

# Vergleichende Untersuchungen zwischen industriell eingesetzten und einem neu entwickelten Keilzinkenprofil

JOHANN SCHEIBENREITER, KARL ENTACHER, ANDREAS NEUMÜLLER

Durch den Einsatz von neuen Technologien in der Holzverarbeitung, z. B. von Röntgenscannern, gelingt es immer besser, Schwachstellen im Holz zu determinieren und auszuscheiden. Um diesen Vorteil in der Praxis auch effizient nutzen zu können, ist die Weiterentwicklung der Längsverbinding von Holz zwingend erforderlich. In der vorliegenden Arbeit wurde ein modifiziertes Keilzinkenprofil entwickelt. Zusätzlich wurden vergleichende Untersuchungen zwischen dem modifizierten Keilzinkenprofil und den in der Industrie eingesetzten Normkeilzinkenprofilen durchgeführt, wobei bei Brettschichtholz-Lamellen die Zugfestigkeit und bei keilgezinkten Kanthölzern die Biegefestigkeit bestimmt wurde. Es konnte gezeigt werden, dass es beim modifizierten Profil mit versetztem Zinkengrund zu einer Erhöhung der Biegefestigkeit bei keilgezinkten Kanthölzern kommt. Ein Festigkeitsanstieg hinsichtlich der Zugfestigkeit bei Brettschichtholz-Lamellen konnte nicht nachgewiesen werden.

## Ausgangssituation und Problemstellung

Holz als biogener Roh- und Werkstoff weist aufgrund seiner Anatomie Inhomogenitäten auf. Dieser heterogene Aufbau stellt in vielen Fällen einen limitierenden Faktor in Hinblick auf die Verwendungsmöglichkeit dar, insbesondere deshalb, weil unterschiedliche Festigkeiten bzw. Schwachstellen gegeben sind. Durch den Einsatz von neuen Technologien (z. B. Röntgenscanner, Computertomografie) in der Holzverarbeitung gelingt es immer besser, diese Schwachstellen zu determinieren und auszuscheiden. Um jedoch den Vorteil dieser Technologien auch in der Praxis effizient nutzen zu können, ist eine Weiterentwicklung der Verbindungstechnologien zwingend erforderlich.

Die Keilzinkung ist die am häufigsten industriell eingesetzte Form zur Längsverbinding von Holz. Die Festigkeit von Keilzinkenverbindungen ist von verschiedenen Einflussfaktoren, wie Holzqualität, Rohdichte, Holzfeuchtigkeit, verwendetem Klebstoff, Klebstoffauftrag, exakter Fräsung etc., abhängig.

Der Einfluss der Rohdichte des Holzes bzw. der Holzfeuchtigkeit auf die Festigkeit einer Keilzinkenverbinding wird einerseits als gering bis mäßig bewertet [8], andererseits wird der negative Einfluss der geringen Rohdichte und das Vorhandensein der Markröhre bestätigt [4, 10].

Von elementarer Wichtigkeit für die Festigkeit einer Keilzinkenverbinding ist jedoch die Keilzinkengeometrie. Höhere Festigkeiten werden durch einen flachen Flanken-

winkel und die dadurch größer werdende Leimfläche erzielt [2, 7]. Der damit verbundene niedrigere Verschwächungsgrad wirkt sich positiv auf die Festigkeit aus [3, 6, 9].

Zur Herstellung von tragenden verleimten Bauteilen werden überwiegend Keilzinken mit einer Länge von 15 mm oder 20 mm eingesetzt. Im Rahmen einer statistischen Auswertung von Biegefestigkeitsprüfungen von rund 3000 keilgezinkten Brettschichtholz-Lamellen, die in den Jahren 2001 und 2002 von der Holzforschung Austria im Zuge von Produktionsüberwachungen entnommen und geprüft wurden, konnte festgestellt werden, dass keilgezinkte Brettschichtholz-Lamellen mit dem Profil 15/3,8/0,42 mm in den geprüften Festigkeitsklassen (C24, C30, C40 gemäß ÖNORM EN 338:2003) signifikant höhere Festigkeiten aufweisen als mit dem Profil 20/6,2/1,0 mm [5].

Die zur Zeit in der Industrie eingesetzten Keilzinkenprofile weisen die Verschwächung an der Basis der Zinken in einer Ebene auf. In der Literatur [1] werden auch erste Überlegungen angestellt, ob eine Verteilung der Querschnittschwächungen auf mehrere Ebenen eine Erhöhung der Festigkeit bringt. Aufgrund ihrer Berechnungen über mögliche Spannungsverteilungen kommen sie zu keinem eindeutigen Schluss, ob eine Verteilung der Querschnittschwächungen einen Vorteil hinsichtlich der Festigkeit ergibt.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war daher, ein modifiziertes Profil zu entwickeln, bei dem der Flanken-

winkel optimiert und die Querschnittsschwächung auf mehrere Ebenen verteilt ist. Durch vergleichende Untersuchungen wurden die Festigkeitseigenschaften des modifizierten Profils bewertet.

## Material und Methode

### Beschreibung der Keilzinkenprofile

Keilzinkenprofile sind charakterisiert durch die Zinkenlänge  $l$ , die Zinkenteilung  $t$ , die Breite des Zinkengrundes  $b$  sowie den Flankenwinkel  $\alpha$ . Aus dem Verhältnis  $b/t$  ergibt sich der Verschwächungsgrad  $v$  (Bild 1).

Zur Herstellung von Keilzinkenverbindungen für statisch belastete Bauteile werden heute in der Industrie hauptsächlich 3 Keilzinkenprofile eingesetzt (Tabelle 1), wobei das Profil mit 15 mm Zinkenlänge zum überwiegenden Teil bei der Brettschichtholzproduktion und die Profile mit 20 mm Länge zum Großteil bei der Produktion von keilgezinktem Bauholz verwendet werden.

Aufgrund der bereits erwähnten Tatsache, dass das Profil mit 15 mm Zinkenlänge signifikant höhere Biegefestigkeitswerte aufwies, wurde diese Geometrie als Basis für die Modifizierung herangezogen, wobei jedoch der Flankenwinkel auf  $4,56^\circ$  reduziert und jede dritte Zinke um 5 mm verlängert wurde, sodass sich die Querschnittsschwächung auf 4 Ebenen aufteilt (Bild 2).

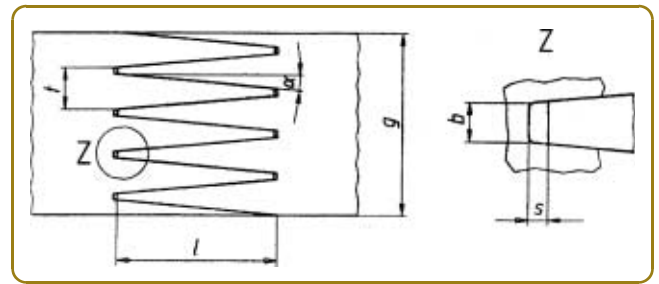
### Durchgeführte Untersuchungen

Es wurden vergleichende Festigkeitsuntersuchungen mit Brettschichtholz-Lamellen und keilgezinkten Kanthölzern sowohl mit dem modifizierten als auch mit den in der Praxis gebräuchlichen Profilen durchgeführt. Bei den Festigkeitsuntersuchungen mit Brettschichtholz-Lamellen wurden als Referenz Proben mit dem Profil 15/3,8/0,42 mm, bei den keilgezinkten Kanthölzern Proben mit dem Profil 20/6,2/1,0 hergestellt. Bei den Brettschichtholz-Lamellen wurde die Zugfestigkeit, bei den Kanthölzern die Biegefestigkeit bestimmt. Im Folgenden wird das modifizierte Profil jeweils als Profil 1, das jeweilige Referenzprofil als Profil 2 bezeichnet.

Nach der Festigkeitsprüfung erfolgte eine genaue Analyse des Bruchbildes, wobei zwischen Scherbruch entlang der Zinkenflanken (S), Grundbruch an der Basis der Keilzinkenverbindung (G) und Bruch außerhalb der Keilzinkenverbindung (A) unterschieden wurde. Die Bruchanteile wurden in Prozent, bezogen auf den Gesamtquerschnitt, angegeben. Besondere Bedeutung kommt hier dem Scherbruch entlang der Zinkenflanken zu, da dieser auf ein Versagen im Bereich der Klebefuge schließen lässt.

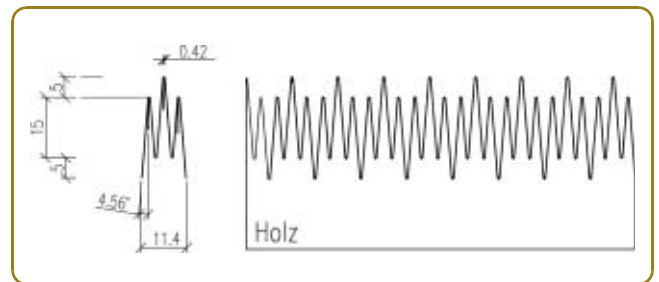
In Bruchnähe erfolgte die Bestimmung der Dichte an einem vollständigen Querschnitt entsprechend DIN 52182:1976 und die Bestimmung der Holzfeuchte nach dem Darrverfahren entsprechend ÖNORM EN 13183-1:2004.

Die statistische Datenanalyse erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 13.0.



**Bild 1: Vereinfacht dargestellte Keilzinkenverbindung nach DIN 68140-1**  
 $l$  Zinkenlänge,  $t$  Zinkenteilung,  $b$  Breite des Zinkengrundes,  $s$  Zinkenspiel,  $\alpha$  Flankenwinkel,  $g$  Gesamtbreite

Fig. 1: Schematic of a finger joint according to DIN 68140-1



**Bild 2: Modifiziertes Profil mit Aufteilung der Querschnittsschwächung auf 4 Ebenen**

Fig. 2: Modified finger joint profile splitting up the reduction in cross-section to four levels

### Zugfestigkeitsuntersuchungen an Brettschichtholzlamellen

Als Probenmaterial für die Zugfestigkeitsversuche wurde maschinell sortiertes Fichtenholz der Festigkeitsklasse C40 gemäß ÖNORM EN 338:2003 mit der Dimension  $42 \times 108$  mm, Länge 4 m, verwendet. Um in der Keilzinkenung die holzanatomischen Unterschiede bzw. feuchtebedingten Spannungen so klein wie möglich zu halten, wurden die 4 m langen Stücke in 5 Einzelstücke aufgetrennt und die jeweiligen Schnittflächen wieder zusammengefügt.

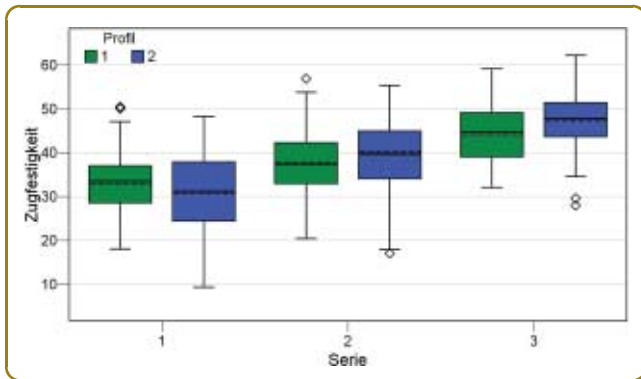
Für die Verklebung wurde ein industriell für die Herstellung von verleimten tragenden Holzbauteilen eingesetztes Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz (MUF) gewählt und entsprechend den technischen Richtlinien des Herstellers verarbeitet.

Die Probenfertigung erfolgte unter industriellen Bedingungen auf einer Durchlaufpresse. Im ersten Schritt wurden sowohl mit dem Profil 1 als auch mit dem Profil 2 ca.

**Tabelle 1: Gebräuchliche, industriell eingesetzte Keilzinkenprofile**

Tab. 1: Industrially applied finger joint profiles

$l$ [mm]	$t$ [mm]	$b$ [mm]	$v$
15	3,8	0,42	0,11
20	6,2	1,00	0,16
20	5,0	0,50	0,10



**Bild 3: Ergebnisse der Zugfestigkeitsprüfungen für die Serien 1, 2, 3 des modifizierten Profils (Profil 1) und des Referenzprofils (Profil 2)**

*Fig. 3: Results of tensile strength of sample series 1, 2, 3 of modified (profile 1) and industrially applied finger joint profiles (profile 2)*

100 Keilzinkenverbindungen mit frisch geschliffenen Fräswerkzeugen hergestellt (Serie 1). Um auch den Einfluss der Standzeit der Fräswerkzeuge auf die Festigkeit der Verbindungen zu untersuchen, wurden mit dem Referenzprofil je 100 weitere Keilzinkenverbindungen nach 1.500 Frästakten (Serie 2) und nach 3.000 Frästakten (Serie 3) hergestellt. Die Fräser des modifizierten Profils waren aus geringerer Stahlqualität angefertigt, was zu höherem Verschleiß führte. In einem Vorversuch wurde das Ende der Standzeit nach ca. 1.000 Frästakten bestimmt. Um den Einfluss der Standzeit zu untersuchen, wurden daher ebenfalls je 100 weitere Keilzinkenverbindungen nach 400 Frästakten (Serie 2) und 800 Frästakten (Serie 3) hergestellt.

Die Zugfestigkeitsprüfungen erfolgten entsprechend der ÖNORM EN 408:2005, wobei die freie Prüflänge zwischen den Spannbacken gemäß ÖNORM B 4100-2:2004 auf 160 mm reduziert wurde. Die Prüfzeit betrug 120 ± 60 Sekunden.

**Biegefestigkeitsuntersuchungen an Kanthölzern**

Als Probenmaterial für die Biegefestigkeitsversuche wurde visuell sortiertes Holz der Sortierklasse S13 gemäß ÖNORM DIN 4074-1:2004 mit der Dimension 100 × 100 mm, Länge 4

m, verwendet. Die 4 m langen Stücke wurden in 4 Einzelstücke aufgetrennt und die jeweiligen Schnittflächen durch Keilzinkenverbindungen wieder zusammengefügt.

Für die Verklebung wurde ein industriell eingesetzter Polyurethan-Klebstoff (PUR) gewählt und entsprechend den technischen Richtlinien des Herstellers verarbeitet. Die Probenfertigung erfolgte unter industriellen Bedingungen auf einer Kompaktkeilzinkenanlage.

Es wurden jeweils ca. 30 Keilzinkenverbindungen bei mittlerer Standzeit der Fräswerkzeuge (nach 400 Frästakten des modifizierten Profils und 1.500 Frästakten des Referenzprofils) hergestellt.

Die Biegefestigkeitsprüfungen erfolgten entsprechend ÖNORM EN 408:2005 mit einer Spannweite der 15-fachen Probenhöhe und der Lasteinleitung in den Drittelpunkten. Die Prüfzeit betrug 300 ± 120 Sekunden. Um den Einfluss der Zinkenlage auf die Biegefestigkeit zu untersuchen, wurde jeweils die Hälfte der Proben mit vertikaler und mit horizontaler Zinkenordnung geprüft. Aus den Ergebnissen wurde der  $k_f$ -Faktor, der dem Verhältnis zwischen der charakteristischen Biegefestigkeit bei der Flachprüfung (vertikale Zinkenlage) und Hochkantprüfung (horizontale Zinkenlage) entspricht, gemäß ÖNORM EN 385:2002 errechnet.

**Ergebnisse**

**Zugfestigkeitsuntersuchungen an Brettschichtholz-Lamellen**

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Zugfestigkeitsuntersuchungen mit dem modifizierten Profil (Profil 1) und dem Referenzprofil (Profil 2) der drei Probenserien tabellarisch, im Bild 3 grafisch mittels Boxplots dargestellt.

Das Profil 1 wies bei der Probenserie 1 einen höheren Mittelwert der Zugfestigkeit auf, das Profil 2 bei Serie 2 und 3. Bei Probenserie 1 und 2 erhält man mittels t-Test keine signifikanten Unterschiede der Zugfestigkeitsmittelwerte. Bei Probenserie 3 wies das Referenzprofil jedoch einen hoch signifikant höheren Zugfestigkeitsmittelwert auf. Dies dürfte auf den höheren Verschleiß des Werkzeuges beim modifizierten Profil begründet sein.

Obwohl bei den Versuchen maschinell sortiertes Holz der Festigkeitsklasse C40 eingesetzt wurde, zeigten sich bei Probenserie 1 und 3 beim Profil 2 hoch signifikant höhere Rohdichtemittelwerte im Vergleich zum Profil 1. Bei Probenserie 2 wies das verwendete Holz beim Profil 1 einen signifikant höheren Rohdichtemittelwert auf. Beim Vergleich der Rohdichtemittelwerte bei Profil 1 liegt zwischen Serie 1 und 2 kein signifikanter, hingegen zwischen Serie 1 und 3 als auch zwischen Serie 2 und 3 ein hoch signifikanter Unterschied vor. Bei Profil 2 liegt bei allen Verglei-

**Tabelle 2: Ergebnisse der Zugfestigkeitsprüfungen sowie Rohdichte für die Serien 1, 2, 3 des modifizierten Profils (Profil 1) und des Referenzprofils (Profil 2) sowie Signifikanz der Ergebnisse eines t-Tests auf Mittelwertunterschiede zwischen den Profilen**

*Tab. 2: Results of tensile strength and density of sample series 1, 2, 3 of modified (profile 1) and industrially applied finger joint profiles (profile 2) and the signifiycancy of a t-test on mean differences between the profiles*

Serie	Profil	Datenanzahl	Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]			Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]		
			Mittelwert	Standardabweichung	Signifikanz	Mittelwert	Standardabweichung	Signifikanz
1	1	102	33,0	7,204	0,123	457	39,7	0,008**
	2	97	31,3	8,5		473	43,8	
2	1	100	37,8	7,408	0,203	461	28,8	0,033*
	2	105	39,2	8,647		453	36,9	
3	1	84	44,3	6,864	0,001**	483	32,3	0,000**
	2	100	47,6	6,519		512	38,6	

\* signifikant; \*\* hoch signifikant

chen zwischen den Serien immer ein hochsignifikanter Unterschied der Rohdichtemittelwerte vor.

Die Korrelation zwischen Rohdichte und Zugfestigkeit war bei allen Varianten gering (größter Pearson Korrelationskoeffizient bei Serie 2, Profil 1 = 0,353).

Bei beiden untersuchten Profilen war ein Anstieg der Festigkeit mit zunehmender Standzeit der Werkzeuge zu beobachten, und es konnte ein hoch signifikanter Festigkeitsanstieg (t-Test mit Signifikanzniveau < 1 %) der Keilzinkenverbindungen der Probenserie 2 gegenüber der Probenserie 1 (frisch geschliffene Fräser) und Probenserie 3 gegenüber der Probenserie 2 nachgewiesen werden.

Eine Auswertung der Bruchbilder der untersuchten Proben ergab keinen eindeutigen Trend zwischen dem Profil 1 und dem Profil 2 hinsichtlich der Scher- oder Grundbruchanteile (Bild 4). Beim Profil 1 lag bei Serie 1 ein signifikant kleinerer Scherbruchanteil gegenüber dem Profil 2 vor, bei Serie 2 war kein signifikanter Unterschied gegeben, und bei Serie 3 war beim Profil 1 der Scherbruchanteil hoch signifikant größer. Vergleicht man die einzelnen Probenserien miteinander, so zeigt sich, dass bei beiden Profilen der Scherbruchanteil bei Probenserie 2 gegenüber der Probenserie 1 hoch signifikant abnahm. Bei Probenserie 3 lag beim Profil 1 der Scherbruchanteil deutlich über jenem der Probenserie 1, was auf die stärkere Abnutzung der Fräsworkzeuge zurückzuführen sein dürfte. Beim Profil 2 ist der Scherbruchanteil von Serie 1 im Vergleich zu Serie 3 ebenfalls hoch signifikant kleiner (die Unterschiede in den Mittelwerten wurden mittels u-Test nach Mann Whitney bestätigt).

Die Korrelation zwischen Scherbruchanteil und Zugfestigkeit ist bei beiden Profilen und in den einzelnen Serien gering (größter Pearson Korrelationskoeffizient bei Serie 3, Profil 1 = 0,47).

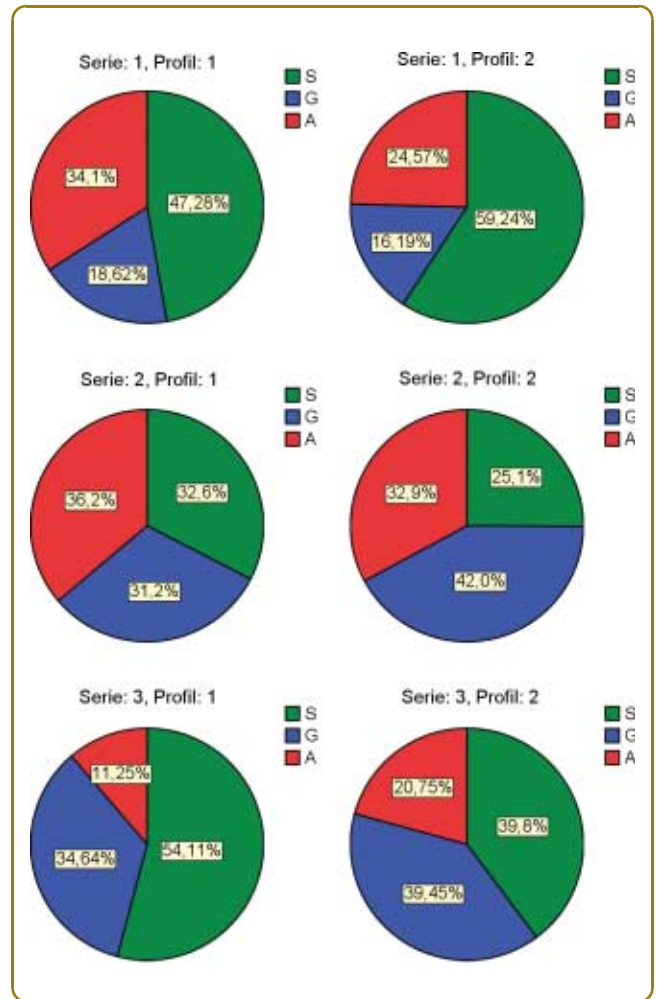
**Biegefestigkeitsuntersuchungen an Kanthölzern**

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Biegefestigkeitsuntersuchungen mit dem modifizierten Profil (Profil 1) und dem Referenzprofil (Profil 2) dargestellt. In Bild 5 sind die Ergebnisse mittels Boxplots grafisch dargestellt.

Es ergab sich, sowohl bei vertikaler als auch bei horizontaler Keilzinkenordnung, eine höhere Biegefestigkeit von Profil 1 gegenüber Profil 2. Bei vertikaler Zinkenordnung ist der Biegefestigkeitsunterschied signifikant (Signifikanzniveau 0,03 mittels t-Test). Bei horizontaler Zinkenordnung erreicht die Signifikanz einen Wert von 0,098, d.h., die Annahme einer Mittelwertgleichheit kann hier etwas schwächer auf dem 10-%-Niveau abgelehnt werden.

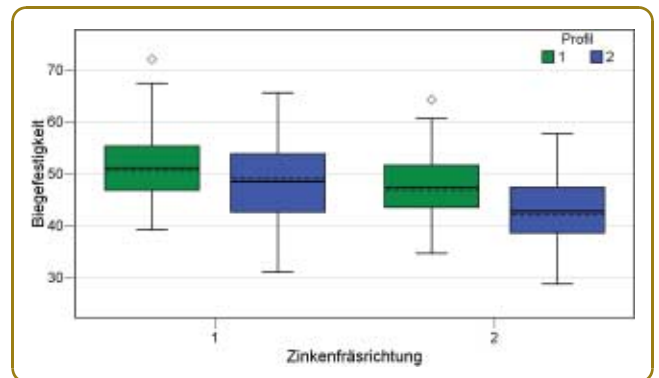
Hinsichtlich des Verhältnisses zwischen der charakteristischen Biegefestigkeit bei vertikaler und horizontaler Anordnung wies das modifizierte Profil einen  $k_f$ -Faktor von 1,09 und das Referenzprofil einen  $k_f$ -Faktor von 1,17 gemäß ÖNORM EN 385:2002 auf. Für das Referenzprofil gibt die angeführte Norm einen  $k_f$ -Faktor von 1,25 vor.

Beim Vergleich der Rohdichtemittelwerte liegt kein statistisch abgesicherter Unterschied zwischen den Profilen bzw. zwischen den Zinkenordnungen vor.



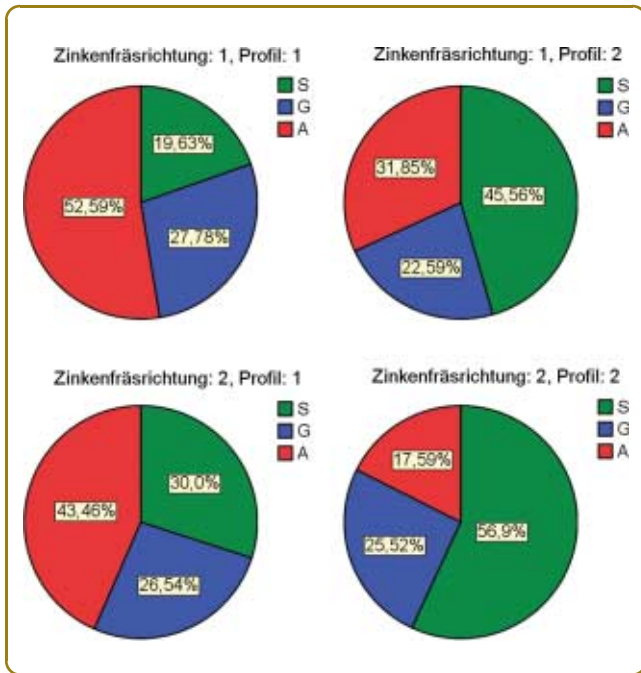
**Bild 4: Bruchbildvergleich vom modifizierten Profil (Profil 1) und dem Referenzprofil (Profil 2) hinsichtlich Scherbruchanteil entlang der Zinkenflanken (S), Grundbruchanteil im Zinkengrund (G) und Bruch außerhalb der Keilzinkung (A)**

*Fig. 4: Comparison between the modified (profile 1) and industrially applied finger joint profile (profile 2) regarding shear-induced failure at the flanks (S), failure at the finger joint base (G) and failure outside the finger-joint (A)*



**Bild 5: Ergebnisse der Biegefestigkeitsprüfungen für die Zinkenordnung vertikal (Zinkenfräsrichtung 1) und horizontal (Zinkenfräsrichtung 2) des modifizierten (Profil 1) und des Referenzprofils (Profil 2)**

*Fig. 5: Results of bending strength of modified (profile 1) and industrially applied finger joint profile (profile 2) with vertical (Zinkenfräsrichtung 1) and horizontal (Zinkenfräsrichtung 2) finger-orientation.*



**Bild 6: Vergleich der Bruchanteile vom modifizierten (Profil 1) bzw. dem Referenzprofil (Profil 2) hinsichtlich Scherbruchanteil entlang der Zinkenflanken (S), Grundbruchanteil im Zinkengrund (G) und Bruch außerhalb der Keilzinkung (A) bei Zinkenordnung vertikal (Zinkenfräsrichtung 1) und horizontal (Zinkenfräsrichtung 2)**

Fig. 6: Comparison between the modified (profile 1) and industrially applied finger joint profile (profile 2) regarding shear-induced failure at the flanks (S), failure at the finger joint base (G) and failure outside the finger-joint (A) with vertical (Zinkenfräsrichtung 1) and horizontal (Zinkenfräsrichtung 2) finger-orientation

Bei der Analyse der Bruchbilder der untersuchten Proben zeigte sich, dass das modifizierte Profil in Summe sowohl bei der vertikalen als auch bei der horizontalen Zinkenordnung hoch signifikant weniger Scher- und Grundbruchanteile aufweist als das Referenzprofil. Die Unterschiede in den Mittelwerten wurden mittels u-Test nach Mann Whitney bestätigt.

### Diskussion und Schlussfolgerungen

Vorliegende Untersuchungen ließen den Schluss zu, dass durch einen Keilzinkenversatz eine Aufteilung der Verschwächung des Querschnitts im Zinkengrund auf 2 Ebe-

nen erreicht wird und damit die Festigkeit erhöht werden kann. Es wurde daher ein modifiziertes Profil erarbeitet und mit Referenzprofilen verglichen.

Beim Vergleich der Zugfestigkeit von keilgezinkten Brett-schichtholz-Lamellen der Festigkeitsklasse C40 konnte für das modifizierte Keilzinkenprofil mit Zinkengrundversatz kein Festigkeitsvorteil nachgewiesen werden. Eine Ursache hierfür lag sicherlich bei den Schwierigkeiten der industriellen Fertigungsbedingungen mittels einer Durchlaufpresse. Aufgrund der sehr schlanken Zinkengeometrie und der schmalen Zinkenspitze kam es beim Transport sowie beim Zusammenführen der gefrästen Teile zu Deformationen im Bereich der Zinkenspitzen, die sich negativ auf die Fügung und letztendlich auf die Festigkeit auswirkten. Für einen industriellen Einsatz des modifizierten Profils auf Anlagen, bei denen der Fräsvorgang, die Klebstoffapplikation und die Fügung auf getrennten Anlagen durchgeführt wird, müsste das Profil noch adaptiert werden.

Bei Kompaktanlagen, bei denen die Fräsung, die Klebstoffapplikation und die Fügung während einer einmaligen Fixierung des Holzes erfolgen, traten, wie die Herstellung der Biegeprüfkörper zeigte, diese Probleme nicht auf. Bei den keilgezinkten Kanthölzern der Festigkeitsklasse S13 konnte im Mittel bei horizontaler Zinkenlage eine Steigerung der Biegefestigkeit von 11,2% und bei vertikaler Zinkenlage von 7,6% gegenüber dem Referenzprofil erreicht werden. Auch ergab sich beim modifizierten Profil ein geringerer  $k_f$ -Faktor. Da ein quadratischer Querschnitt für die Festigkeitsuntersuchungen verwendet wurde, kann ein Dimensionseinfluss auf den  $k_f$ -Faktor ausgeschlossen werden.

Bei der Analyse des Bruchbildes zeigte sich bei den Biegeproben ein signifikant geringerer Scherbruchanteil beim modifizierten Profil. Dies erklärt auch die höheren Festigkeiten beim modifizierten Profil.

Bei den Zugfestigkeitsuntersuchungen war kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Festigkeit und Scherbruchanteil erkennbar. Auch beim Vergleich zwischen den Profilen konnte kein eindeutiger Zusammenhang nachgewiesen werden. Es wird vermutet, dass dies durch die Schwierigkeiten bei der Fertigung der Proben des modifizierten Profils verursacht wurde.

Als sehr interessant erwies sich der signifikante Festigkeitsanstieg mit zunehmender Standzeit der Werkzeuge gegenüber frisch geschliffenen Fräsern. Dieser Umstand

**Tabelle 3: Ergebnisse der Biegefestigkeitsprüfungen sowie Rohdichte für das modifizierte Profil (Profil 1) und das Referenzprofil (Profil 2) mit Zinkenordnung vertikal (1) bzw. horizontal (2)**

Tab. 3: Results of bending strength and density of modified (profile 1) and industrially applied finger joint profile (profile 2) with horizontal (1) and vertical (2) finger-orientation and the significance of a t-test on mean differences between the profiles

Zinken- anordnung	Profil	Daten- anzahl	Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]				Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]		
			Mittel- wert	Standard- abweichung	charakt. Festigkeit	Signi- fikanz	Mittelwert	Standard- abweichung	Signi- fikanz
1	1	27	51,6	8,214	40,136	0,098	446	36,2	0,578
	2	27	48,0	7,668	33,366		446	36,4	
2	1	26	48,0	7,949	34,775	0,030*	451	26,4	0,380
	2	29	43,1	8,026	29,220		454	28,4	

\* signifikant

wurde in der Praxis schon häufig beobachtet, durch die vorliegende Untersuchung wurde dies nun auch experimentell belegt. Als Ursache wird die zunehmend rauere Zinkenflankenoberfläche vermutet, welche eine bessere Verklebung ermöglicht. In weiteren, vor allem mikroskopischen Untersuchungen sollte dies noch näher geklärt werden. In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass es, wenn die Standzeit der Fräswerkzeuge überschritten wird, zu einem Abfall der Keilzinkenfestigkeit kommt. Erkennbar ist dies am zunehmend größer werdenden Zinkenspiel, welches auch durch eine Erhöhung des Pressdruckes nicht ausgeglichen werden kann.

Beim Vergleich der Rohdichtemittelwerte fällt besonders der Unterschied zu Serie 3 auf. Diese höhere Dichte der Serie 3 dürfte auch für den Anstieg der Zugfestigkeit mit verantwortlich sein.

Der Einsatz des modifizierten Keilzinkenprofils ist für die Produktion von einteilig keilgezinkten Bauhölzern in Kompaktanlagen sicherlich überlegenwert, wobei der Vorteil dieses Profils in weiteren Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung des eventuell erhöhten Profilverschleißes sowie des höheren Fertigungsaufwandes – verursacht durch die aufwendigeren Fräswerkzeuge und Leimapplikationsvorrichtungen – verifiziert werden müsste. ◆

## Literatur

- 1 Aicher, S.; Löber, R.: Voruntersuchungen zur rechnerischen Optimierung von Keilzinkenverbindungen im Hinblick auf das Tragverhalten. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben E-88/45, Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes, Hamburg, 1988
- 2 Aicher, S.; Klöck, W.: Spannungsberechnungen zur Optimierung von Keilzinkenprofilen für Brettschichtholz-Lamellen. *Bauen mit Holz*, 92 (1990) 5, S. 356–362

## ABSTRACT

### *Comparative investigations between industrially applied and a newly developed finger joint profile*

*The use of new technologies in the wood processing industry (e.g. X-ray scanning equipment) allows reliable detection and elimination of defects in timber. In order to benefit from these improvements in an industrial setting, the development of longitudinal joints in timber has to be advanced as well. This investigation compared a modified finger joint profile with industrially applied finger joint profiles. Tension tests were carried out at finger jointed lamellas for glulam and bending tests were carried out on structural finger jointed timber. The results showed increased bending strength of finger jointed structural timber and no improved tensile strength for finger jointed lamellas for glulam.*

- 3 Aicher, S.; Radovic, B.: Untersuchungen zum Einfluss der Keilzinken-geometrie auf die Zugfestigkeit keilgezinkter Brettschichtholz-Lamellen. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57 (1999) 1, S. 1–11
- 4 Glos, P.; Gaede, G.: Zugfestigkeit keilgezinkter Brettlamellen der Sortierklassen MS 13 und MS 17. *Kurzberichte aus der Bauforschung, Institut für Holzforschung, Universität München*, 36 (1995) 10, S. 537–538
- 5 Knoflach, S.: Keilzinkenprofile für tragende Zwecke – Literaturanalyse und Auswertung umfassender Datenbestände. Diplomarbeit, FH-Diplomstudiengang Holztechnik und Holzwirtschaft, Holztechnikum Kuchl, 2004
- 6 Radovic, B.; Rohlfing, H.: Untersuchungen über die Festigkeit von Keilzinkenverbindungen mit unterschiedlichem Verschwächungsgrad. *Otto-Graf-Institut, Universität Stuttgart, Forschungsvorhaben I.A-34701*, 1986
- 7 Selbo, M. L.: Effect of joint geometry on tensile strength of finger joints. *Forest Products Journal*, 13 (1963), S. 390–400
- 8 Steinberger, A.: Entwicklung leistungsfähiger Holzleimbauerteile durch den Einsatz von maschinell festigkeitssortiertem Holz Teil 1: Keilzinkenverbindung Betrieb B. Diplomarbeit, Institut für Stahlbau, Holzbau und Flächentragwerke. Technische Universität Graz, 1997
- 9 Tarvainen, V.: Ein Beitrag zur Optimierung von Keilzinkenprofilen mit Hilfe von analogen Bohrungsreihen. *Puun Mekaanisen Teknologian Opintusuunta, Espoo Finland*, 1995
- 10 Zeppenfeld, G.: *Klebstoffe in der Holz- und Möbelindustrie*. 1. Auflage, Fachbuchverlag Leipzig, 1991

## Danksagung

Das modifizierte Profil wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Leitz/Riedau erarbeitet. Alle erforderlichen Fräswerkzeuge für die Herstellung der Proben wurden von der Firma Leitz kostenlos zur Verfügung gestellt. Das Projekt wurde im Zuge des Kompetenzzentrums Holztechnologie an der Holzforschung Austria durchgeführt. Die Finanzierung erfolgte durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit und dem Fachverband der Holzindustrie der Österreichischen Wirtschaftskammer. Der Zweitautor wurde unterstützt durch FWF P17434-N13.

## Autoren

**Dipl.-Ing. (FH) Johann Scheibenreiter** (geb. 1971) absolvierte von 1995–1999 den Studiengang Holztechnik und Holzwirtschaft am Holztechnikum Kuchl und ist seit 1999 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Holzforschung Austria, Wien, tätig.

**Univ.-Doz. Dr. Karl Entacher** (geb. 1965) studierte Mathematik an der Universität Salzburg und promovierte anschließend am Institut für Mathematik. Er arbeitet in Lehre und Forschung an der Fachhochschule Salzburg im Fachbereich Mathematik und Informatik.

**Dr. Andreas Neumüller** (geb. 1965) studierte Forstwirtschaft an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU). Nach dreijähriger Assistententätigkeit an der BOKU wechselte er 1995 an die Holzforschung Austria. Seit 2001 leitet er die Abteilung Roh- und Werkstoffe der Holzforschung Austria, Wien.