

Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen im Holzleimbau*

François Colling, München; Jürgen Ehlbeck, Karlsruhe**

1 Einleitung

In den vergangenen zehn Jahren wurde der Einfluß der Keilzinkenverbindungen auf die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern systematisch untersucht (Ehlbeck et al. 1985a-c, Ehlbeck/Colling 1987, Colling 1990, Ehlbeck/Colling 1992). Die dabei gewonnenen Erkenntnisse flossen unmittelbar in die europäische Normung ein, wobei das aus der Sicht der Holzleimbaubetriebe wichtigste Ergebnis eine Nachweispflicht bestimmter Mindestkeilzinkenfestigkeiten sein wird. Dies wird bedeuten, daß die Brettschichtholzhersteller künftig nachweisen müssen, daß die von ihnen hergestellten Keilzinkenverbindungen eine an ihre Tragfähigkeit gestellte Mindestanforderung erfüllen, weil sie sonst

kein Brettschichtholz einer bestimmten Festigkeitsklasse herstellen können.

Im Rahmen dieser Veröffentlichung soll der derzeitige Kenntnisstand über die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen für den Holzleimbau dargestellt werden. Hierbei werden die wichtigsten festigkeitsbestimmenden Einflußfaktoren beschrieben und, aufbauend auf den dabei gewonnenen Erkenntnissen, Möglichkeiten zur Steigerung der Qualität, sprich Festigkeit, der Keilzinkenverbindungen aufgezeigt. Den Herstellern von Brettschichtholz sollen damit Hinweise gegeben werden, wo anzusetzen ist, wenn bestimmte Mindestanforderungen noch nicht erfüllt werden.

2 Geschichtliches

Der Einsatz von Keilzinkenverbindungen als Längsverbindung im Holzleimbau stellt eine vergleichsweise junge Entwicklung dar, die sich erst zu Beginn der sechziger Jahre hat durchsetzen können. In früheren Jahren wurden die Längsstöße von Einzelbrettern mittels Schäftung (vgl. **Bild 1**) ausgeführt. Diese Stoßausbildung war jedoch u. a. mit folgenden Problemen verbunden:

- mit wachsenden Abmessungen (Breite und Dicke) der Bretter nahm die Paßgenauigkeit der Schäftung ab, weil es schwieriger wurde, mit der Bandsäge einen geraden Schnitt zu führen;
- die Herstellung eines Brettschichtholzträgers war recht aufwendig, weil die Bretter einzeln aneinandergereiht werden mußten, wobei sorgfältig darauf zu achten war, daß sie nicht verrutschten, damit der erforderliche Preßdruck aufgebracht werden konnte;
- weiterhin ging bei der Herstellung einer Schäftung von jedem Brett ein Stück der Länge l_s verloren. Bei einer Neigung der Schäftung von 1:10 beträgt dieser Holzverlust bei einem Brett mit einer Dicke von 40 mm und einer Länge von 4 m immerhin 10 %!
- die Forderung, daß im Bereich der Stoßausbildung keine Äste auftreten dürfen, vergrößerte diesen Holzverlust noch, weil die Schäftung nur an einer Stelle ausgeführt werden durfte, an der über einen größeren Bereich keine Äste auftraten.

Aufgrund dieser Nachteile war man bestrebt, nach einer »besseren« Stoßausbildung zu suchen. Als Alternative bot sich die Keilzinkenverbindung als »gefaltete Schäftung« an, die die Anforderungen bezüglich Paßgenauigkeit, einfacherer Handhabung bei der Herstellung von Brettschichtholzträgern und geringem Holzverlust erfüllte. In **Bild 2** ist eine Keilzinkenverbindung mit den Bezeichnungen nach DIN 68140 dargestellt.

Es gab aber zwei Gründe, die verhinderten, daß sich die Keilzinkenverbindung auf Anhieb durchsetzen konnte: zum einen stellte man wiederholt fest, daß die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen geringer ist als die von Schäftungen (siehe z. B. Madsen/Littleford 1962), zum anderen war auch die Herstellung von Keilzinkenverbindungen nicht ganz einfach. So wurden anfangs die Zinken mittels einer Schablone mit der Bandsäge in die Brettenden geschnitten.

Versuche von Eby 1968 zeigten jedoch, daß höhere Tragfähigkeiten von Schäftungen nur an kleinen Proben festzustellen waren, die in den Versuchslabors hergestellt wurden. Seine Untersuchungen zeigten, daß bei den Proben, die aus einer laufenden Produktion entnommen wurden, die Festigkeitsunterschiede bei weitem nicht so groß waren, wie dies bei den Laborprüfkörpern der Fall war. Auch wird die höhere mittlere Festigkeit der Schäftungen durch die größeren Streuungen wieder zunichte gemacht. Weiterhin übernahmen bald Fräsen die Arbeit der Bandsägen, so daß eine schnellere Produktion und eine höhere Paßgenauigkeit möglich wurden.

Somit war der Weg frei für die Anwendung der Keilzinkenverbindung als tragende Längsverbindung im Holzleimbau.

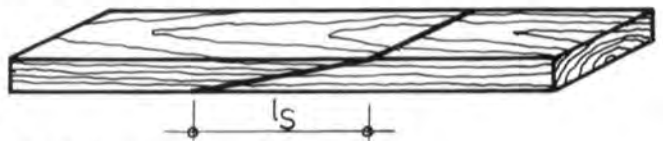


Bild 1: Schäftung

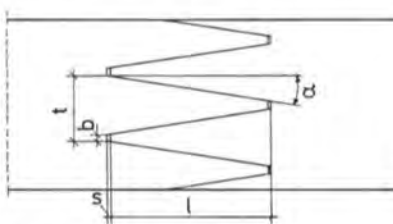


Bild 2: Keilzinkenverbindung

l = Zinkenlänge
t = Zinkenteilung
b = Breite des Zinkengrundes
s = Zinkenspiel
 α = Flankenwinkel

* Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Karl Möhler zur Vollendung seines 80. Lebensjahres gewidmet

** Dr.-Ing. F. Colling ist Mitarbeiter der Entwicklungsgemeinschaft Holzleimbau (EGH) in der DGfH, München; Prof. Dr.-Ing. J. Ehlbeck ist Inhaber des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe

3 Bisheriger Kenntnisstand

3.1 Einfluß der Keilzinkengeometrie

Die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit von den beeinflussenden Faktoren wurde erst mit Beginn der sechziger Jahre systematisch untersucht, wobei man sich zunächst auf den Einfluß der Keilzinkengeometrie beschränkte. Alle Untersuchungen (siehe z. B. Selbo 1963, Strickler 1980 und Radovic/Rohlfing 1986) wiesen dabei übereinstimmend und eindeutig auf den dominanten Einfluß von folgenden zwei Faktoren hin:

Zinkengrundbreite b:

Mit zunehmender Zinkengrundbreite b nahm die Festigkeit der Keilzinkenverbindungen ab. Dies ist darauf zurückzuführen, daß im Zinkengrund keine Kräfte übertragen werden können (Stumpfstoß). Die Kräfte müssen um diesen Bereich herumgelenkt werden, was zu festigkeitsmindernden Zusatzspannungen und Span-

nungsspitzen führt, die um so ausgeprägter sind, je größer die Zinkengrundbreite b ist.

Verhältnis $2l/t$:

Dieser Verhältniswert ist ein Maß für die Leimfläche, die pro Breitereinheit zur Kraftübertragung zur Verfügung steht. Mit größer werdendem Verhältnis $2l/t$ war daher eine Zunahme der Festigkeit zu beobachten. Die Untersuchungen von Selbo deuten jedoch darauf hin, daß es einen Grenzwert gibt, ab dem keine weitere Festigkeitssteigerung mehr möglich ist.

In Anbetracht der primären Bedeutung der Zinkengrundbreite b ist es nicht verwunderlich, daß in der Vergangenheit die meisten Verbesserungsvorschläge darauf abzielten, die Zusatzspannungen im Zinkengrund zu reduzieren (Aicher/Löber 1988, Richards 1963, Strickler 1980).

3.2 Einfluß der Holzeigenschaften

Bei einigen der bisher erwähnten Untersuchungen stellte man fest, daß die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen nicht allein von der Geometrie des Keilzinkenprofils bestimmt wird, sondern daß auch die Holzeigenschaften der miteinander verbundenen Bretter von großer Bedeutung sind. So stellten bereits 1962 Egner/Dorn fest, daß mit höherer Rohdichte der Bretter auch die Festigkeit der Keilzinkenverbindungen zunimmt. Diese Erkenntnis wurde bestätigt durch Untersuchungen von Eby 1968, Ehlbeck et al. 1985b, Johansson 1983 und 1986, Larsen 1980, Madsen/Littleford 1962 und Moody 1970, die übereinstimmend feststellten, daß die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen mit steigender Rohdichte und/oder steigendem Elastizitätsmodul der Bretter zunimmt. Dies kann damit erklärt werden, daß bei beiden auftretenden Versagensarten – Zug-/Biegebruch im Zinkengrund und Scherbruch entlang der Flanken – der Bruch im Holz verläuft (eine ordnungsgemäße Verleimung vorausgesetzt), so daß mit steigender Holzqualität auch höhere Keilzinkenfestigkeiten verbunden sein müssen.

Von größter Bedeutung ist jedoch, daß im Stoßbereich keine fehler- oder schadhafte Stellen, wie z. B. Äste oder Schrägfaserigkeit, vorhanden sind, weil diese die Tragfähigkeit von Keilzin-

kenverbindungen deutlich herabsetzen (siehe z. B. Pellicane et al. 1987).

Auch stellte Moody 1970 bei seinen Untersuchungen fest, daß die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen, die aus Brettern mit markhaltigem oder marknahem Holz zusammengesetzt sind, geringer ist als die von Keilzinkenverbindungen ohne Markanteil. Weiterhin zeigte sich, daß Keilzinkenverbindungen, bei denen nur eine Stoßhälfte markhaltiges Holz enthielt, keine höhere Tragfähigkeit besaßen als Keilzinkenverbindungen, bei denen beide Stoßhälften aus markhaltigen Brettern bestanden. Dies deutet darauf hin, daß die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen von den Eigenschaften der schwächeren Hälfte bestimmt wird.

Die Tendenz wird durch Zugversuche von Ehlbeck et al. 1985b bestätigt, bei denen das Versagen in den meisten Fällen in der Stoßhälfte mit der geringeren Rohdichte eintrat. Auch Samson 1985, der die Tragfähigkeit von keilgezinkten Brettern mit unterschiedlichem Elastizitätsmodul untersuchte, wies darauf hin, daß die Festigkeit der guten Bretter (mit hoher Steifigkeit) nicht ausgenutzt werden kann, wenn diese mit schlechteren Brettern (mit geringerer Steifigkeit) verbunden werden.

3.3 Einfluß produktionsabhängiger Faktoren

Die ermittelten Abhängigkeiten zwischen der Keilzinkenfestigkeit und den festigkeitsbestimmenden Parametern waren nie sehr eng korreliert (Korrelationskoeffizienten unter 0,50), was darauf hindeutet, daß die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen auch von produktionsabhängigen Faktoren bestimmt wird, die jedoch zahlenmäßig nicht oder nur schwer zu erfassen sind. Einflußparameter, die die Festigkeit negativ beeinflussen können, sind z. B. ungleich geschärfte oder abgestumpfte Fräser, unzurei-

chende Leimangabe, nicht ordnungsgemäßer Ansatz der Leimflotte, ungenügender oder zu hoher Längspreßdruck, zu hohe oder zu unterschiedliche Holzfeuchte der Stoßhälften, unsachgemäßes Ab stapeln der frisch geleimten Zinkenstöße usw. Diese »unberechenbaren« Produktionseinflüsse verhindern also eine engere Beziehung zwischen der Keilzinkenfestigkeit und den Holzeigenschaften der keilgezinkten Bretter.

4 Grundlegende Untersuchungen

4.1 Versuchsumfang, Versuchsdurchführung

Wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, zeigten die Untersuchungen von Ehlbeck et al. 1985b, daß die Zugfestigkeit von Keilzinkenverbindungen mit steigender Rohdichte und/oder Elastizitätsmodul der Bretter zunahm, und daß das Versagen in den meisten Fällen von der Stoßhälfte mit der geringeren Rohdichte ausging. Weitergehende Aussagen konnten jedoch nicht getroffen werden, weil die Abhängigkeiten zwischen der Keilzinkenfestigkeit und anderen festigkeitsrelevanten Einflußgrößen, wie z. B. Elastizitätsmodul der beiden Stoßhälften, Jahringbreite, markhaltigem Holz, Keilzinkenprofil, Leimart usw., nicht Gegenstand der damaligen Untersuchungen waren.

Im Rahmen eines späteren Forschungsvorhabens von Ehlbeck et al. 1989*) ergab sich jedoch die Möglichkeit, den Einfluß aller o. a.

Faktoren auf die Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen zu untersuchen.

Es standen 900 keilgezinkte Lamellenstücke mit einer Länge von etwa 1 m zur Verfügung. Diese Proben stammten aus insgesamt 30 Holzleimbaubetrieben, bei denen die Probenentnahme an zwei unterschiedlichen Terminen im Rahmen einer Güteüberwachung erfolgte.

*) Vorhaben durchgeführt im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der DGH mit finanzieller Unterstützung der Studiengemeinschaft Holzleimbau und dem Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie, Baden-Württemberg

Die Ermittlung der Tragfähigkeiten dieser Keilzinkenverbindungen erfolgte mit Hilfe des in **Bild 3** dargestellten Versuchsaufbaues.

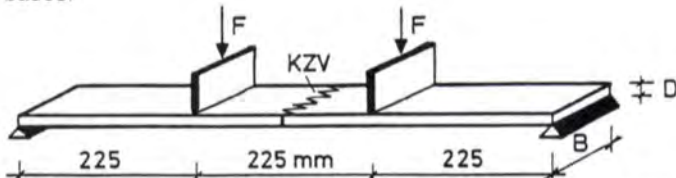


Bild 3: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen (KZV = Keilzinkenverbindung)

Die rechnerische Biegefestigkeit f_B wurde ohne Berücksichtigung des Verschwächungsgrades im Zinkengrund auf den Bruttoquerschnitt bezogen:

$$f_B = 1350 \cdot \frac{F_{\max}}{B D^2} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (1)$$

mit

F_{\max} = aufnehmbare Last in N,
 B = Brettbreite in mm,
 D = Brettdicke in mm.

4.2 Proben, die bei der weiteren Versuchsauswertung nicht berücksichtigt wurden

Ziel dieser Untersuchungen war es, die mechanischen Eigenschaften von ordnungsgemäßen Keilzinkenverbindungen zu erkennen, die bestimmte Mindestanforderungen bezüglich ihrer Herstellung erfüllten.

Daher wurden insgesamt 55 der 900 Proben bei der weiteren

Versuchsauswertung nicht berücksichtigt. Die Gründe hierfür waren schlechte Verleimung (kein Holzbelag auf den Leimflächen), schlecht ausgeführte Keilzinkenverbindungen (siehe **Bild 4** und **Bild 5**), Äste im Keilzinkenbereich (**Bild 6**) und Bruch außerhalb des Keilzinkenbereiches (**Bild 7**).

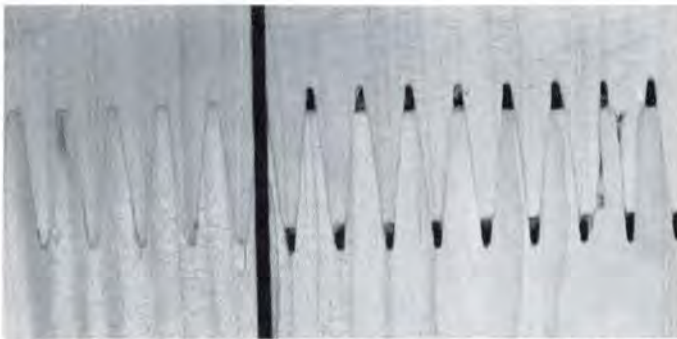


Bild 4: Schlecht ausgeführte Keilzinkenverbindung; ungenügende Zinkenlänge (rechts)

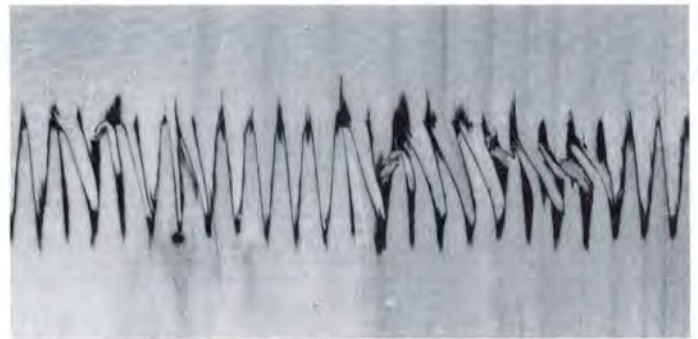


Bild 5: Schlecht ausgeführte Keilzinkenverbindung; schlechtes Ineinandergreifen der Zinken

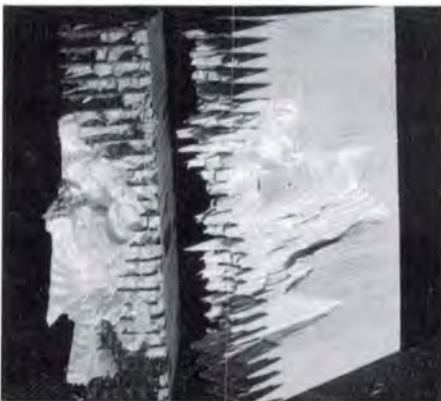


Bild 6: Ast im unmittelbaren Keilzinkenbereich (links)

Bild 7: Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches (rechts)



4.3 Einfluß der Versagensarten

Nach Abschluß eines jeden Versuches wurde das Bruchbild des Prüfkörpers »vermessen« und bei der weiteren Versuchsauswertung berücksichtigt. Hierbei erwies sich eine Unterteilung der Prüfkörper in drei Gruppen mit unterschiedlichen Bruchbildern bzw. Versagensarten als sinnvoll.

Proben mit überwiegendem Keilzinkenversagen

In diese Gruppe wurden nur Keilzinkenverbindungen aufgenommen, bei denen der Bruch zu mindestens 80 % entlang der Zinkenflanken verlief. Dies war bei insgesamt 258 Proben der Fall. In **Bild 8** ist eine Keilzinkenverbindung mit 100%igem Keilzinkenversagen dargestellt.

Proben mit überwiegendem Holzversagen

In dieser Gruppe wurden insgesamt 185 Proben berücksichtigt, bei denen die Bruchfläche zu mindestens 80 % im Holz, z. B. im

Bereich des Zinkengrundes oder außerhalb des Keilzinkenbereiches verlief (siehe **Bild 9**).

Proben mit Mischbruch

In diese Gruppe wurden alle Proben aufgenommen, bei denen weder ein überwiegendes Keilzinkenversagen noch ein überwiegendes Holzversagen festgestellt werden konnte (siehe **Bild 10**). Dies war bei insgesamt 402 Proben der Fall.

In **Tabelle 1** sind die Versuchsergebnisse getrennt nach der Versagensart dargestellt. Der Übersicht halber werden hierbei lediglich die Mittelwerte der erfaßten Meßgrößen angeführt. Die Variationskoeffizienten der Keilzinkenbiegefestigkeit ergaben sich bei allen Versuchsreihen zu 16 bis 18 %.

Aufgrund der Tatsache, daß bei der weitaus überwiegenden Zahl aller Fälle das Versagen im schwächeren Teil der Stoßverbindung

auftrat (siehe hierzu auch Abschnitt 3.2), wurde der jeweils »schlechtere« Wert der Holzeigenschaften der beiden Stoßteile in die Auswertung einbezogen.

Tabelle 1: Versuchsergebnisse (Mittelwerte); Unterscheidung nach Versagensart

	f_B N/mm ²	E_{min} N/mm ²	ρ_{min} kg/m ³	max Jrb mm	max Fh %
Alle	50,6	12 340	444	4,33	84
80 % KzB	53,0	13 470	455	3,79	83
80 % HB	46,9	11 130	433	4,93	85
MB	50,9	12 140	442	4,40	85

Hierin bedeuten

- f_B = Biegefestigkeit,
- E_{min} = kleinerer Elastizitätsmodul der beiden Stoßhälften,
- ρ_{min} = kleinere Rohdichte der beiden Stoßhälften bei einer Holzfeuchte von $u = 12\%$,

- max Jrb = größte maximale Jahrringbreite der beiden Stoßhälften,
- max Fh = größter maximaler Frühholzanteil der beiden Stoßhälften,
- KzB = Keilzinkenbruch,
- HB = Holzbruch,
- MB = Mischbruch.

Aus **Tabelle 1** geht hervor, daß entgegen der weitverbreiteten Meinung ein überwiegendes Keilzinkenversagen nicht gleichbedeutend sein muß mit einer schlecht ausgeführten Keilzinkenverbindung. Im Gegenteil, die durchgeführten Versuche deuten sogar darauf hin, daß bei ordnungsgemäß ausgeführten Keilzinkenverbindungen die Wahrscheinlichkeit eines Keilzinkenversagens mit zunehmender Holzqualität wächst. Eine Erklärung hierfür könnte sein, daß mit besser werdenden Holzeigenschaften die Biegefestigkeit des Holzes stärker ansteigt als dessen Scherfestigkeit, wodurch ein Keilzinkenversagen entlang der Zinkenflanken bewirkt wird.



Bild 8: Ordnungsgemäße Keilzinkenverbindung mit 100%igem Keilzinkenversagen



Bild 9: Keilzinkenverbindung mit überwiegenderem Holzversagen

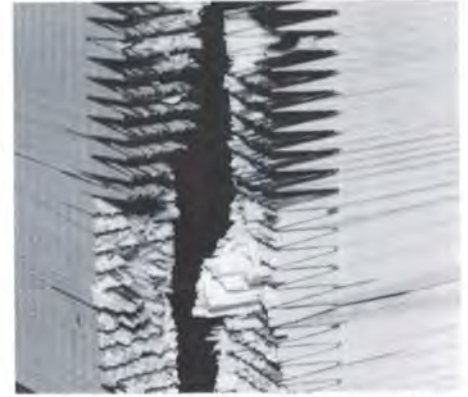


Bild 10: Keilzinkenverbindung mit Mischbruch

4.4 Einfluß des Elastizitätsmoduls, der Rohdichte, der Jahrringbreite und des Frühholzanteils

Die Abhängigkeit der Keilzinkenbiegefestigkeit von den Holzeigenschaften Elastizitätsmodul, Rohdichte, Jahrringbreite und Frühholzanteil wurde mittels Regressionsanalyse untersucht. Die festgestellten Abhängigkeiten unter Angabe des berechneten Korrelationskoeffizienten R sind in den **Bildern 11 bis 14** dargestellt. Die in diesen Bildern dargestellten gestrichelten Linien geben den Verlauf der 5%- bzw. der 95%-Fraktile in Abhängigkeit vom jeweils untersuchten Einflußparameter an. Im Bereich zwischen diesen beiden Linien liegen somit 90 % aller Werte.

Aufgrund der ermittelten Abhängigkeiten erscheint es daher möglich, bei einer maschinellen Holzsortierung nach dem Elastizitätsmodul oder der Rohdichte, Keilzinkenverbindungen mit hoher Tragfähigkeit herzustellen und auch zu gewährleisten.

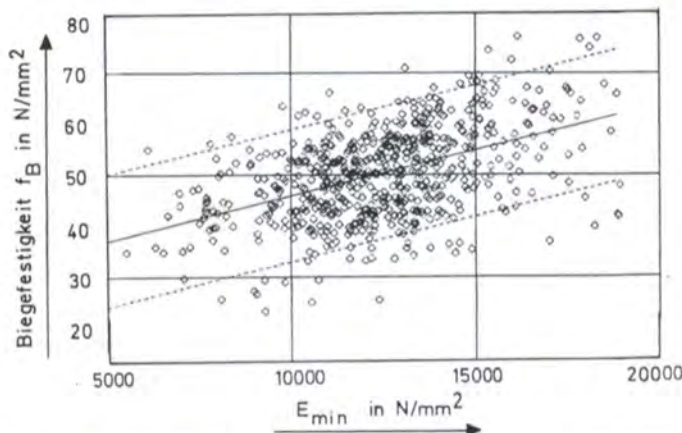


Bild 11: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit vom kleineren Elastizitätsmodul E_{min} der beiden Stoßhälften; $R = 0,509$

Im Falle einer visuellen Holzsortierung erscheint dies nur möglich, wenn z. B. die maximale Jahrringbreite als Sortierparameter herangezogen wird. Diese Abhängigkeit kann aber nur dann sinnvoll genutzt werden, wenn die Größe der maximalen Jahrringbreite zuverlässig bestimmt werden kann. Da aber eine visuelle Holzsortierung in der Praxis zur Zeit noch weitgehend auf der persönlichen Einschätzung des Sortierenden basiert, ist es bei dem hohen Arbeitstempo während der visuellen Holzsortierung nicht möglich, eine auch nur annähernd so zuverlässige Bestimmung des Sortierparameters zu gewährleisten, wie dies bei einer maschinellen Holzsortierung der Fall sein würde.

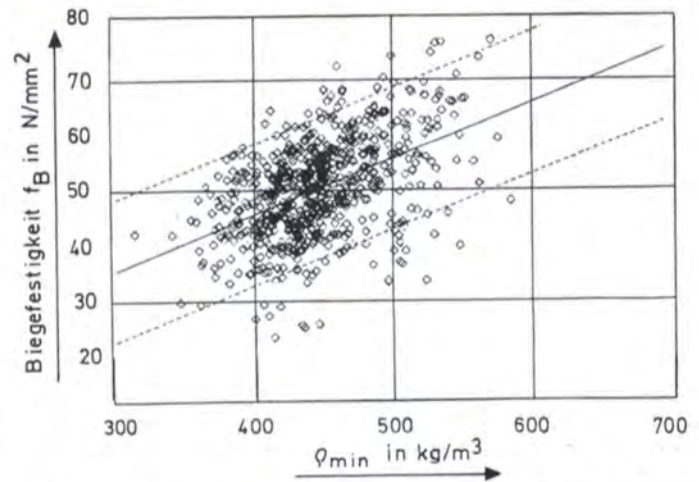


Bild 12: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit von der kleineren Rohdichte ρ_{min} der beiden Stoßhälften; $R = 0,499$

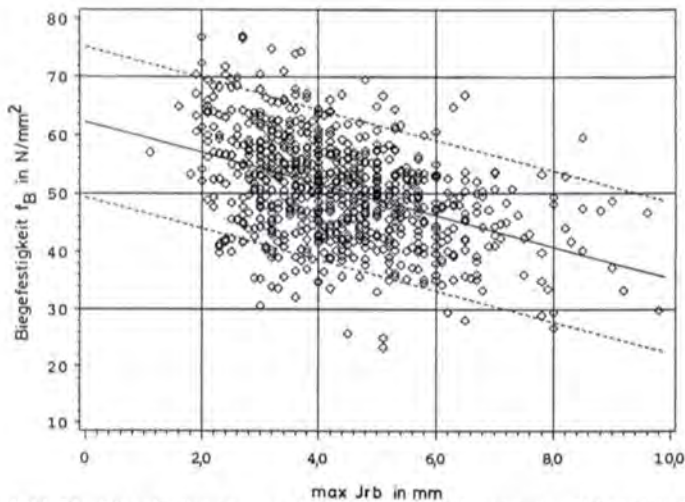


Bild 13: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit von der maximalen Jahringbreite max Jrb; $R = -0,424$

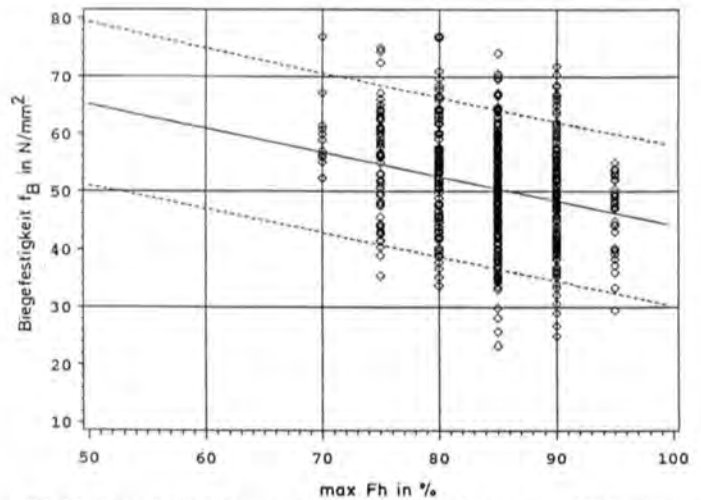


Bild 14: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit vom maximalen Frühholzanteil max Fh; $R = -0,253$

4.5 Einfluß der Markröhre

Bei den untersuchten Proben trat in etwa 1/3 aller Fälle die Markröhre in mindestens einer Stoßhälfte auf. In **Tabelle 2** sind die Versuchsergebnisse getrennt für die Proben mit und die Proben ohne Markröhre zusammengestellt.

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß Keilzinkenverbindungen mit Markröhre in allen Gruppen im Mittel sowohl eine geringere Biegefestigkeit als auch »schlechtere« Holzeigenschaften aufweisen als die Keilzinkenverbindungen ohne Markröhre. Dies ist auf die überdurchschnittlich großen ersten Jahringe eines Baumes zurückzuführen, so daß Rohdichte und Elastizitätsmodul und folglich auch die Tragfähigkeit der betreffenden Keilzinkenverbindungen im Bereich der Markröhre geringer werden.

Die hier durchgeführten Untersuchungen deuten aber auch darauf hin, daß der negative Einfluß der Markröhre mit Hilfe einer maschinellen Holzsortierung verringert, wenn nicht sogar ausgeschaltet werden kann. Denn auch bei Vorhandensein der Markröhre können bei hoher Rohdichte und/oder hohem Elastizitätsmodul der Bretter hohe Keilzinkenfestigkeiten erreicht werden.

4.6 Einfluß der Keilzinkengeometrie

Von den untersuchten Keilzinkenverbindungen besaßen insgesamt 640 eine Zinken-Nennlänge von 20 mm und 205 eine Länge von 15 mm. Für jedes dieser Keilzinkenprofile sind die Versuchsergebnisse in **Tabelle 3** angegeben.

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß das 15-mm-Profil im Mittel etwa 5 bis 10 % höhere Biegefestigkeiten aufweist als das 20-mm-Profil. Diese Aussage wird unterstrichen durch die Tatsache, daß diese Tendenz bei allen ausgewerteten Gruppen festzustellen ist und die mittleren Holzeigenschaften der Vergleichsproben als nahezu identisch bezeichnet werden können. Dieses Ergebnis kann mit den günstigeren Profileigenschaften des 15-mm-Profiles erklärt werden (siehe auch Abschnitt 3.1):

- die mittlere Zingengrundbreite ergab sich beim 15-mm-Profil zu etwa 0,7 mm, im Vergleich zu 1,1 mm beim 20-mm-Profil, und
- der Verhältniswert $2l/t$ ergab sich beim 15-mm-Profil zu 7,1 gegenüber dem geringeren Wert 6,0 des 20-mm-Profiles.

4.7 Einfluß der Leimart

Die weitaus überwiegende Zahl der Keilzinkenverbindungen war mit einem Resorcinharz verleimt (645). Bei den übrigen Proben wurde ein Harnstoffharz verwendet. Bei der Auswertung der Pro-

4.8 Einfluß produktionsabhängiger Faktoren

Die zur Verfügung stehenden Informationen bezüglich Arbeitsleistung der Fräser zum Zeitpunkt der Probenentnahme, Topfzeit des Leimes, Preßdruck während der Herstellung der Proben u. ä. waren sehr spärlich, so daß eine zahlenmäßige Erfassung des

Tabelle 2: Versuchsergebnisse (Mittelwerte); Unterscheidung nach Proben mit und ohne Markröhre

		f_B N/mm ²	E_{min} N/mm ²	ρ_{min} kg/m ³	max Jrb mm	max Fh %
Proben ohne Mark- röhre	Alle	51,2	12 560	445	4,25	84
	80 % KzB	53,2	13 600	456	3,76	83
	80 % HB	47,4	11 240	435	4,83	85
	MB	51,7	12 380	442	4,32	84
Proben mit Mark- röhre	Alle	47,8	11 290	437	4,72	87
	80 % KzB	51,4	12 270	449	3,96	85
	80 % HB	44,8	10 630	422	5,36	88
	MB	47,8	11 240	439	4,73	87

Die Wahrscheinlichkeit jedoch, daß ein Brett mit Markröhre die Anforderungen, die an hochwertige Decklamellen bezüglich Rohdichte und Elastizitätsmodul zu stellen sind, erfüllt, ist deutlich geringer als bei markfreien Brettern.

Tabelle 3: Versuchsergebnisse (Mittelwerte); Unterscheidung nach Keilzinkenprofil

		f_B N/mm ²	E_{min} N/mm ²	ρ_{min} kg/m ³	max Jrb mm	max Fh %
15-mm- Profil	Alle	53,6	12 420	446	4,28	84
	80 % KzB	59,7	14 580	466	3,40	82
	80 % HB	48,2	10 640	431	5,10	85
	MB	53,7	12 080	442	4,25	84
20-mm- Profil	Alle	49,7	12 320	443	4,34	85
	80 % KzB	51,1	13 170	452	3,89	84
	80 % HB	46,3	11 330	433	4,84	85
	MB	50,2	12 160	441	4,44	85

ben getrennt nach der Leimart konnte kein Einfluß der Leimart festgestellt werden, d. h., es zeigte sich kein Tragfähigkeitsunterschied zwischen resorcinharz- und harnstoffharzverleimten Keilzinkenverbindungen.

Einfluss produktionsabhängiger Faktoren auf die Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen im Rahmen der hier beschriebenen Untersuchungen nicht möglich war. Hierzu sind systematische Untersuchungen unter genauer Kenntnis der beeinflussenden Randbedingungen erforderlich.

5 Möglichkeiten zur Steigerung der Keilzinkenfestigkeit

Auf der Grundlage der bisher durchgeführten Untersuchungen ist es möglich, Ansatzpunkte für eine Steigerung der Keilzinkenfestigkeit zu finden. Im folgenden sind die wesentlichen Möglichkei-

ten aufgeführt, wobei der Schwerpunkt aufgrund vorliegender aktueller Untersuchungsergebnisse auf dem Gebiet der maschinellen Holzsortierung liegt.

5.1 Maschinelle Holzsortierung

Im Rahmen eines weiterführenden Forschungsvorhabens (Ehlbeck/Colling 1992*) wurden insgesamt 720 Zug- und Biegeversuche mit Keilzinkenverbindungen durchgeführt. Hierbei wurden folgende Variationen untersucht:

- drei Versuchsreihen mit unterschiedlichen Anforderungen an die Holzeigenschaften der keilgezinkten Bretter (**Tabelle 4**);
- zwei Keilzinkenprofile (15-mm- und 20-mm-Profil);
- zwei Leimbaubetriebe je Keilzinkenprofil;
- je 30 Zug- und Biegeversuche je Betrieb.

Die Proben der Reihe I entsprachen hierbei dem, was im Rahmen der derzeit praktizierten, rein visuellen Holzsortierung möglich bzw. üblich ist.

Die Bretter der Reihe II wiesen im Mittel die gleichen Holzeigenschaften auf wie die Proben der Reihe I. Durch die Vorgabe eines Mindest- und Höchst-Elastizitätsmoduls reduzierte sich jedoch die »Bandbreite« der möglichen Streuungen. Der Elastizitätsmodul wurde bei diesen Untersuchungen mit Hilfe eines Schwingungsmeßgerätes (Görlacher 1990) bestimmt.

Bei Reihe III wurde eine hohe Brettgüte bezüglich des Elastizitätsmoduls gefordert, so daß diese Proben einer hohen Festigkeitsklasse angehören, wie sie nur mit Hilfe einer maschinellen Holzsortierung zu erreichen ist.

Die Biegeversuche wurden wiederum mit Hilfe der in **Bild 3** dargestellten Versuchsvorrichtung durchgeführt. In **Bild 15** sind die Ergebnisse der Biegeversuche getrennt nach Versuchsreihe, Keilzinkenprofil und Firma dargestellt.

Der jeweils eingezeichnete Bereich $\bar{x} \pm s$ entspricht dabei dem Bereich, in dem etwa $\frac{2}{3}$ aller Werte aufgetreten sind. Ebenfalls eingezeichnet ist die jeweilige 5%-Fraktile, die sich rechnerisch unter Annahme einer Gauß-Normalverteilung ergibt.

Anhand von **Bild 15** sind folgende Tendenzen zu erkennen:

- die Proben der Reihen I und II weisen im Mittel etwa gleich hohe Festigkeiten auf und liegen auf dem gleichen Niveau wie bei früheren Untersuchungen (vgl. **Tabelle 1**). Dieses Ergebnis kann mit den nahezu identischen mittleren Holzeigenschaften der Bretter dieser Reihen erklärt werden;
- die mittleren Biegefestigkeiten der Keilzinkenverbindungen der Reihe III liegen etwa 20 % über den Vergleichswerten der Reihen I und II. Dies ist auf die bei den Brettern der Reihe III vorhandenen besseren Holzeigenschaften zurückzuführen;
- die Streuungen der Festigkeitswerte sind bei den Reihen II und III deutlich geringer als bei Reihe I, was mit der geringeren Bandbreite der Streuungen der Holzeigenschaften erklärt werden kann;
- die charakteristischen Biegefestigkeiten (5%-Fraktile) der Keilzinkenverbindungen der Reihe II sind etwa 15 bis 20 % höher als die zugehörigen Werte der Reihe I. Dies bedeutet, daß bei gleicher mittlerer Qualität der Bretter die Eingrenzung der möglichen Streuung der Holzeigenschaften auch zu einer geringeren

Tabelle 4: Anforderungen an die Holzeigenschaften der keilgezinkten Bretter

Versuchsreihe	Anforderungen an die Holzeigenschaften der Bretter
I	keine; beliebige Bretter
II	$11\,500 \text{ N/mm}^2 \leq E^1) \leq 13\,500 \text{ N/mm}^2$
III	$15\,000 \text{ N/mm}^2 \leq E^1)$

1) mittlerer Längs-Elastizitätsmodul

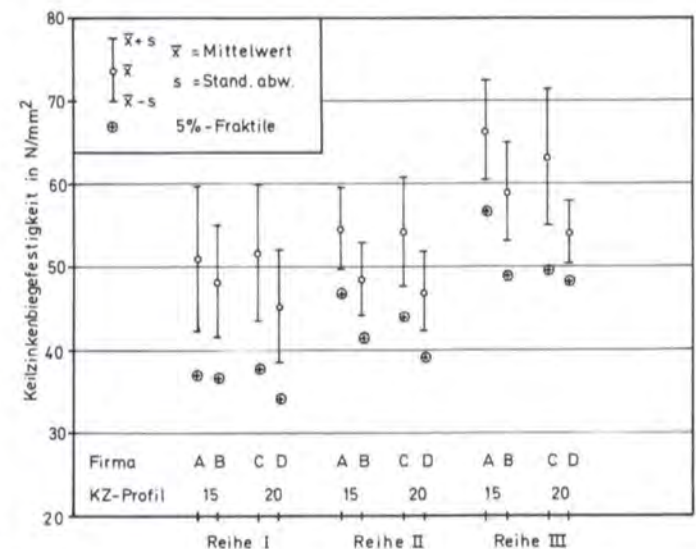


Bild 15: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen; Versuchsergebnisse

Streuung der Festigkeitswerte und somit zu höheren charakteristischen Festigkeiten geführt hat;

- die Keilzinkenverbindungen der Reihe III weisen etwa 30 bis 40 % höhere 5%-Fraktile auf als die Proben, die als repräsentativ für die Keilzinkenverbindungen angesehen werden können, wie sie mit der derzeit praktizierten rein visuellen Holzsortierung hergestellt werden (Reihe I).

Die Zugversuche zeigten die gleichen Tendenzen, so daß an dieser Stelle auf eine Darstellung der Ergebnisse verzichtet werden kann. Für nähere Angaben sei auf Ehlbeck/Colling 1992 und Colling et al. 1991 verwiesen.

Die hier durchgeführten Untersuchungen bestätigen somit zum wiederholten Male das Potential, d.h. die Möglichkeiten einer maschinellen Holzsortierung im Hinblick auf die Steigerung der Festigkeit von Keilzinkenverbindungen und damit auch von Brett-schichtholzträgern.

*) Vorhaben durchgeführt im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der DGFH mit finanzieller Unterstützung durch das Institut für Bautechnik, Berlin

5.2 Optimierung der Keilzinkengeometrie

Aus **Bild 15** ist die Tendenz zu erkennen, daß die Keilzinkenverbindungen mit einem 15-mm-Profil etwa 5 bis 10 % höhere Festigkeiten aufweisen als die Keilzinkenverbindungen mit einem 20-mm-Profil. Diese Versuche bestätigen die Ergebnisse aus früheren Untersuchungen (siehe Abschnitt 4.6).

Aicher/Klöck 1990 zeigten anhand von Spannungsberechnungen mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente, daß Modifikationen

der Keilzinkengeometrie erhebliche Veränderungen der Spannungsverläufe und insbesondere der Spannungsspitzen bewirken.

Im Rahmen eines zur Zeit laufenden Forschungsvorhabens (Aicher 1992) wird in Zusammenarbeit mit einem Fräserhersteller die Entwicklung eines hinsichtlich der Tragfähigkeit optimierten Keilzinkenprofils angestrebt.

5.3 Verwendung zähelastischer Leime

Im Hinblick auf eine mögliche Steigerung der Keilzinkenfestigkeit wurde angeregt (siehe z. B. Colling 1988), zähelastische Kleber/Leime zu verwenden, weil diese im Gegensatz zu den spröden Resorcinharzleimen dazu in der Lage sind, auftretende Spannungsspitzen abzubauen und Kräfte umzulagern.

Untersuchungen von Radovic/Goth 1991 mit keilgezinkten Kantholzquerschnitten ergaben, daß Proben, die mit einem Polyurethanharz verleimt waren, etwa 50 % höhere Tragfähigkeiten aufwiesen als die resorcinharzverleimten Vergleichsproben.

5.4 Produktionsabhängige Faktoren

Die Nachweispflicht von bestimmten Keilzinkenfestigkeiten zur Erfüllung der Anforderungen an Brettschichtholz entsprechend der kommenden europäischen Normung wird von den Leimbaubetrieben eine erhöhte Aufmerksamkeit und Sorgfalt bei der Herstellung der Keilzinkenverbindungen erfordern. Dies liegt darin begründet, daß diese Anforderungen sich auf die charakteristische Biegefestigkeit (5%-Fraktile) der Keilzinkenverbindungen beziehen, die sehr stark von der Streuung der Festigkeitswerte beeinflusst wird.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Beitrags wurde der derzeitige Kenntnisstand über die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen für den Holzleimbau dargestellt. Dabei wurde besonders auf die beeinflussenden Größen eingegangen. Als wesentliche Einflußfaktoren erwiesen sich die Holzeigenschaften Elastizitätsmodul und Rohdichte der Bretter, die Keilzinkengeometrie sowie die produktionsabhängigen Faktoren.

Es wurden Möglichkeiten zur Steigerung der Keilzinkenfestigkeit aufgezeigt, wobei aufgrund vorliegender aktueller Versuchsergebnisse der Schwerpunkt auf die Möglichkeiten der maschinellen Holzsortierung ausgerichtet war. Darüber hinaus wurden die Entwicklungspotentiale in den Bereichen der Optimierung der Keilzinkengeometrie und der Verwendung zähelastischer Leime angesprochen.

7 Literatur

Aicher, S. 1992: Optimierung der Keilzinkengeometrie unter besonderer Berücksichtigung werkzeugtechnischer und betrieblicher Randbedingungen (laufendes Forschungsvorhaben am Otto-Graf-Institut, FMPA Stuttgart).

Aicher, S.; Klöck, W. 1990: Spannungsberechnungen zur Optimierung von Keilzinkenprofilen für Brettschichtholzlamellen. Bauen mit Holz 92: 356–362.

Aicher, S.; Loeber, R. 1988: Voruntersuchung zur rechnerischen Optimierung von Keilzinkenverbindungen im Hinblick auf das Tragverhalten. Forschungsbericht, Inst. f. Holzphysik, Hamburg.

Colling, F. 1988: Anforderung an Holzbauleime am Beispiel einiger Probleme aus dem Holzleimbau. In: Strukturelles Kleben und Leimen im Holzleimbau, Klebstoff-Dokumentum, Hinterwaldner-Verlag, München.

Colling, F. 1990: Tragfähigkeit von Biegeträgern aus Brettschichtholz in Abhängigkeit von den festigkeitsrelevanten Einflußgrößen. Dissertation der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität Karlsruhe.

Colling, F.; Ehlbeck, J.; Görlacher, R. 1991: Glued laminated timber – contribution to the determination of the bending strength of glulam beams. CIB-W18A, Oxford, UK.

Eby, R. E. 1968: Structural finger-jointing criteria and performance. Journal of the Structural Division ST3: 657–669.

Egner, K.; Dorn, H. 1962: Untersuchungen von geleimten tragenden Holzteilen nach längerer Gebrauchsdauer. Berichte aus der Bauforschung, Heft 25, W. Ernst u. Sohn.

Jüngste Untersuchungen von Ehlbeck/Kromer 1992 konnten diese Aussagen zwar nicht bestätigen, es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß bei diesen Untersuchungen ein anderer PU-Leim eingesetzt wurde.

Insgesamt ist festzustellen, daß die Entwicklungen auf dem Gebiet der Kleber/Leime noch nicht als abgeschlossen angesehen werden können. Im Gegenteil, hier wird noch ein großes Entwicklungspotential hinsichtlich speziell auf das spätere Einsatzgebiet abgestimmter Leime gesehen.

Die Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) ist zur Zeit bemüht, ein Forschungsvorhaben zu initiieren, bei dem in Zusammenarbeit mit einem Fräserhersteller objektive Kriterien entwickelt werden sollen, mit deren Hilfe die Leimbaubetriebe in der Lage sind, zu erkennen, wann die Fräserleistung nachläßt und ein Messerwechsel erforderlich wird. Diese Arbeit soll dazu beitragen, die Streuung der Festigkeitswerte zu reduzieren und damit die Zuverlässigkeit zu erhöhen.

Aufgrund der Tatsache, daß die Leimbaubetriebe in Zukunft nachweislich bestimmte Mindestanforderungen an die Keilzinkenfestigkeit werden erfüllen müssen, wird das Hauptaugenmerk der zukünftigen Anstrengungen auf die charakteristischen Festigkeitswerte (5%-Fraktile) auszurichten sein, da diese ein Maß für die »Einstufung« der Betriebe darstellen. Mit diesem Beitrag konnte gezeigt werden, daß es mit Hilfe von bestimmten Anforderungen an die Holzeigenschaften Rohdichte und Elastizitätsmodul der Bretter möglich ist, die charakteristische Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen um 30 bis 40 % zu erhöhen. Unabhängig von weiteren Optimierungsmöglichkeiten (Keilzinkengeometrie, Leime) kann daher der Einsatz maschineller Holzsortierverfahren nicht deutlich genug unterstützt werden.

Ehlbeck, J.; Colling, F.; Görlacher, R. 1985a: Einfluß keilgezinkter Lamellen auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern. Teil 1: Entwicklung eines Rechenmodells. Holz als Roh- und Werkstoff 43: 333–337.

Ehlbeck, J.; Colling, F.; Görlacher, R. 1985b: Einfluß keilgezinkter Lamellen auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern. Teil 2: Eingangsdaten für das Rechenmodell. Holz als Roh- und Werkstoff 43: 369–373.

Ehlbeck, J.; Colling, F.; Görlacher, R. 1985c: Einfluß keilgezinkter Lamellen auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern. Teil 3: Überprüfung des Rechenmodells mit Hilfe von Trägerversuchen. Holz als Roh- und Werkstoff 43: 439–442.

Ehlbeck, J.; Colling, F. 1987: Die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Brett lamellen. Bauen mit Holz 89 (10): 646–655.

Ehlbeck, J.; Colling, F. 1992: Biegefestigkeit von Brettschichtholz in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Brett lamellen im Hinblick auf Normungsvorschläge. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe.

Ehlbeck, J.; Colling, F.; Wenz, J. 1989: Prüfung der Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen der Lamellen für Brettschichtholz. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe.

Ehlbeck, J.; Kromer, M. 1992: Tragfähigkeit von Keilzinkenver-

bindungen bei Verwendung von zähelastischen Klebstoffen (Leimen). Laufendes Forschungsvorhaben am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe.

Görlacher, R. 1990: Klassifizierung von Brettschichtholzlamellen durch Messung von Longitudinalschwingungen. Dissertation der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität Karlsruhe.

Johansson, C.-J. 1983: Hallfasthet hos fingerskarvat virke till limträ: Bestämning av böj – och draghallfasthet hos fingerskarvade limträlamellar. Teknisk Rapport, Sp – rapp 10, Borås, Statens Provingsanstalt.

Johansson, C.-J. 1986: Hallfasthet hos fingerskarvat virke till limträ: Fingerskarvade höghallfasta limträlamellar. Teknisk Rapport, Sp – rapp 09, Borås, Statens Provingsanstalt.

Larsen, H. J. 1980: Strength of finger joints. Institute of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg, Danmark.

Madsen, B.; Littleford, T. W. 1962: Finger joints for structural usage. Forest Products Journal 2: 68–73.

Moody, R. C. 1970: Tensile strength of finger joints in pith – associated and non – pith – associated southern – pine 2 by 6's. USDA Forest Service, FPL 138, Madison, Wisc.

Pellicane, P. J.; Stanfill-McMillan, K.; Tichy, R. J. 1987: Effects of knots near the fingers of finger-jointed dimension lumber. Forest Products Journal 35 (5): 13 – 16.

Radovic, B.; Goth, H. 1991: Untersuchungen zur Keilzinkenverklebung von Holz mit höheren Holzfeuchten als 15 % mit Einkomponenten-Polyurethan-Klebstoffen. Bauen mit Holz 93: 936–940.

Radovic, B.; Rohlfig, H. 1986: Untersuchungen über die Festigkeit von Keilzinkenverbindungen mit unterschiedlichem Verschwächungsgrad. Forschungsvorhaben I. 4–34701, FMPA, Stuttgart.

Richards, D. B. 1963: Improved tips for finger joints. Forest Products Journal 13 (6): 250–251.

Samson, M. 1985: Potential of finger-jointed lumber for machine stress – rated lumber grades. Forest Products Journal 35 (7/8): 20–24.

Selbo, M. L. 1963: Effect of geometry on the tensile strength of finger joints. Forest Products Journal 13 (9): 390–400.

Strickler, M. D. 1980: Finger-jointed dimension lumber – past, present and future. Forest Products Journal 30 (9): 51–56.

Die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen hat bestimmenden Einfluß auf die Tragfähigkeit des gesamten Brettschichtholzquerschnittes (vgl. z. B. Ehlbeck/Colling in bmh 10/87, S. 646 ff.). Die in diesem Beitrag dargestellten Forschungsergebnisse geben Aufschluß über das »Detail« Keilzinkung und deren festigkeitsbestimmenden Einflußfaktoren. Sie zeigen Wege auf, wie eine deutliche Verbesserung der Tragfähigkeit von Brettschichtholz durch bessere Keilzinkung erreicht werden kann. Die Nutzbarmachung dürfte die Einsatzmöglichkeiten des Ingenieur-Baustoffes Brettschichtholz weiter verbessern. Zentrale Bedeutung kommt hierbei der maschinellen Festigkeitssortierung der Brettlamellen zu. Weitere Optimierungsmöglichkeiten ergeben sich bei der Keilzinkengeometrie und den Fräswerkzeugen sowie durch neue Leime.