

Forschungsergebnisse FH Augsburg, Teil 1

Erhöhung der Querdruckfestigkeit von Holz

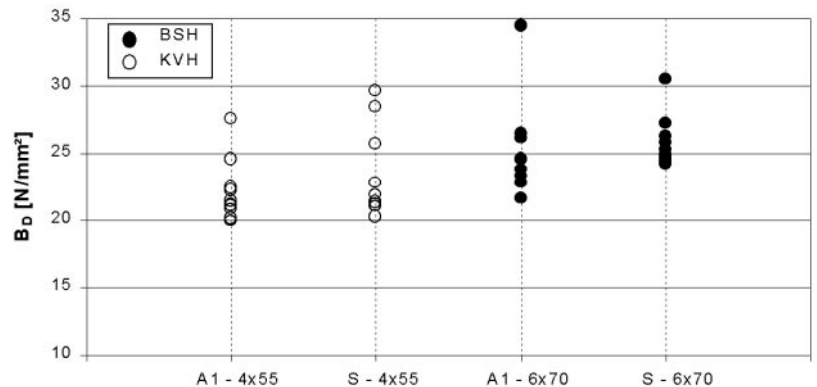
Durch das Einschrauben von selbstschneidenden Holzschrauben (ohne Vorbohren) lässt sich die Querdruckfestigkeit von Holz und Brett-schichtholz beträchtlich erhöhen. Dies zeigen Versuchsergebnisse eines Forschungsvorhabens an der FH Augsburg.

Die Suche nach Möglichkeiten zur Erhöhung der Querdruckfestigkeit bei Auflagerungen war bereits zu Beginn der 80er-Jahre Gegenstand von Untersuchungen [Möhler/Freiseis]. Hier wurden verschiedene konstruktive Verstärkungsmaßnahmen untersucht und Vorschläge für die Bemessung gemacht.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen konnten sich in der Praxis jedoch kaum durchsetzen, zum Teil aus ästhetischen (z.B. außen liegende Nagelplatten), zum Teil auch aus wirtschaftlichen Gründen, weil sich die Verstärkungsmaßnahmen als zu aufwendig in der Herstellung erwiesen (z.B. eingeleimte Buchenholzdübel oder eingeleimte Gewindestangen). Die vor einigen Jahren entwickelten „Schnellbauschrauben“ (z.B. ABC-Spax oder Würth-Ecofast) dürfen im Gegensatz zu den Holzbauschrauben nach DIN 1052 ohne Vorbohren ins Holz eingedreht werden, sodass sie eine sehr wirtschaftliche Alternative darstellen.

Im Rahmen eines an der Fachhochschule Augsburg durchgeführten Forschungsvorhabens wurde nun die Möglichkeit einer Erhöhung der Querdruckfestigkeit von Vollholz und Brett-schichtholz durch Eindrehen von Holzschrau-

Bild 1: B_D -Werte, Eindrückversuche mit Mitwirkung des Kopfes, Rohdichte 400 kg/m³



ben ohne Vorbohren untersucht. Diese Untersuchungen wurden im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH), München, mit finanzieller Förderung durch den Holzabsatzfonds (HAF) durchgeführt.

Bei der Konzipierung der Versuche wurden folgende Einsatzgebiete zugrunde gelegt:

- Auflagerung von Holzstielen auf Schwellen mit „direkter“ Lasteinleitung (Schwellenpressung)
- Auflagerung von Biegeträgern mit „indirekter“ Lasteinleitung, z. B. im Holz-Skelettbau mit Brett-schichtholzbalken

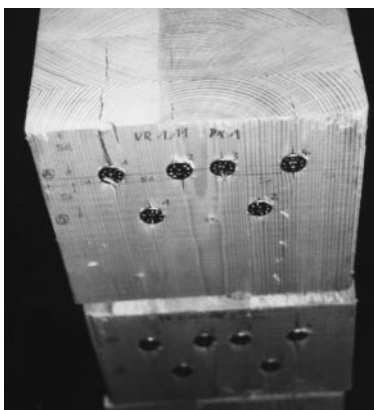
In beiden Fällen wurde der ungünstigste Fall – sprich Querdruck ohne Überstand – untersucht.

Schraubenversuche

Auf der Grundlage von insgesamt 110 Vorversuchen mit elf verschiedenen Schraubentypen wurden für die Hauptversuche folgende Schrauben mit Vollgewinde ausgewählt:

- Schrauben 4 × 55 mm für die Schwellenversuche (nachfolgend Typ A1 und Typ S genannt)
 - Schrauben 6 × 70 mm für die Auflagerversuche (Typ A1 und S)
- Alle diese Schraubentypen sind im Besitz einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung.

Die Versuche mit 4 × 55 mm Schrauben wurden dabei mit Konstruktionsvollholz (KVH) b/h = 140/60 mm durchgeführt. Hierzu



wurden gezielt Hölzer mit einer Rohdichte von $400 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ und $500 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ ausgesucht.

Die Versuche mit $6 \times 70 \text{ mm}$ Schrauben wurden mit Brett-schichtholz $b/h = 140/240 \text{ mm}$ durchgeführt. Hierzu wurden gezielt BSH-Träger mit Brettern geringer ($\rho = 400 \pm 20 \text{ kg/m}^3$) und hoher ($\rho = 500 \pm 20 \text{ kg/m}^3$) Rohdichte hergestellt. Diese Bretter wurden übereinander gelegt und miteinander verleimt, sodass keine Keilzinkenverbindungen auftraten. Hierdurch sollten möglichst gleichwertige Materialien für die verschiedenen Versuchsreihen gewährleistet werden.

In Anlehnung an den Ausziehparameter B_Z von Schrauben wurde aus den Versuchen jeweils ein Wert B_D wie folgt ermittelt:

$$B_D = \frac{F_{D,\max}}{d_s \cdot l_g} \quad \text{in [N/mm}^2\text{]}$$

mit

$F_{D,\max}$ = maximale Druckkraft
in [N]

d_s = Schrauben-Nenn-durchmesser in [mm]

l_g = Gewinde-Nennlänge
in [mm]

In *Bild 1* sind die Versuchsergebnisse für Schrauben mit Mitwirkung des Schraubenkopfes dargestellt.

Bei vergleichenden Versuchen ohne Mitwirkung des Schraubenkopfes wurden etwa 25 Prozent geringere Werte erzielt. Diese Werte liegen in der gleichen

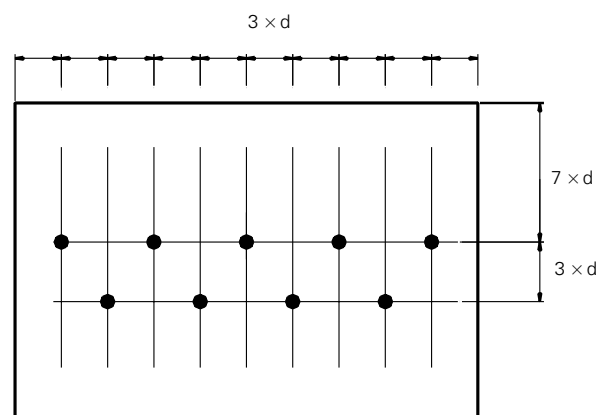


Bild 2 (links): Aufspalten des Holzes bei zu geringem Hirnholzabstand
Bild 3 (rechts): Mindestabstände

Größenordnung wie die ebenfalls in Versuchen ermittelten B_Z -Werte für Beanspruchung auf Herausziehen.

Einschraubversuche

Im Rahmen von Einschraubversuchen wurde untersucht, welche Mindestabstände erforderlich sind, damit kein Aufspalten im Holz stattfindet. Diese Einschraubversuche wurden mit Holz hoher Rohdichte (ca. 500 kg/m^3) durchgeführt, weil hier die Spaltgefahr höher eingeschätzt wurde.

Es wurden verschiedene Versuchsserien mit unterschiedlichen Schraubenabständen durchgeführt. In *Bild 2* ist eine BSH-Probe mit zu geringem Hirnholzabstand der

Schrauben und aufgetretenem Riss dargestellt. Die Versuche ergaben folgende erforderlichen Mindestabstände (siehe auch *Bild 3*):

- $7 \times d$ zum Hirnholz
- $3 \times d$ zur seitlichen Holz-kante
- $3 \times d$ untereinander parallel zur Faser bei versetzter Anordnung
- $3 \times d$ ($6 \times d$) untereinander rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes

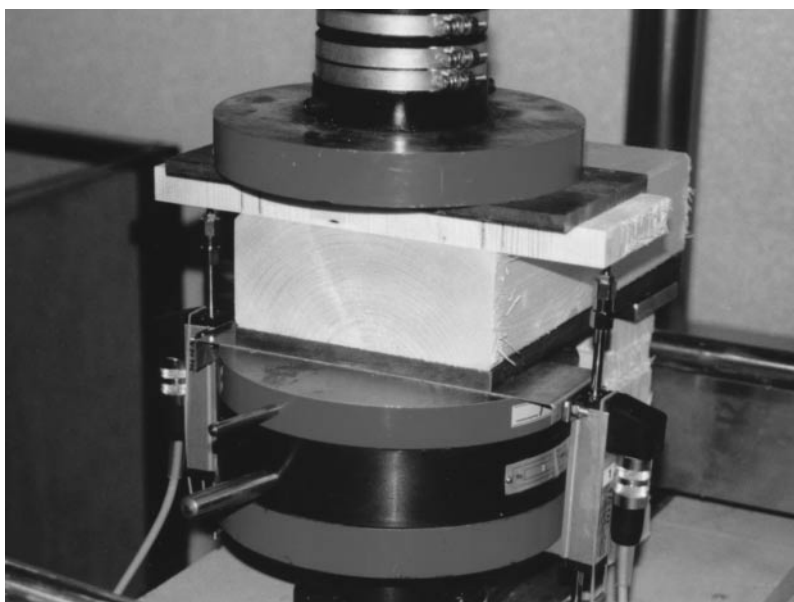
Schwellenversuche

Die Schwellenversuche wurden mit Konstruktionsvollholz ($b/h = 140/60 \text{ mm}$) durchgeführt. Im Hinblick auf eine möglichst geringe Streuung der Versuchswerte und eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden wie bei den Schraubversuchen gezielt Hölzer mit einer Rohdichte von $400 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ und $500 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ ausgesucht.

Die belastete Druckfläche betrug $60 \times 140 \text{ mm}^2$, wobei ein einseitiger Überstand von 200 mm ausgeführt wurde. In *Bild 4* ist ein Prüfkörper dargestellt. Hier ist die Zwischenlage aus einer „Hirnholzscheibe“ zu erkennen, welche die Lasteinleitung durch einen Pfosten annähern soll.

Für die Messung der Schwellenverformungen wurden seitlich

Bild 4: Versuchsvorrichtung für die Schwellenversuche



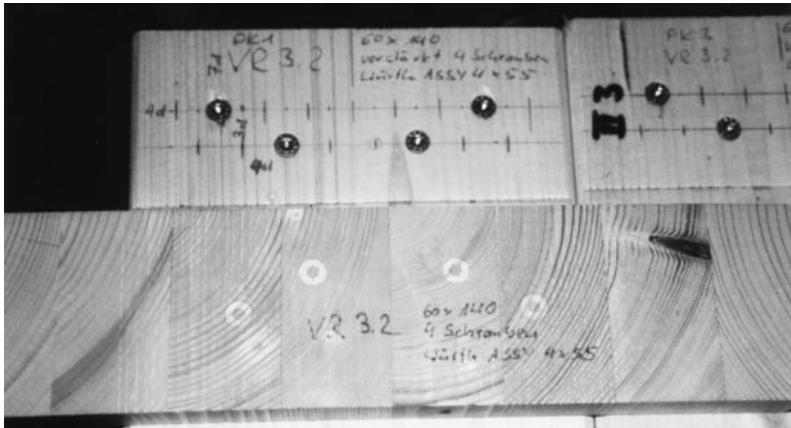


Bild 5: Verstärkte Prüfkörper nach dem Versuch

Wegaufnehmer angebracht, mit deren Hilfe die Verformungen über die gesamte Schwellenhöhe gemessen wurden (Messlänge = 60 mm). Bei der Versuchsauswertung wurden die beiden Messwerte jeweils gemittelt.

Insgesamt wurden 88 Schwellversuche mit ordnungsgemäßer Ausführung durchgeführt. Darüber hinaus wurde anhand von 33 Versuchen der Einfluss einer „unsauberen“ Ausführung (schräg eingedrehte Schrauben, überstehende Schraubenköpfe, versenkte Schraubenköpfe, teils überstehende, teils versenkte Schraubenköpfe) untersucht.

Zunächst wurden Versuche mit unverstärkten Proben durchgeführt, die als Basis für die Ermittlung des Verstärkungseffektes dienten. Der Verstärkungseffekt wurde an Proben mit vier und neun Schrauben ermittelt. In Bild 5 sind Prüfkörper nach dem Versuch dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die Eindrückungen der Schraubenköpfe im Stirnholz der Lasteinleitungsplatte.

Für die Berechnung eines Verstärkungsfaktors erwies sich die Auswertung auf den nachfolgend erläuterten „Niveaus“ als am aussagekräftigsten:

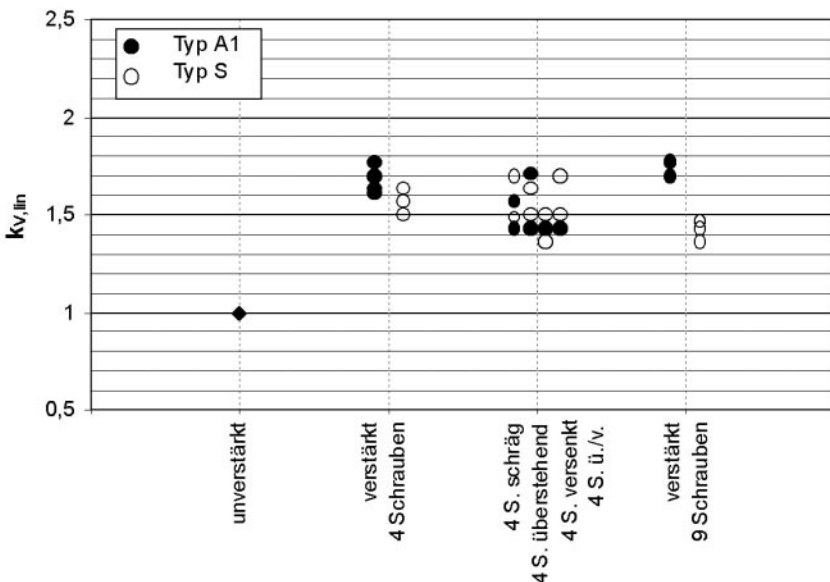


Bild 6a: Verstärkungsfaktoren auf dem Niveau der Linearitätsgrenze, KVH 400

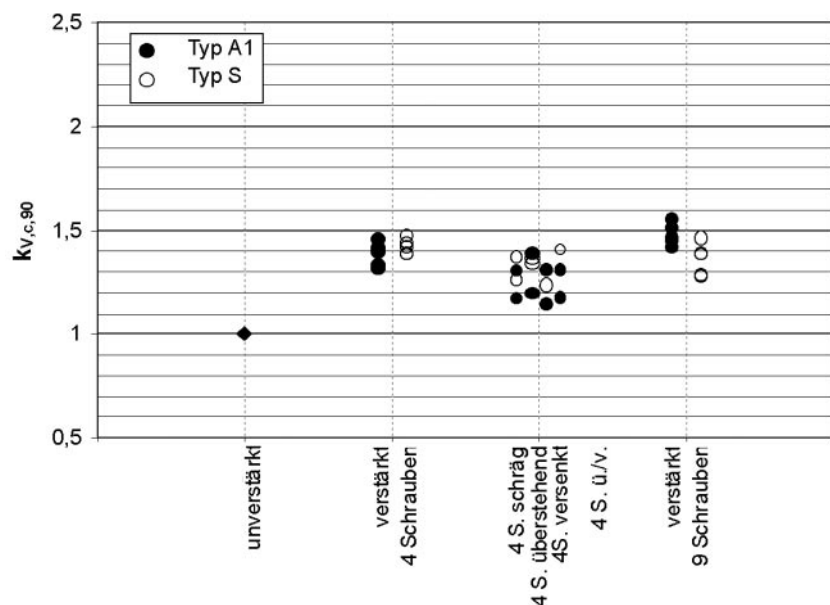


Bild 6b: Verstärkungsfaktoren auf dem Niveau der Querdrukfestigkeiten, KVH 400

1. Auf dem Niveau der Linearitätsgrenze:

$$k_{V,lin} = \frac{f_{v,lin}}{f_{uv,lin}}$$

mit

$f_{v,lin}$ = Spannung bei Erreichen der Linearitätsgrenze der verstärkten Proben

$f_{uv,lin}$ = zugehöriger Mittelwert der Spannung der unverstärkten Proben

Dieser Faktor gibt Auskunft darüber, um welches Maß der Bereich linearen Tragverhaltens durch das Einbringen von Schrauben verlängert wird.

2. Auf dem Niveau der Querdruckfestigkeit:

$$k_{V,c,90} = \frac{f_{v,c,90}}{f_{uv,c,90}}$$

mit

$f_{v,c,90}$ = Querdruckfestigkeit der verstärkten Proben

$f_{uv,c,90}$ = Mittelwert der Querdruckfestigkeit der unverstärkten Proben

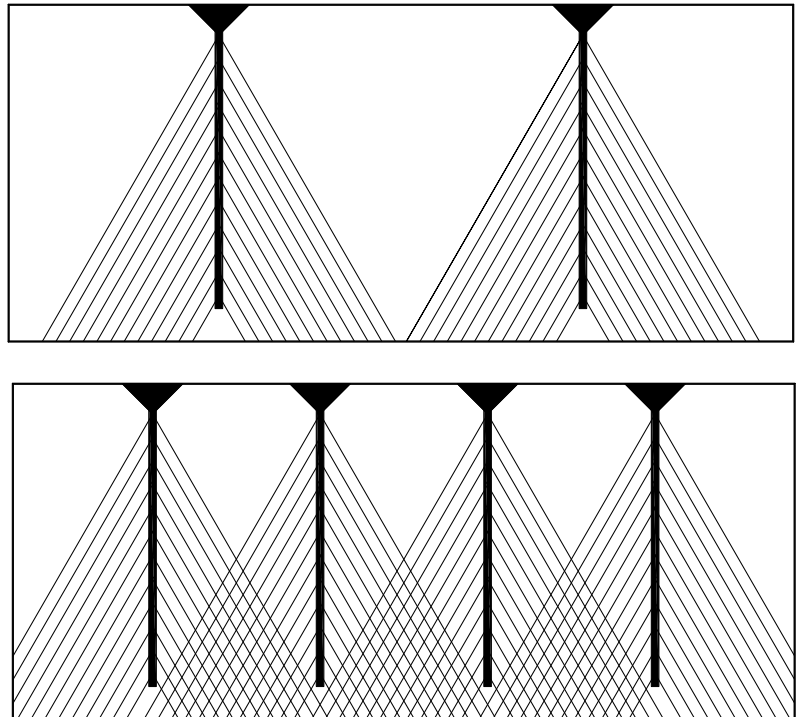
Dieser Faktor gibt Auskunft darüber, um welches Maß die Querdruckfestigkeit durch das Einbringen von Schrauben erhöht wird. Die Querdruckfestigkeiten wurden dabei nach DIN EN 1193 ermittelt. Die so berechneten Verstärkungsfaktoren sind für KVH mit einer Rohdichte von 400 kg/m^3 in den Bildern 6a und 6b grafisch dargestellt.

Aus diesen Bildern sind folgende Tendenzen zu erkennen:

- Auf beiden Niveaus sind deutliche Verstärkungseffekte zu erkennen.
- Der Verstärkungsfaktor $k_{V,lin}$ ist dabei größer als der Faktor $k_{V,c,90}$. Dies kann damit erklärt werden, dass im Bereich nicht linearen Tragverhaltens ein Teil des Verstärkungseffektes durch das Eindringen der Schraubenköpfe „verpufft“.
- Selbst bei „unsauberer“ Ausführung ist ein Verstärkungseffekt zu erkennen.
- Bei Anordnung von neun Schrauben ist kein größerer Verstärkungseffekt zu erkennen als bei vier Schrauben. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass bei zu enger Anordnung der Schrauben eine Überlagerung der Druckkegel der einzelnen Schrauben stattfindet, was sich nachteilig auf die Wirksamkeit der Verstärkungsmaßnahme auswirkt. In Bild 7 ist dieser Effekt schematisch dargestellt.

Bei den Versuchen mit Holz höherer Rohdichte zeigten sich ähnliche Tendenzen, jedoch ergaben sich erwartungsgemäß deutlich

Bild 7: Überlagerungseffekte bei zu enger Anordnung der Schrauben (Prinzipskizzen).
Oben: Entlastung des Holzes durch ausreichenden Abstand der Schrauben.
Unten: erhöhte Querdruckbeanspruchung des Holzes durch Überlagerung der Druckkegel



geringere Verstärkungseffekte: Holz mit höherer Rohdichte besitzt „von Haus aus“ bereits eine höhere Steifigkeit und Festigkeit, sodass die Verstärkung mit Schrauben weniger effektiv ausfällt. Da man sich aber bei der Festlegung von Rechenwerten für die Materialeigenschaften eher an Holz geringer Rohdichte orientiert, erscheint es gerechtfertigt, sich auf die Verstärkungsfaktoren der Proben mit $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$ zu beschränken. In Tabelle 1 sind die Mittelwerte der berechneten Verstärkungsfaktoren für die Schwellenbeanspruchung für den Fall einer ordnungsgemäßen Ausführung zusammengestellt.

Aus dieser Tabelle ergeben sich für vier und neun Schrauben folgende übereinstimmende Verstärkungsfaktoren:

Tabelle 1: Verstärkungsfaktoren (Mittelwerte) für Schwellenbeanspruchung, ordnungsgemäße Ausführung

Rohdichte		$k_{V,lin}$	$k_{V,c,90}$
400 kg/m^3	4 Schrauben	1,63	1,40
	9 Schrauben	1,59	1,42

- Auf dem Niveau der Linearitätsgrenze beträgt der Verstärkungsfaktor 1,6. Dies bedeutet, dass der Bereich linearen Tragverhaltens um etwa 60 Prozent verlängert wird.
- Auf dem Niveau der Querdruckfestigkeit liegt der Verstärkungsfaktor etwa bei 1,4. Dies bedeutet, dass etwa eine 40 Prozent höhere Last aufgenommen werden kann, bis die rechnerische Druckfestigkeit nach DIN EN 1193 erreicht wird.

Die Wirksamkeit von eingedrehten Holzschrauben zur Erhöhung der Querdruckfestigkeit von Holz im Falle einer Schwellenbeanspruchung konnte somit anhand der durchgeführten Versuche eindrucksvoll bestätigt werden.

Im Teil 2 dieser Veröffentlichungsreihe werden die Versuche mit verstärkten Balkenauflägern beschrieben, die Ergebnisse diskutiert und ein Rechenverfahren zur Berücksichtigung des Verstärkungseffektes vorgestellt.

François Colling,
FH Augsburg