
Verbindungen mit geneigt angeordneten Schrauben¹

Von H.J. Blaß, I. Bejtka²

1 Einleitung

Holzschrauben als Verbindungsmittel werden in der Regel rechtwinklig zur Schraubenachse, d.h. auf Abscheren beansprucht. Da im Gewindebereich die Biegetragfähigkeit der Schraube deutlich geringer ist als im Schaftbereich, sind auf Abscheren beanspruchte Schrauben weniger tragfähig als z.B. entsprechende Stabdübel. Allerdings ist bei Schrauben eine hohe Tragfähigkeit auf Herausziehen zu beobachten. Sobald sich mit zunehmender Verformung die Schraube in einer Verbindung schräg stellt, wird sie außer auf Abscheren auch auf Herausziehen beansprucht. Mit zunehmender Schrägstellung einer Schraube im Fugenbereich einer Verbindung steigt der Anteil dieser Zugkräfte, welche jedoch eine Verankerung der Schraube in beiden Bauteilen erfordern. Die Verankerung der Schraube in einer Verbindung wird durch das durchgehende Schraubengewinde gewährleistet.

Da die Tragfähigkeit einer auf Herausziehen beanspruchten Schraube im Vergleich zu ihrer Tragfähigkeit auf Abscheren größer ist, steigt mit zunehmender Schrägstellung einer Schraube die Tragfähigkeit einer Verbindung. Der Effekt dieser Traglaststeigerung kann ausgenutzt werden, indem die Schrauben nicht unter 90° zur Fuge, sondern unter einem geringeren Winkel eingedreht werden. Damit wird die Schrägstellung der Schraube in einer Verbindung quasi vorweggenommen.

Vollgewindeschrauben mit Durchmessern bis 12 mm und Längen bis 600 mm ermöglichen die Herstellung von Verbindungen und Anschlüssen mit geneigt angeordneten Schrauben in praktisch allen Dimensionen. Bild 1 zeigt links eine Holz/Holz-Verbindung mit geneigt zur Faserrichtung des Holzes angeordneten Schrauben.

¹ Diese Arbeiten wurden gefördert im Rahmen des Forschungsprojektes "Standardisierung und Typisierung von Anschlüssen und Verbindungen zur Rationalisierung der Planung und Fertigung im Holz-Wohnhausbau" durch die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Aktenzeichen: BS 34 - 5 80 01 98 - 18).

² Univ.-Prof. Dr.-Ing. H.J. Blaß ist Inhaber des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe; Dipl.-Ing. I. Bejtka ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am gleichen Lehrstuhl

In Bild 1 rechts ist eine entsprechende Verbindung nach einem Versuch zur Traglastermittlung mit einem Einschraubwinkel von 45 % zwischen Schraubenachse und Kraftrichtung dargestellt.

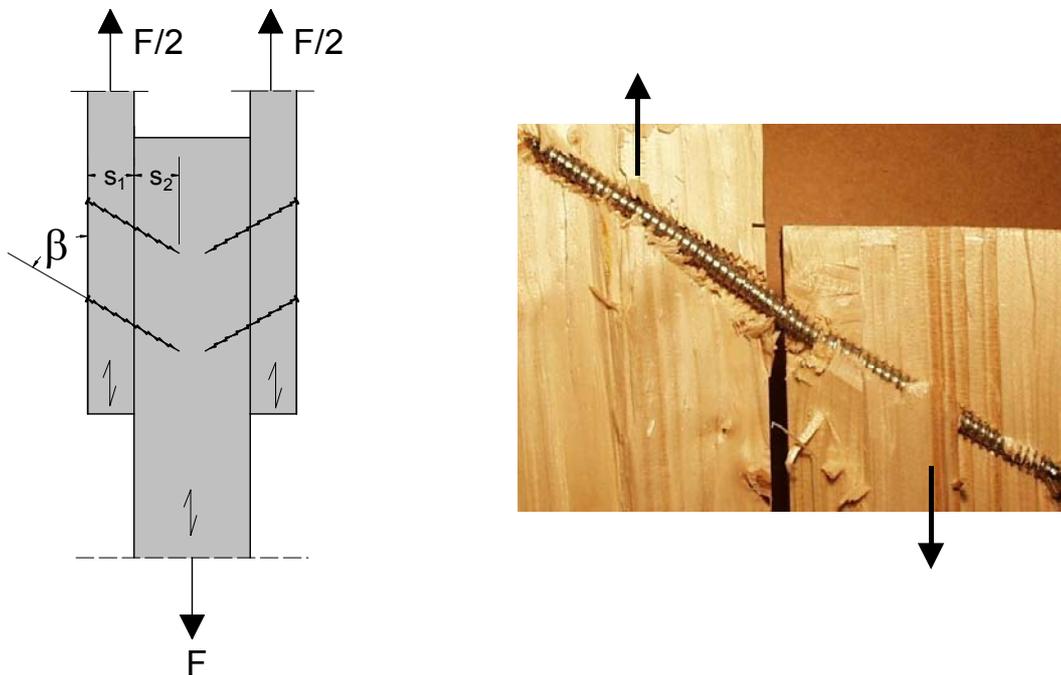


Bild 1: Holz/Holz-Verbindung mit geneigt angeordneten Schrauben

2 Einschnittige Holz/Holz-Verbindungen mit geneigt angeordneten Schrauben

Durch eine geneigte Anordnung der Schrauben in den zu verbindenden Bauteilen werden einschnittige Holz/Holz-Verbindungen hergestellt, bei denen die hohe axiale Tragfähigkeit der Schraube wirksam ausgenutzt wird. Die geneigte Anordnung der Schraube führt von Beginn der Belastung an zu einer kombinierten Beanspruchung aus Abscheren und Herausziehen. Die Kraftkomponente parallel zur Schraubenachse wird dabei um so größer, je kleiner der Winkel β zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Holzes wird. Im Gegensatz hierzu sinkt der Anteil der Abscherkomponente mit abnehmendem Winkel β .

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens [1] wurden Gleichungen zur Bestimmung der Tragfähigkeit geneigt angeordneter Schrauben in einer Holz-Holz-Verbindung hergeleitet. In diesen Gleichungen wird die Beanspruchung rechtwinklig zur Schraubenachse - Abscheren - sowie die Beanspruchung in Richtung der Schraubenachse - Herausziehen - berücksichtigt. Hierbei werden sowohl der Ausziehparameter als auch die Lochleibungsfestigkeit des Holzes zunächst unabhängig voneinander betrachtet.

In [2] wurde ein Rechenmodell vorgestellt, mit dessen Hilfe die Tragfähigkeit von Verbindungen mit geneigt angeordneten Schrauben sehr genau, aber relativ aufwendig ermittelt werden kann. In diesem Rechenmodell wird die Tragfähigkeit bei Abscheren und Herausziehen sowie ihre gegenseitige Wechselwirkung berücksichtigt. Außerdem wird die traglaststeigernde Wirkung der Reibung in der Fuge zwischen den Bauteilen berücksichtigt. In [3] wurde ein einfacheres Rechenmodell vorgestellt. Hierbei wird im Vergleich zu dem Rechenmodell nach [2] die Abscherkomponente vernachlässigt.

Im Folgenden wird auf der Grundlage von [2] und [3] ein konservatives Rechenmodell vorgeschlagen, in dem der Beitrag der Beanspruchung der Schraube auf Abscheren vernachlässigt wird. Damit sind der charakteristische Wert des Ausziehparameters $f_{1,k}$ sowie der Reibbeiwert μ die einzigen notwendigen Materialparameter zur Bestimmung des charakteristischen Wertes der Tragfähigkeit von Verbindungen mit geneigt angeordneten Schrauben.

Bei Verbindungen mit geneigt angeordneten Schrauben sind grundsätzlich zwei Fälle zu unterscheiden: Verbindungen mit ausschließlich parallel zueinander angeordneten Schrauben und Verbindungen, bei denen zwei unterschiedliche Neigungen der Schrauben auftreten. Im letzteren Fall sind die Schrauben in der Regel gekreuzt oder abwechselnd geneigt (siehe Bild 2).

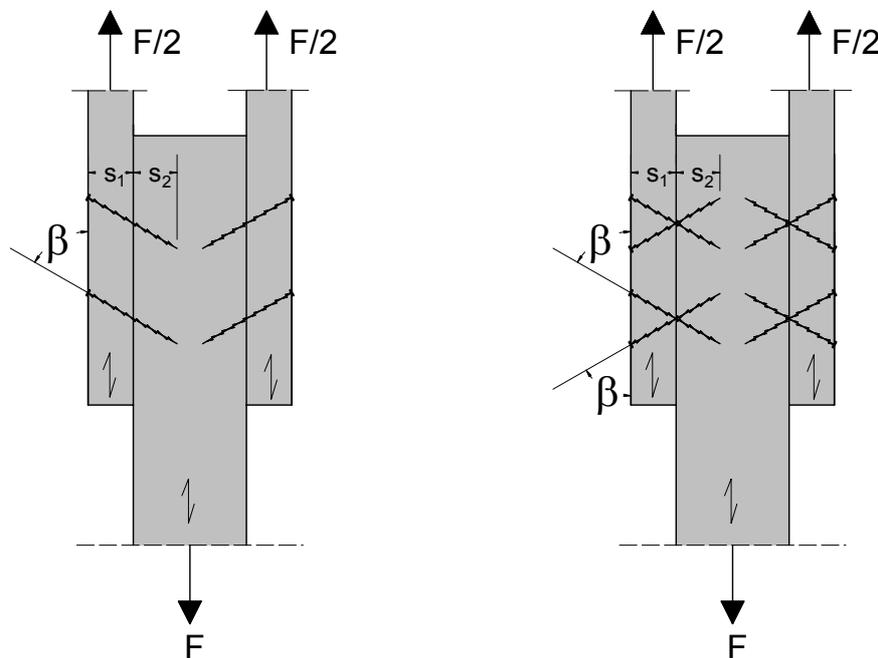


Bild 2: Verbindung mit parallel zueinander angeordneten Schrauben (links) und gekreuzt angeordneten Schrauben (rechts)

Bei Verbindungen mit ausschließlich parallel zueinander angeordneten Schrauben (links in Bild 2) verursacht die Zugkraft in der Schraube eine Druckkraft in der Fuge

zwischen den beiden Bauteilen. Diese Druckkraft bewirkt eine günstig wirkende Reibungskraft.

Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit einer unter einem Winkel β zwischen Schraubenachse und Krafrichtung angeordneten, überwiegend auf Zug beanspruchten Schraube beträgt:

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

mit

$$R_{ax,\beta,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \beta + \frac{4}{3} \cdot \cos^2 \beta} \\ R_{t,u,k} \end{array} \right\} \quad \text{mit} \quad 30^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$$

Hierin bedeuten:

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

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

d Nenndurchmesser bzw. Gewindeaußendurchmesser der Schraube in mm

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

β Winkel zwischen Schraubenachse und Krafrichtung

μ Reibbeiwert zwischen den zu verbindenden Bauteilen (nur für ausschließlich parallel zueinander angeordnete Schrauben)

In Bild 3 ist die dem Rechenmodell zugrunde liegende Beanspruchung der Schraube auf Herausziehen dargestellt.

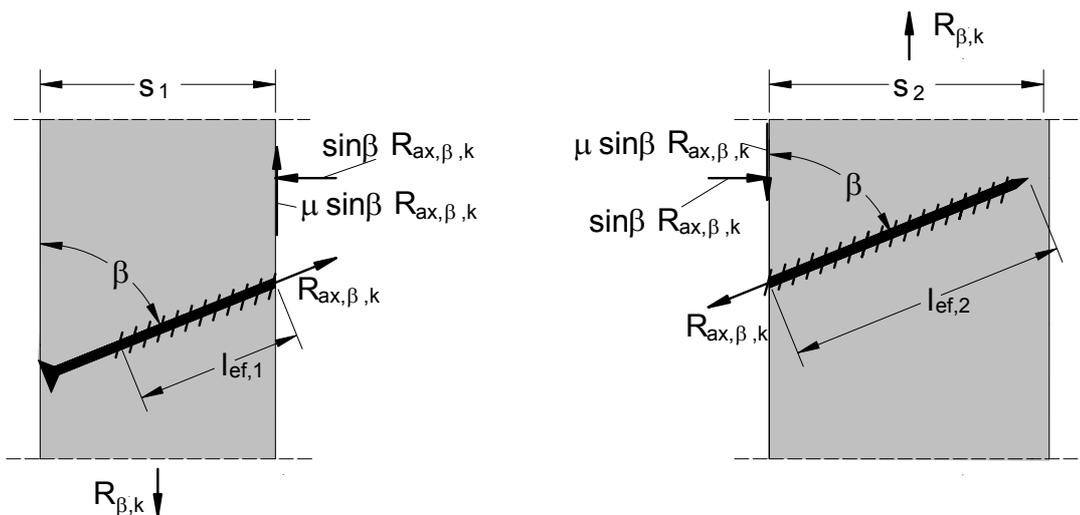


Bild 3: Beanspruchung einer Schraube auf Herausziehen unter Berücksichtigung der Reibung zwischen den Bauteilen

Für sägeraue Oberflächen bei Fichtenholz mit einer Holzfeuchte zwischen 10 % und 17 % beträgt nach [4] der mittlere Reibbeiwert $\mu_{\text{mittel}} = 0,489$ ($\mu_{\text{min}} = 0,317$; $\mu_{\text{max}} = 0,557$), für gehobelte Oberflächen bei Fichtenholz mit Holzfeuchten zwischen 10 % bis 20 % beträgt $\mu_{\text{mittel}} = 0,300$ ($\mu_{\text{min}} = 0,223$; $\mu_{\text{max}} = 0,675$). Zur Überprüfung der Gleichung (1) wurden Zugscherkörper mit unterschiedlichen Einschraubwinkeln und 182 mm langen, ausschließlich parallel zueinander angeordneten Schrauben ($d = 7,5$ mm) bis zum Versagen belastet. Die Einschraubwinkel zwischen der Schraubenachse und der Kraftrichtung wurden zwischen 45° und 90° in 15° -Schritten variiert. Der Schraubentyp, die Anzahl der Schrauben und die Holz厚ken wurden konstant gehalten. Die Versuchskörpergeometrie mit parallel zueinander angeordneten Schrauben ist in Bild 4 dargestellt. Die Versuchskörper aus BS-Holz enthielten pro Anschluss acht selbstbohrende Vollgewindeschrauben. Ein Teil der Prüfkörper wurde mit Folien in den Scherfugen hergestellt, um die Reibung zwischen dem Seiten- und Mittelholz zu minimieren.

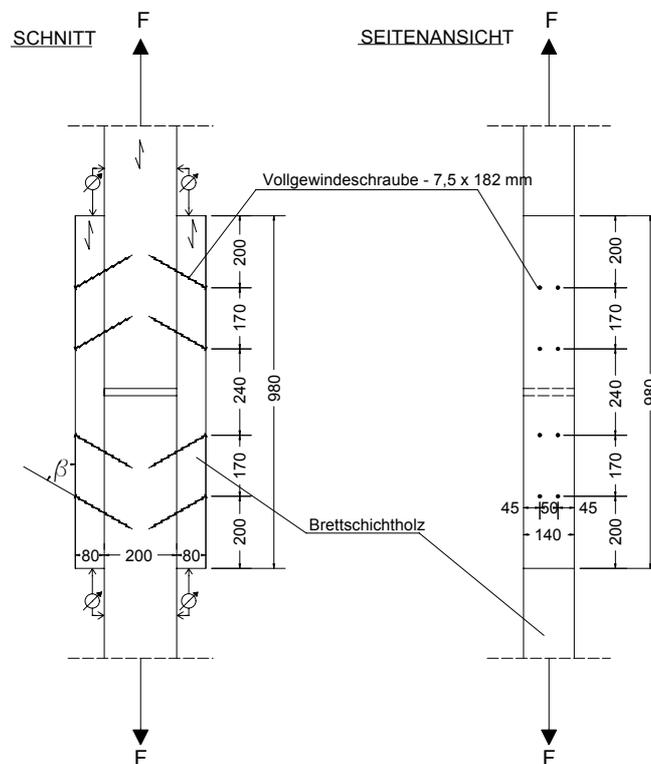


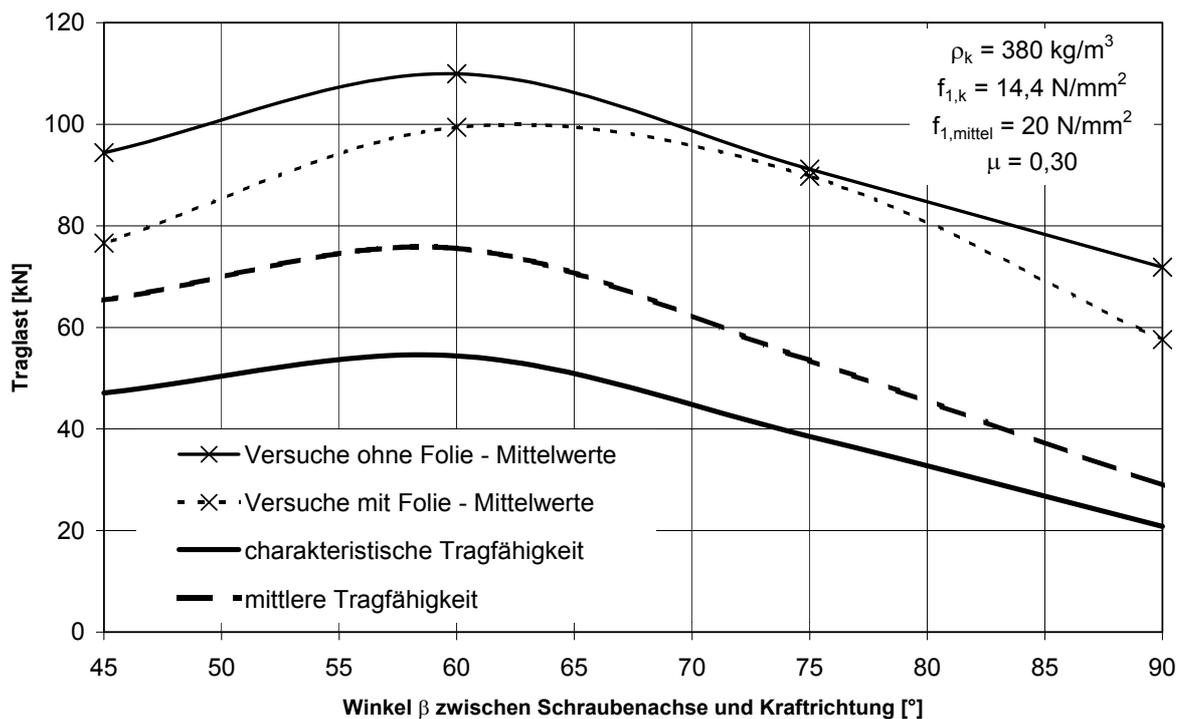
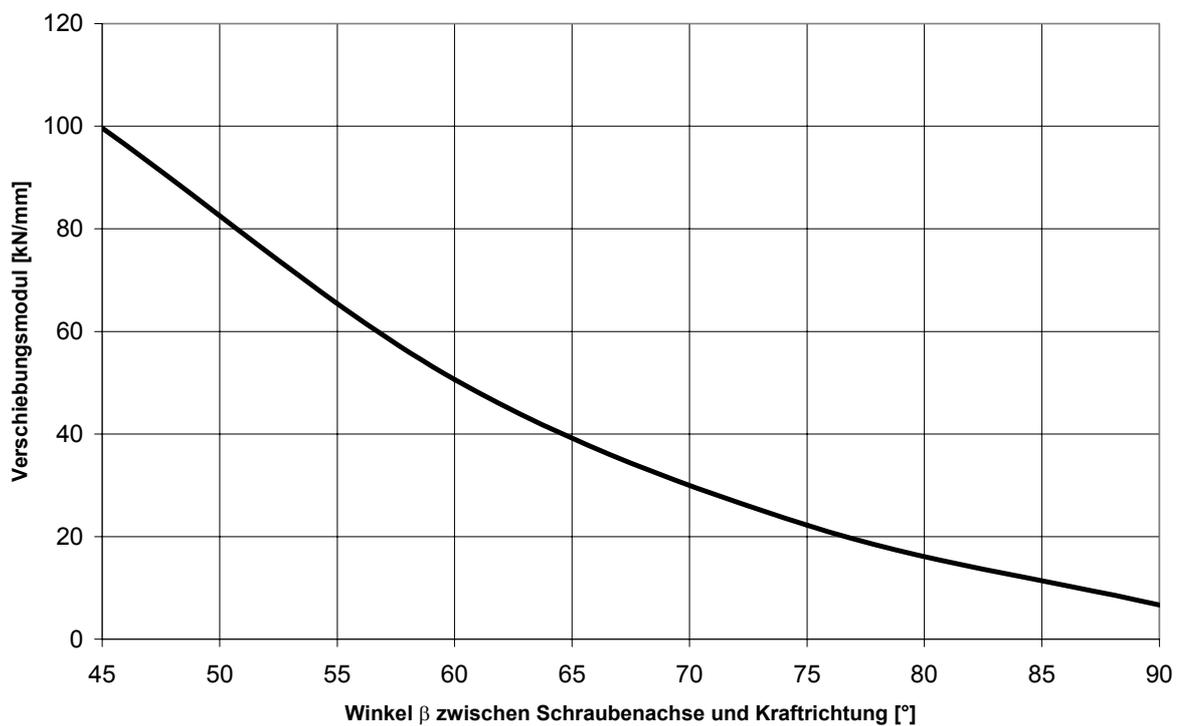
Bild 4: Versuchskörper mit parallel zueinander angeordneten Schrauben

Die in den Versuchen erreichten Traglasten für Versuche mit und ohne Folie sowie die mit einem mittleren Reibbeiwert $\mu = 0,30$ (mittlerer Reibbeiwert nach [4] für Fichtenholzproben mit gehobelter Oberfläche) und mit einem charakteristischen Wert des Ausziehparameters $f_{1,k} = 14,4 \text{ N/mm}^2$ nach Gleichung (1) theoretisch bestimmten charakteristischen Werte der Tragfähigkeit sind in Bild 5 dargestellt. In Bild 5 sind ferner die mit einem mittleren Reibbeiwert $\mu = 0,30$ und mit einem mittleren Wert des Ausziehparameters theoretisch bestimmten mittleren Werte der Tragfähigkeit darge-

stellt. Der für die Ermittlung der mittleren Tragfähigkeit notwendige mittlere Ausziehparameter $f_{1,\text{mittel}}$ für einen Einschraubwinkel von $\beta = 90^\circ$ wurde in Vorversuchen zu $f_{1,\text{mittel}} = 20 \text{ N/mm}^2$ bestimmt. Für einen Einschraubwinkel von $\beta = 90^\circ$ beträgt der theoretisch bestimmte mittlere Wert der Tragfähigkeit nur 40% der mittleren Traglast für die entsprechenden Prüfkörper. Die Vernachlässigung der Abscherkomponente in Gleichung (1) ist der Grund für die große Diskrepanz zwischen den theoretisch bestimmten mittleren Werten der Tragfähigkeit und den Versuchsergebnissen. Mit abnehmendem Winkel β nimmt der Unterschied zwischen den theoretisch bestimmten Werten und den Versuchsergebnissen ab. Da der Einfluss der Abscherkomponente mit abnehmendem Winkel β sinkt, beträgt die Abweichung zwischen den theoretisch bestimmten mittleren Werten und den Versuchsergebnissen für einen Einschraubwinkel $\beta = 45^\circ$ nur noch 31%.

Für einen Einschraubwinkel von $\beta = 60^\circ$ zwischen der Schraubenachse und der Krafrichtung erreichten die Traglasten ein Maximum. Der Wert für $\beta = 60^\circ$ ist etwa 50% höher als der Wert für rechtwinklig zur Krafrichtung angeordnete Schrauben. Da die Schraubenlänge konstant war, nahm die Einschraubtiefe im Mittelholz mit abnehmendem Winkel β ab. Dadurch konnten bei kleineren Winkeln geringere Auszugkräfte aufgenommen werden. Ein stetiger Anstieg der Traglast bis $\beta = 45^\circ$ ist mit längeren Schrauben ohne weiteres möglich.

Außer der Traglast stieg auch die Steifigkeit der Verbindung mit abnehmendem Winkel β deutlich an (Bild 6). Die Steifigkeit der Verbindungen mit einer Neigung der Schrauben von $\beta = 45^\circ$ betrug mehr als das 12-fache der Verbindungen mit rechtwinklig zur Faser eingedrehten Schrauben. Geneigt angeordnete Schrauben sind daher außer für Anschlüsse insbesondere auch für Verbindungen zwischen den Querschnittsteilen nachgiebig verbundener Biegestäbe geeignet.

Bild 5: Traglasten in Abhängigkeit vom Winkel β Bild 6: Verschiebungsmodul in Abhängigkeit vom Winkel β

3 Nebenträger-Hauptträger-Anschlüsse

Die in den Zugscherversuchen festgestellte Steigerung der Tragfähigkeit mit abnehmendem Winkel β zwischen Schraubenachse und Krafrichtung wurde auch bei Anschlüssen zwischen Nebenträgern und Hauptträgern (siehe Bild 7) beobachtet. Nebenträgeranschlüsse mit Hilfe geneigt angeordneter Schrauben ermöglichen eine rechnerisch erfassbare und rationelle Montage z.B. von Deckenbalken an Hauptträger. Unsichtbarkeit der Verbindungsmittel sowie geringere Querschnittsabmessungen wegen einer geringeren Anzahl von Verbindungsmitteln bei gleichen Traglasten sind weitere Vorteile des Anschlusses mit geneigt angeordneten Schrauben.

Untersucht wurden Anschlüsse mit und ohne Beplankung zwischen Neben- und Hauptträger. Da eine Aussage über die Lagerungsart dieser Anschlüsse in der Praxis oft schwierig ist (Nebenträger an Hauptträger, Hauptträger an Pfosten), wurden im Rahmen dieser Versuche sowohl eine gelenkige Lagerung als auch eine Einspannung des Hauptträgers untersucht. Ein weiterer Parameter war die Anordnung der Vollgewindeschrauben. Hierbei wurden Winkel zwischen Schraubenachse und Holzfaserrichtung des Nebenträgers von 30° , 45° und 60° gewählt. Außerdem wurde die Anzahl der Vollgewindeschrauben je Anschluss variiert. Es wurden Prüfkörper mit einer von unten eingedrehten Vollgewindeschraube und Prüfkörper mit jeweils einer von unten und einer von oben in den Nebenträger eingedrehten Schraube geprüft.

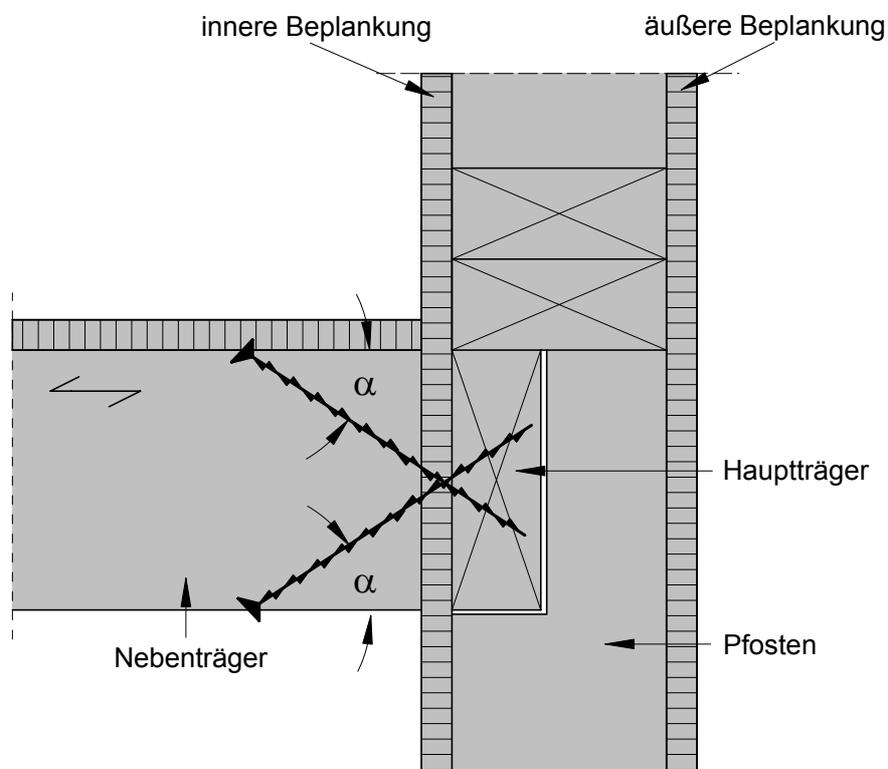


Bild 7: Deckenbalkenanschluss mit geneigt angeordneten Schrauben

Insgesamt wurden vier unterschiedliche Systeme untersucht:

System A: Anschluss mit einer von unten in den Nebenträger eingedrehten, auf Herausziehen beanspruchten Schraube sowie einem eingespannten Hauptträger.

System B: Anschluss mit einer auf Herausziehen (untere Schraube) und einer auf Hineindrücken (obere Schraube) beanspruchten Schraube sowie einem eingespannten Hauptträger.

System C: Entspricht System A, jedoch mit gelenkig gelagertem Hauptträger.

System D: Entspricht System B, jedoch mit gelenkig gelagertem Hauptträger.

Der grundsätzliche Unterschied zwischen gelenkiger und eingespannter Lagerung des Hauptträgers besteht in der unterschiedlichen Beanspruchung der Verbindung in der Fuge (siehe Bild 8): bei eingespanntem Hauptträger wird angenommen, dass die Auflagerkraft V des Nebenträgers ausschließlich in der Fuge übertragen wird. Bei gelenkig gelagertem Hauptträger wird die Auflagerkraft V in einem Abstand $z = B / 2$ zur Fuge übertragen. Daher muss aus dem Momentengleichgewicht in der Fuge die Druckkraft D in der Fuge in einem Abstand $h = z \cdot \tan \alpha$ von der Zugkraft F_{ax} angreifen (siehe Bild 8 rechts).

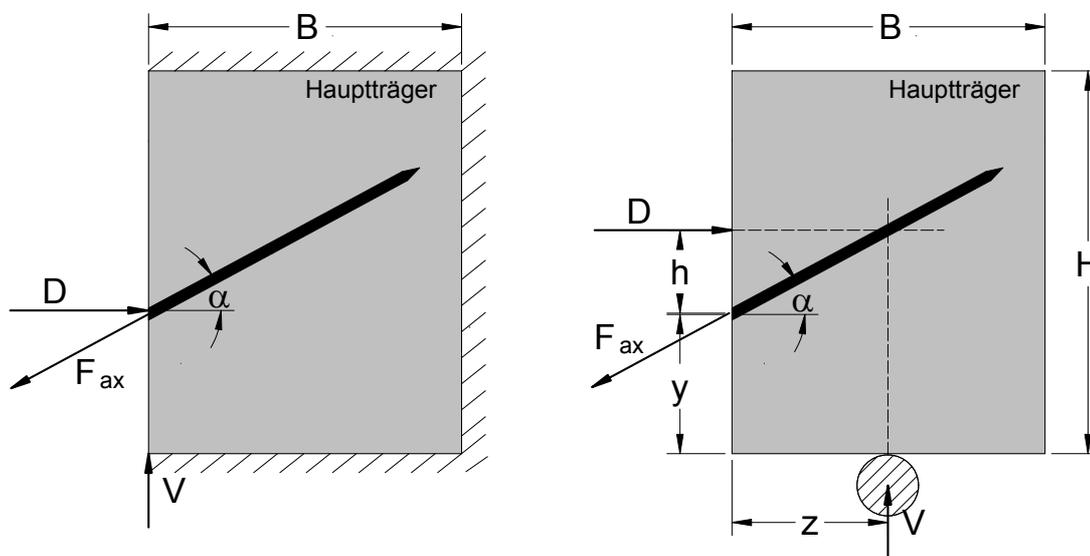


Bild 8: Schnittgrößen in der Fuge bei einer eingespannten (links) und einer gelenkigen (rechts) Hauptträgerlagerung

Unabhängig von der Lagerungsart des Hauptträgers wird bei Anschlüssen mit nur einer Schraube (System A und C) diese vorwiegend auf Zug beansprucht. Diese Zugkraft in der Schraube verursacht eine Druckkraft in der Fuge zwischen den beiden Bauteilen und damit eine günstig wirkende Reibungskraft (in Bild 8 nicht dargestellt). Die aufnehmbare Querkraft bei Anschlüssen mit einer auf Herausziehen bean-

spruchten Schraube sowie eingespanntem Hauptträger (System A) kann daher in Anlehnung an Gleichung (1) ermittelt werden. Im Gegensatz zum System A ändert sich bei System C (Anschluss mit einer auf Herausziehen beanspruchten Schraube sowie einem gelenkig gelagerten Hauptträger) der Abstand h zwischen der Druckkraft D und der Zugkraft F_{ax} in Abhängigkeit vom Einschraubwinkel α und dem Abstand z zwischen der Auflagerkraft V und der Fuge. Für $h > H - y$ kann keine Druckkraft in der Fuge übertragen werden. Das System wird kinematisch. Für $h \leq H - y$ bzw. $\alpha \leq \arctan \frac{H-y}{z}$ ist das System stabil. In Bild 9 links ist für System C mit $\alpha > \arctan \frac{H-y}{z}$ (instabiler Zustand ohne Druckkraft in der Fuge) und in Bild 9 rechts für System C mit $\alpha \leq \arctan \frac{H-y}{z}$ (stabiler Zustand mit einer durch die Zugkraft F_{ax} verursachten Druckkraft D in der Fuge) jeweils ein Versuchskörper nach der Versuchsdurchführung dargestellt.

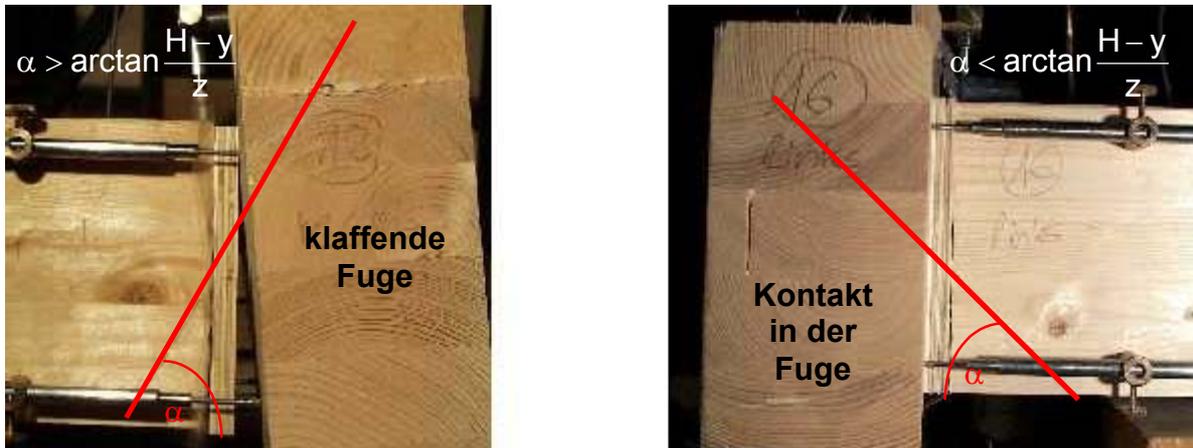


Bild 9: Anschlüsse mit jeweils einer auf Herausziehen beanspruchten Schraube sowie gelenkig gelagertem Hauptträger

Es ist daher von Wichtigkeit, dass nur für eingespannte Hauptträger und für gelenkig gelagerte Hauptträger mit $\alpha \leq \arctan \frac{H-y}{z}$ die Zugkraft F_{ax} in der Schraube eine Druckkraft D in der Fuge zwischen dem Haupt- und dem Nebenträger und somit eine günstig wirkende Reibungskraft in der Fuge auslöst (siehe Bild 10).

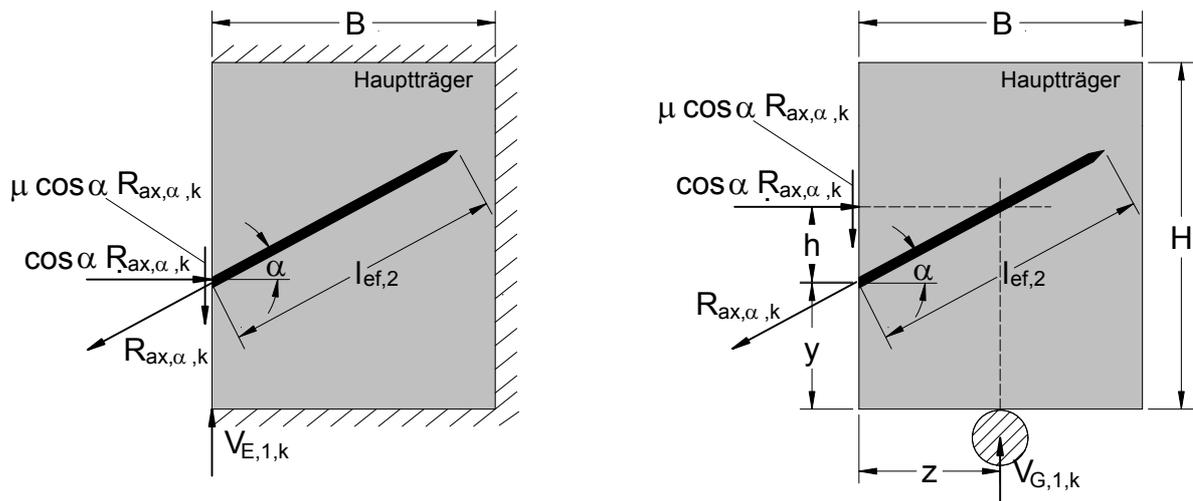


Bild 10: Beanspruchung einer Schraube auf Herausziehen unter Berücksichtigung der Reibung zwischen den Bauteilen - links: eingespannter Hauptträger; rechts: gelenkig gelagerter Hauptträger mit $\alpha \leq \arctan \frac{H-y}{z}$

Die aufnehmbare Querkraft kann daher für System A und für System C mit $\alpha \leq \arctan \frac{H-y}{z}$ wie folgt ermittelt werden:

$$V_{E,1,k} = R_{ax,\alpha,k} \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha) \quad (2a)$$

$$V_{G,1,k} = R_{ax,\alpha,k} \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha), \quad \text{vorausgesetzt dass} \quad \alpha \leq \arctan \frac{H-y}{z} \quad (2b)$$

Unabhängig von der Lagerungsart des Hauptträgers wird bei Anschlüssen mit zwei gekreuzt angeordneten Schrauben (System B und D) die untere Schraube vorwiegend auf Zug und die obere Schraube vorwiegend auf Druck beansprucht. Daher kann bei diesen Systemen keine Druckkraft und somit keine günstig wirkende Reibungskraft in der Fuge übertragen werden.

Damit kann die Traglast von Anschlüssen mit zwei gekreuzten Schrauben und eingespanntem Hauptträger (System B) nach einem einfachen Fachwerkmodell nach Gleichung 2c ermittelt werden:

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

Im Gegensatz zum System B müssen bei System D (Anschluss mit zwei gekreuzt angeordneten Schrauben und gelenkig gelagertem Hauptträger) die Schrauben zusätzlich zu ihrer Beanspruchung aus der Querkraft V eine Momentenbeanspruchung aufnehmen, die infolge der gelenkigen Lagerung des Hauptträgers und der Ausmitte der Querkraft V zum Kreuzungspunkt der Schrauben entsteht (siehe Bild 11.1 und 11.3).

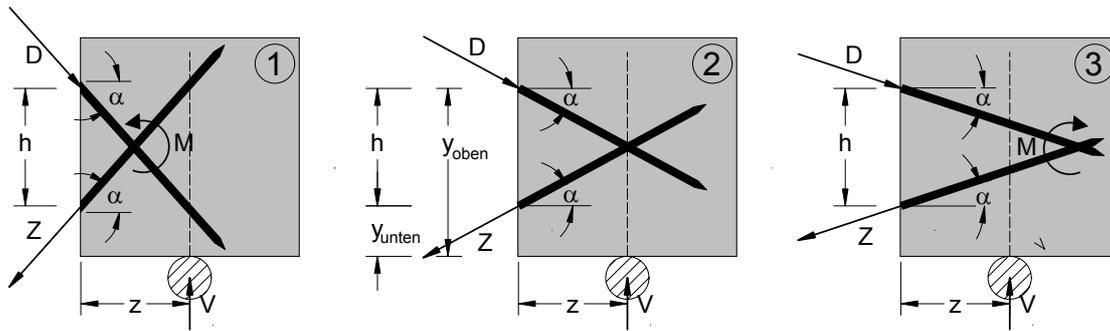


Bild 11: Kräftegleichgewicht für System D für unterschiedliche Einschraubwinkel

Aus dem Kräftegleichgewicht in Bild 11 erhält man für die aufnehmbare Querkraft:

$$V = (D + Z) \cdot \sin \alpha \quad (2d)$$

sowie in Bild 11.2 aus dem Momentengleichgewicht um den Angriffspunkt der Querkraft V:

$$Z \cdot [y_{\text{unten}} + z \cdot \tan \alpha] = D \cdot [y_{\text{oben}} - z \cdot \tan \alpha] \quad (2e)$$

Aus dem Kräftegleichgewicht in horizontaler Richtung folgt $D = Z$.

Damit kann Gleichung (2e) zu $[y_{\text{unten}} + z \cdot \tan \alpha] = [y_{\text{oben}} - z \cdot \tan \alpha]$ bzw. mit $y_{\text{oben}} = y_{\text{unten}} + h$ zu $\alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$ vereinfacht werden.

Nur für diesen Winkel schneiden sich die Kraftvektoren aus den Beanspruchungen D, Z und V in einem Punkt (siehe Bild 11.2). Da die Tragfähigkeit von Schrauben auf Herausziehen und Hineindrücken gleich ist, entspricht somit Gleichung 2d für $\alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$ mit $R_{ax,\alpha,k} = Z = D$ der Gleichung 2c für Anschlüsse mit zwei Schrauben und eingespanntem Hauptträger.

Nur für $\alpha \neq \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$ (siehe Bild 11.1 und 11.3) entsteht das zusätzliche Moment, welches die Tragfähigkeit der Verbindung reduziert. Daher sollten Nebenträger-Hauptträger-Anschlüsse mit gelenkig gelagerten Hauptträgern sowie zwei Schrauben möglichst so ausgeführt werden, so dass der Einschraubwinkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung des Nebenträgers $\alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$ beträgt.

Damit kann die Traglast von Anschlüssen mit zwei gekreuzt angeordneten Schrauben und gelenkig gelagertem Hauptträger (System D) ebenfalls nach einem einfachen Fachwerkmodell nach Gleichung 2f ermittelt werden:

$$V_{G,2,k} = 2 \cdot R_{ax,\alpha,k} \cdot \sin \alpha \quad \text{mit} \quad \alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z} \quad (2f)$$

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

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

$$V_{E,1,k} = R_{ax,\alpha,k} \cdot (\sin\alpha + \mu \cdot \cos\alpha) \quad (2g)$$

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

$$V_{G,1,k} = R_{ax,\alpha,k} \cdot (\sin\alpha + \mu \cdot \cos\alpha), \quad \text{vorausgesetzt dass} \quad \alpha \leq \arctan \frac{H-y}{z} \quad (2h)$$

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

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

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 (2j) ermittelt werden:

$$V_{G,2,k} = 2 \cdot R_{ax,\alpha,k} \cdot \sin\alpha \quad \text{mit} \quad \alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z} \quad (2j)$$

mit

$$R_{ax,\alpha,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef,1}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cdot \cos^2 \alpha} \\ f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef,2} \\ R_{t,u,k} \end{array} \right\} \quad \text{und} \quad \alpha \geq 30^\circ$$

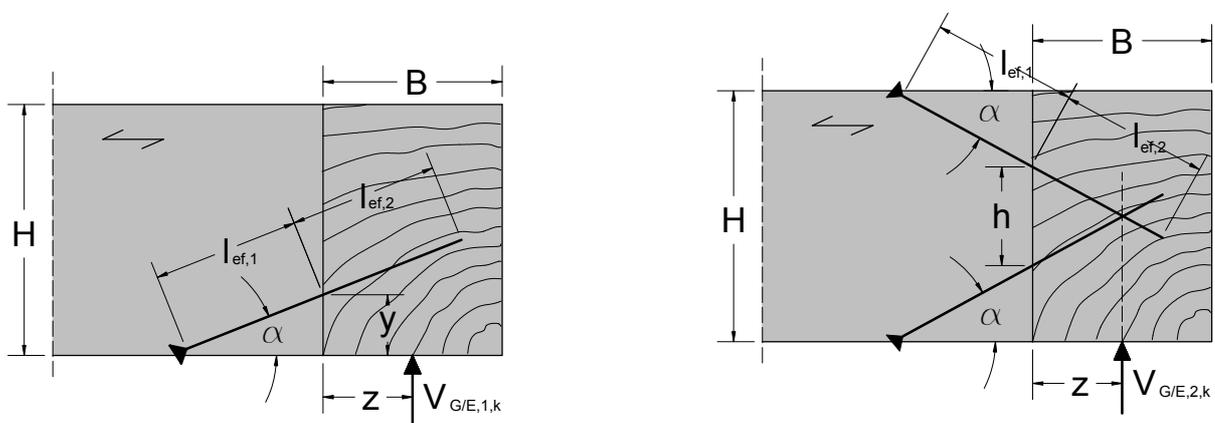


Bild 12: Deckenbalkenanschluss mit einer (links) und mit zwei Schrauben (rechts)

$V_{E,i,k}$	charakteristischer Wert der aufnehmbaren Querkraft für eingespannte Hauptträger mit $i = 1$ bzw. $i = 2$ Schrauben ($z = 0$).
$V_{G,i,k}$	charakteristischer Wert der aufnehmbaren Querkraft für gelenkig gelagerte Hauptträger mit $i = 1$ bzw. $i = 2$ Schrauben ($z = B / 2$)
$R_{ax,\alpha,k}$	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
d	Nenndurchmesser (Gewindeaußendurchmesser) der Schraube
α	Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung des Nebenträgers
$l_{ef,i}$	Gewindelänge im Holzteil $i = 1$ bzw. $i = 2$
z	$z = 0$ für eingespannte Hauptträger $z = B / 2$ für gelenkig gelagerte Hauptträger
h	Abstand zwischen der zug- und der druckbeanspruchten Schraube in Fugenebene (siehe Bild 12)
H	Nebenträgerhöhe
y	siehe Bild 12
μ	Reibbeiwert zwischen den zu verbindenden Bauteilen (nur für Nebenträger-Hauptträger-Anschlüsse mit einer Schraube)

Zur Überprüfung der vorgestellten Gleichungen wurden Versuche mit mehr als 100 Deckenbalkenanschlüssen durchgeführt, wobei folgende Einflussgrößen variiert wurden:

- Gelenkige oder eingespannte Lagerung des Hauptträgers
- Anschlüsse mit oder ohne Beplankung aus Bau-Furniersperrholz zwischen Neben- und Hauptträger
- eine oder zwei Schrauben
- Einschraubwinkel ($\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ und 60°)

Für Anschlüsse mit zwei Vollgewindeschrauben war der Einschraubwinkel der oberen Schraube gleich dem Einschraubwinkel der unteren Schraube

($\alpha = \alpha_{\text{oben}} = \alpha_{\text{unten}}$).

Folgende Einflussgrößen waren für alle Deckenbalkenanschlüsse konstant:

- Neben- und Hauptträger aus Brettschichtholz
- Abmessungen: $H_{NT} = H_{HT} = 200 \text{ mm}$ $B_{NT} = B_{HT} = 100 \text{ mm}$
- Gewindelänge im Nebenträger: $l_{ef,1} = 110 \text{ mm}$
- Gewindelänge im Hauptträger: $l_{ef,2} = 100 \text{ mm}$
- Vollgewindeschraube 8,2 x 245 mm

Die in den Versuchen erreichten Traglasten für Versuche mit und ohne Beplankung sowie die mit einem mittleren Reibbeiwert $\mu = 0,3$ und mit einem mittleren Wert des Ausziehparameters $f_{1,mittel} = 20 \text{ N/mm}^2$ (für $\alpha = 90^\circ$) theoretisch bestimmten mittleren Werte der Tragfähigkeit für Deckenbalkenanschlüsse mit **eingespannten** Hauptträgern sind in Bild 13 dargestellt.

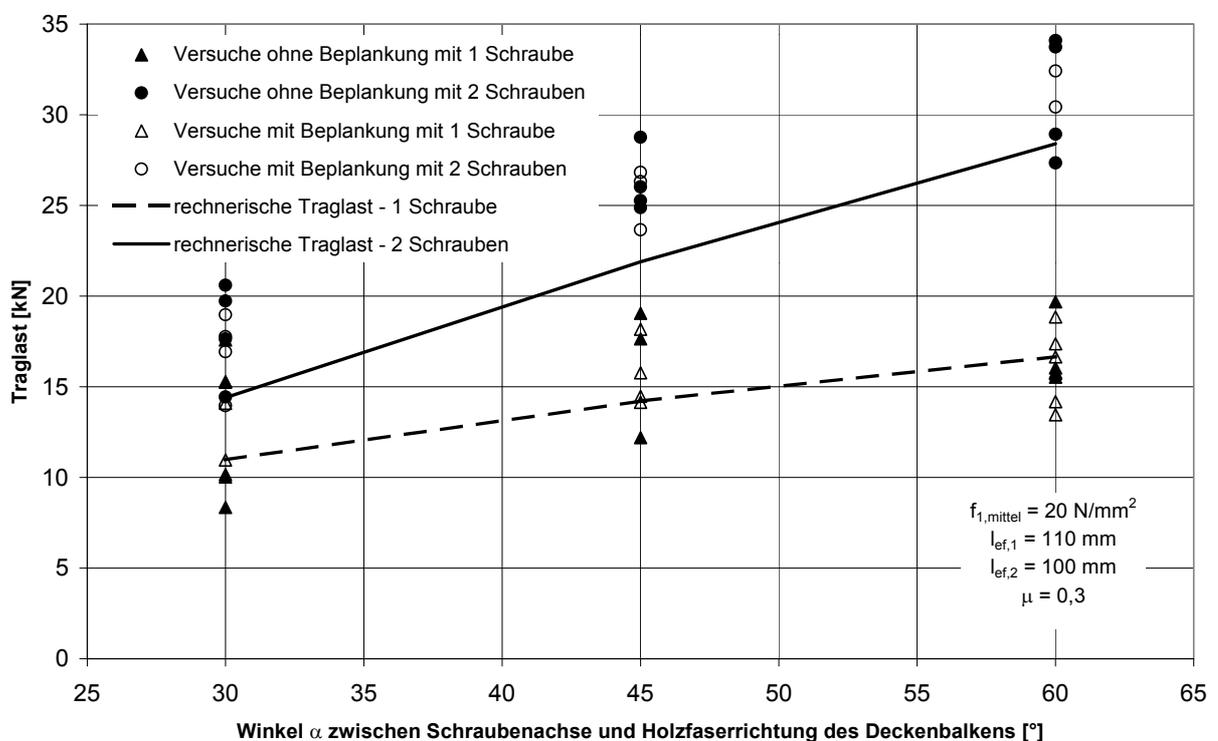


Bild 13: Traglasten für Deckenbalkenanschlüsse mit **eingespannten** Hauptträgern

Die in den Versuchen erreichten Traglasten sind als Einzelwerte dargestellt, die theoretisch bestimmten mittleren Werte als Linienzüge. Wie man Bild 13 entnehmen kann, sind die mittleren Tragfähigkeiten, die ausschließlich auf der Tragwirkung druck- und zugbeanspruchter Schrauben basieren, nur geringfügig kleiner als diejenigen, die in den Versuchen ermittelt wurden. Für einen Winkel $\alpha = 30^\circ$ ist die Diskrepanz zwischen den theoretisch bestimmten Werten und den Versuchsergebnissen am größten (14% und 18%). Da der Einfluss der Abscherkomponente mit zunehmendem Winkel α zwischen Schraubenachse und Faserrichtung des Nebenträgers sinkt, beträgt die Abweichung zwischen den theoretisch bestimmten mittleren

Werten und den Versuchsergebnissen für einen Einschraubwinkel $\alpha = 60^\circ$ nur noch 6,4% bzw. 1,8%.

In Bild 14 sind die in den Versuchen erreichten Traglasten den theoretisch bestimmten mittleren Werten der Tragfähigkeit (mit $\mu = 0,3$ und $f_{1,\text{mittel}} = 20 \text{ N/mm}^2$ für $\alpha = 90^\circ$) für Anschlüsse mit **gelenkig gelagerten** Hauptträgern gegenübergestellt.

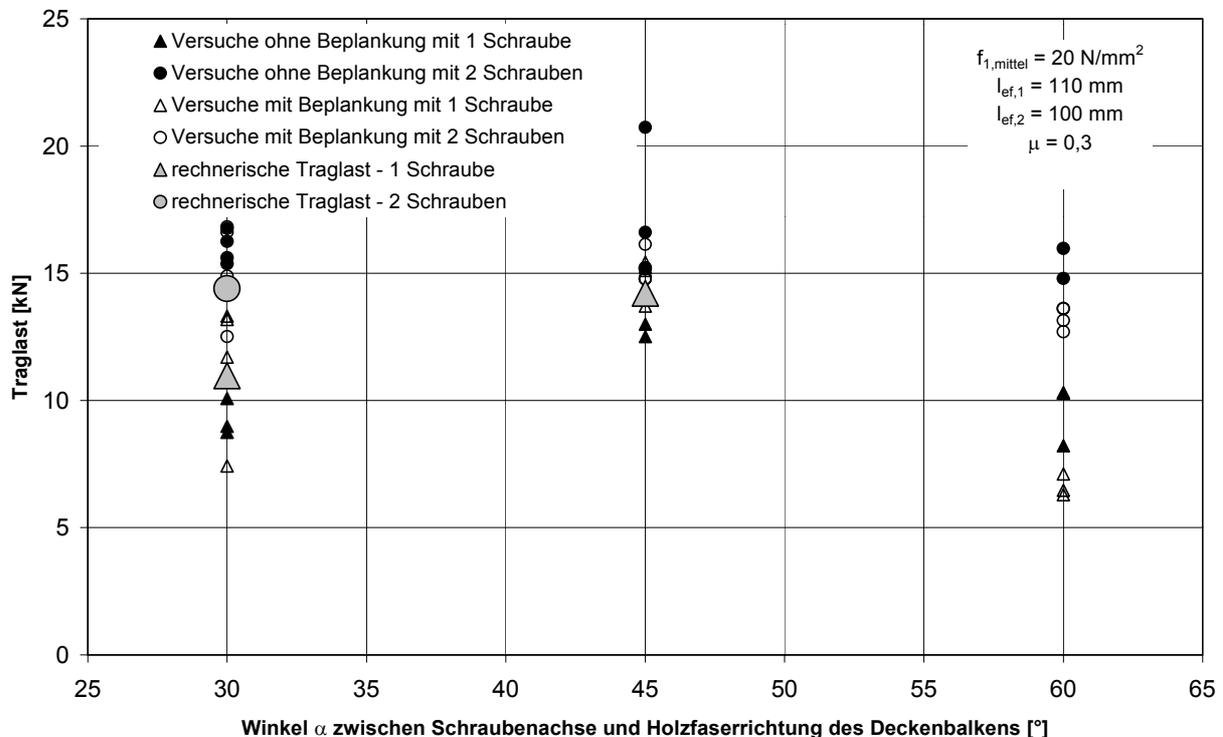


Bild 14: Traglasten für Deckenbalkenanschlüsse mit **gelenkig gelagerten** Hauptträgern

Die in den Versuchen erreichten Traglasten sowie die theoretisch bestimmten Traglasten für Anschlüsse mit einer Schraube sind als Dreiecke, für Anschlüsse mit zwei Schrauben als Kreise dargestellt. Theoretisch bestimmte Traglasten für Anschlüsse mit einer Schraube konnten wegen der in Gleichung (2h) geforderten Randbedingung $\alpha \leq \arctan \frac{H-y}{z}$ nur für Einschraubwinkel $\alpha = 30^\circ$ und $\alpha = 45^\circ$ ermittelt werden.

Für Anschlüsse mit zwei Schrauben kann Gleichung (2j) mit $\alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$ nur für

einen Einschraubwinkel $\alpha = 30^\circ$ eingehalten werden. Wie man Bild 14 entnehmen kann, sind für diese Einschraubwinkel die mittleren Tragfähigkeiten, die ausschließlich auf der Tragwirkung druck- und zugbeanspruchter Schrauben basieren, praktisch identisch mit den Versuchsergebnissen. Für Anschlüsse mit einer Schraube und einem Einschraubwinkel $\alpha = 60^\circ$ sind die Traglasten jedoch viel kleiner als die Traglasten für einen Einschraubwinkel von $\alpha = 30^\circ$ und $\alpha = 45^\circ$. Für einen Winkel $\alpha = 60^\circ$ kann keine Druckkraft in der Fuge übertragen werden. Das System wird instabil (siehe Bild 9 links). Für Anschlüsse mit zwei Schrauben kann die Traglast mit zuneh-

dem Winkel ebenfalls nicht mehr gesteigert werden. Für einen Winkel $\alpha \neq 30^\circ$ (siehe Bild 15 links) kann die geforderte Randbedingung $\alpha = \arctan \frac{h}{2 \cdot z}$ nach Gleichung (2j) nicht eingehalten werden.

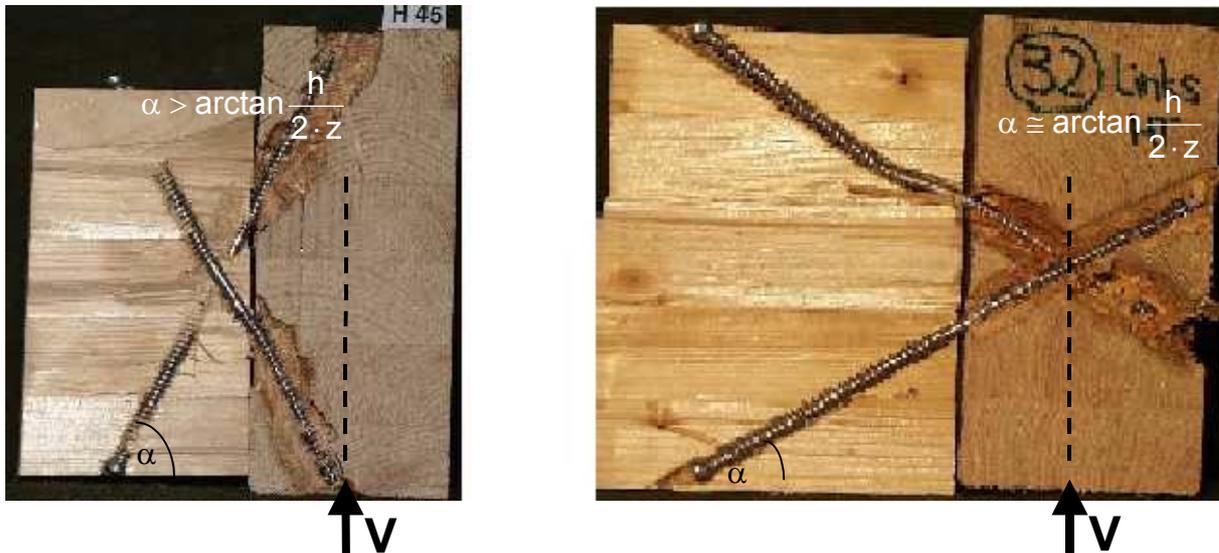


Bild 15: Schnitt durch zwei Anschlüsse mit jeweils zwei gekreuzt angeordneten Schrauben und gelenkig gelagertem Hauptträger für unterschiedliche Einschraubwinkel

4 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Standardisierung und Typisierung von Anschlüssen und Verbindungen zur Rationalisierung der Planung und Fertigung im Holz-Wohnhausbau" wurden neuartige Verbindungen und Anschlüsse mit Vollgewindeschrauben entwickelt. Mit den im Abschnitt 2 vorgestellten Grundlagenversuchen wird die Wirkungsweise einer Verbindung mit geneigt angeordneten Schrauben beschrieben. Bei einer Anordnung rechtwinklig zur Belastungsrichtung wird eine Vollgewindeschraube analog zu Holz/Holz-Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln auf Abscheren beansprucht. Durch die geneigte Anordnung einer Vollgewindeschraube im Holz kann jedoch die hohe Ausziehtragfähigkeit wirksam ausgenutzt werden.

Die Traglasten und Steifigkeiten von Verbindungen mit geneigt angeordneten Schrauben sind erheblich größer als die Traglasten für eine konventionelle Verbindung mit rechtwinklig zur Belastungsrichtung eingedrehten Schrauben.

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurden Nebenträger-Hauptträger-Verbindungen mit geneigt angeordneten Schrauben entwickelt. Abhängig von der Lagerungsart des Hauptträgers, der Lage und Anzahl der Vollgewindeschrauben sowie dem Vorhandensein einer Beplankung zwischen den Bauteilen werden für diese

Anschlüsse vereinfachte Bemessungsgleichungen angegeben. Darin ist der charakteristische Wert des Ausziehparameters $f_{1,k}$ der Vollgewindeschrauben der einzige rechnerisch benötigte Materialparameter.

Ist darüber hinaus der Reibbeiwert bekannt, können für Zugscherverbindungen und Nebenträger-Hauptträger-Anschlüsse mit geneigten, ausschließlich parallel zueinander angeordneten Schrauben noch höhere charakteristische Werte der Tragfähigkeit erreicht werden.

Die vorgestellten Gleichungen (1) bis (2j) ermöglichen eine einfache Bemessung solcher Anschlüsse und Verbindungen mit geneigt angeordneten Schrauben.

5 Literatur

- [1] 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.
- [2] Bejtka, I.; Blaß, H.J. (2002). Joints with Inclined Screws. CIB-W18, paper 35-7-4, Kyoto, Japan.
- [3] Kevarinmäki, A. (2002). Joints with Inclined Screws. CIB-W18, paper 35-7-3, Kyoto, Japan.
- [4] 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