile und in bestimmten Fällen dem gleichzeitigen Auftreten von plastischen Gelenken im Stift begrenzt.

In einem Schlusssentwurf für eine neue Bemessungsnorm Holzbau [2] sind im Abschnitt 12 und in einem Anhang V für alle möglichen

Versagensfälle Gleichungen angegeben, mit deren Hilfe die Tragfähigkeit auf Abscheren beanspruchter Verbindungsmittel pro Scherfuge und Stift ermittelt werden kann. Für eine bestimmte Verbindung entspricht die Tragfähigkeit dem niedrigsten Wert, der sich aus den Gleichungen für sämtliche möglichen Versagensmechanismen ergibt. Diejenige Gleichung, aus der der niedrigste Wert resultiert, gibt damit auch den Versagensmechanismus der Verbindung an.

Für auf Abscheren beanspruchte Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben wird der charakteristische Wert der Lochleibungsfestigkeit entsprechend der Lochleibungsfestigkeit für Nagelverbindungen mit nicht vorgebohrten Nagellöchern ermittelt. Der charakteristische Wert des Fließmomentes im Gewindebereich für Holzschrauben mit einem Gewinde nach DIN 7998 und einer Mindestzugfestigkeit des Drahtes von 400 N/mm^2 kann nach [2], Abschnitt 12.6 zu

$$M_{y,k} = 0,15 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \text{ in Nmm}$$

ermittelt werden. Darin sind $f_{u,k}$ die charakteristische Zugfestigkeit der Schraube in N/mm^2 und d der Nenndurchmesser der Schrauben in mm. Bei selbstbohrenden Holzschrauben ist für den charakteristischen Wert des Fließmomentes der Nachweis in einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zu erbringen.

Bei Zugscherverbindungen mit Holzschrauben darf der charakteristische Wert der Tragfähigkeit auf Abscheren R_k um einen Anteil $\Delta R_k = \min\{R_k ; 0,25 \cdot R_{ax,k}\}$ erhöht werden. Dabei ist $R_{ax,k}$ der charakteristische Wert des Ausziehwiderstandes, der nach [2], Abschnitt 12.8.2 bestimmt werden kann, wenn die charakteristischen Werte des Ausziehparameters $f_{1,k}$ und des Kopfdurchziehparameters $f_{2,k}$ in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung durch die Einstufung in eine Tragfähigkeitsklasse gegeben sind. Ein Beispiel zur Bemessung von Zugscherverbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben ist im Abschnitt 2.3.2 angegeben.

2.2 Beanspruchung auf Herausziehen

Selbstbohrende Holzschrauben als Verbindungsmittel können wegen der profilierten Ausbildung des Gewindebereiches hohe Kräfte in Richtung ihrer Achse übertragen. In [2], 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 $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. Am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Universität Karlsruhe) durchgeführte Versuche mit auf Herausziehen beanspruchten

Schrauben belegen, dass diese Gleichungen auch für Einschraubwinkel zwischen 30° und 45° bedenkenlos verwendet werden können. Der charakteristische Wert des Ausziehwiderstandes ist in erster Linie vom charakteristischen Wert des Ausziehparameters (**Tabelle 1**) und somit insbesondere von der Tragfähigkeitsklasse (TFK) und vom charakteristischen Wert der Rohdichte des Holzes abhängig.

Tabelle 1: Charakteristische Werte des Ausziehparameters und des Kopfdurchziehparameters

Ausziehparameter		Kopfdurchziehparameter	
Tragfähigkeitsklasse	$f_{1,k}$ in N/mm ²	Tragfähigkeitsklasse	$f_{2,k}$ in 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 ρ_k in kg/m³, jedoch höchstens 500 kg/m³

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 dürfen die Daten und Bestimmungen des Abschnittes 12.8.2 in [2] verwendet werden.

2.3 Verbindungen mit geneigt angeordneten Holzschrauben

2.3.1 Anwendungsmöglichkeiten

Da im Gewindebereich die Biegetragfähigkeit von Holzschrauben in der Regel deutlich geringer ist als im

Schaftbereich, sind auf Abscheren beanspruchte Holzschrauben weniger tragfähig als z.B. entsprechende Stabdübel. Der Vorteil der Schrauben liegt in der hohen Tragfähigkeit in Richtung der Schraubenachse. Daher sollten Verbindungen mit Holzschrauben möglichst so konstruiert werden, dass die Holzschrauben überwiegend Kräfte in Richtung ihrer Achse übertragen.

Durch eine geeignete Anordnung können auf Herausziehen oder Hineindrücken beanspruchte selbstbohrende Vollgewindeschrauben auch Querkräfte und Kräfte parallel zur Fuge übertragen. Bei der Übertragung von Kräften parallel zur Fuge sind grundsätzlich zwei Fälle zu unterscheiden: Verbindungen mit ausschließlich parallel zueinander angeordneten Schrauben (**Bild 2**) und Verbindungen, bei denen zwei unterschiedliche Neigungen der Schrauben auftreten. Im letzteren Fall sind die Schrauben in der Regel gekreuzt oder abwechselnd geneigt (**Bild 3**).

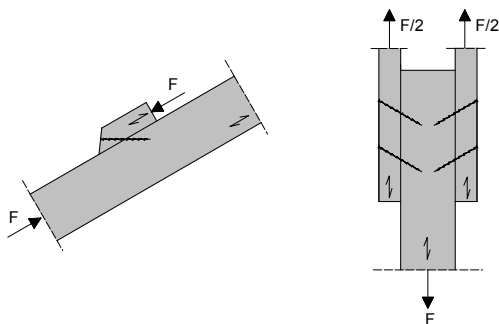


Bild 2: Anschlüsse mit parallel zueinander angeordneten Schrauben zur Übertragung von Kräften parallel zur Fuge

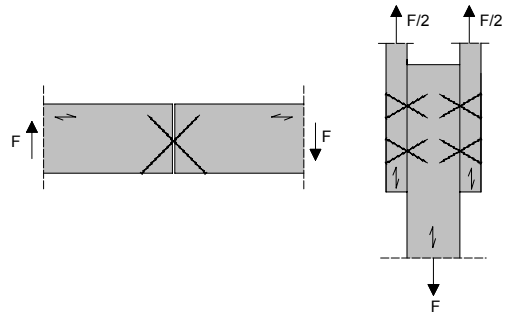


Bild 3: Anschlüsse mit gekreuzt angeordneten Schrauben zur Übertragung von Kräften parallel zur Fuge

Bei Verbindungen mit ausschließlich parallel zueinander angeordneten Schrauben wird die Zugkraftkomponente der zu übertragenden Kraft der Schraube zugewiesen. Die Zugkraft in der Schraube verursacht eine Druckkraft in der Fuge zwischen den Bauteilen. Diese Druckkraft bewirkt eine günstig wirkende Haftkraft.

Bei Verbindungen mit gekreuzt angeordneten Schrauben entsteht keine Druckkraft in der Fuge zwischen den Bauteilen. Abhängig von der Beanspruchungsrichtung wird eine Schraube auf Herausziehen und die andere auf Hineindrücken beansprucht. Die axiale Tragfähigkeit auf Herausziehen beanspruchter Schrauben wird als gleich groß wie die Tragfähigkeit gegen Hineindrücken angenommen.

Mit geneigt angeordneten Schrauben können auch Querkräfte zwischen dem Nebenträger und dem Hauptträger eines Deckenbalkenanschlusses übertragen werden. In **Bild 4** ist ein Deckenbalkenanschluss mit gekreuzt angeordneten Schrauben

dargestellt. Unabhängig von der Lagerungsart des Hauptträgers (gelenkige Lagerung oder Einspannung des Hauptträgers) wird entsprechend den Verbindungen zur Übertragung von Kräften parallel zur Fuge (**Bild 3**) eine Schraube auf Herausziehen und die andere Schraube auf Hineindrücken beansprucht.

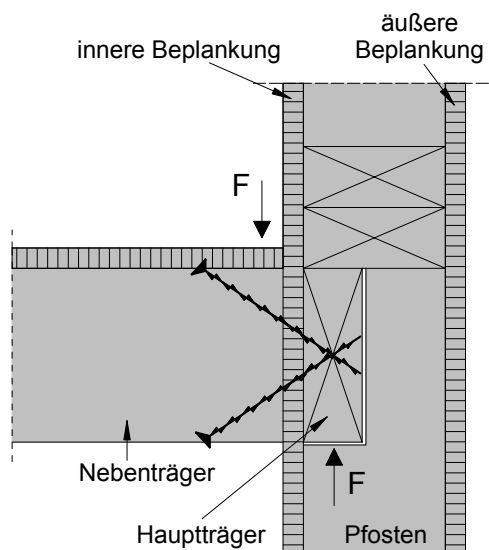


Bild 4: Deckenbalkenanschluss mit gekreuzt angeordneten Schrauben

Im Vergleich zu den konventionellen Deckenbalkenanschlüssen mit Stahlblechformteilen kann bei diesem Anschluss eine Zwischenschicht, wie z.B. eine innere Beplankung zwischen den zu verbindenden Bauteilen hindurchgeführt werden. Eine durchgehende Beplankung zwischen den zu verbindenden Bauteilen hat wegen der Beanspruchung in Richtung der Schraubenachse keinen Einfluss auf das Tragverhalten dieser Anschlüsse. Somit können durch einen ungestörten Wandauf-

bau Undichtigkeiten in der Luftdichtigkeitsschicht vermieden werden.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten für Verbindungen mit geneigt angeordneten Schrauben stellen biegesteife Anschlüsse und Verbindungen dar. Rechts in **Bild 5** ist eine biegesteife Rahmenecke, links in **Bild 5** ein biegesteifer Balkenstoß mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben dargestellt. Infolge der Biegebeanspruchung werden bei diesen Systemen die Vollgewindeschrauben entsprechend den bisher gezeigten Verbindungen ebenfalls vorwiegend axial beansprucht. Die Druckkraftkomponente in der Fuge wird hierbei dem Holz und den auf Hineindrücken beanspruchten Schrauben zugewiesen.

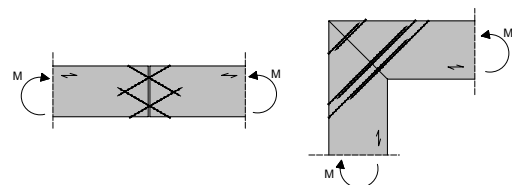


Bild 5: Anschlüsse mit geneigt angeordneten Schrauben zur Übertragung von Momenten

Weiterhin ist es möglich, mit Hilfe selbstbohrender Holzschrauben Zug- und Druckkräfte zwischen zwei zu verbindenden Bauteilen zu übertragen. Ein Anschluss zur Übertragung von Zugkräften ist in **Bild 6** dargestellt. Hierbei wird ein Zugstab mit Hilfe gekreuzt angeordneter Vollgewindeschrauben an einen Balken angeschlossen.

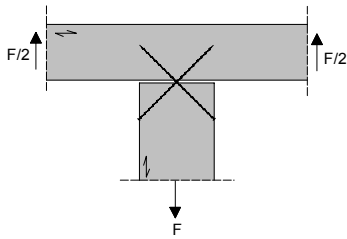


Bild 6: Anschluss zur Übertragung von Zugkräften

2.3.2 Bemessung von einschnittigen Verbindungen mit geneigt angeordneten Schrauben

Zugscherverbindungen mit geneigt angeordneten Schrauben

Links in **Bild 7** ist eine Verbindung mit ausschließlich parallel zueinander angeordneten Schrauben, rechts in **Bild 7** ist eine Verbindung mit gekreuzt angeordneten Schrauben dargestellt.

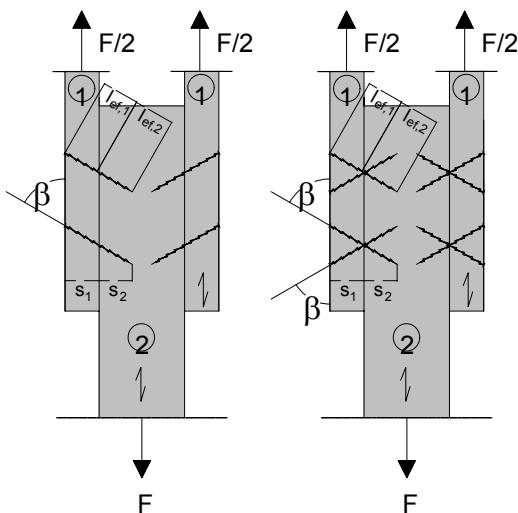


Bild 7: Verbindung mit parallel zueinander angeordneten Schrauben und gekreuzt angeordneten Schrauben

Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit einer Verbindung mit parallel zueinander unter einem Win-

kel β zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung angeordneten Schrauben beträgt pro Schraube und Scherfuge:

$$R_{\beta,k} = R_{ax,\beta,k} \cdot (\cos \beta + \mu \cdot \sin \beta) \quad (1)$$

Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit einer Verbindung mit gekreuzt angeordneten Schrauben beträgt pro Scherfuge und Verbindungsmittelpaar:

$$R_{\beta,k} = 2 \cdot R_{ax,\beta,k} \cdot \cos \beta \quad (2)$$

mit

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

und $30 \leq \beta \leq 90^\circ$

Hierin bedeuten:

$R_{t,u,k}$ charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit der Schraube

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

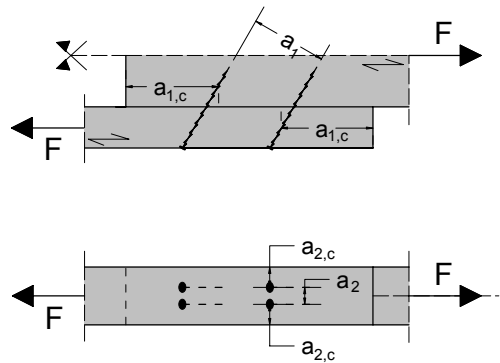
d Nenndurchmesser

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

Für auf Druck beanspruchte Schrauben ist wegen der Knickgefahr für die anrechenbare Gewindelänge im Holzteil 1 und 2 folgende Bedingung einzuhalten:

$$l_{ef,i} \leq 11500 \cdot \left(\frac{d}{\rho_k} \right)^{1,1} \quad \text{in [mm]}$$

- β Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung
- μ Reibbeiwert zwischen den Bauteilen; sofern der Reibbeiwert zwischen Holzbauteilen unbekannt ist, darf der Reibbeiwert zu $\mu = 0,25$ angenommen werden.



Für Verbindungen mit parallel zueinander angeordneten und gekreuzt angeordneten, vorwiegend axial beanspruchten selbstbohrenden Holzschrauben werden folgende Mindestabstände empfohlen (**Bild 8**).

- 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 8: Mindestabstände von parallel zueinander angeordneten und gekreuzt angeordneten, vorwiegend axial beanspruchten selbstbohrenden Holzschrauben

Beispiel:

Als Beispiel wird eine einschnittige Holz/Holz-Verbindung (**A**) mit vier rechtwinklig zur Holzfaserrichtung eingedrehten Vollgewindeschrauben (Johansen), (**B**) mit vier unter 45° zur Holzfaserrichtung parallel zueinander angeordneten Vollgewindeschrauben (links in Bild 7) sowie (**C**) mit zwei unter 45° zur Holzfaserrichtung gekreuzt angeordneten Schraubenpaaren (rechts in Bild 7) in Anlehnung an [2] berechnet. Hierbei werden die Seitenhölzer aus Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS 28h an das Mittelholz gleicher Festigkeitsklasse mit Hilfe von selbstbohrenden Vollgewindeschrauben 10 x 220 mm verbunden. Die wirksame Anzahl der Verbindungsmittel n_{ef} wird in diesem Beispiel zu n angenommen.

Weitere Angaben:

charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit der Schraube: $R_{t,u,k} = 19 \text{ kN}$

Tragfähigkeitsklasse der Vollgewindeschraube bei Beanspruchung in Schaftrichtung: 3

Nutzungsklasse 2; KLED: mittel

$$\Rightarrow k_{\text{mod}} = 0,8$$

Breite der Hölzer: $b = 80 \text{ mm}$

Seitenholzdicke: 80 mm

Mittelholzdicke: 200 mm

Fall (A): (Johansen):

Einschraubwinkel $\beta = 90^\circ$

$$M_{y,k} = 23,9 \text{ Nm}$$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 16,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

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

Mindestdicken der Hölzer: (mit $\beta = 1$)

$$t_{1,\text{req}} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}} = 46,7 \text{ mm}$$

$$t_{2,\text{req}} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}} = 46,7 \text{ mm}$$

\Rightarrow Mindestholzdicken bzw. Mindesteinschraubtiefen sind eingehalten.

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} = 2841 \text{ N}$$

Erhöhung der Tragfähigkeit bei einschnittigen Verbindungen um:

$$\Delta R_k = \min \{ R_k ; 0,25 \cdot R_{\text{ax},k} \}$$

mit

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

und

$f_{1,k}$ nach **Tabelle 1**:

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

$$l_{\text{ef}} = \min \{ s_1 = 80 \text{ mm}; s_2 = 140 \text{ mm} \}$$

mit $R_{t,u,k} = 19 \text{ kN}$

$$\Rightarrow R_{\text{ax},\beta,k} = 10800 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \Delta R_k = 2700 \text{ N}$$

$$\Rightarrow R_{k,\text{ges}} = n \cdot (R_k + \Delta R_k) = 22,2 \text{ kN}$$

$$R_{d,\text{ges}} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot R_{k,\text{ges}} = \frac{0,8}{1,1} \cdot 22,2 = 16,1 \text{ kN}$$

Fall (B): Verbindung mit vier unter 45° zur Holzfaserrichtung parallel zueinander angeordneten Holzschrauben: Bemessung nach Gleichung (1) mit einem Reibbeiwert $\mu = 0,25$:

Einschraubwinkel $\beta = 45^\circ$

$f_{1,k}$ nach **Tabelle 1**:

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

wirksame Einschraubtiefe:

$$l_{\text{ef}} = \min \left\{ \begin{array}{l} l_{\text{ef},1} = \sqrt{2} \cdot 80 \text{ mm} \\ l_{\text{ef},2} = 220 \text{ mm} - l_{\text{ef},1} \end{array} \right\} = 107 \text{ mm}$$

mit $R_{t,u,k} = 19 \text{ kN}$

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

Tragfähigkeit nach Gleichung (1):

$$R_{\text{ax},\beta,k} = 12381 \text{ N}$$

$$R_{\beta,k} = R_{\text{ax},\beta,k} \cdot (\cos \beta + \mu \cdot \sin \beta)$$

$$R_{\beta,k} = 10943 \text{ N}$$

$$R_{\beta,\text{ges},k} = n \cdot R_{\beta,k} = 43,8 \text{ kN}$$

$$R_{\beta,\text{ges},d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot R_{\beta,\text{ges},k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 43,8 = 27,0 \text{ kN}$$

Fall (C): Verbindung mit zwei unter 45° zur Holzfaserrichtung gekreuzt angeordneten Holzschraubenpaaren: Bemessung nach Gl. (2):

$$R_{ax,\beta,k} = 12381 \text{ N (siehe Fall B)}$$

$n = 2$ Schraubenpaare

Tragfähigkeit nach Gleichung (2):

$$R_{\beta,k} = 2 \cdot R_{ax,\beta,k} \cdot \cos \beta$$

$$R_{\beta,k} = 17509 \text{ N}$$

$$R_{\beta,ges,k} = n \cdot R_{\beta,k} = 35,0 \text{ kN}$$

$$R_{\beta,ges,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot R_{k,ges} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 70,0 = 21,5 \text{ kN}$$

Überprüfen, ob die beiden auf Hineindrücken beanspruchten Schrauben knickgefährdet sind:

$$l_{ef,1} = 113 \text{ mm} < 11500 \cdot \left(\frac{d}{\rho_k}\right)^{1,1} = 193 \text{ mm}$$

$$l_{ef,2} = 107 \text{ mm} < 11500 \cdot \left(\frac{d}{\rho_k}\right)^{1,1} = 193 \text{ mm}$$

⇒ es besteht keine Knickgefahr für die auf Hineindrücken beanspruchten Schrauben.

Nachweis der Bauteile:

Bauteilbreite $b = 80 \text{ mm}$

$$f_{t,0,k} = 19,5 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{Netto} = 2 \cdot (80 \cdot 80 - 10 \cdot 80) \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow A_{Netto} = 11200 \text{ mm}^2$$

$$R_{t,0,d} = A_{Netto} \cdot f_{t,0,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 134 \text{ kN}$$

⇒ Zugversagen der Bauteile ist für keinen der Fälle maßgebend.

erforderliche Mindestabstände für vorwiegend axial beanspruchte selbstbohrende Holzschrauben (gilt für den Fall B und C):

Nenndurchmesser: $d = 10 \text{ mm}$

Bauteilbreite $b = 80 \text{ mm}$:

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

weitere erforderlichen Abstände:

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

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

Deckenbalkenanschlüsse mit geneigt angeordneten Schrauben

Im Gegensatz zu den Zugscherverbindungen in **Bild 7** muss bei der Ermittlung der Tragfähigkeit von Deckenbalkenanschlüssen mit parallel zueinander oder gekreuzt angeordneten Schrauben (**Bild 4**) die Lagerungsart des Hauptträgers berücksichtigt werden. Der grundsätzliche Unterschied zwischen gelenkiger und eingespannter Lagerung des Hauptträgers besteht in der unterschiedlichen Beanspruchung der Verbindung in der Fuge (**Bild 9**).

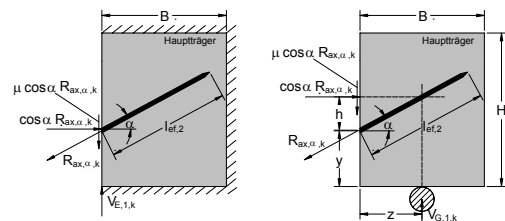


Bild 9: Schnittgrößen in der Fuge bei einer eingespannten (links) und einer gelenkigen (rechts) Hauptträgerlagerung am Beispiel eines Deckenbalkenanschlusses mit einer Schraube

Bei eingespannten Hauptträgern wird angenommen, dass die Auflagerkraft V des Nebenträgers in der Fuge übertragen wird. Die aufnehmbare Querkraft bei Deckenbalkenanschlüssen mit einer auf Herausziehen beanspruchten Schraube sowie eingespanntem Hauptträger kann daher sinngemäß wie nach Gleichung (1) ermittelt werden. Die aufnehmbare Querkraft bei Deckenbalkenanschlüssen mit zwei gekreuzt angeordneten Schrauben sowie eingespanntem Hauptträger wird sinngemäß nach Gleichung (2) ermittelt.

Bei gelenkig gelagerten Hauptträgern wird die Auflagerkraft V in einem Abstand z zur Fuge übertragen. Für Deckenbalkenanschlüsse mit einer Schraube sowie einem gelenkig gelagerten Hauptträger kann die aufnehmbare Querkraft in Anlehnung an Gleichung (1) ermittelt werden, wenn für den Einschraubwinkel α folgende Bedingung eingehalten wird:

$$\alpha \leq \arctan \frac{H-y}{z}$$

Für $\alpha > \arctan \frac{H-y}{z}$ kann keine

Druckkraft in der Fuge zwischen den Bauteilen übertragen werden. Das System wird kinematisch.

Für Deckenbalkenanschlüsse mit zwei gekreuzt angeordneten Schrauben sowie einem gelenkig gelagerten Hauptträger kann die aufnehmbare Querkraft nach Gleichung (2) nur für den folgenden Einschraubwinkel α ermittelt werden:

$$\alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$$

Für $\alpha \neq \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$ schneiden sich

die Kraftvektoren aus den Beanspruchungen nicht in einem gemeinsamen Punkt. Es entsteht ein zusätzliches Moment, welches die Tragfähigkeit der Verbindung reduziert.

Nachfolgend sind die Gleichungen zur Ermittlung des charakteristischen Wertes der Tragfähigkeit von Nebenträger-Hauptträger-Verbindungen zusammengestellt.

Für Anschlüsse mit **eingespannten** Hauptträgern und einer geneigt angeordneten Schraube beträgt der charakteristische Wert der aufnehmbaren Querkraft:

$$V_{E,1,k} = R_{ax,\alpha,k} \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha) \quad (3)$$

Für Anschlüsse mit **gelenkig gelagerten** Hauptträgern und einer geneigt angeordneten Schraube gilt:

$$V_{G,1,k} = R_{ax,\alpha,k} \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha) \quad (4)$$

vorausgesetzt dass $\alpha \leq \arctan \frac{H-y}{z}$ ist.

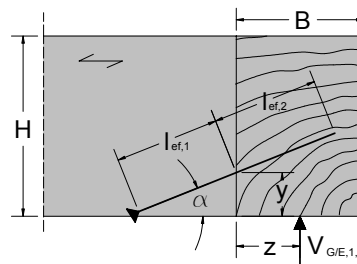


Bild 10: Deckenbalkenanschluss mit einer Schraube

Für Anschlüsse mit **eingespannten** Hauptträgern und zwei gekreuzt angeordneten Schrauben gilt:

$$V_{G,2,k} = 2 \cdot R_{ax,\alpha,k} \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

Für Anschlüsse mit **gelenkig gelagerten** Hauptträgern und zwei gekreuzt angeordneten Schrauben kann der charakteristische Wert der aufnehmbaren Querkraft nur für den Fall $\alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$ nach folgender

Gleichung (6) ermittelt werden:

$$V_{G,2,k} = 2 \cdot R_{ax,\alpha,k} \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

mit $\alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$

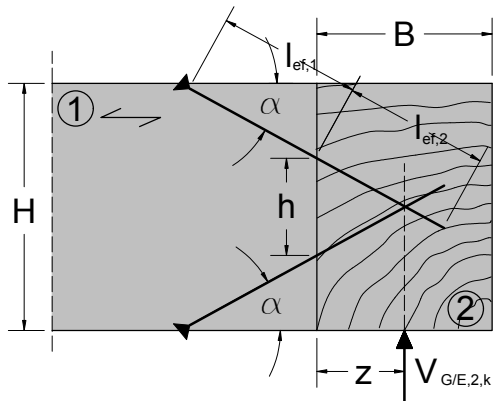


Bild 11: Deckenbalkenanschluss mit zwei Schrauben

mit

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

und $\alpha \geq 30^\circ$

Hierin bedeuten:

$V_{E,i,k}$ charakteristischer Wert der aufnehmbaren Querkraft für

eingespannte Hauptträger mit $i = 1$ bzw. $i = 2$ Schrauben

$V_{G,i,k}$ charakteristischer Wert der aufnehmbaren Querkraft für gelenkig gelagerte Hauptträger mit $i = 1$ bzw. $i = 2$ Schrauben

$R_{ax,\alpha,k}$ charakteristischer Wert des axialen Ausziehwiderstandes oder des Widerstandes gegen Hineindrücken

$R_{t,u,k}$ charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit der Schraube

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

d Nenndurchmesser

α Winkel zwischen Schraubenchse und Faserrichtung des Nebenträgers

$l_{ef,i}$ Gewindelänge im Holzteil $i = 1$ bzw. $i = 2$

Für auf Druck beanspruchte Schrauben ist wegen der Knickgefahr für die anrechenbare Gewindelänge im Holzteil 1 und 2 folgende Bedingung einzuhalten:

$$l_{ef,i} \leq 11500 \cdot \left(\frac{d}{\rho_k} \right)^{1,1} \quad \text{in [mm]}$$

z siehe Bild 10 und 11

h Abstand zwischen der zug- und der druckbeanspruchten Schraube in Fugenebene

H Nebenträgerhöhe

y siehe Bild 10

μ Reibbeiwert zwischen den Bauteilen; sofern der Reibbeiwert zwischen Holzbauteilen unbekannt ist, darf der Reibbeiwert zu $\mu = 0,25$ angenommen werden.

Bei Deckenbalkenanschlüssen mit geneigt angeordneten axial beanspruchten selbstbohrenden Holzschrauben gelten die gleichen Mindestabstände wie für Verbindungen mit geneigt angeordneten selbstbohrenden Holzschrauben (**siehe Bild 8**).

Hinweis: Bei Deckenbalkenanschlüssen mit nur einem gekreuzt angeordneten Schraubenpaar (**siehe Bild 11 und 12**) dürfen die Schrauben in einem Abstand $a_2 = d$ zueinander versetzt angeordnet werden:

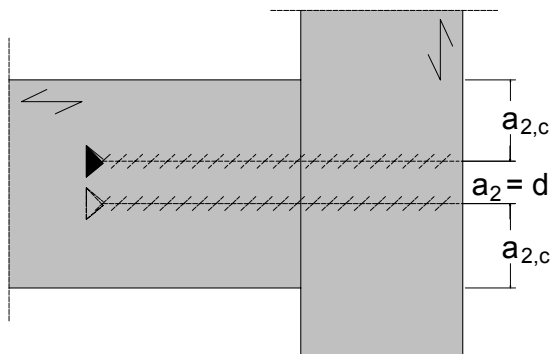


Bild 12: Deckenbalkenanschluss - Draufsicht

Beispiel:

Als Beispiel wird ein Nebenträger-Hauptträger-Anschluss mit **(A)** einer geneigt angeordneten Vollgewindeschraube sowie ein Nebenträger-Hauptträger-Anschluss mit **(B)** zwei gekreuzt angeordneten Vollgewindeschrauben in Anlehnung an [2] be-

rechnet. Der Haupt- und der Nebenträger mit identischen Abmessungen $H \times B = 200 \times 100$ mm sollen aus BSH der Festigkeitsklasse BS 28h ausgeführt werden.

Weitere Angaben:

Tragfähigkeitsklasse der Vollgewindeschraube bei Beanspruchung in Schaftrichtung: 3

Nutzungsstufe 2; KLED: mittel

$$\Rightarrow k_{\text{mod}} = 0,8$$

Annahme:

Da die Lagerungsart des Hauptträgers (gelenkig gelagerter oder eingespannter Hauptträger) unbekannt ist, wird die aufnehmbare Querkraft in der Fuge konservativ wie für gelenkig gelagerte Hauptträger nach Gleichung (4) für Anschlüsse mit einer geneigt angeordneten Schraube und nach Gleichung (6) für Anschlüsse mit zwei gekreuzt angeordneten Schrauben ermittelt. Die berechnete Querkraft ist somit auch auf Nebenträger-Hauptträger-Anschlüssen mit eingespannten Hauptträgern übertragbar.

Fall (A): Nebenträger-Hauptträger-Anschluss mit einer geneigt angeordneten Schraube:

gewählt:

Nenn Durchmesser der Vollgewindeschraube: $d = 10$ mm

charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit der Schraube: $R_{t,u,k} = 19$ kN

Einschraubwinkel: $\alpha = 45^\circ$

Reibbeiwert zwischen den anzuschließenden Bauteilen: $\mu = 0,25$

es muss gelten: $\alpha \leq \arctan \frac{H-y}{z}$

mit $H = 200 \text{ mm}$ und $\alpha = 45^\circ$

sowie $z = B/2 = 50 \text{ mm}$ gilt:

$y \leq 150 \text{ mm}$

gewählt: $y = 100 \text{ mm}$

Mindestabstände im Nebenträger:

$$a_{1,c,vorh} = \frac{1}{2} \cdot \frac{y}{\tan \alpha} = 50 \text{ mm}$$

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

$$a_{2,c,vorh} = \frac{1}{2} \cdot y = 50 \text{ mm}$$

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

Daraus folgt für die Einschraubtiefe im Nebenträger:

$$l_{ef,1} = \frac{y}{\sin \alpha} = 141 \text{ mm}$$

maximal mögliche Einschraubtiefe im Hauptträger:

$$l_{ef,2} = \sqrt{(H-y)^2 + B^2} = 141 \text{ mm}$$

gewählt: Länge der Vollgewindeschraube: $l_S = 280 \text{ mm}$

⇒ Einschraubtiefen

$$l_{ef,1} = 141 \text{ mm}$$

$$l_{ef,2} = l_S - l_{ef,1} = 139 \text{ mm}$$

Mindestabstände im Hauptträger:

$$a_{2,c,vorh} = \frac{1}{2} \cdot l_{ef,2} \cdot \sin \alpha = 49 \text{ mm}$$

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

und

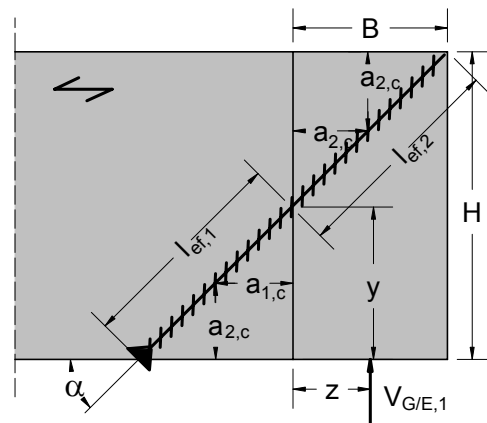
$$a_{2,c,vorh} = \frac{1}{2} \cdot l_{ef,2} \cdot \cos \alpha = 49 \text{ mm}$$

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

weitere erforderliche Mindestabstände im Nebenträger (über Trägerbreite B):

$$a_{2,c,vorh} = \frac{B}{2} = 50 \text{ mm} \geq a_{2,c,erf} = 4 \cdot d = 40 \text{ mm}$$

Skizze der Verbindung:



Nachweis der Tragfähigkeit:

$f_{1,k}$ nach **Tabelle 1**:

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

mit $R_{t,u,k} = 19 \text{ kN}$

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

$$\Rightarrow R_{ax,\alpha,k} = 16316 \text{ N}$$

für die aufnehmbare Querkraft gilt:

$$V_{G/E,1,k} = R_{ax,\alpha,k} \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha)$$

$$V_{G/E,1,k} = 14,4 \text{ kN}$$

$$V_{GE,1,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot V_{GE,1,k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 14,4 \text{ kN} = 8,88 \text{ kN}$$

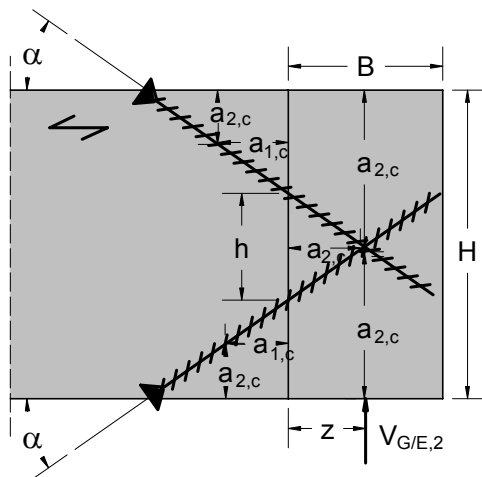
Fall (B): Nebenträger-Hauptträger-Anschluss mit zwei gekreuzt angeordneten Schrauben:

Im Vergleich zum Fall (A) ist bei Nebenträger-Hauptträger-Anschlüssen mit gelenkig gelagerten Hauptträgern sowie zwei gekreuzt angeordneten Schrauben der Einschraubwinkel eindeutig definiert:

$$\alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$$

Mit diesem Einschraubwinkel sowie den erforderlichen Mindestabständen $a_{1,c}$ und $a_{2,c}$ im Nebenträger kann der Einschraubwinkel bestimmt werden.

Skizze der Verbindung:



Im Nebenträger gilt:

$$a_{2,c,vorh} = \frac{1}{4} \cdot (H - h)$$

$$a_{1,c,vorh} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(H - h)}{\tan \alpha}$$

sowie $h = 2 \cdot z \cdot \tan \alpha$

mit

$$z = B / 2 = 50 \text{ mm}; H = 200 \text{ mm}$$

und

$$a_{1,c} \geq 5 d \quad \text{sowie} \quad a_{2,c} \geq 4 d$$

folgt:

$$\alpha \leq \arctan(2 - 0,16 \cdot d) \quad \text{und}$$

$$\alpha \leq \arctan\left(\frac{10}{5 + d}\right)$$

gewählt: $d = 8 \text{ mm}$ und $\alpha = 35^\circ$

Einschraubtiefe im Nebenträger:

$$l_{ef,1} = \sqrt{(2 \cdot a_{1,c,vorh})^2 + (2 \cdot a_{2,c,vorh})^2} = 113 \text{ mm}$$

maximal mögliche Einschraubtiefe im Hauptträger:

$$l_{ef,2} = \frac{B}{\cos \alpha} = 122 \text{ mm}$$

gewählt: Länge der Vollgewindeschraube: $l_s = 230 \text{ mm}$

⇒ Einschraubtiefen

$$l_{ef,1} = 113 \text{ mm}$$

$$l_{ef,2} = l_s - l_{ef,1} = 117 \text{ mm}$$

Überprüfen, ob die auf Hineindrücken beanspruchte Schraube knickgefährdet ist:

$$l_{ef,1} = 113 \text{ mm} < 11500 \cdot \left(\frac{d}{\rho_k}\right)^{1,1} = 151 \text{ mm}$$

$$l_{ef,2} = 117 \text{ mm} < 11500 \cdot \left(\frac{d}{\rho_k}\right)^{1,1} = 151 \text{ mm}$$

⇒ es besteht keine Knickgefahr für die auf Hineindrücken beanspruchte Schraube.

Mindestabstände im Hauptträger:

$$a_{2,c,vorh} = \frac{1}{2} \cdot l_{ef,2} \cdot \cos \alpha = 47,9 \text{ mm}$$

$$\geq a_{2,c,erf} = 4 \cdot d = 32 \text{ mm}$$

und

$$a_{2,c,vorh} = \frac{1}{2} \cdot (H - h + l_{ef,2} \cdot \sin \alpha) = 98,5 \text{ mm}$$

$$\geq a_{2,c,erf} = 4 \cdot d = 32 \text{ mm}$$

weitere Mindestabstände im Neben-träger (über Trägerbreite):

Die zwei gekreuzt angeordneten Vollgewindeschrauben dürfen in einem Abstand d (= Nenndurchmesser) zueinander versetzt angeordnet werden.

$$a_{2,c,vorh} = \frac{1}{2} \cdot (B - d) = 46 \text{ mm}$$

$$\geq a_{2,c,erf} = 4 \cdot d = 32 \text{ mm}$$

Nachweis der Tragfähigkeit:

$f_{1,k}$ nach **Tabelle 1**:

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

mit $R_{t,u,k} = 19 \text{ kN}$

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

$$\Rightarrow R_{ax,\alpha,k} = 9973 \text{ N}$$

für die aufnehmbare Querkraft gilt:

$$V_{G/E,2,k} = 2 \cdot R_{ax,\alpha,k} \cdot \sin \alpha$$

$$V_{G/E,2,k} = 11,4 \text{ kN}$$

$$V_{G/E,2,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot V_{G/E,2,k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 11,4 \text{ kN} = 7,04 \text{ kN}$$

Dieses Beispiel zeigt, dass die aufnehmbare Querkraft für Anschlüsse mit zwei gekreuzt angeordneten Vollgewindeschrauben kleiner sein kann als diejenige für Anschlüsse mit einer geneigt angeordneten Vollgewindeschraube. Für Anschlüsse mit gelenkig gelagerten Hauptträgern sowie zwei gekreuzt angeordneten Vollgewindeschrauben muss für den Einschraubwinkel $\alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$

eingehalten werden. Diese Bedingung führt zusammen mit den Mindestabständen der Schrauben im Holz zu einer Eingrenzung des möglichen Einschraubwinkels sowie des Schraubennendurchmessers und folglich bei kleinen Trägerhöhen zu geringeren Traglasten als für Anschlüsse mit einer geneigt angeordneten Vollgewindeschraube. Für eingespannte Hauptträger sowie zwei gekreuzt angeordnete Vollgewindeschrauben muss die Bedingung $\alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$ nicht eingehalten

werden. Diese Vereinfachung führt in der Regel bei Anschlüssen mit zwei gekreuzt angeordneten Schrauben zu höheren Tragfähigkeiten als bei Anschlüssen mit einer geneigt angeordneten Vollgewindeschraube.

3 Querzug- und Querdruckverstärkungen mit selbstbohrenden Holzschrauben

3.1 Allgemeines

Bei einer Zugbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung weist Holz nur eine sehr geringe Festigkeit auf. Der charakteristische Festigkeitswert von Vollholz und 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 Trägerauflager und Trägerdurchbrüche. Als Verstärkungselemente wurden bisher ins Holz eingeklebte Stahlstäbe oder auf das Holz aufgeklebte Holzwerkstoffplatten verwendet. Eine Alternative zu den geklebten Querzugverstärkungen stellen selbstbohrende Vollgewindeschrauben dar. Selbstbohrende Vollgewindeschrauben können aber auch in querdruckbeanspruchten Bauteilen eingesetzt werden, denn auch bei einer Druckbeanspruchung rechtwinklig zur Faserrichtung weist das Holz eine relativ geringe Festigkeit auf. Bei mit Hilfe von selbstbohrenden Vollgewindeschrauben verstärkten querdruckbe-

anspruchten Bauteilen, wie z.B. Trägerauflagern, kann die Tragfähigkeit im Vergleich zu unverstärkten Bauteilen deutlich gesteigert werden.

Nachfolgend werden für verstärkte querzug- und querdruckbeanspruchte Bauteile Hinweise zur konstruktiven Ausführung dieser Verstärkungselemente angegeben. Die Tragfähigkeitsnachweise für derartige unverstärkte sowie verstärkte Bauteile können nach dem Bemessungskonzept nach [2] geführt werden. Für Trägerdurchbrüche sowie Querdruckverstärkungen werden ergänzende Berechnungshinweise angegeben.

3.2 Verstärkte Queranschlüsse

Für durch eine Kraffteinleitung rechtwinklig zur Holzfaserrichtung beanspruchte unverstärkte Bauteile mit Rechteckquerschnitt dürfen die dadurch verursachten Querzugspannungen nach [2], Abschnitt 11.1.5 berechnet werden. Werden Queranschlüsse durch rechtwinklig zur Holzfaserrichtung eingedrehte selbstbohrende Holzschrauben verstärkt (**Bild 13**), ist der Nachweis der Verstärkungselemente nach [2], 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 Holzfaserrichtung allein durch die Verstärkungselemente. Daher kann sich bei nicht ausreichend verstärkten Quer-

anschlüssen der Bemessungswert der Tragfähigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes rechnerisch als kleiner als derjenige für unverstärkte Queranschlüsse ergeben. Für diesen Fall ist der Bemessungswert $R_{90,d}$ wie für unverstärkte Queranschlüsse maßgebend.

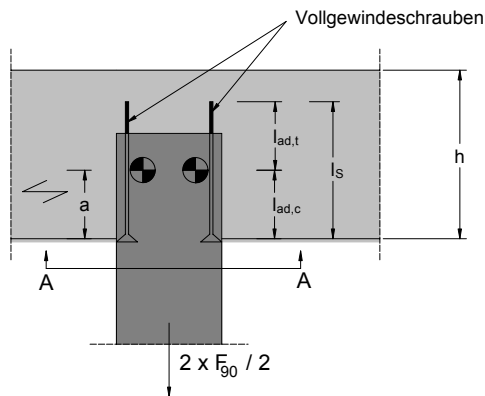


Bild 13: Queranschluss

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 14**).

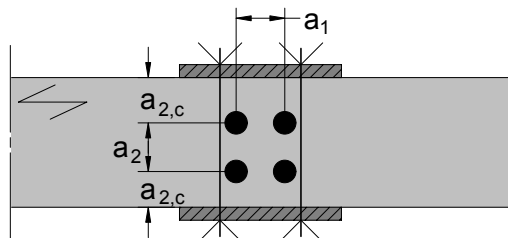


Bild 14: Schrauben mittig zwischen den Verbindungsmitteln des Queranschlusses

Anderenfalls können die Schrauben nur von außen (**Bild 15**) dicht an die

Verbindungsmittel des Queranschlusses oder aber sowohl zwischen den Verbindungsmitteln als auch außerhalb eingedreht werden.

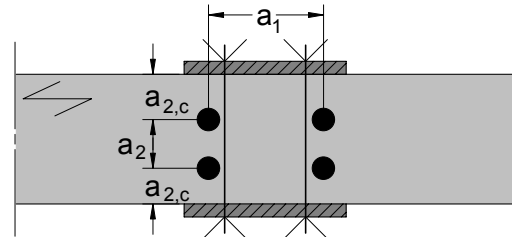


Bild 15: Schrauben außerhalb der Verbindungsmittel des Queranschlusses (Schnitt A - A)

Beispiel:

Als Beispiel wird ein verstärkter Queranschluss nach [2] 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 vom beanspruchten Rand beträgt $a = 60 \text{ mm}$. Der Abstand der Bolzen untereinander in Faserrichtung beträgt $a_r = 64 \text{ mm}$. 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 14**.

weitere Angaben:

Tragfähigkeitsklasse der Vollgewindeschraube bei Beanspruchung in Schaftrichtung: 2

Nutzungsklasse 2; KLED: mittel

$$\Rightarrow k_{\text{mod}} = 0,90$$

$f_{1,k}$ nach **Tabelle 1**:

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

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

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

Einschraubwinkel: $\alpha = 90^\circ$

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

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

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

sowie für die Zugfestigkeit der Vollgewindeschraube:

$$R_{\text{t,u,k}} = 6,9 \text{ kN}$$

$$R_{\text{ax,d}} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot R_{\text{ax,k}} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 3,09 \text{ kN} = 2,14 \text{ kN}$$

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

somit gilt:

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

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

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

Zum Vergleich kann der Bemessungswert der Kraftkomponente rechtwinklig zur Holzfaserrichtung $F_{90,d}$ für einen identischen unverstärkten Queranschluss nach [2] zu $F_{90,d} \leq 6,32 \text{ kN}$ berechnet werden.

Mindestabstände:

Bolzen:

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

Vollgewindeschrauben:

Überprüfen, ob eine Anordnung zwischen den Bolzen möglich ist:

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

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

gewählt: $d = 6 \text{ mm}$

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

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

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

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

3.3 Verstärkte ausgeklinkte Trägersauflager

Bei unverstärkten Trägern mit Rechteckquerschnitt, die an den Enden ausgeklinkt sind, ist der Schubspannungsnachweis mit der Resthöhe h_e zu führen. Für verstärkte ausgeklinkte Träger (**Bild 16**) gilt Abschnitt 11.4.3 in [2]. Bei nicht ausreichend verstärkten ausgeklinkten Trägersauflagern kann der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft V_d nach Abschnitt 11.4.3 in [2] 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 Trägersauflager geführt werden.

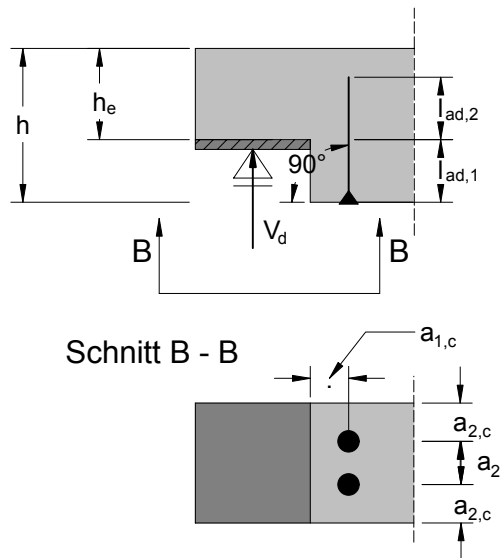


Bild 16: Ausklinkung

Die Verstärkungselemente sind stets unter 90° 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 des axialen Ausziehwi- derstandes nach [2], Abschnitt 12.8.2 ist der kleinere Wert der Gewinde- länge $l_{ef} = \min\{l_{ad,1}; l_{ad,2}\}$ anzu- nehmen.

Beispiel:

Als Beispiel wird eine verstärkte rechtwinklige Ausklinkung am Ende eines Trägers aus BSH der Festig- keitsklasse BS 28c nach [2] berech- net. Die Trägerhöhe beträgt $h = 300$ mm, die Trägerbreite $b = 80$ mm. Die

Resthöhe am ausgeklinten Auflager beträgt $h_e = 150$ mm.

Die Ausklinkung wird mit Hilfe einer rechtwinklig zur Holzfaserrichtung eingedrehten Vollgewindeschraube $8,0 \times 240$ mm verstärkt. Die Anord- nung der Vollgewindeschraube ent- spricht der Schraubenanordnung in **Bild 16**.

weitere Angaben:

Tragfähigkeitsklasse der Vollgewin- deschraube bei Beanspruchung in Schafrichtung: 2

Nutzungsklasse 2; KLED: kurz

$$\Rightarrow k_{mod} = 0,90$$

Steigungswinkel des Anschnitts:

$$\varepsilon = 90^\circ$$

Abstand zwischen Kraftwirkungslinie der Auflagerkraft und Ausklinkungs- ecke: $c = 50$ mm

$f_{1,k}$ nach **Tabelle 1**:

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

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

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

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

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

Einschraubwinkel: $\alpha = 90^\circ$

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

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

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

sowie für die Zugfestigkeit der Vollgewindeschraube:

$$R_{t,u,k} = 12,2 \text{ kN}$$

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

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

somit gilt:

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

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 [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 [2], 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:

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

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

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

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

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

Einschraubwinkel: $\alpha = 90^\circ$

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

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

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

sowie für die Zugfestigkeit der Vollgewindeschraube:

$$R_{t,u,k} = 19,1 \text{ kN}$$

$$R_{ax,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot R_{ax,k} = \frac{0,9}{1,3} \cdot 17,7 \text{ kN} = 12,3 \text{ kN}$$

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

somit gilt:

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

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

$$V_d \leq 18,9 \text{ kN}$$

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

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

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

3.4 Verstärkte Trägerdurchbrüche

Durchbrüche in Trägern mit Rechteckquerschnitt sind runde oder

rechteckige Öffnungen mit den lichten Maßen $d > 50$ 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 [2], Abschnitt 11.3 geführt werden. Für mit selbstbohrenden Vollgewindeschrauben verstärkte Trägerdurchbrüche (Bild 17) gilt Abschnitt 11.4.4 in [2]. 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° 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 Trägersauflagern der Nachweis für verstärkte Trägerdurchbrüche wie für unverstärkte Trägerdurchbrüche nach [2], Abschnitt 11.4.4 geführt werden.

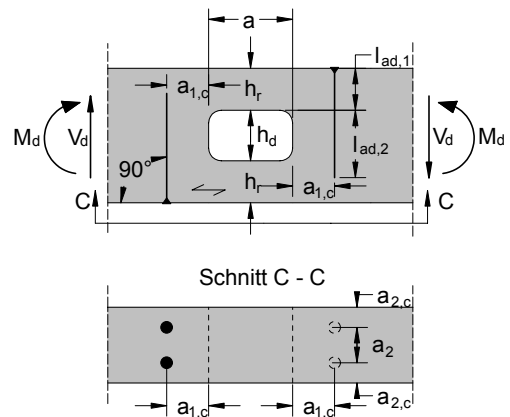


Bild 17: Trägerdurchbruch

Für verstärkte Trägerdurchbrüche sind die Schrauben mit dem kleinstmöglichen Abstand $a_{1,c}$ zum Durchbruchrand rechtwinklig zur Holzfaser einzudrehen. Für den Nachweis nach [2], 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 in [2] ist der kleinere Wert der Gewindelänge $l_{ef} = \min\{l_{ad,1}; l_{ad,2}\}$ anzunehmen.

Zusätzlich zu der Berechnung von unverstärkten sowie verstärkten Trägerdurchbrüchen nach [2], 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 Durchbruchsrand von etwa der Durchbruchshöhe h_d erhöhte Schubspannungen auf. In Abhängigkeit von der Durchbruchslänge a und der Durchbruchshöhe h_d können die an diesen Stellen auftretenden Schubspannungen um bis zu drei mal höhere Werte annehmen als die Schubspannungen im Restquerschnitt oberhalb bzw. unterhalb des Durchbruches. In **Bild 18** sind die Schubspannungsverläufe über den Querschnitt an den vier maßgebenden Stellen eines Trägers mit Durchbruch qualitativ dargestellt.

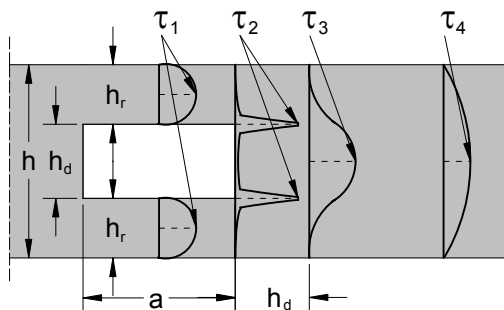


Bild 18: Schubspannungsverläufe

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:

$$\tau_{\max} = \kappa_{\max} \cdot 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot (h - h_d)} \quad (7)$$

mit

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

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 $2 \cdot V_d$ in Trägermitte sowie einem verstärkten rechteckigen Durchbruch betrachtet. Der Durchbruch mit einer Durchbruchshöhe $h_d = 60 \text{ mm}$ sowie einer Durchbruchslänge $a = 100 \text{ mm}$ 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 17**.

weitere Angaben:

Tragfähigkeitsklasse der Vollgewindeschraube bei Beanspruchung in Schaftrichtung: 2

Nutzungsklasse 2; KLED kurz

$$\Rightarrow k_{\text{mod}} = 0,90$$

$f_{1,k}$ nach **Tabelle 1:**

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

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

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

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

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

Einschraubwinkel: $\alpha = 90^\circ$

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

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

$$R_{t,u,k} = 7,0 \text{ kN}$$

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

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

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 $h_d / h = 0,3$; $a / h = 0,5$; $h_r = 70$ mm; $l_x = l_v + a = 300$ 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 Abschnitt 11.3 in [2] zu $V_d \leq 7,13$ 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:

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

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

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

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

Schubspannungsnachweis am Trägerdurchbruch nach Gleichung (7):

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

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

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

⇒ Für den verstärkten Trägerdurchbruch ist der Nachweis der Schubspannung in der Nähe des Trägerdurchbruchs nach Gleichung (7) maßgebend.

Damit hätte auch eine Schraube pro Seite genügt.

Mindestabstände:

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

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

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

3.5 Verstärkte Trägersauflager

Bei unverstärkten Trägersauflagern ist der Nachweis der Druckspannung rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes nach [2], Abschnitt 10.2.4 zu führen. Hierbei ist nachzuweisen, dass der Bemessungswert der wirk-

samen 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 Holzfaserichtung eingedrehten Vollgewindeschrauben zu verstärken (**siehe Bild 19**).

Damit die Auflagerlast gleichmäßig über die Schrauben sowie über die Holzoberfläche ins Holz eingeleitet werden kann, sind bei der konstruktiven Ausführung der Querdruckverstärkung folgende Bedingungen einzuhalten:

- 1) Die Schrauben sind gleichmäßig über die Auflagerfläche zu verteilen.
- 2) Es sind nur selbstbohrende Holzschrauben mit einem Gewinde über die gesamte Schraubenlänge zu verwenden.
- 3) Die Schrauben sind an der Stelle der querdruckbeanspruchten Auflager rechtwinklig zur Holzfaserichtung einzudrehen, so dass die Oberkante des Senkkopfes bündig mit der Holzoberfläche ist (**siehe Bild 19**).

Die Mindestabstände entsprechen den auf Herausziehen beanspruchten Schrauben (siehe Abschnitt 2.3.2).

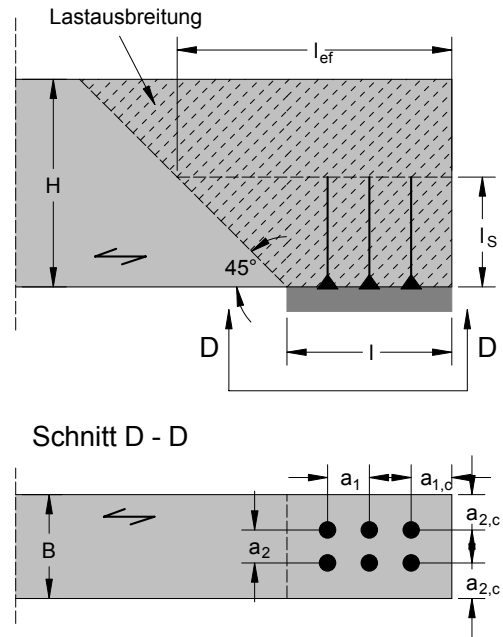


Bild 19: verstärktes Auflager

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

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

$$F_{c,90,d} \leq n \cdot R_d + k_{c,90} \cdot A_{ef} \cdot f_{c,90,d} \quad (8)$$

$$\text{mit } A_{ef} = B \cdot l$$

Nachweis der Druckspannung rechtwinklig zur Holzfaser oberhalb der Schraubenspitze unter der Annahme einer Lastausbreitung unter 45° (**siehe Bild 19**):

$$\frac{F_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot A_{ef,2}} \leq f_{c,90,d} \quad (9)$$

$$\text{mit } A_{ef,2} = B \cdot l_{ef} = B \cdot (l + l_s)$$

Hierin bedeuten:

$F_{c,90,d}$ Bemessungswert der Auflagerkraft rechtwinklig zur Holzfaser

n Anzahl der Schrauben

$k_{c,90}$ Beiwert zur Berücksichtigung der Teilflächenpressung (siehe Abschnitt 10.2.4 in [2])

$f_{c,90,d}$ Bemessungswert der Querdruckfestigkeit

B Auflagerbreite

l Auflagerlänge parallel zur Holzfaser. Für die Ermittlung der wirksamen Querdruckfläche A_{ef} und $A_{ef,2}$ darf 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:

$$R_d = \min \{ R_{ax,d} ; R_{c,d} \} \quad (10)$$

mit

$R_{ax,d}$ nach [2], 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 κ_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

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

Hierin bedeuten:

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

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

Darin sind d der Nenndurchmesser der Schraube in mm und $f_{y,k}$ der charakteristische Wert der Streckgrenze in N/mm^2 . Bei selbstbohrenden Holzschrauben ist für den charakteristischen Wert der Streckgrenze der Nachweis in einer bauaufsichtlichen Zulassung zu erbringen.

$N_{ki,k}$ charakteristischer Wert der kleinsten Verzweigungslast nach Elastizitätstheorie in Abhängigkeit vom Schraubennennendurchmesser, von der Gewindelänge und von der charakteristischen Rohdichte des Holzes unter Berücksichtigung der elastischen Bettung des Holzes sowie einer dreieckförmigen Normalkraftverteilung in der Schraube (**siehe Tabelle 2**)

d Schraubennennendurchmesser

Werden als Auflagerverstärkung Schrauben mit einer Senkkopfform sowie einer ausgefrästen Stahlplatte nach **Bild 20** verwendet, dürfen nach [7] bei der Ermittlung der Grenztragfähigkeit beim Ausknicken $R_{c,d}$ höhere Werte für die Verzweigungslasten $N_{ki,k}$ verwendet werden.

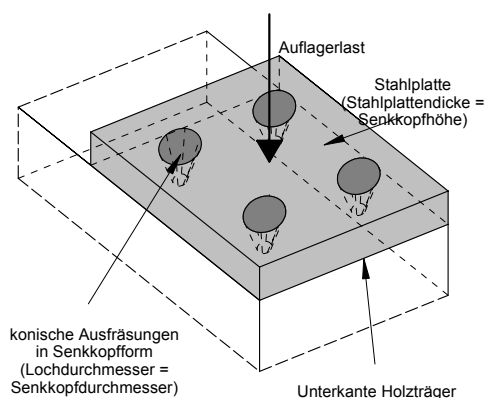


Bild 20: Sonderfall eines verstärkten Trägersauflagers nach [7]

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

$N_{ki,k}$ in [kN]		$\rho_k = 310 \text{ kg/m}^3$				
		Durchmesser in [mm]				
Schraubennlänge l_s in [mm]	20	5,34	5,55	5,58	5,59	5,59
	40	8,85	15,0	16,3	16,6	16,7
	60	8,77	18,4	26,8	29,4	30,1
	80	8,71	18,5	30,6	40,3	43,9
	100	8,67	18,6	31,0	44,9	55,2
	120		18,6	31,4	45,8	60,8
	140			31,7	46,6	62,6
	160			31,8	47,3	63,7
	180				47,6	64,8
	200				47,9	65,7
	220	66,2				
	>240	66,7				
$N_{ki,k}$ in [kN]		$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$				
		Durchmesser in [mm]				
Schraubennlänge l_s in [mm]	20	6,47	6,78	6,83	6,84	6,85
	40	9,84	17,8	19,8	20,3	20,4
	60	9,76	20,6	31,5	35,6	36,8
	80	9,69	20,7	34,4	47,3	53,0
	100	9,64	20,8	34,8	50,9	64,9
	120		20,8	35,2	51,7	69,4
	140			35,4	52,5	70,8
	160			35,5	53,1	72,1
	180				53,4	73,2
	200				73,9	
	220	74,5				
	>240	74,9				
$N_{ki,k}$ in [kN]		$\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$				
		Durchmesser in [mm]				
Schraubennlänge l_s in [mm]	20	6,94	7,31	7,37	7,38	7,39
	40	10,2	19,0	21,3	21,8	22,0
	60	10,2	21,5	33,4	38,2	39,6
	80	10,1	21,6	36,0	50,1	56,7
	100	10,0	21,6	36,3	53,2	68,7
	120		21,6	36,8	54,0	72,7
	140			36,9	54,8	74,1
	160			37,0	55,4	75,4
	180				55,7	76,5
	200				77,2	
	220	77,7				
	>240	78,1				
$N_{ki,k}$ in [kN]		$\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$				
		Durchmesser in [mm]				
Schraubennlänge l_s in [mm]	20	7,57	8,02	8,09	8,10	8,11
	40	10,8	20,4	23,3	23,9	24,1
	60	10,7	22,6	35,8	41,6	43,3
	80	10,6	22,7	37,9	53,6	61,7
	100	10,5	22,7	38,3	56,2	73,5
	120		22,7	38,7	57,0	77,0
	140			38,8	57,9	78,4
	160			38,9	58,4	79,7
	180				58,7	80,8
	200				81,5	
	220	81,9				
	>240	82,3				

Hinweis: Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden

Beispiel:

Als Beispiel wird der Bemessungswert der aufnehmbaren Beanspruchung rechtwinklig zur Holzfaser $F_{c,90,d}$ eines verstärkten Trägerauflagers ermittelt. Das Auflager eines 600 mm hohen Trägers aus Brett-schichtholz der Festigkeitsklasse BS 28h weist eine Auflagerfläche von $B \times l = 160 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ auf. Die Nutzungsklasse 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 für diese Schraube $f_{y,k} = 1000 \text{ N/mm}^2$.

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

Nachweis eines **verstärkten Trägerauflagers**:

Anzahl n_1 der Schrauben in Faser-richtung:

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

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

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

gewählte Schraubenlänge:

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

Widerstand gegen Hineindrücken:

$f_{1,k}$ nach **Tabelle 1**:

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

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

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

Einschraubwinkel: $\alpha = 90^\circ$

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

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

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

$\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$, $d = 12 \text{ mm}$ und
 $l_S = 400 \text{ mm}$:

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

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

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

$$k = 1,012$$

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

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

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

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

\Rightarrow maßgebend ist das Ausknicken der Vollgewindeschraube im Holz.

mit

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

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

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

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

folgt nach Gleichung (8):

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

Nachweis nach Gleichung (9):

mit

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

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

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

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

folgt nach Gleichung (9):

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

Die aufnehmbare Kraftkomponente rechtwinklig zur Holzfasern wurde für das verstärkte Trägersauflager zu $F_{c,90,d} = 183 \text{ kN}$ ermittelt und ist somit mehr als doppelt so groß als der

Wert für ein unverstärktes Trägersauflager.

Hierbei ist die Tragfähigkeit des verstärkten Trägersauflagers durch das Erreichen der Querdruckfestigkeit des Holzes oberhalb der Schraubenspitze und durch das Ausknicken der Schrauben im Holz begrenzt. Aus diesem Grund kann in diesem Beispiel die aufnehmbare Kraftkomponente rechtwinklig zur Holzfasern durch eine größere Schraubenlänge nicht mehr gesteigert werden.

4 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden Anwendungsmöglichkeiten von selbstbohrenden Holzschrauben mit Teilgewinde und insbesondere mit Vollgewinde gezeigt.

Selbstbohrende Holzschrauben als Holzverbindungsmitel zwischen zwei Bauteilen können Normalkräfte, Biegemomente und insbesondere Querkkräfte oder Kräfte parallel zur Fuge übertragen. Durch eine geeignete Anordnung im Holz werden diese Verbindungsmitel vorwiegend in Richtung der Schraubenachse beansprucht. Die Traglasten von Verbindungen mit geneigt angeordneten selbstbohrenden Vollgewindeschrauben können deutlich höher sein als die Traglasten von Verbindungen mit konventionell angeordneten Schrauben.

Weiterhin können selbstbohrende Vollgewindeschrauben als Verstär-

kungselemente in querzug- und querdruckbeanspruchten Bauteilen eingesetzt werden. Die einfache Montage dieser neuartigen Verbindungsmittel, die ohne Vorbohren ins Holz eingedreht werden, ermöglicht einen problemlosen Einsatz im Werk als auch auf der Baustelle.

Die grundsätzlichen Vorteile gegenüber konventionellen stiftförmigen Verbindungsmitteln liegen jedoch vor allem in der hohen Zugtragfähigkeit und bei möglichen Schraubenlängen bis zu 600 mm in ihrem hohen Widerstand auf Herausziehen.

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.

4 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
- [3] Blaß, H.J.; Bejtka, I. "Standardisierung und Typisierung von Anschlüssen und Verbindungen zur Rationalisierung der Planung und Fertigung im Holz-Wohnhausbau - Teil A" Forschungsbericht 2002. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe.
- [4] Bejtka, I.; Blaß, H.J. (2002). Joints with Inclined Screws. CIB-W18, paper 35-7-4, Kyoto, Japan.
- [5] Kevarinmäki, A. (2002). Joints with Inclined Screws. CIB-W18, paper 35-7-3, Kyoto, Japan.
- [6] Möhler, K; Maier, G. "Der Reibbeiwert bei Fichtenholz im Hinblick auf die Wirksamkeit reibschlüssiger Holzverbindungen" - Sonderdruck aus "Holz als Roh- und Werkstoff" Bd. 27 (1969) S. 303 - 307, Springer-Verlag
- [7] Bejtka, I.; "Querzug- und Querdruckverstärkungen - Aktuelle Forschungsergebnisse" in Tagungsband 2003 - Ingenieurholzbau - Karlsruher Tage