

Querdruckvorspannung von Holz mit Vollgewindeschrauben

Relaxation und Anwendung

MICHAEL STEILNER

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Holzbau und Baukonstruktionen
Karlsruher Institut für Technologie
Reinhard-Baumeister-Platz 1
76131 Karlsruhe
Michael.Steilner@kit.edu



1975 geboren in Tübingen
2009 Abschluss des Studiums
Bauingenieurwesen an der
Universität Karlsruhe (TH)
Seit 2009 Wissenschaftlicher
Mitarbeiter am Lehrstuhl für
Holzbau und Baukonstruktionen,
Karlsruher Institut für Technologie

Zusammenfassung

Eine wirksame Methode zur Verstärkung von Bauteilen aus Brettschichtholz stellen selbstbohrende Holzschrauben mit Vollgewinde dar. In Bereichen mit großer Querkzugbeanspruchung, zum Beispiel bei Ausklinkungen und Durchbrüchen, werden die Querkzugkräfte durch die Schrauben aufgenommen. Die vollständige Verstärkungswirkung kann aber erst nach der Ausbildung kleiner Risse erreicht werden, da Schraube und Holz quer zur Faser gleichzeitig gedehnt werden. Werden die querkzuggefährdeten Bereiche durch eine Querdruckvorspannung überdrückt, können Risse minimiert oder sogar vollständig vermieden werden.

In einem Forschungsvorhaben wurden in Zusammenarbeit mit einem Schraubenhersteller Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung entwickelt, mit denen beim Einschrauben planmäßig Querdruckspannungen im Holz erzeugt werden können. In Relaxationsversuchen kann gezeigt werden, dass die Querdruckspannung bei gleichbleibender Feuchte innerhalb von 30 Stunden auf einem konstanten Niveau von ca. 75 % der Ausgangsspannung gehalten werden kann.

Am Beispiel eines gekrümmten Trägers aus Brettschichtholz wird gezeigt, dass durch Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung einerseits die Verstärkungswirkung von Vollgewindeschrauben verbessert werden kann und andererseits die Querkzugspannungen bei Schwindvorgängen reduziert werden können.

1. Einleitung

Seit einigen Jahren sind Querkzugverstärkungen von Holzbauteilen mit selbstbohrenden Holzschrauben Stand der Technik. Die Querkzugkräfte, 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 Schraubenchse Querkzugspannungen im Holz, die zu Rissen führen können.

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

2. Vorspannen mit Schrauben

2.1 Allgemeines

Die Querdruckfestigkeit von Holz ist gering. Daher ist die potentielle Presskraft begrenzt, die zur Vorspannung des Querschnittes von außen aufgebracht werden kann. Des Weiteren breitet sich bei Teilflächenbelastungen die Spannung unter der Lasteinleitungsstelle aus und führt somit in der Mitte des Querschnittes zu wesentlich geringeren Spannungen als unter der Lasteinleitungsstelle.

Auf Grund dessen wurde in einem Forschungsvorhaben zusammen mit einem Schraubenhersteller eine Schraube mit veränderlicher Gewindesteigung entwickelt. Die veränderliche Gewindesteigung erzeugt eine planmäßige Querdruckvorspannung im Holzquerschnitt.

2.2 Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung

Abb. 1 zeigt schematisch die Schraubengeometrie der Spannschraube. In Bereich I und III weist die Schraube eine konstante Gewindesteigung p_0 auf. Im Bereich II wird die Gewindesteigung funktional verändert. Das Gewinde hat im gesamten Bereich II eine geringere Steigung als im Bereich I und III.

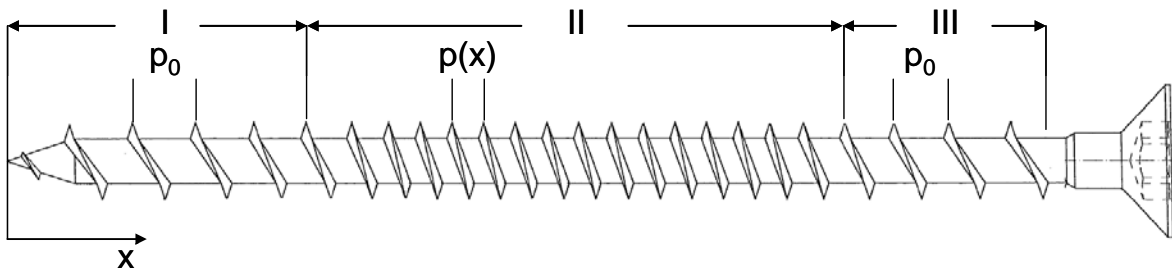


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Spannschraube mit veränderlicher Gewindesteigung. Bereich I und Bereich III mit konstanter Gewindesteigung p_0 . Bereich II mit veränderlicher Steigung $p(x)$.

Die Gewindesteigung entspricht der Strecke, die die Schraube bei einer Umdrehung in Achsrichtung zurücklegt. Wird eine Schraube mit konstanter Gewindesteigung eingedreht, legt jeder Bereich der Schraube bei einer Umdrehung denselben Weg zurück. Die Gewindesteigung bestimmt somit die Eindringgeschwindigkeit der Schraube. Wird eine Schraube mit unterschiedlichen Gewindesteigungen eingeschraubt, so erhält man unterschiedliche Eindringgeschwindigkeiten entlang der Schraubenachse. Dadurch entstehen Zwängungen im Holz und Relativverschiebungen zwischen Holz und Schraube. Diese führen zu einer Querdruckvorspannung im Holz. Die erzeugte Querdruckvorspannung ist dabei in erster Linie von der Veränderung der Gewindesteigung abhängig.

Die auftretenden Zwängungen im Holz dürfen einen kritischen Wert nicht überschreiten, da ansonsten die Holzmatrix zerstört wird und keine Kraftübertragung zwischen Schraube und Holz

mehr möglich ist. Die Zwängungen hängen von der Gewindegeometrie, der Rohdichte des Holzes und der Schraubenlänge ab (vgl. [5], [6]).

2.3 Querdruckvorspannung

Mit der Methode der Finiten Elemente kann die Vorspannungsverteilung im Holzquerschnitt in Folge einer Schraube mit veränderlicher Gewindesteigung in Abhängigkeit der Gewindegeometrie berechnet werden. In Abb. 2 ist die Querdruckspannungsverteilung in einem Holzquerschnitt aufgrund einer Schraube mit veränderlicher Gewindesteigung abgebildet.

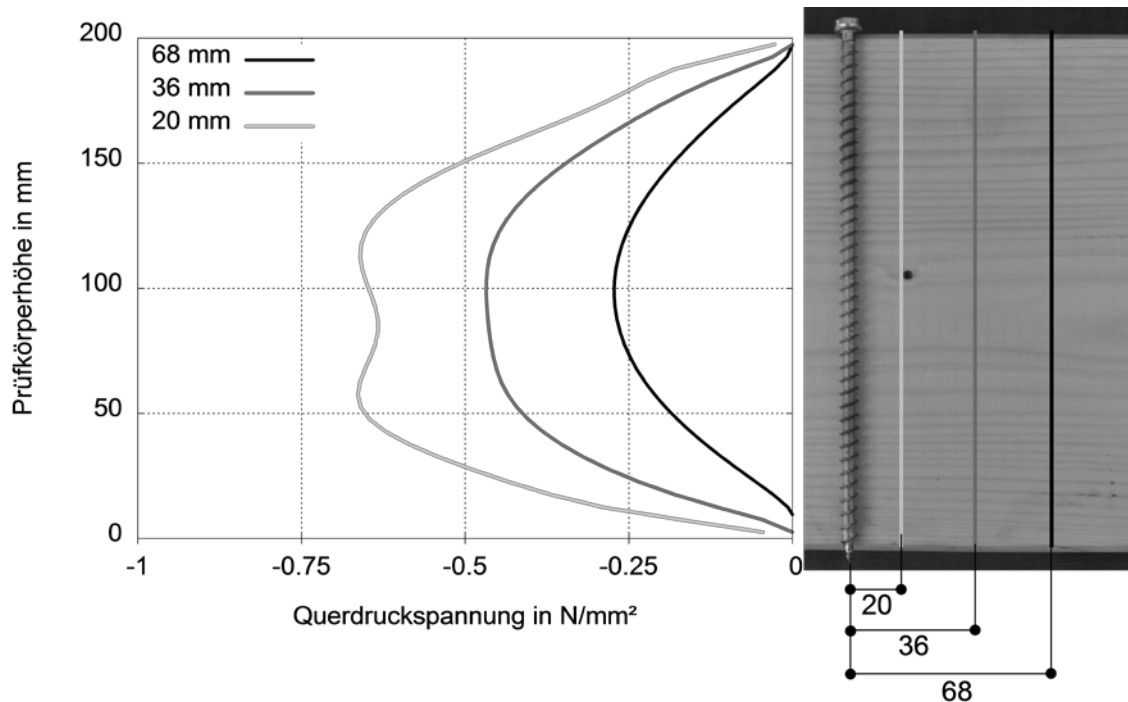


Abb. 2: Berechnete Druckspannungen über die Prüfkörperhöhe in Abhängigkeit des Abstandes zur Schraube in Faserrichtung.

Zur Überprüfung der berechneten Querdruckspannungen wurden Versuche mit Prüfkörpern aus Brettschichtholz durchgeführt, bei denen die erzeugten Querdruckkräfte in unterschiedlichen Prüfkörperquerschnitten gemessen wurden. Die berechneten und gemessenen Querdruckkräfte stimmen gut überein und das Modell kann für weitere numerische Untersuchungen verwendet werden (vgl. [6]).

3. Relaxation

Relaxation bezeichnet die Abnahme einer Belastung, die durch eine bestimmte Verformung hervorgerufen wird, in Abhängigkeit der Zeit. Die Schraube mit veränderlicher Gewindesteigung erzeugt auf Grund von Zwängungen eine Querdruckvorspannung im Holzquerschnitt. Somit unterliegt die Querdruckvorspannung der Relaxation.

Für die Untersuchung des Relaxationsverhaltens sind Brettschichtholzprüfkörper mit quadratischem Querschnitt ($b = 160 \text{ mm}$) und einer Höhe von 200 mm verwendet worden, was der Länge der zur Verfügung stehenden Schrauben entspricht. Die Prüfkörper sind in der Mitte durch einen Sägeschnitt getrennt, damit FSR-Messensoren zur Messung der Querdruckkraft (vgl. [5]) eingebracht werden können. In Abb. 3 ist ein solcher Prüfkörper dargestellt.

Anschließend wurde eine Schraube mit veränderlicher Gewindesteigung in den Prüfkörper

eingeschraubt und die auftretende Querdruckkraft über mehrere Stunden kontinuierlich gemessen. In Abb. 4 ist das Verhältnis der Querdruckkraft $F_{c,90}$ zur Anfangsquerdruckkraft $F_{c,90,0h}$ im zeitlichen Verlauf dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die größte Relaxation innerhalb der ersten 3 Stunden stattfindet und nach ca. 15 Stunden ein nahezu konstantes Kraftniveau erreicht ist, das bis zum Ablauf von 32 Stunden gehalten werden kann.

Die großen Schwankungen innerhalb der ersten 13 Stunden sind durch die Messmethode mit den FSR-Sensoren begründet. Die Tendenz ist jedoch gut zu erkennen.

Möhler [3] hat das Relaxationsverhalten von Holz bei Querdruck unter Unterlegscheiben von Bolzenverbindungen untersucht. Bei Versuchen mit trockenem Fichtenholz stellt er eine Abnahme auf 85 % bis 75 % des Ausgangswertes fest. Vergleicht man die Ergebnisse mit denen in Abb. 4, so kann man eine gute Übereinstimmung feststellen.



Abb. 3: Prüfkörper zur Relaxationsbestimmung.
Maße $b/b/h = 160/160/200$ mm

Die Messmethode eignet sich somit zur Messung der Relaxation und es kann in weiteren Versuchen der Einfluss von Feuchtewechseln untersucht werden. Hierbei spielt nicht nur die Relaxation eine Rolle, sondern die Vorspannung wird zusätzlich durch Quellen und Schwinden erhöht, bzw. verringert; dies tritt in Wechselwirkung mit der Relaxation auf.

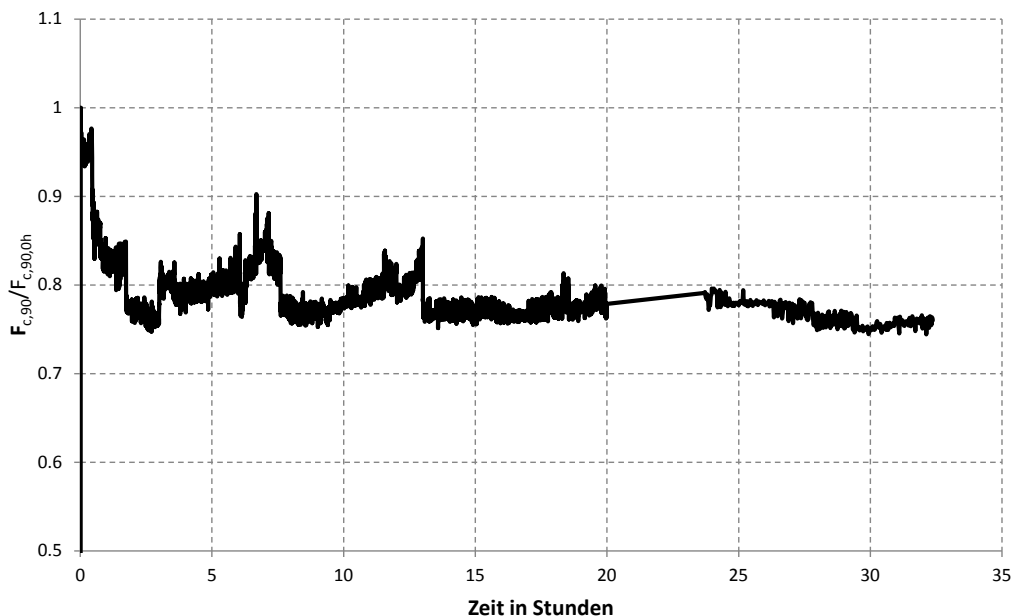


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Querdruckkraft im Verhältnis der Ausgangskraft.

4. Anwendungsbeispiel bei gekrümmten Trägern aus Brettschichtholz

4.1 Querzugverstärkung

Zur Untersuchung der Querdruckvorspannung für reale Brettschichtholzträger wurden in einem Modell Träger mit realistischen Abmessungen simuliert und daran verschiedene Einflüsse untersucht. In Abb. 5 zeigt ein zweidimensionales Halbmodell eines gekrümmten, mit Vollgewindeschrauben verstärkten Brettschichtholzträgers. Das Modell wurde in dem FEM-Programm ANSYS erstellt und als Verstärkungsmittel wurden Vollgewindeschrauben mit konstanter und mit veränderlicher Gewindesteigung verwendet. Als Grundlage dient das in [5] und [6] vorgestellte Modell. Für einen weiteren Vergleich wurde ebenfalls ein Träger ohne Verstärkungsmittel modelliert.

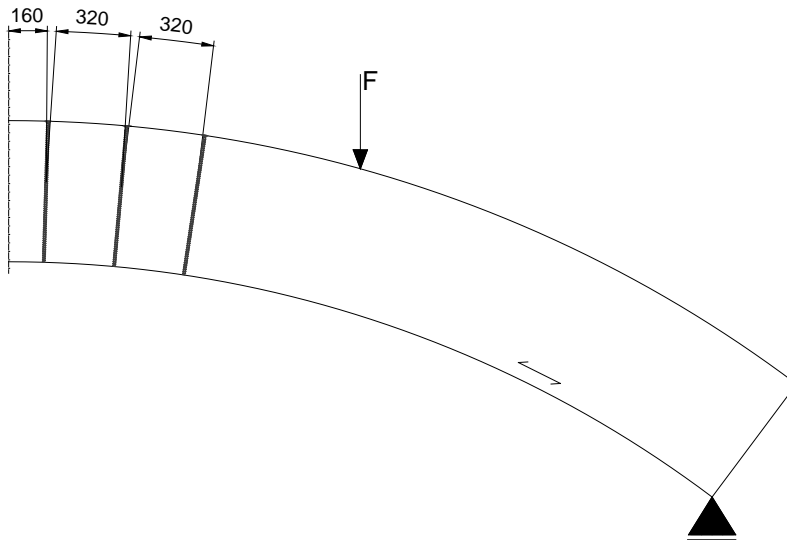


Abb. 5: Modell gekrümmter und verstärkter BSH-Träger

Der modellierte Träger wird durch die Kraft F belastet, dies entspricht einem klassischen Vierpunkt-Biegeversuch. Die Kraft wird schrittweise erhöht, bis in einem Holzelement die Querzugfestigkeit erreicht wird. Dieses Element wird als zerstört definiert und die Steifigkeiten auf einen sehr kleinen Wert gesetzt. Die Kraft wird anschließend weiter gesteigert bis bei insgesamt drei Elementen die Querzugfestigkeit erreicht ist. Dies bedeutet, dass ein Querzugriss entsteht.

Die Versagensstelle für beide Gewindearten liegt hierbei immer zwischen den Verbindungsmitteln. Die erreichten Maximalkräfte bei den durchgeführten Simulationen lagen für den unverstärkten Träger bei ca. 180 kN, für den Träger mit Schrauben mit konstanter Gewindesteigung bei ca. 210 kN und für den Träger mit Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung bei ca. 340 kN. Dies bedeutet eine rechnerische Laststeigerung von 62 % gegenüber dem verstärkten Träger und 89 % gegenüber dem unverstärkten Träger.

4.2 Querzug durch Schwinden

In beheizten Innenräumen können im Winter durchaus Ausgleichsfeuchten von 8 % Holzfeuchte auftreten. Geht man von einer Einbaufeuchte der Träger von 12 % aus, dann entstehen in entsprechend hohen Querschnitten signifikante Schwindverformungen.

Die stählernen Verstärkungsmittel erfahren keine Schwindverformungen und die sehr viel höhere Steifigkeit der Verstärkungsmittel führt zu Querzugspannungen im Holz. Bei dem Modell des verstärkten Trägers mit Vollgewindeschrauben mit konstantem Gewinde treten bei einer Holzfeuchteänderung von 5 % schon Querzugspannungen von 0,7 N/mm² auf.

In Abb. 6 ist die Querdruckspannungsverteilung durch die Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung im unbelasteten Träger dargestellt. Die vorhandene Querdruckspannung wird beim Schwinden zuerst abgebaut, bevor Querdzugspannungen entstehen können. So entsteht bei einer Holzfeuchteänderung von 5 % eine Querdzugspannung von deutlich unter $0,2 \text{ N/mm}^2$.

In Abb. 7 ist die Querdzugspannung über den Trägerquerschnitt bei einer Holzfeuchteänderung von 5 % dargestellt. Deutlich ist der Unterschied der Querdzugspannungen im Holzquerschnitt zu erkennen.

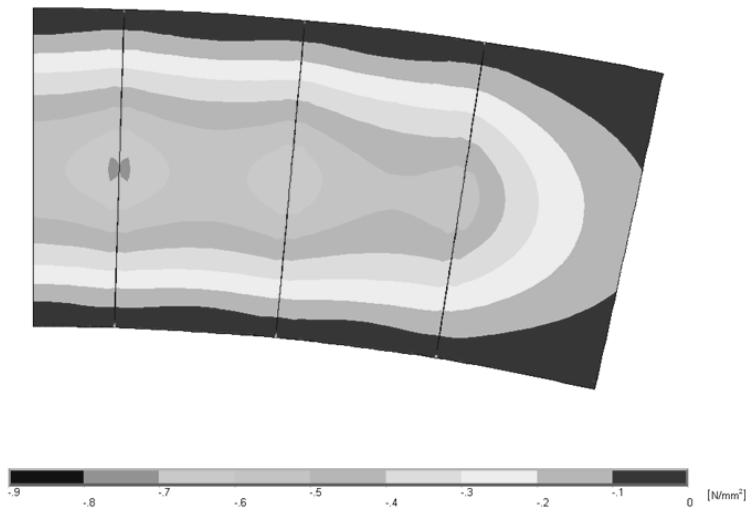


Abb. 6: Querdruckvorspannungsverteilung durch Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung.

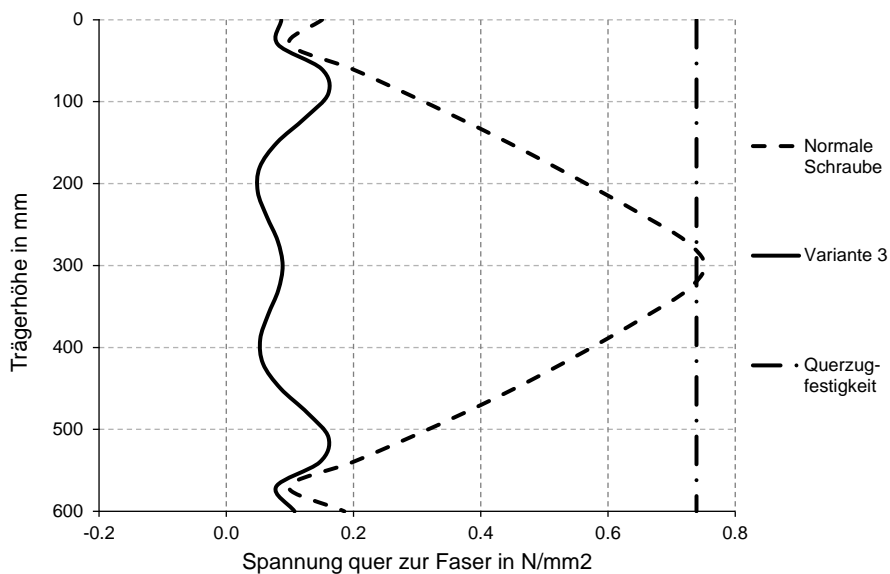


Abb. 7: Querdzugspannungen entlang des Verstärkungsmittels für Schrauben mit konstanter Gewindesteigung und veränderlicher Gewindesteigung bei einer Holzfeuchteänderung um 5 %.

5. Schlussfolgerung und Ausblick

Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung können im Holz Querdruckspannungen erzeugen, dadurch kann das Auftreten von Rissen bei querzugbeanspruchten Bauteilen reduziert werden. Des Weiteren können die Querdruckvorspannungen die Entstehung von Rissen aufgrund klimatischer Veränderungen verringern oder sogar ganz verhindern.

Liegen die Gewindeänderungen unterhalb der kritischen Grenze, bei der die Holzmatrix zerstört wird, ist die axiale Tragfähigkeit der Schraube kaum beeinträchtigt. Daher sind Schrauben mit veränderlicher Gewindesteigung sehr gut als Verstärkungsmittel für Brettschichtholzträger mit Querzugbeanspruchung geeignet.

Relaxationsversuche zeigen, dass das Niveau der Querdruckvorspannung bei gleichbleibender Feuchte innerhalb von 30 Stunden auf einem konstanten Niveau von ca. 75 % der Ausgangsspannung gehalten werden kann. Die eingesetzten FSR-Sensoren eignen sich für die Messung der Relaxation und sollen für weitere Untersuchungen verwendet werden.

Ein weiteres Anwendungsgebiet kann die Schraubenpressklebung sein. Die Presskraft der Spannschrauben ist wesentlich höher als diejenige der Teilgewindeschrauben, die derzeit für die Schraubenpressklebung verwendet werden. Zurzeit werden Versuche im Hinblick auf den Unterschied zur Teilgewindeschraube durchgeführt und im Folgenden werden auch die Abstände der Schrauben untereinander untersucht. Durch die wesentlich höhere Presskraft können eventuell größere Schraubenabstände verwirklicht werden.

6. 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] Möhler, K.; Maier, G.: Kriech- und Relaxations-Verhalten von lufttrockenem und nassen Fichtenholz bei Querdruckvorspannung, *Holz als Roh- und Werkstoff*, Band 28, 1970, S 14 - 20
- [4] Neuhaus H: Über das elastische Verhalten von Fichtenholz in Abhängigkeit von der Holzfeuchtigkeit, *Holz als Roh- und Werkstoff*, Band 42, 1983, S 21-25
- [5] 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
- [6] Steilner, M.: Querdruckvorspannung von Holz, *Doktorandenkolloquium, Holzbau Forschung und Praxis*, Institut für Konstruktion und Entwurf (Hrsg.), Universität Stuttgart, 2012, S 53-60