

Bild 1: Schematische Darstellung einer Spanschraube mit veränderlicher Gewindesteigung. Bereich I und Bereich III mit konstanter Gewindesteigung p_0 , Bereich II mit veränderlicher Steigung $p(x)$.

Variationen der Gewindegeometrien

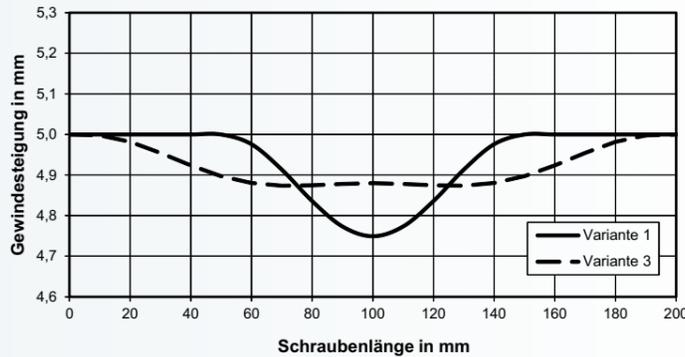


Bild 2: Änderung der Gewindesteigung für Variante 1 und 3; Schraubenspitze bei 0 mm; Schraubenkopf bei 200 mm

Bilder: Michael Steilner

Seit einigen Jahren sind Querzugverstärkungen von Holzbauteilen mit selbstbohrenden Holzschrauben Stand der Technik. Die Querzugkräfte, die z. B. bei Ausklinkungen auftreten, werden zuverlässig durch Schrauben aufgenommen und verhindern damit ein unkontrolliertes Risswachstum im Holzbauteil. Die Wirkung einer Schraube kann dabei wie diejenige einer schlaffen Bewehrung im Beton betrachtet werden. Die Tragwirkung wird erst aktiviert, wenn ein kleiner Riss entstanden ist (vgl. [1]).

Des Weiteren treten in hohen Querschnitten aus Brettschichtholz bei einer Änderung der Holzfeuchte große Verformungen quer zur Faserrichtung durch Quellen oder Schwinden auf. Diese führen auf Grund der hohen Steifigkeit der Schrauben zu Zwängungen. Problematisch im Hinblick auf die Rissbildung ist vor allem das Schwinden des Holzes, das in beheizten Hallen oder Räumen zwangsläufig stattfindet. Dabei entstehen entlang der Schraubenachse Querzugspannungen im Holz, die zu Rissen führen können.

Eine Querdruckvorspannung soll die Tragwirkung der Schraube verbessern sowie die Entstehung von Schwindrissen verhindern, bzw. die Rissentstehung minimieren. Die durch die Schwindbehinderung auftretenden Querzugspannungen werden im Bereich der Schraube durch die Vorspannung reduziert oder sogar überdrückt. Somit wird auch das Risiko der Rissbildung bei klimatischen Beanspruchungen verringert.

Veränderliche Gewindesteigung erzeugt Querdruckspannung

Eine Querdruckspannung kann durch eine Querdruckkraft von außen auf den Querschnitt aufgebracht werden, allerdings ist die Querdruckfestigkeit von Holz gering. Daher ist die potenzielle Kraft begrenzt, die zur Vorspannung des Querschnittes von außen aufgebracht werden kann. Außerdem breitet sich bei Teilflächenbelastungen die Spannung unter der Lasteinleitungsstelle aus und führt mit zunehmendem Abstand von der Lasteinleitungsstelle zu wesentlich geringeren Spannungen als direkt unter der Lasteinleitungsstelle.

Eine Schraube, die entlang ihrer Schraubennachse eine variable Gewindesteigung aufweist, kann im Inneren des Holzes Quer-

druckspannungen erzeugen. In Bild 1 ist die Gewindegeometrie einer derartigen Spanschraube schematisch dargestellt.

Entlang des Schraubengewindes sind drei Bereiche zu unterscheiden. Im Bereich I und III ist die Gewindesteigung p_0 konstant. Im Bereich II wird die Gewindesteigung stetig verändert und weist durchweg eine geringere Steigung als in den Bereichen I und III auf.

Die Gewindesteigung entspricht der Strecke, die die Schraube bei einer Umdrehung in Achsrichtung zurücklegt. Wird eine Schraube mit konstanter Gewindesteigung eingedreht, legt daher jeder Bereich der Schraube bei einer Umdrehung denselben Weg in Achsrichtung zurück. Ist die Gewindesteigung nicht mehr konstant, entstehen „Wegdifferenzen“ entlang der Schraubennachse. Diese erzeugen Zwängungen im Holz, aus denen eine Querdruckspannung resultiert.

Unter Berücksichtigung der Randbedingungen (s. Kasten auf Seite 10) wurden verschiedene Varianten für die veränderlichen Gewindesteigungsverläufe entwickelt. In Bild 2 sind die Gewindesteigungen zweier Varianten der Spanschraube über die gesamte Schraubenlänge dargestellt. Die Variante 1 hat eine größere Gewindesteigungsänderung, die über eine Länge von 104 mm ausgeführt ist. Im Gegensatz dazu zeigt Variante 3 eine geringere Steigungs-

Wegdifferenzen

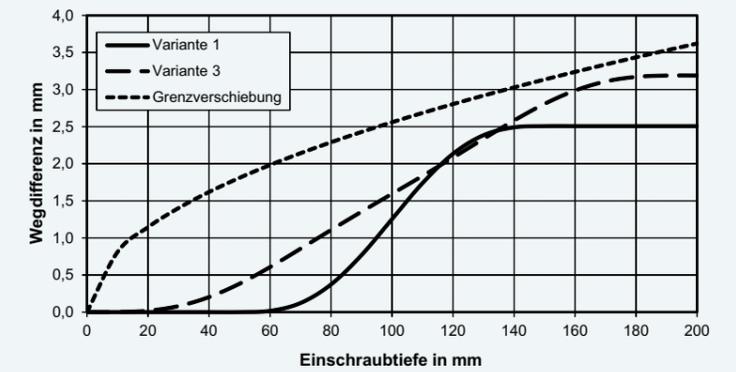


Bild 3: Wegdifferenz und Grenzverschiebung δ_{ax} in Abhängigkeit der Einschraubtiefe für Variante 1 und 3

änderung, die sich über eine größere Länge von 163 mm erstreckt. Die maximale Änderung der Gewindesteigung beträgt 0,25 mm. In Bild 3 ist zu erkennen, dass die daraus resultierenden Wegdifferenzen für beide Varianten unter der Grenzverschiebung δ_{ax} liegen.

Numerische Modelle per FE-Programm erstellt

Zur Berechnung der Spannwirkung der Schraube wurde mit dem Finite-Elemente Programm ANSYS ein numerisches Modell

erstellt. Hiermit können Parameterstudien durchgeführt und so die Gewindegeometrie und auch die Anordnung der Schrauben optimiert werden.

Das Modell besteht aus linear-elastischen Volumenelementen, denen die orthotropen Materialeigenschaften des Holzes zugewiesen werden.

Die Schraube wird mit Balkenelementen modelliert und mittels nichtlinearer Federn mit den Volumenelementen verbunden, die Kraft-Verschiebungs-Beziehung der Federn bildet idealisiert das Herauszieh-

Neuartige Schrauben zur Querdruckvorspannung entwickelt

Forschung Am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wurden zusammen mit der Firma HECO-Schrauben kürzlich Vollgewindeschrauben entwickelt, mit denen beim Einschrauben planmäßig Querdruckspannungen im Holz erzeugt werden können. Die Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung bieten neue Möglichkeiten bei Querzugverstärkungen von Holzbauteilen. Auch die Verwendung bei Schraubenpressklebungen scheint vielversprechend. **Michael Steilner und Hans Joachim Blaß**

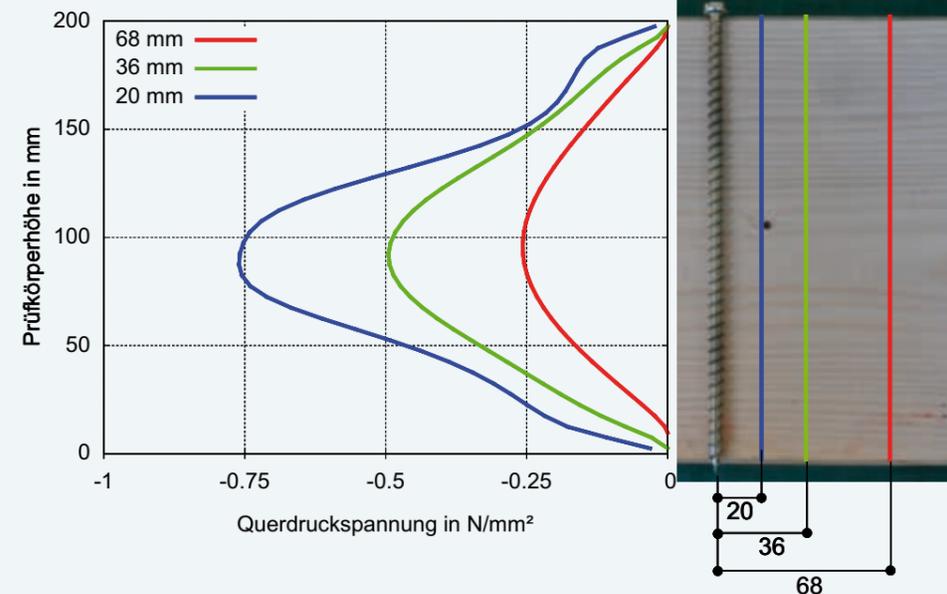


Bild 4: Berechnete Druckspannungen über die Prüfkörperhöhe in Abhängigkeit des Abstandes zur Schraube in Faserrichtung für Variante 1

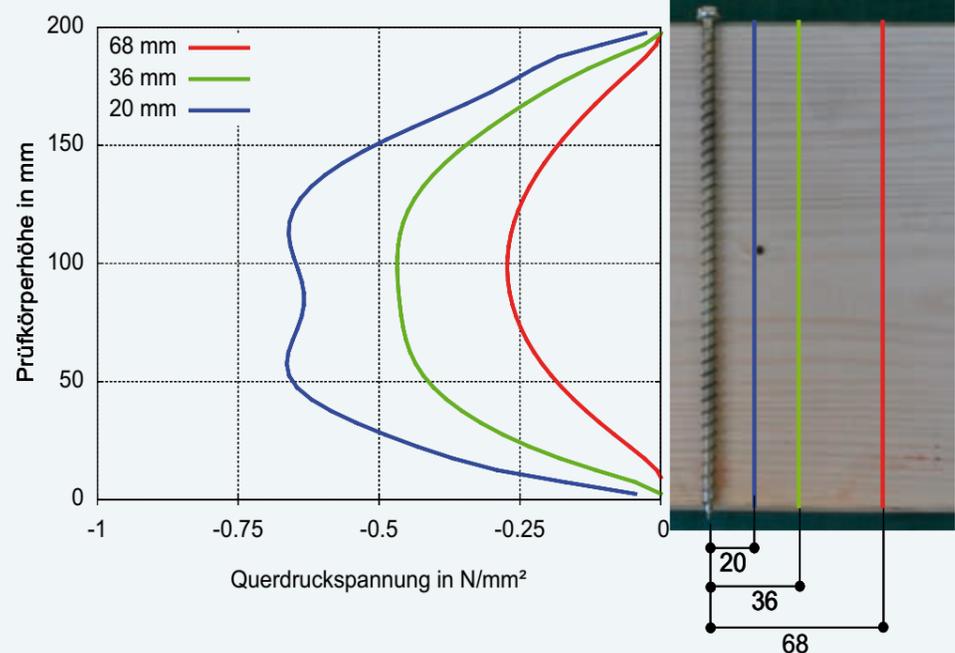


Bild 5: Berechnete Druckspannungen über die Prüfkörperhöhe in Abhängigkeit der Abstände zur Schraube in Faserrichtung für Variante 3



Bild 6: Prüfkörper für Einschraubversuche mit Spannschrauben, Druckmessung jeweils in den Einschraubtiefen 50 mm; 100 mm und 150 mm

verhalten der Schraube ab. Den Balkenelementen wird ein definierter Temperaturausdehnungskoeffizient zugewiesen. Durch das Aufbringen einer Temperaturänderung werden die Balkenelemente gestaucht. Durch dieses Vorgehen werden die Einflüsse aus der Gewindesteigungsänderung so abgebildet, dass die Dehnungen des Holzes im Modell realitätsnah berechnet werden.

Der Einschraubvorgang wird dabei schrittweise simuliert. Bei jedem Schritt wird die Schraube um eine Elementhöhe weiter „eingedreht“. Die während eines Berechnungsschrittes ermittelten Verschiebungen werden gespeichert und beim nächsten Schritt wieder auf das System aufgebracht. Zusätzlich werden die

RANDBEDINGUNGEN

Zerstörung der Holzmatrix vermeiden

Werden die Zwängungen im Holz zu groß, wird die Holzmatrix zerstört und es kann keine Kraft mehr zwischen Schraube und Holz übertragen werden. Daher müssen die Zwängungen im Holz begrenzt werden. Die ohne Schädigung des Holzes größtmögliche axiale Verschiebung einer selbstbohrenden Holzschraube δ_{ax} zwischen Schraube und Holz ist nach Blaß et. al. [2] vor allem abhängig von der eingeschraubten Gewindelänge, dem Nenn-durchmesser der Schraube und der Rohdichte des Holzes:

$$\delta_{ax} = 0,0016 \cdot d \cdot \sqrt{\rho \cdot l_s}$$

Die durch die Gewindeänderung entstehenden Stauchungen („Wegdifferenzen“) müssen demzufolge unterhalb der Grenverschiebung δ_{ax} liegen. Mit der Funktion der veränderlichen Gewindesteigung $p(x)$ lässt sich die theoretische Stauchung berechnen. Das Integral über der Differenz der Gewindesteigungen beschreibt die Differenz des Schraubenweges im Bezug auf die Einschraubtiefe.

$$\int (p(x) - p_0) \cdot dx$$

Federeigenschaften abhängig vom vorherigen Berechnungsschritt angepasst.

Vorspannungsverteilung ist über Gewindesteigung einstellbar

Für die beiden Varianten 1 und 3 wurden Berechnungen mit dem FE-Modell durchgeführt. In Bild 4 und Bild 5 sind die berechneten Druckspannungen im Holz über die Höhe des Prüfkörpers in Abhängigkeit vom Abstand zur Schraube in Faserrichtung dargestellt. Die Variante 1 erzeugt eine höhere Druckspannung in der Mitte des Prüfkörpers, welche an den Rändern deutlich abklingt. Mit der Variante 3 wird eine geringere Druckspannung in der Mitte erreicht. Im Vergleich wirkt aber über einen größeren Bereich des Querschnitts eine höhere Druckspannung. Die Varianten 1 und 3 können für unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden. Für Anwendungen, bei denen lokal Vorspannungen aufgebracht werden sollen, z.B. Ausklinkungen, kann die Variante 1 eingesetzt werden. Variante 3 ist für eine Vorspannung über eine größere Querschnittshöhe geeignet.

Einschraubversuche bestätigen die numerischen Modelle

Zur Überprüfung der berechneten Querdrukspannungen wurden Einschraubversuche an Prüfkörpern aus Brettschichtholz durchgeführt. Für die Herstellung der Prüfkörper wurde jeweils ein Brett in Abschnitte aufgeteilt, die anschließend aufeinander geklebt wurden. Somit sind die Prüfkörper über ihre Querschnittshöhe annähernd homogen. Die Prüfkorpereigenschaften dynamischer E-Modul in Faserrichtung und Rohdichte wurden am Ausgangsmaterial bestimmt.

Die Prüfkörper haben eine Höhe von 200 mm und eine Grundfläche von etwa 160 mm x 160 mm. Zur Messung der Querdrukkräfte wurden die Prüfkörper in den jeweiligen Messhöhen aufgetrennt. Bild 6 zeigt drei Prüfkörper mit Messhöhen von 50 mm, 100 mm und 150 mm.

Versuche zur Messung der Vorspannwirkung wurden mit Schrauben der Varianten 1 und 3 durchgeführt. In Bild 7 sind die Ergebnisse für eine Versuchsreihe dargestellt. Bis auf die Einschraubtiefe 50 mm der Variante 1 stimmen die gemessenen Werte gut mit den berechneten überein.

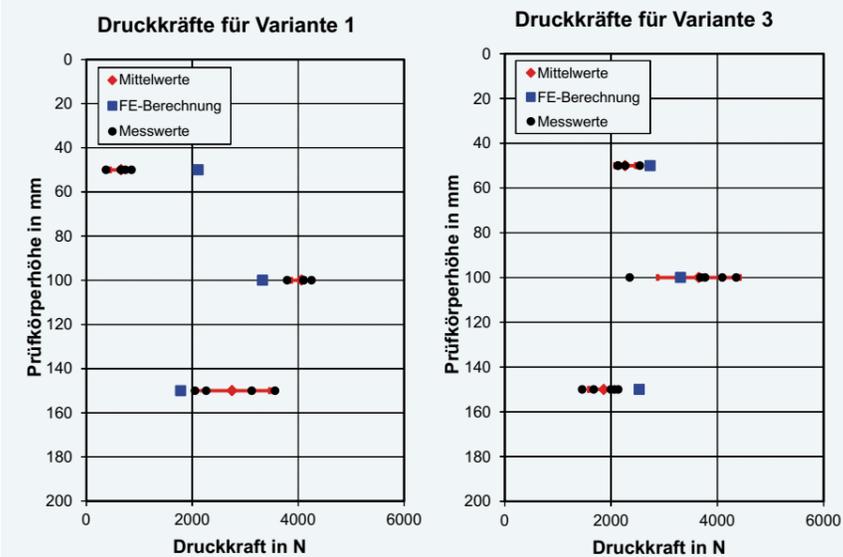


Bild 7: Ergebnisse zweier Versuchsreihen für Schrauben der Variante 1 und Variante 3

Somit können mit dem Modell Aussagen über die Vorspannwirkung der Schrauben getroffen werden.

Mit den gewählten Gewindegeometrien können Querdrukspannungen von über 0,5 N/mm² erreicht werden. Dieser Wert entspricht der charakteristischen Querdrukfestigkeit des Holzes.

Fazit: Schrauben eröffnen neue Möglichkeiten

Die Vorspannwirkung von selbstbohrenden Holzschrauben mit veränderlicher Gewindesteigung wurde numerisch und experimentell untersucht. Die Ergebnisse der Einschraubversuche haben gezeigt, dass mit Spannschrauben signifikante Querdrukspannungen aufgebracht werden können. Mit dem entwickelten Finite-Elemente-Modell können Aussagen über die zu erwartende Querdrukspannung getroffen und die Gewindevariationen für unterschiedliche Anwendungen optimiert werden.

Des Weiteren soll das Langzeitverhalten der Spannschraube in Hinblick auf Relaxation sowie auf die Einflüsse von Schwind- und Quellverformungen des Holzes untersucht werden. Dazu sind Versuche mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen geplant. Darüber hinaus sollen die Schrauben als Verstärkungselemente für Ausklinkungen und Durchbrüche unter-

sucht werden. Ein weiteres Anwendungsgebiet kann die Schraubenpressklebung sein. Die Presskraft, die durch die Spannschrauben aufgebracht werden kann, ist wesentlich höher als bei Teilgewindeschrauben, die derzeit für die Schraubenpressklebung verwendet werden.

Literatur

- [1] Bejtka, I.: Verstärkungen von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 2, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2005
- [2] Blaß, H.J.; Bejtka, I.; Uibel, T.: Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Band 4, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2006
- [3] Steilner, M.; Blaß, H.J.: Selbstbohrende Holzschrauben mit veränderlicher Gewindesteigung, Doktorandenkolloquium, Holzbau Forschung und Praxis, Institut für Konstruktion und Entwurf (Hrsg.), Universität Stuttgart, 2010, S 107-112

Autor
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Blaß ist Inhaber des Lehrstuhls für Holzbau und Baukonstruktionen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
 Dipl.-Ing. Michael Steilner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am KIT.