

Wenz

**PRÜFUNG DER TRAGFÄHIGKEIT VON
KEILZINKENVERBINDUNGEN DER LAMELLEN
FÜR BRETTSCHICHTHOLZ**

von

Jürgen Ehlbeck, François Colling und Jürgen Wenz

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Abt. Ingenieurholzbau
Universität Fridericiana Karlsruhe
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck
1989

Firma			Mr. für Forderung	Fräseswechsel	
Achberger, Bobingen	35	✓	2		
Burgbacher, Trossingen	1	✓	24	X	
Derix, Niederkrüchten	2	✓	70		
Deuter, Augsburg	39	✓	16		
Fürstenberg, Hüfingen	4		1		
Großmann, Rosenheim	6	✓	79		
Härle, Biberach	10	✓	6		
Hansen u. Detlefsen, Husum	33		27	X	
Hess, Miltenberg	12	✓	26	X	
HIG, Dülmen	14	✓	25		
HIG, Wissen	45	✓	74	X	
Hohein, Bochum-Wattenscheid	15		73		
Hüttemann, Olsberg	13	✓	4		
Kaufmann, Reuthe-Bezau	42		7		
LNJ Bredebro	27	✓	77		
Losberger, Eppingen-Richen	17		27		
Losberger, Horb	3		29		
Lux & Co., Roth	40		22		
J. Maier, Türkheim	44		75		
Nemaho, Doetinchem	21		5		
Poppensieker u. Derix, Velpe	23	✓	3		
Prümer Holzbau, Prüm	38		23		
Schaffitzel, Schwäbisch Hall	25	✓	28		
Schmickler, Wiesemscheid	41	✓	78	X	
Schütt, Flethsee	43	(✓)	9	X	
Stephan, Gaildorf	28	✓	77		
Timmermann, Heeren-Werve	31		20		
Wiedmann, Rheinfeldern	37	✓	8		
Wiesner u. Hager, Altheim	29	✓	30		
Zang + Balmer, Dickenbach	46	✓	72		

VORWORT

Der Festigkeit der Keilzinkenverbindungen von Brettlamellen für Brettschichtholz kommt hinsichtlich der charakteristischen Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern eine besondere Bedeutung zu. Aus diesem Grunde müssen an die Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindungen sehr strenge Anforderungen gestellt werden. Entsprechende Qualitätsanforderungen werden in die europäischen Normen über Festigkeitsklassen von Brettschichtholz aufgenommen werden. Es war daher die Aufgabe einer systematischen Tragfähigkeitsprüfung, die relevanten Einflußparameter zu erforschen und ihre Bedeutung zu erkennen, um daraus Schlußfolgerungen für Qualitätssteigerungen ziehen zu können.

Die vorliegende Arbeit entstand mit finanzieller Unterstützung des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Baden - Württemberg und der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung. Die Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., Düsseldorf, hatte sich auf Anregung des Unterzeichners bereiterklärt, das erforderliche Prüfmaterial bei 30 Mitgliedsfirmen zur Verfügung zu stellen.

Die Arbeit wurde maßgeblich von den Herren Dipl.-Ing. F. Colling und Dipl.-Ing. J. Wenz geleitet. Die Versuche, einschließlich der einheitlichen Probenvorbereitung, wurden von Herrn H. Heck abgewickelt. Besonders ist Herrn cand.-ing. R. Uhler zu danken, der mit großer Ausdauer und Gewissenhaftigkeit die Meßdaten aufgenommen und die systematische statistische Analyse durchgeführt hat. Auch den Studenten cand.-ing. U. Reiling und cand.-ing. P. Metzger ist für die umfangreiche Mitarbeit bei der Datenzusammenstellung zu danken.

Jürgen Ehlbeck

Inhalt

1	Ziel des Forschungsvorhabens	1
2	Derzeitiger Kenntnisstand	2
3	Darstellung der Versuche	9
3.1	Probenentnahme, Probenabmessungen, Versuchsdurchführung	9
3.2	Darstellung und Diskussion der Ergebnisse	11
3.2.1	Proben, die bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt wurden	12
3.2.2	Einfluß der Versagensart	16
3.2.2.1	Proben mit überwiegendem Keilzinkenversagen	16
3.2.2.2	Proben mit überwiegendem Holzversagen	17
3.2.2.3	Proben mit Mischbruch	19
3.2.3	Einfluß der Holzeigenschaften	19
3.2.3.1	Einfluß des Elastizitätsmoduls, der Rohdichte, der Jahrringbreite und des Frühholzanteiles	20
3.2.3.2	Einfluß der Markröhre	25
3.2.4	Einfluß der Keilzinkengeometrie	27
3.2.5	Einfluß von produktionsabhängigen Faktoren	30
3.2.5.1	Einfluß der Leimart	31
3.2.5.2	Einfluß der Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang	32
3.2.5.3	Einfluß der Fräserleistung	33
3.2.6	Firmenvergleich	35
4	Zusammenfassung	41
5	Literatur	43
	Anhang	A-1 - A-60

1 Ziel des Forschungsvorhabens

Die im Auftrag der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung durchgeführten Forschungsarbeiten über die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern ([6], [8]) haben deutlich aufgezeigt, welche Bedeutung der Festigkeit der Keilzinkenverbindungen hinsichtlich der Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern zukommt.

Aus diesem Grunde werden auch in einigen Nachbarländern und besonders in Skandinavien bereits sehr strenge Anforderungen an die Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindungen gestellt. Weiterhin ist im Entwurf zum Eurocode 5 [2] vorgesehen, neben einer bestimmten Holzqualität auch eine charakteristische Mindestfestigkeit der Keilzinkenverbindungen zu fordern, wenn bei der Bemessung mit bestimmten charakteristischen Festigkeitswerten der Brettschichtholzträger gerechnet werden soll.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die in deutschen Leimbaubetrieben hergestellten Keilzinkenverbindungen im Hinblick auf ihre Biegefestigkeit zu prüfen. Es sollte damit ein grundlegender Beitrag für die im Hinblick auf den ab 1993 vorgesehenen "Gemeinsamen Markt" innerhalb der Europäischen Gemeinschaft in Vorbereitung befindlichen harmonisierten technischen Baubestimmungen geliefert werden, um sicherzustellen, daß der Holzleimbau als wichtiger Zweig der Holzbauindustrie die zu setzenden Qualitätsanforderungen erfüllen kann. Die aus dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse sind eine wichtige Grundlage für die Weiterbearbeitung der internationalen Normungsvorhaben und gleichzeitig ein Hinweis auf die technischen Möglichkeiten der Qualitätssteigerung dieser Bauprodukte.

2 Derzeitiger Kenntnisstand

Der Einsatz von Keilzinkenverbindungen als Längsverbinding im Holzleimbau stellt eine vergleichsweise junge Entwicklung dar, die sich erst zu Beginn der 60-er Jahre hat durchsetzen können. In früheren Jahren wurden die Längsstöße von Einzelbrettern mittels Schäftung (vgl. Bild 1) ausgeführt.

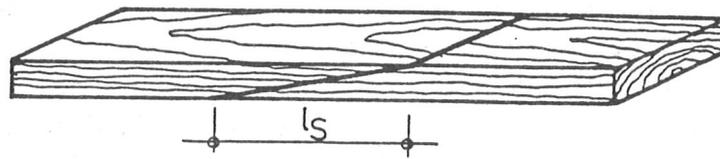
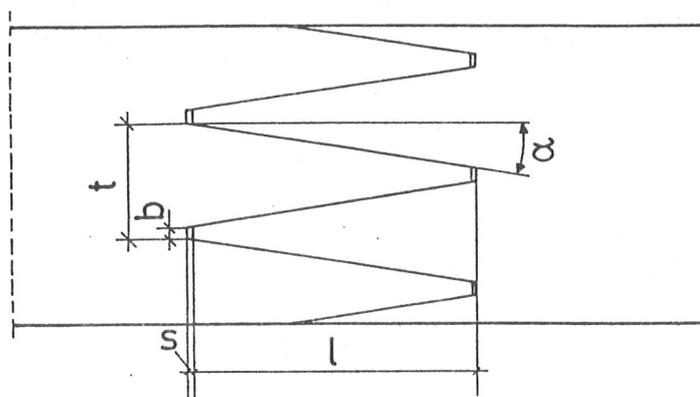


Bild 1: Schäftung

Das Arbeiten mit dieser 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 immer schwieriger war, 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 einem Neigungswinkel 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 somit 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 alle Anforderungen bzgl. Paßgenauigkeit, einfacher Handhabung bei der Herstellung von Brettschichtholzträgern und geringem Holzverlust erfüllte. In Bild 2 ist eine Keilzinkenverbindung dargestellt, die Bezeichnungen wurden hierbei aus DIN 68140 [1] übernommen.



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

Bild 2: Keilzinkenverbindung

Es gab aber zwei Gründe, die verhinderten, daß sich die Keilzinkenverbindung auf Antrieb durchsetzen konnte:

- zum einen stellte man wiederholt fest, daß die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen geringer ist als die von Schäftungen (siehe z.B. MADSEN/LITTLEFORD [16]). Versuche von EBY [5] zeigten jedoch, daß diese Feststellung nur für kleine Schäftungen und Keilzinkenverbindungen zutrifft, die in den Versuchslabors hergestellt wurden. Seine Untersuchungen zeigten, daß bei den Proben, die aus der 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. Bezüglich der Tragfähigkeit stand somit einer Anwendung der Keilzinkenverbindung als tragende Längsverbindung im Holzleimbau nichts mehr im Wege;

- der andere Grund war der, daß die Herstellung einer Keilzinkenverbindung ebenfalls nicht ganz einfach war: die Zinken wurden mittels einer Schablone mit der Bandsäge in die Brettenden geschnitten. Bald übernahmen jedoch Fräsen die Arbeit der Bandsägen, so daß eine schnellere Produktion und eine höhere Paßgenauigkeit möglich waren.

Somit war der Weg frei für die Keilzinkenverbindung, und heute gibt es keinen Leimbaubetrieb mehr, der die Schäftung als Stoßverbindung einsetzt.

Die Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit von den beeinflussenden Faktoren wurde erst mit Beginn der 60-er Jahre systematisch untersucht. Hierbei beschränkte man sich zunächst auf den Einfluß der Keilzinkengeometrie.

1963 stellte SELBO [22] bei seinen Untersuchungen folgende Abhängigkeiten fest:

- mit flacher werdendem Flankenwinkel α nahm die Zugfestigkeit von Keilzinkenverbindungen zu. Ab einer Neigung von 1:12 war jedoch keine weitere Festigkeitszunahme mehr zu beobachten;
- wurden der Flankenwinkel α und die Zinkenrundbreite b konstant gehalten, so nahm die Zugfestigkeit mit wachsender Zinkenlänge l zu;
- die Zugfestigkeit einer Keilzinkenverbindung wuchs mit steigendem Verhältnis $2l/t$. Dieser Verhältniswert ist ein Maß für die Leimfläche, die pro Breiteneinheit zur Kraftübertragung zur Verfügung steht. Bei der Holzart Sitka Spruce zeigten diese Versuche jedoch, daß ab einem Verhältnis von $2l/t \approx 8$ keine weitere Tragfähigkeitssteigerung mehr zu erwarten ist;
- die Zugfestigkeit einer Keilzinkenverbindung nahm mit abnehmender Zinkenrundbreite b zu.

Bei diesen Untersuchungen wurden die Keilzinkenverbindungen alle mit der Bandsäge im Labor hergestellt, sodaß die Frage gerechtfertigt erscheint, ob die Versuchsergebnisse uneingeschränkt auf die heute üblichen gefrästen Keilzinkenverbindungen übertragbar sind.

1980 stellte STRICKLER [23] bei seinen Untersuchungen mit gefrästen Keilzinkenverbindungen folgende Tendenzen fest:

- weder die Zinkenbreite t noch die Zinkenlänge l üben einen Einfluß auf die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen aus;
- ab einer Flankenneigung von 1:8 ist keine merkliche Festigkeitssteigerung mehr zu erwarten;
- die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen wird maßgeblich von der Breite b des Zinkengrundes bestimmt.

Weiterhin wies *Strickler* auf die produktionsabhängigen Faktoren hin, deren Einfluß bei den bisherigen Untersuchungen nicht berücksichtigt wurde. So hält er z.B. ein regelmäßiges Schärfen der Fräsen für unbedingt erforderlich, um eine hohe Keilzinkenqualität gewährleisten zu können.

1986 untersuchten RADOVIC/ROHLFING [19] das Tragverhalten von vier verschiedenen Keilzinkenprofilen. Die Prüfkörper aus Furnierschichtholz wurden mit Hilfe von frisch geschärften Fräsen hergestellt. Die Versuche ergaben, daß die mittleren Zugfestigkeiten von drei Keilzinkenprofilen nahezu identisch waren. Dies ist darauf zurückzuführen, daß sich weder die Zinkenbreite b noch das Verhältnis $2l/t$ stark voneinander unterscheiden ($b = 0,42 - 0,6$ mm und $2l/t = 7,7 - 9,4$). Das vierte Profil hingegen hatte sowohl die größte Zinkengrundbreite b ($= 1$ mm) als auch den kleinsten Verhältniswert $2l/t$ ($= 6,3$), worauf die geringere Tragfähigkeit zurückgeführt wurde.

Alle o.a. Untersuchungen deuten somit auf den dominanten Einfluß der Zinkengrundbreite b hin, der damit zu erklären ist, daß durch das Zinkenspiel s keine Verbindung zwischen der Zinkenspitze der einen Stoßhälfte und dem Zinkengrund der anderen Stoßhälfte besteht, und somit keine Kräfte übertragen werden können. Die Kräfte müssen im Bereich des Zinkengrundes umgelenkt werden, sodaß hier Zusatzspannungen auftreten, die umso größer sind, je größer die Zinkengrundbreite ist.

Am Beispiel des Keilzinkenprofils I-20 nach *DIN 68140* wurden von COLLING [4] Finite Elemente - Berechnungen durchgeführt. Hierbei zeigte sich, daß im Bereich des Zinkengrundes Spannungsspitzen auftreten können, die bis zu 80% höher sind als die Spannungen, die im nicht keilgezinkten Bereich vorhanden sind. Daher ist es nicht verwunderlich, daß die meisten Verbesserungsvorschläge für Keilzinkenprofile im wesentlichen darauf hinzielten, diese

Spannungsspitzen im Zinkengrund zu reduzieren (vgl. z.B. AICHER/LÖBER [3], RICHARDS [20], *Strickler*).

Die Keilzinkengeometrie hat jedoch in den letzten Jahren an Bedeutung verloren, weil sich nur eine begrenzte Zahl von Keilzinkenprofilen durchgesetzt hat. So ist das Profil $l/t = 20/6,2$ mm in Europa stark verbreitet, während sich in den letzten Jahren das Profil $15/3,8$ mm verhältnismäßig stark durchgesetzt hat. In Skandinavien hingegen, insbesondere in Schweden, ist das Profil $30/6,2$ mm häufig anzutreffen. Die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen mit diesen Profilen liegen alle in der gleichen Größenordnung, und etwaige Festigkeitsunterschiede sind nicht immer auf die unterschiedliche Keilzinkengeometrie zurückzuführen.

Bei einigen der o.a. 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 [6], fest, daß mit höherer Rohdichte der Bretter auch die Festigkeit der Keilzinkenverbindungen zunimmt. Es können infolge von streuenden Holzeigenschaften also die Abhängigkeiten zwischen der Keilzinkenfestigkeit und der Keilzinkengeometrie verwischt werden. Aus diesem Grunde wurden die Untersuchungen von *Radovic/Rohlfing* mit Hilfe von Furnierschichtholzproben durchgeführt, deren Holzeigenschaften Rohdichte und Elastizitätsmodul deutlich geringeren Schwankungen unterworfen sind, als dies beim "normalen" Schnittholz der Fall ist.

Während in den ersten Jahren die Geometrie des Keilzinkenprofils von vorrangigem Interesse war, beschäftigten sich bald immer mehr Untersuchungen mit dem Einfluß der Holzeigenschaften auf das Tragverhalten von Keilzinkenverbindungen. So stellten *Madsen/Littleford*, LARSEN [15], MOODY [17], JOHANSSON [13], [14], *Eby* und EHLBECK et al. [8] übereinstimmend fest, 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 - Zugbruch 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.

Die ermittelten Abhängigkeiten zwischen der Keilzinkenfestigkeit und den Holzeigenschaften waren jedoch 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, unzureichende Leimangabe, nicht ordnungsgemäßer Ansatz der Leimflotte, ungenügender Längspressdruck, zu hohe oder zu unterschiedliche Holzfeuchte der Stoßhälften, unsachgemäßes Ab stapeln der frisch geleimten Zinkenstöße usw.. Diese "unberechenbaren" Produktionseinflüsse verhindern somit eine engere Beziehung zwischen der Keilzinkenfestigkeit und den Holzeigenschaften der keilgezinkten Bretter.

Weiterhin ist es von größter Bedeutung, daß im Stoßbereich keine fehler- oder schadhafte Stellen wie z.B. Äste oder Schrägfaserigkeit vorhanden sind, weil diese die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen deutlich herabsetzen (siehe PELLICANE [18]).

Auch stellte *Moody* 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 bereits darauf hin, daß die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen von den Eigenschaften der schwächeren Hälfte bestimmt wird.

Diese Tendenz wird von den Zugversuchen von *Ehlbeck et al.* bestätigt, bei denen das Versagen in den meisten Fällen in der Stoßhälfte mit der geringeren Rohdichte eintrat. Auch SAMSON [21], 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.

Die Tatsache, daß die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen von den Holzeigenschaften der Bretter bestimmt wird, deutet darauf hin, daß sich die Art der Holzsortierung auch auf das Tragverhalten der

Keilzinkenverbindungen auswirkt. Letztlich ist es nur mit Hilfe einer maschinellen Holzsortierung möglich, die guten Bretter (mit hoher Rohdichte und/oder Elastizitätsmodul) zu erkennen und zu gewährleisten, daß Bretter mit vergleichbaren Holzeigenschaften miteinander verbunden werden. Eine rein visuelle Holzsortierung hingegen ermöglicht bzgl. der Keilzinkenfestigkeit keine effektive Holzausnutzung.

Samson stellte weiterhin fest, daß die Steifigkeit von keilgezinkten Lamellen durch das Auftreten von Keilzinkenverbindungen nicht beeinträchtigt wird. Diese Beobachtung wird von zahlreichen anderen Untersuchungen bestätigt, die ergaben, daß der Elastizitätsmodul einer Keilzinkenverbindung hoch ist und mit dem des fehlerfreien Holzes vergleichbar ist (siehe z.B. *Larsen*, FISETTE/RICE [10], HEIMESHOF/GLOS [12], *Ehlbeck et al.*).

Die Zugfestigkeit hingegen ist im Vergleich zu der des fehlerfreien Holzes deutlich geringer. Untersuchungen von *Pellicane* und *Ehlbeck et al.* zeigten, daß die mittlere Zugfestigkeit einer Keilzinkenverbindung der mittleren Zugfestigkeit eines Brettabschnittes entspricht, bei dem die Äste einen Anteil von etwa 25 - 30% des Querschnittes einnehmen.

Diese vergleichsweise geringe Zugfestigkeit bei gleichzeitig vorhandenem hohem Elastizitätsmodul wirkt sich nachteilig auf das Tragverhalten einer Keilzinkenverbindung im Brettschichtholzträger aus. So ist der bei Brettabschnitten mit Ästen vorhandene Laminierungseffekt, d.h. die Entlastung von Brettabschnitten mit geringem Elastizitätsmodul durch einen steiferen Nachbarn, im Falle einer Keilzinkenverbindung nicht wirksam. Eine Keilzinkenverbindung zieht aufgrund ihrer hohen Dehnsteifigkeit Kräfte an und versagt somit früher als ein astbehafteter Brettabschnitt mit gleicher Festigkeit.

Dies verdeutlicht die Bedeutung der Keilzinkenverbindung auf die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern und die Notwendigkeit, die Festigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit von den beeinflussenden Parametern zu kennen, um die Ansatzpunkte für eine Steigerung der Festigkeiten zu finden.

3 Darstellung der Versuche

3.1 Probenentnahme, Probenabmessungen, Versuchsdurchführung

Wie bereits beschrieben, üben die Keilzinkenverbindungen einen entscheidenden Einfluß auf die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern aus. Da die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern in erster Linie von den Keilzinkenverbindungen in den äußeren Zuglamellen bestimmt wird, ist weniger die Biegefestigkeit der Keilzinkenverbindungen als vielmehr deren Zugfestigkeit von Interesse.

Da aber ein Zugversuch einen ungleich höheren Aufwand darstellt als ein Biegeversuch und eine laufende Überprüfung der Zugfestigkeit der hergestellten Keilzinkenverbindungen praktisch kaum durchführbar ist, wurde beschlossen, die Biegefestigkeit der Keilzinkenverbindungen zu bestimmen.

Entsprechend dem in einigen Ländern bereits praktizierten Verfahren wurden bei insgesamt 30 deutschen Holzleimbaubetrieben, die Mitglieder der Gütegemeinschaft Holzleimbau sind, im Rahmen der Fremdüberwachung an zwei verschiedenen Terminen jeweils 15 keilgezinkte Brettabschnitte entnommen.

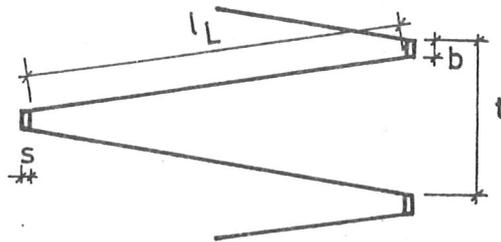
Damit standen insgesamt 900 Prüfkörper mit einer Länge von etwa 1 m zur Verfügung. Die Probenentnahme erfolgte während der laufenden Produktion, so daß die Breite und die Dicke der Brettabschnitte beliebig waren und in etwa das gesamte Spektrum des in den Leimbaubetrieben verarbeiteten Schnittholzes abdeckten.

Im ursprünglichen Arbeitsplan des Forschungsvorhabens war vorgesehen, die Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit von folgenden Parametern zu untersuchen:

- mittlere Rohdichte der Keilzinkenverbindung,
- mittlerer dynamischer Elastizitätsmodul der Keilzinkenverbindung, ermittelt mit Hilfe eines Schwingungs - Meßgerätes (siehe GÖRLACHER [11]),
- Versagensart (Biegebruch im Zinkengrund, Scherbruch entlang der Flanken oder Mischbruch),
- Leimart,
- Keilzinkenprofil (Nennmaße).

Aufgrund neuester Erkenntnisse im Rahmen einer von COLLING [4] durchgeführten Arbeit wurden jedoch folgende Einflußparameter zusätzlich in die Auswertung mit aufgenommen:

- Rohdichte jeder Stoßhälfte,
- dynamischer Elastizitätsmodul jeder Stoßhälfte,
- mittlere Jahrringbreite jeder Stoßhälfte,
- größte Jahrringbreite jeder Stoßhälfte,
- mittlerer Frühholzanteil jeder Stoßhälfte,
- größter Frühholzanteil jeder Stoßhälfte,
- markhaltiges Holz (ja/nein),
- Ort des Versagens (linke oder rechte Stoßhälfte),
- tatsächliche Keilzinkenabmessungen:



Hierbei waren neben der Zinkenrundbreite b noch das Verhältnis $\varphi = 2 l_L / t$ von Interesse, das ein Maß für die zur Kraftübertragung zur Verfügung stehende Leimfläche pro Breitereinheit darstellt,

- Anzahl der gefrästen Lamellen je Fräsvorgang (Einzel- oder Paketfräse),
- Anzahl der gefrästen Lamellen zum Zeitpunkt der Probenentnahme,
- Fräserleistung in % zum Zeitpunkt der Probenentnahme.

Die Ermittlung der Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindungen erfolgte mit Hilfe des in Bild 3 dargestellten Versuchsaufbaues.

Die Proben wurden mit einer Verformungsgeschwindigkeit von 10 mm/min stetig bis zum Bruch belastet. Das Versagen trat hierbei innerhalb von 3 - 5 Minuten ein.

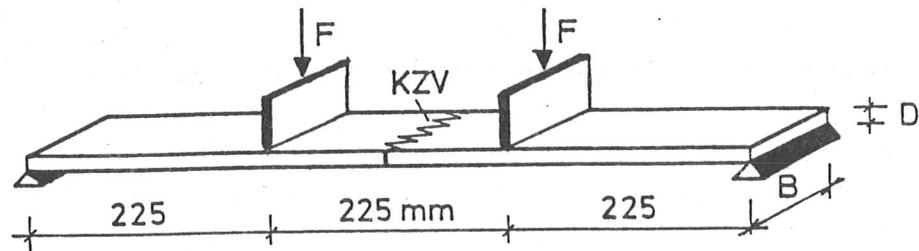


Bild 3: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen

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 = Brettstärke in mm.

Von jeder geprüften Serie à 15 Proben wurde ein Prüfbericht mit den zugehörigen Versuchsergebnissen erstellt.

3.2 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Unter Berücksichtigung aller 900 Versuchswerte ergab sich eine mittlere Keilzinkenbiegefestigkeit von $50,0 \text{ N/mm}^2$ bei einer Standardabweichung von $8,9 \text{ N/mm}^2$ (Variationskoeffizient = 18%). Unter Annahme einer Normalverteilung ergibt sich eine zugehörige 5% - Fraktile von $35,4 \text{ N/mm}^2$.

Nach jedem Versuch wurde das Bruchbild des Prüfkörpers aufgenommen, d.h. für jede Stoßhälfte wurde untersucht, wieviel % der

Bruchfläche (im Verhältnis zur Brettbreite) im Holz bzw. entlang der Zinkenflanken verlief. Hierbei zeigte sich jedoch, daß das Bruchbild nicht in allen Fällen über die gesamte Brettstärke gleich war. So trat beim Prüfkörper in *Bild 4* auf der Oberseite (Druckzone) ein 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches auf, während auf der Unterseite (Zugzone) ein überwiegendes Keilzinkenversagen zu beobachten war. Da im Falle einer Biegebeanspruchung der Bruch in der Regel durch ein Versagen im Zugbereich ausgelöst wird, wurde die Bestimmung der Versagensart auf der Biegezugseite der Prüfkörper durchgeführt.

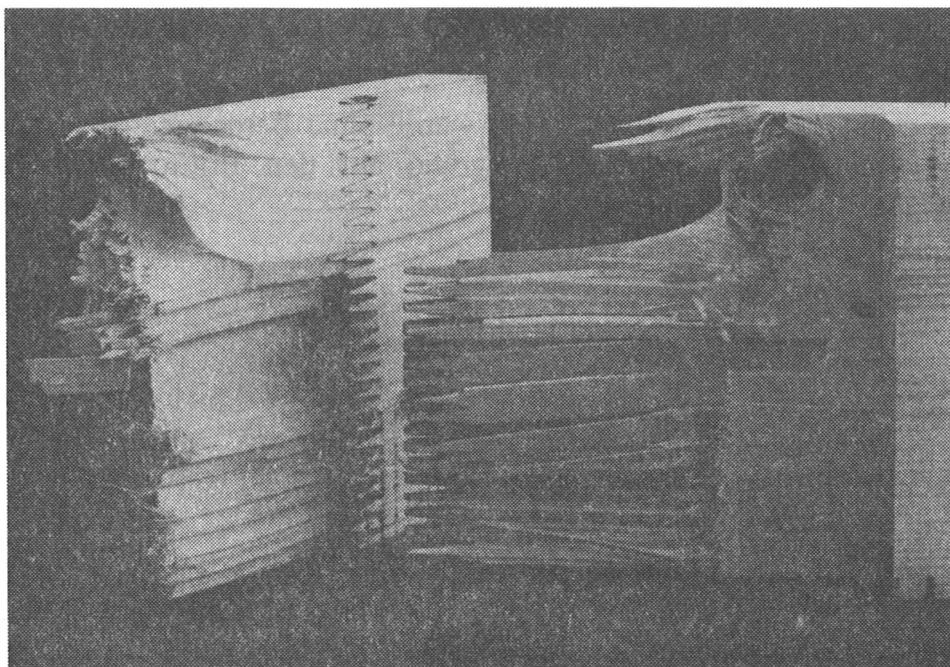


Bild 4: Prüfkörper mit unterschiedlichem Bruchbild auf der Zug- und Druckseite

3.2.1 Proben, die bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt wurden

Bei insgesamt 229 Proben war ein 100%-iges Keilzinkenversagen zu beobachten, d.h. die Finger der Keilzinkenverbindung wurden gänzlich unbeschädigt (vom Holzfaserbelag auf der Leimfläche abgesehen) auseinandergezogen.

In 15 Fällen konnte dieses Versagen auf eine schlechte Verleimung zurückgeführt werden. Bei diesen Prüfkörpern war kein Holzbelag auf der Leimfuge zu erkennen (siehe Bild 5).

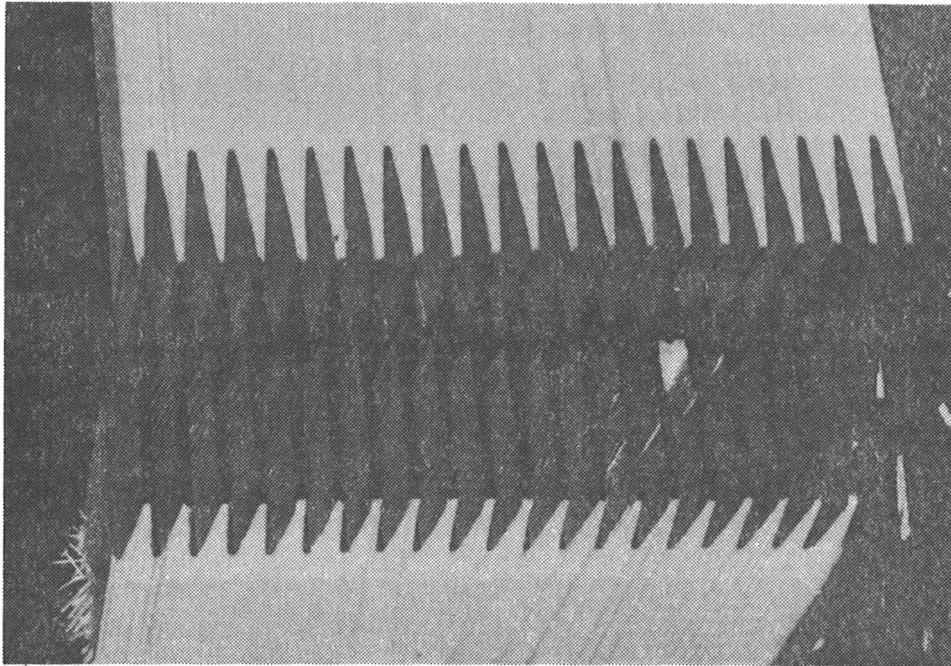


Bild 5: Keilzinkenverbindung mit schlechter Verleimung

Die mittlere Biegefestigkeit dieser Proben lag mit $42,6 \text{ N/mm}^2$ deutlich unter dem gesamten Mittelwert von $50,0 \text{ N/mm}^2$. Bei der weiteren Versuchsauswertung wurden diese Ergebnisse nicht mit einbezogen.

In weiteren 13 Fällen konnte das Versagen auf eine falsch ausgeführte Keilzinkenverbindung zurückgeführt werden. Hierzu gehören besonders Keilzinkenverbindungen mit ungenügender Zinkenlänge (siehe Bild 6 a) und schlechtem Ineinandergreifen der Zinken (siehe Bild 6 b).

Die mittlere Biegefestigkeit dieser Keilzinkenverbindungen ($x = 37,1 \text{ N/mm}^2$) lag ebenfalls deutlich unter dem gesamten Mittelwert. Bei der weiteren Auswertung blieben die zugehörigen Ergebnisse ebenfalls unberücksichtigt.

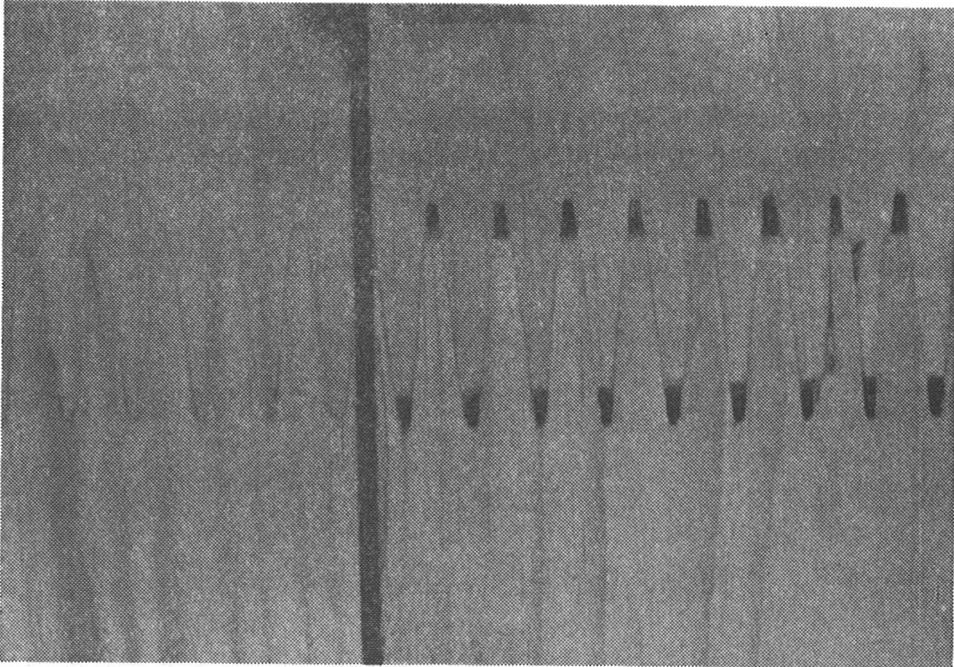


Bild 6a: Falsch ausgeführte Keilzinkenverbindung; ungenügende Zinkenlänge (rechts)

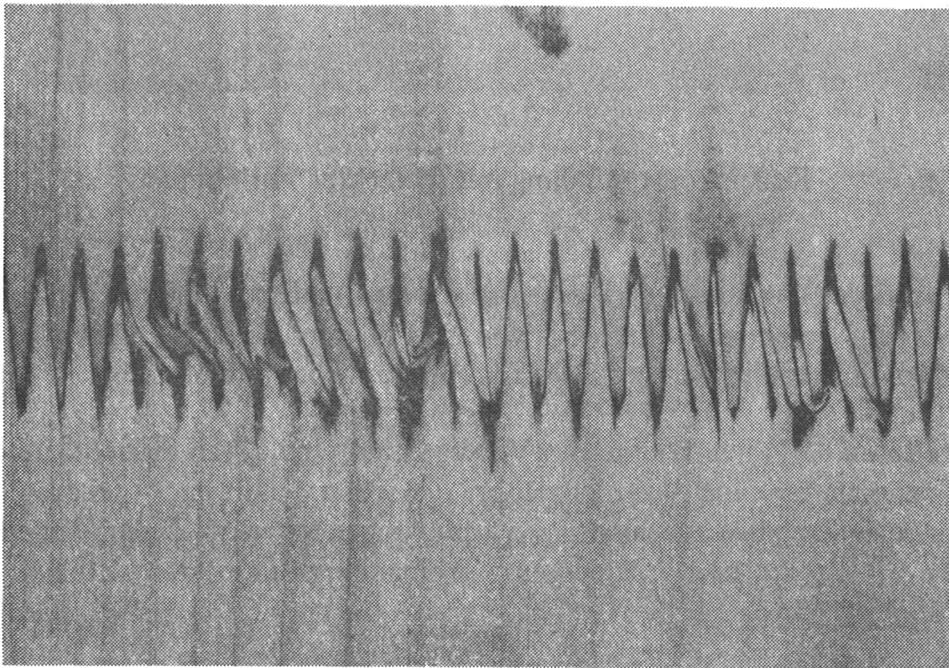


Bild 6b: Falsch ausgeführte Keilzinkenverbindung; schlechtes Ineinandergreifen der Zinken

In 12 Fällen war das Versagen auf einen im unmittelbaren Keilzinkenbereich vorhandenen Ast zurückzuführen (siehe *Bild 7*). Auch diese Versuchsergebnisse wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen (mittlere Biegefestigkeit = $42,1 \text{ N/mm}^2$).

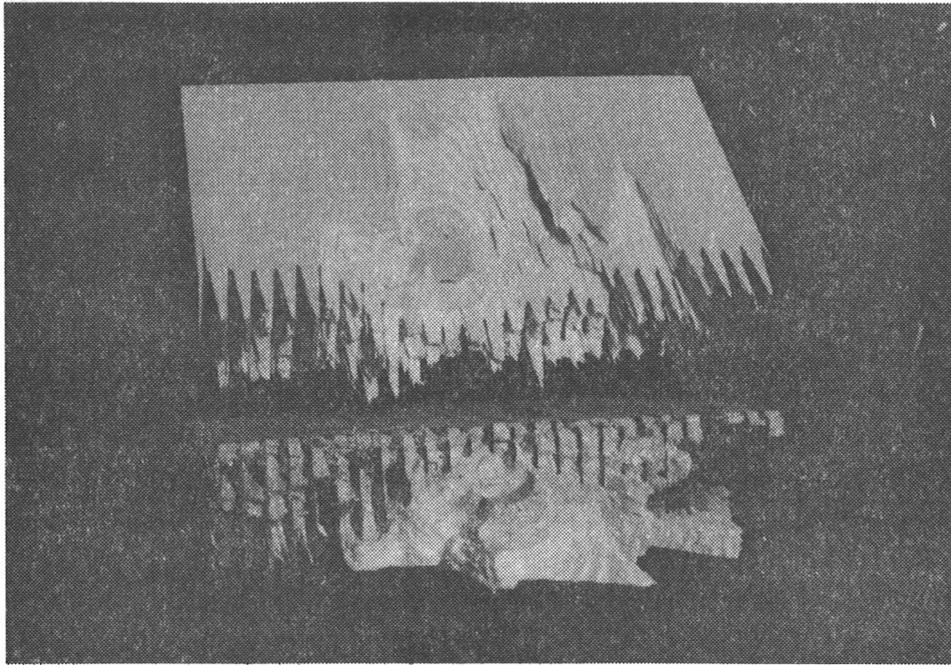


Bild 7: Ast im unmittelbaren Keilzinkenbereich

In weiteren 15 Fällen trat das Versagen aufgrund von Ästen zu 100% außerhalb des Keilzinkenbereiches auf (siehe *Bild 8*). Da bei diesen Proben die Biegefestigkeit des Brettes bei gegebener Ästigkeit und nicht die Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindung ermittelt wurde, wurden die zugehörigen Versuchsergebnisse nicht in die weitere Auswertung mit aufgenommen. Auch lag die mittlere Biegefestigkeit dieser Proben mit $41,1 \text{ N/mm}^2$ wiederum deutlich unter dem gesamten Mittel.

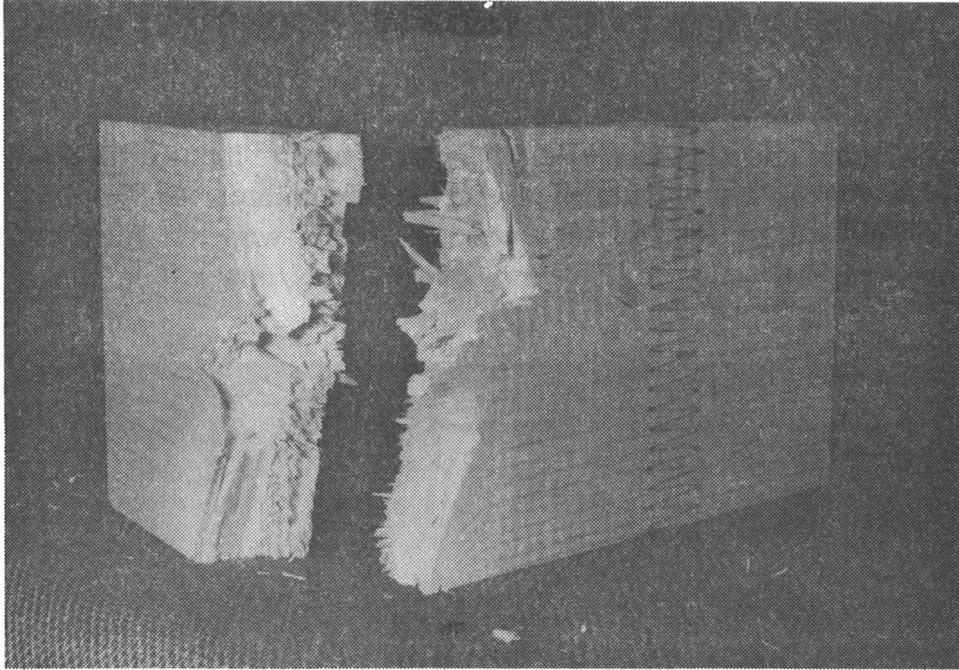


Bild 8: Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

3.2.2 Einfluß der Versagensart

Unter Berücksichtigung der noch verbleibenden 845 Proben ergab sich eine mittlere Biegefestigkeit von $50,6 \text{ N/mm}^2$ bei einer Standardabweichung von $8,7 \text{ N/mm}^2$ (Variationskoeffizient = 17% und 5% - Fraktile = $36,3 \text{ N/mm}^2$). Diese Proben werden im weiteren Verlauf als "alle Proben" bezeichnet.

3.2.2.1 Proben mit überwiegendem Keilzinkenversagen

Bei insgesamt 821 Proben verlief der Bruch zumindest teilweise entlang der Zinkenflanken. Da aber bei Proben, bei denen die Bruchfläche nur zu einem geringen Teil entlang der Zinkenflanken verläuft, nicht von einem eindeutigen Keilzinkenversagen ausgegangen werden kann, wurden bei der weiteren Auswertung in die Gruppe der Keilzinkenverbindungen mit Keilzinkenbruch nur die Proben aufgenommen, die einen Anteil von mindestens 80% Keilzinkenversagen aufwiesen. Die mittlere Biegefestigkeit dieser noch verbleibenden 258 Proben lag mit $53,0 \text{ N/mm}^2$ bei einer Standardabweichung von $9,5 \text{ N/mm}^2$ über dem Mittelwert aller Proben.

In Bild 9 ist eine ordnungsgemäß hergestellte Keilzinkenverbindung mit 100% Keilzinkenbruch dargestellt.

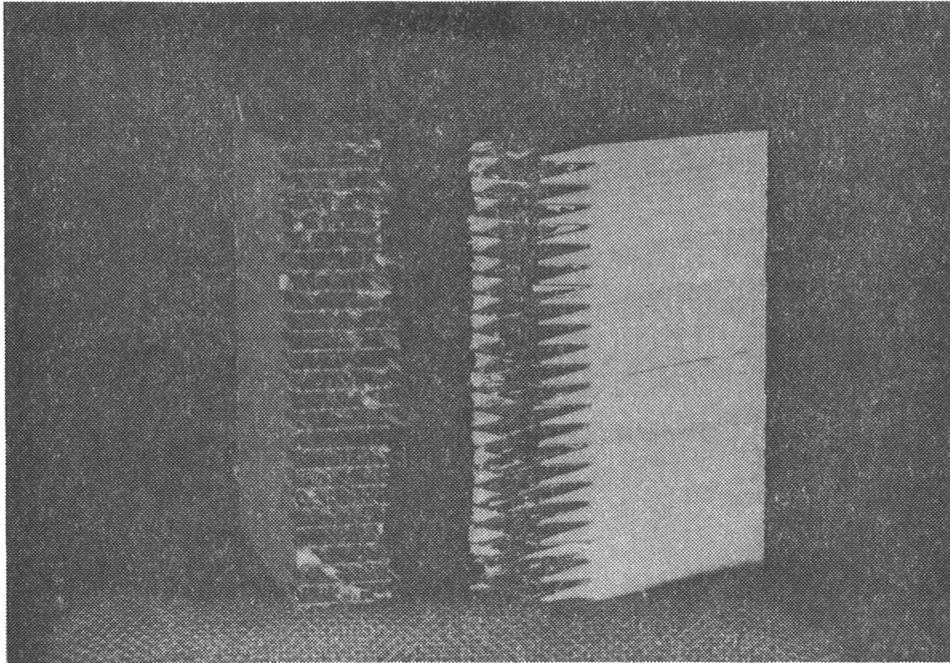


Bild 9: Ordnungsgemäße Keilzinkenverbindung mit 100%-igem Keilzinkenversagen

3.2.2.2 Proben mit überwiegendem Holzversagen

Bei insgesamt 679 Proben verlief die Bruchfläche zumindest teilweise im Holz, d.h. nicht entlang der Zinkenflanken.

In den Fällen, in denen das Versagen sowohl im Astbereich als auch entlang der Keilzinkenflanken auftrat (siehe Bild 10) war es nicht möglich, die Bruchursache (Ast oder Keilzinkenverbindung) eindeutig zu definieren. Daher war es auch nicht möglich, diese Versuchswerte von der weiteren Auswertung auszuschließen, weil ja die Keilzinkenverbindung zumindest teilweise beteiligt war.

Wie bei den Proben mit Keilzinkenversagen wurden in die Gruppe der Proben mit Holzversagen nur diejenigen Prüfkörper aufgenommen, bei denen die Bruchfläche mindestens zu 80% im Holz verlief (siehe z.B. Bild 11). Die mittlere Biegefestigkeit dieser 185 Proben lag bei $46,9 \text{ N/mm}^2$ bei einer Standardabweichung von $7,6 \text{ N/mm}^2$.

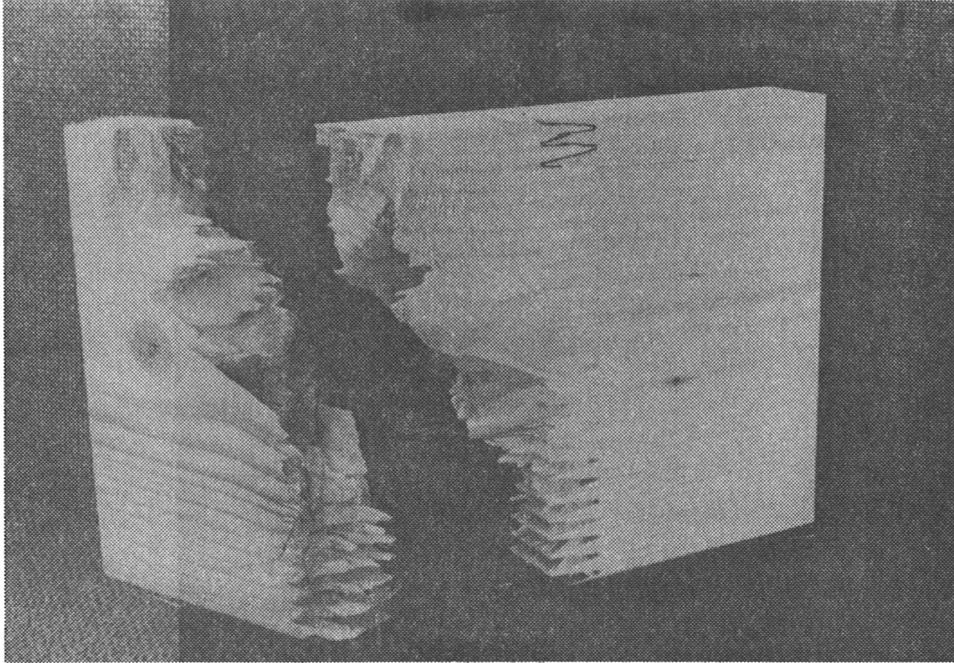


Bild 10: Gleichzeitiges Versagen im Ast- und Keilzinkenbereich

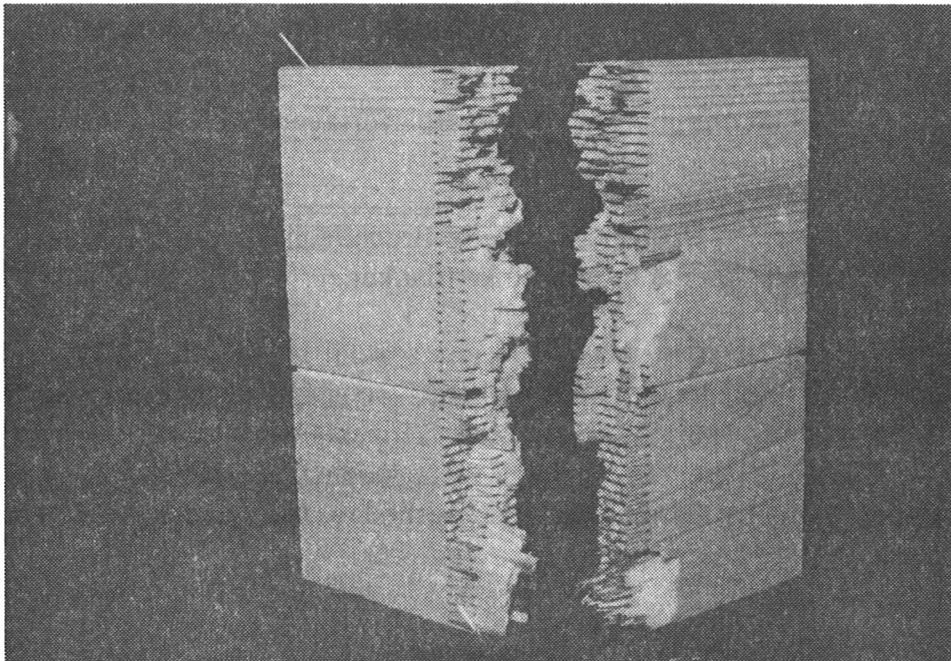


Bild 11: Keilzinkenverbindung mit überwiegendem Holzversagen

3.2.2.3 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 12*). Für diese insgesamt 402 Proben ergab sich die Biegefestigkeit im Mittel zu $50,9 \text{ N/mm}^2$ bei einer Standardabweichung von $8,0 \text{ N/mm}^2$.

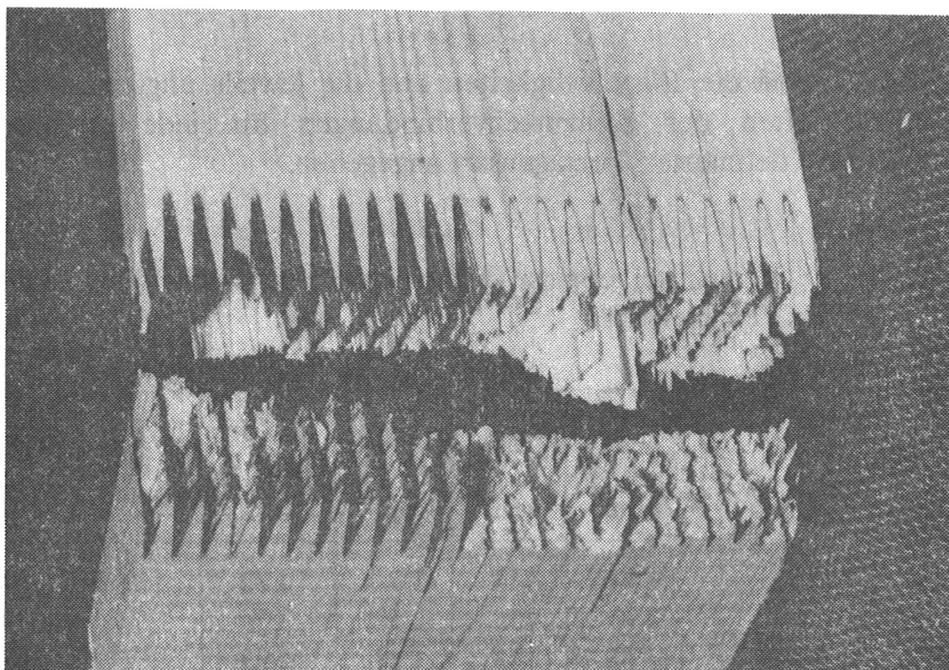


Bild 12: Keilzinkenverbindung mit Mischbruch

3.2.3 Einfluß der Holzeigenschaften

Bei den Proben mit Holzversagen entsprechend *Abschnitt 2.2.2* trat das Versagen in 2 von 3 Fällen in der Stoßhälfte mit dem geringeren Elastizitätsmodul auf. In den Fällen, in denen das Versagen im "besseren" Brett eintrat, war die Differenz der beiden Elastizitätsmoduln nur gering, so daß die Möglichkeit eines Versagens im Brett mit dem höheren Elastizitätsmodul infolge der natürlichen Streuung der Festigkeitseigenschaften gegeben war. Bei diesen Untersuchungen bestätigte sich also die in *Abschnitt 2* bereits beschriebene Beobachtung, daß die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen vom Brett mit den "schlechteren" Holzeigenschaften bestimmt wird.

Daher wurden bei den Auswertungen der Versuchsdaten der jeweils kleinere Wert des Elastizitätsmoduls und der Rohdichte sowie der jeweils größere Wert der Jahrringbreite und des Frühholzanteiles der beiden Stoßhälften verwendet.

3.2.3.1 Einfluß des Elastizitätsmoduls, der Rohdichte, der Jahrringbreite und des Frühholzanteiles

In *Tabelle 1* sind die Biegefestigkeiten und die jeweils ungünstigsten Holzeigenschaften der Keilzinkenverbindungen für jede der in *Abschnitt 3.2.2* definierte Versagensart angegeben.

Tabelle 1: Versuchsergebnisse (Mittelwerte); Unterscheidung nach Versagensart

	f_B	E_{\min}	ρ_{\min}	Jrb	max Jrb	Fh	max Fh
	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	mm	mm	%	%
Alle	50,6	12340	444	2,91	4,33	76	84
80% KzB	53,0	13470	455	2,50	3,79	74	83
80% HB	46,9	11130	433	3,28	4,93	76	85
MB	50,9	12140	442	3,00	4,40	76	85

Hierin bedeuten

- f_B = Biegefestigkeit,
- E_{\min} = kleinerer Elastizitätsmodul der beiden Stoßhälften,
- ρ_{\min} = kleinere Rohdichte der beiden Stoßhälften,
- Jrb = größte mittlere Jahrringbreite der beiden Stoßhälften,
- max Jrb = größte maximale Jahrringbreite der beiden Stoßhälften,
- Fh = größter mittlerer Frühholzanteil der beiden Stoßhälften,
- max Fh = größter maximaler Frühholzanteil der beiden Stoßhälften,
- KzB = Keilzinkenbruch,
- HB = Holzbruch,
- MB = Mischbruch.

Die angegebenen Werte gelten für eine Holzfeuchte von etwa 12%, die sich bis zum Prüfungszeitpunkt nach Zwischenlagerung im Labor eingestellt hatte.

Aus dieser Tabelle geht hervor, daß entgegen der bisher weitverbreiteten Meinung ein überwiegendes Keilzinkenversagen nicht gleichbedeutend sein muß mit einer schlecht ausgeführten Keilzinkenverbindung. Die Tatsache, daß ein Keilzinkenversagen auftritt, läßt nur den Schluß zu, daß die Biegefestigkeit des Holzes so hoch war, daß ein Scherversagen entlang der Keilzinkenflanken erzwungen wurde.

Dies erklärt auch, daß bei den in *Abschnitt 2* beschriebenen Versuchen von *Radovic/Rohlfing* mit Keilzinkenverbindungen aus Furnierschichtholz das Versagen in allen Fällen entlang der Zinkenflanken eintrat. Die durch die Vergütung des Holzes bzgl. Ästigkeit, Elastizitätsmodul, Rohdichte und Jahrringbreite erreichte höhere Holzfestigkeit des Furnierschichtholzes bewirkte ein reines Keilzinkenversagen.

Um den Einfluß der Holzeigenschaften auf die Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen näher zu untersuchen, wurde für jede der o.a. Gruppen eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt. In *Tabelle 2* sind die ermittelten Korrelationskoeffizienten für die Abhängigkeiten zwischen der Keilzinkenbiegefestigkeit und den verschiedenen Holzeigenschaften angegeben.

Tabelle 2: Korrelationskoeffizienten für die Abhängigkeiten zwischen der Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen und den zugehörigen Holzeigenschaften

	E_{\min}	ρ_{\min}	Jrb	max Jrb	Fh	max Fh
Alle	0,509	0,499	-0,421	-0,424	-0,266	-0,253
80% KzB	0,497	0,437	-0,474	-0,448	-0,200	-0,150
80% HB	0,494	0,546	-0,515	-0,503	-0,392	-0,374
MB	0,422	0,477	-0,272	-0,282	-0,226	-0,226

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß in allen Gruppen mit besseren Holzeigenschaften auch höhere Biegefestigkeiten zu erwarten sind.

Weiterhin ist zu erkennen, daß für die Gruppe der Keilzinkenverbindungen mit überwiegendem Holzversagen die engsten Beziehungen zwischen Biegefestigkeit und den Holzeigenschaften bestehen, während die Gruppe mit Keilzinkenversagen etwas geringere Korrelationskoeffizienten aufweist.

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

In Table 3 sind neben den einfachen auch die multiplen Korrelationskoeffizienten für die Abhängigkeiten zwischen der Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen und den wichtigsten Holzeigenschaften angegeben.

Table 3: Korrelationskoeffizienten für die Abhängigkeiten zwischen der Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen und den wichtigsten Holzeigenschaften

Alle	80% KzB	80% HB	MB	E_{\min}	ρ_{\min}	max Jrb	max Fh
0,509	0,497	0,494	0,422	x			
0,499	0,437	0,546	0,477		x		
-0,424	-0,448	-0,503	-0,282			x	
-0,253	-0,150	-0,374	-0,226				x
0,554	0,508	0,577	0,513	x	x		
0,578	0,553	0,635	0,519	x	x	x	
0,578	0,558	0,643	0,519	x	x	x	x

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß eine zusätzliche Ermittlung der maximalen Jahrringbreite eine weitere Steigerung des Korrelationskoeffizienten ermöglicht. In Anbetracht der o.a. vergleichsweise unzuverlässigen Bestimmbarkeit der maximalen Jahrringbreite erscheint jedoch der Aufwand für diese Art der kombinierten maschinellen/visuellen Holzsortierung nicht gerechtfertigt. Der maximale Frühholzanteil übt offensichtlich keinen bedeutungsvollen zusätzlichen Einfluß auf die Keilzinkenbiegefestigkeit aus.

In *Bild 13 - 16* ist die Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit vom jeweils kleineren Wert des Elastizitätsmoduls (E_{\min}) und der Rohdichte (ρ_{\min}) sowie von der maximalen Jahrringbreite (max Jrb) und dem maximalen Frühholzanteil (max Fh) der beiden Stoßhälften für alle Proben (d.h. 845 Proben) 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.

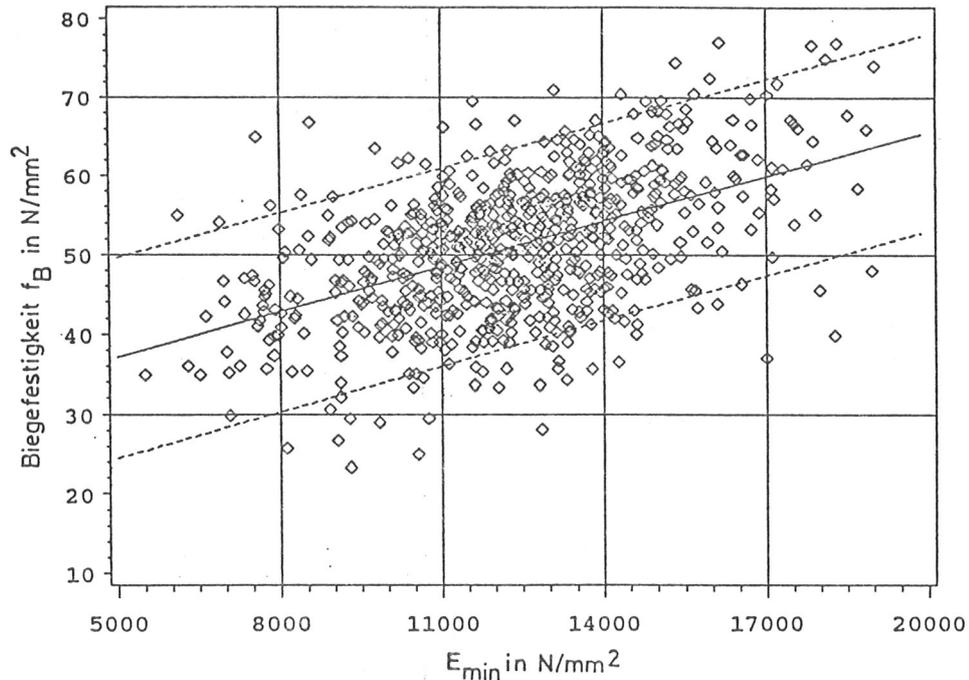


Bild 13: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit vom kleineren Elastizitätsmodul E_{\min} der beiden Stoßhälften; 845 Proben

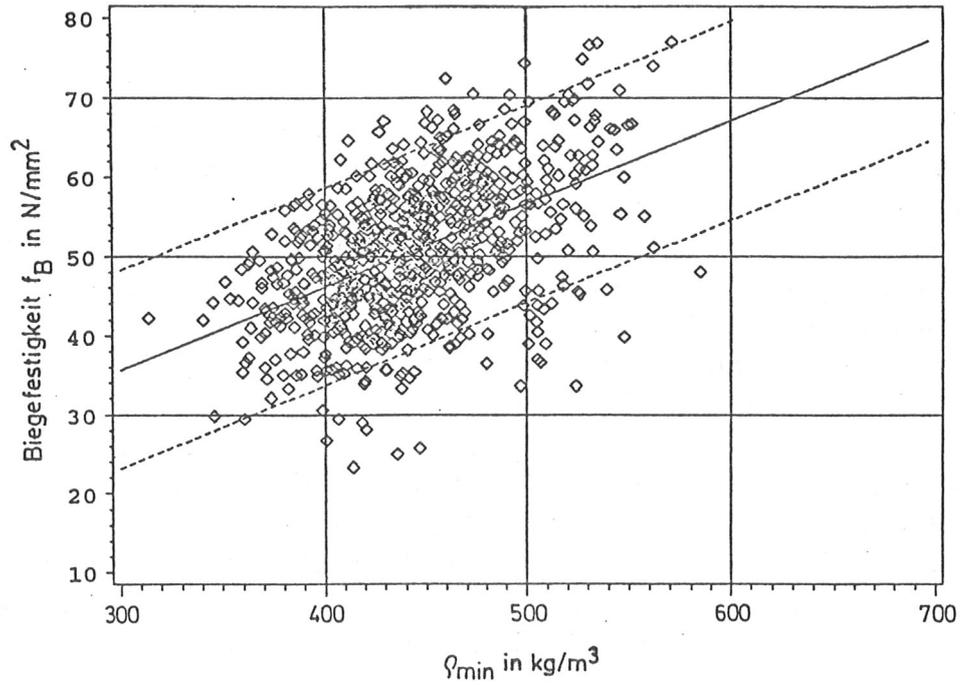


Bild 14: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit von der kleineren Rohdichte ρ_{\min} der beiden Stoßhälften; 845 Proben

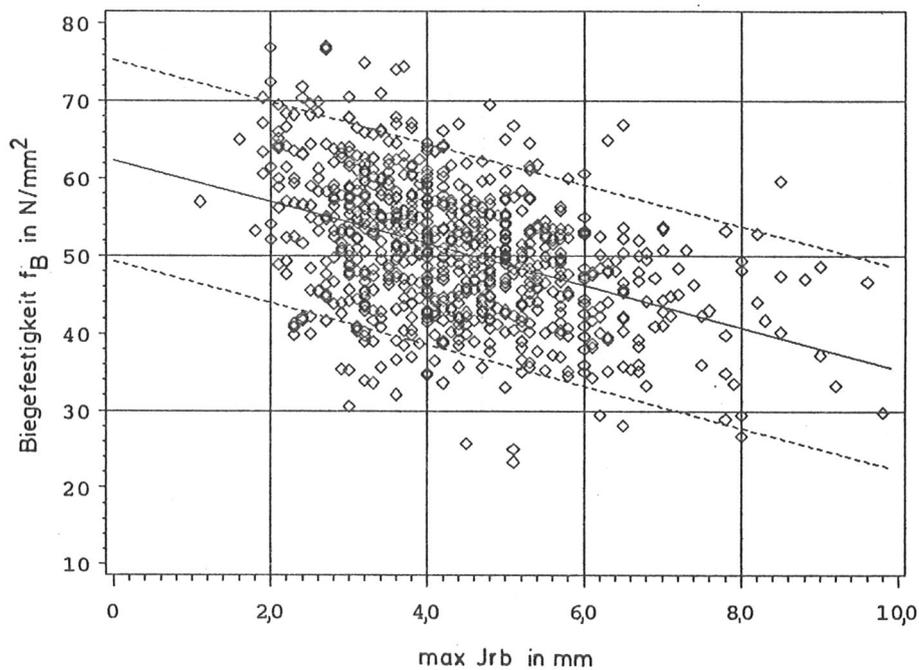


Bild 15: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit von der maximalen Jahrringbreite $\max \text{Jrb}$; 845 Proben

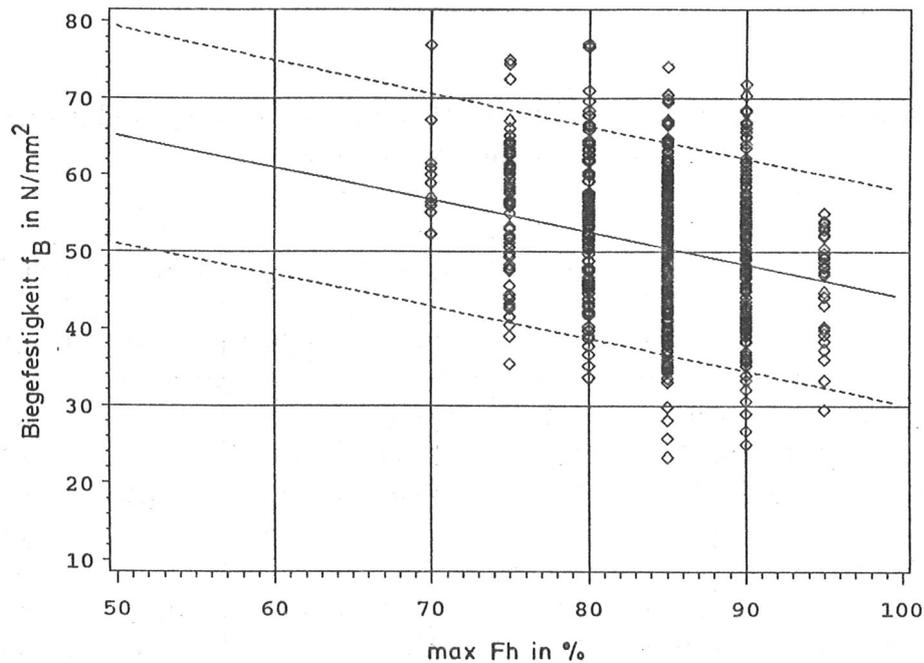


Bild 16: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit vom maximalen Frühholzanteil max Fh; 845 Proben

3.2.3.2 Einfluß der Markröhre

Wie in *Abschnitt 2* beschrieben, stellte *Moody* bei seinen Untersuchungen bereits fest, daß Keilzinkenverbindungen mit markhaltigem oder marknahem Holz eine geringere Tragfähigkeit aufweisen als Keilzinkenverbindungen ohne Markanteil. Daher wurde bei den hier beschriebenen Untersuchungen geprüft, ob in einer Stoßhälfte die Markröhre enthalten war oder nicht. Hierbei stellte sich heraus, daß in etwa 1/6 aller Fälle die Markröhre in mindestens einer Stoßhälfte auftrat. In *Tabelle 4* sind die Versuchsergebnisse sowohl für die Proben mit als auch ohne Markröhre vergleichend gegenübergestellt.

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 kann damit erklärt werden, daß die überdurchschnittlich großen ersten Jahrringe eines Baumes die Rohdichte und den Elastizitätsmodul im Bereich der Markröhre abmindern und folglich die Tragfähigkeit der betreffenden Keilzinkenverbindungen beeinträchtigen.

Tabelle 4: Versuchsergebnisse (Mittelwerte); Unterscheidung nach Proben mit und ohne Markröhre

		f_B	E_{\min}	ρ_{\min}	max Jrb	max Fh
		N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	mm	%
Proben ohne Mark- röhre	Alle	51,2	12560	445	4,25	84
	80% KzB	53,2	13600	456	3,76	83
	80% HB	47,4	11240	435	4,83	85
	MB	51,7	12380	442	4,32	84
Proben mit Mark- röhre	Alle	47,8	11290	437	4,72	87
	80% KzB	51,4	12270	449	3,96	85
	80% HB	44,8	10630	422	5,36	88
	MB	47,8	11240	439	4,73	87

Diese Aussage beschränkt sich jedoch nicht nur auf Proben, bei denen die Markröhre direkt enthalten war, sondern sie gilt auch für Proben mit marknahem Holz. Da aber bei einer Vielzahl von Proben die Markröhre nur knapp außerhalb des Brettquerschnittes lag, ist zu vermuten, daß auch die Tragfähigkeit dieser Keilzinkenverbindungen vom marknahen Holz (juvenile wood) mit geringeren Festigkeits-eigenschaften zumindest teilweise beeinflußt wird. Die Versuchsergebnisse zeigen aber, daß allein das Vorhandensein der Markröhre ausreicht, die Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindungen zu beeinträchtigen.

Bei einer maschinellen Holzsortierung erscheint eine Vorsortierung auch bzgl. der Markröhre möglich. Aufgrund der Abhängigkeit, die zwischen der Jahrringbreite und der Rohdichte bzw. dem Elastizitätsmodul besteht, ist die Wahrscheinlichkeit gering, daß ein Brett mit Markröhre die an hochwertige Decklamellen gestellten Anforderungen bzgl. der Rohdichte oder des Elastizitätsmoduls erfüllt.

3.2.4 Einfluß der Keilzinkengeometrie

Von den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Keilzinkenverbindungen besaßen insgesamt 640 eine Zinken - Nennlänge von 20 mm und 205 eine Länge von 15 mm. Für jedes dieser beiden Keilzinkenprofile sind die Versuchsergebnisse in *Tabelle 5* angegeben.

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß das 15 mm - Profil in allen Gruppen im Mittel höhere Biegefestigkeiten aufweist als das 20 mm - Profil. Ein Vergleich der Holzeigenschaften zeigt, daß lediglich die Gruppe der Proben mit überwiegenderem Keilzinkenversagen unterschiedliche Materialeigenschaften aufwiesen, womit der in dieser Gruppe festgestellte deutliche Tragfähigkeitsunterschied zu einem gewissen Teil erklärt werden kann. Dennoch deuten die Versuchsergebnisse darauf hin, daß mit dem 15 mm - Profil im Mittel höhere Festigkeiten zu erreichen sind, als mit dem 20 mm - Profil.

Tabelle 5: Versuchsergebnisse (Mittelwerte); Unterscheidung nach Keilzinkenprofil

		f_B	E_{min}	ρ_{min}	max Jrb	max Fh
		N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	mm	%
15 mm- Profil	Alle	53,6	12420	446	4,28	84
	80% KzB	59,7	14580	466	3,40	82
	80% HB	48,2	10640	431	5,10	85
	MB	53,7	12080	442	4,25	84
20 mm- Profil	Alle	49,7	12320	443	4,34	85
	80% KzB	51,1	13170	452	3,89	84
	80% HB	46,3	11330	433	4,84	85
	MB	50,2	12160	441	4,44	85

Um den Einfluß der Keilzinkengeometrie genauer zu untersuchen, wurden von jeder geprüften Keilzinkenverbindung die tatsächlich vorhandenen Abmessungen aufgenommen und in die spätere Auswertung mit einbezogen. In *Tabelle 6* sind diese gemessenen Keilzinkenabmessungen für jedes Profil angegeben.

Daraus geht hervor, daß die Abmessungen der Keilzinkenprofile z.T. beträchtlichen Schwankungen unterworfen sind und daß beim 15 mm - Profil die Zinkengrundbreite b kleiner und das Verhältnis $\varphi = 2 l_L/t$ größer ist als beim 20 mm - Profil.

Tabelle 6: Gemessene Keilzinkenabmessungen

		Kleinstwert	Mittelwert	Größt- wert
15 mm- Profil	l [mm]	12,2	13,3	14,2
	t [mm]	3,5	3,8	4,0
	b [mm]	0,5	0,7	1,0
	l_L [mm]	12,3	13,3	14,3
	φ [-]	6,2	7,1	7,8
20 mm- Profil	l [mm]	14,5	18,8	21,5
	t [mm]	5,7	6,3	7,2
	b [mm]	1,0	1,1	1,8
	l_L [mm]	14,6	18,9	21,6
	φ [-]	4,7	6,0	6,8

Diese beiden Faktoren, auf deren Bedeutung für die Festigkeitseigenschaften einer Keilzinkenverbindung bereits in *Abschnitt 2* hingewiesen wurde, erklären einen Teil der festgestellten Festigkeitsunterschiede. Deshalb wurde mit Hilfe einer Regressionsanalyse die Abhängigkeit zwischen der Keilzinkenbiegefestigkeit und diesen beiden festigkeitsrelevanten Einflußgrößen untersucht. In Tabelle 7 sind die zugehörigen Korrelationskoeffizienten angegeben.

Aus dieser Tabelle ist allerdings zu erkennen, daß diese beiden Einflußgrößen lediglich bei den Proben mit überwiegendem Keilzinkenversagen einen signifikanten Einfluß ausüben. Dies deutet wiederum darauf hin, daß die günstigeren Profileigenschaften des 15 mm - Profiles erst dann richtig zum tragen kommen, wenn mit Hilfe einer geeigneten Holzsortierung gewährleistet werden kann, daß kein Holzversagen mehr eintritt. Diese Tendenz deutete sich bereits bei den Versuchsergebnissen in *Tabelle 5* an, bei denen in der Gruppe mit überwiegendem Keilzinkenversagen die größten Festigkeitsunterschiede zu verzeichnen waren.

Tabelle 7: Korrelationskoeffizienten für die Abhängigkeiten zwischen der Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen und der Zinkengrundbreite b sowie dem Verhältnis $\varphi = 2 l_L/t$

	b	φ
Alle	-0,147	0,235
80% KzB	-0,275	0,308
80% HB	-0,094	0,249
MB	-0,153	0,268

In **Bild 17** ist die Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit vom Verhältnis $\varphi = 2 l_L/t$ für die 258 Proben mit überwiegend Keilzinkenversagen dargestellt.

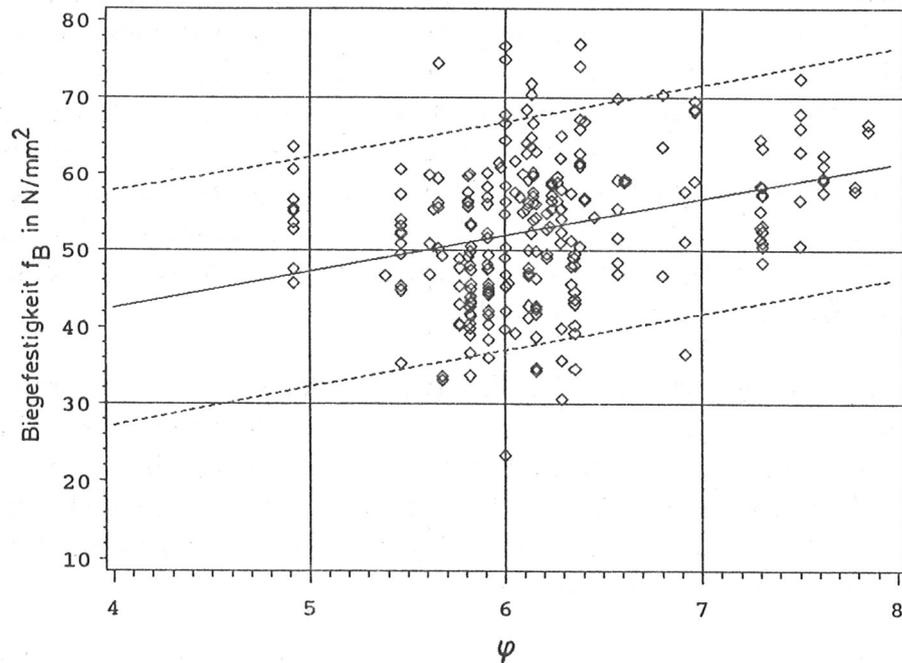


Bild 17: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit vom Verhältnis $\varphi = 2 l_L/t$; Proben mit überwiegend Keilzinkenversagen

3.2.5 Einfluß von produktionsabhängigen Faktoren

Ziel der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen war ursprünglich eine reine Bestandsaufnahme der in den deutschen Leimbaubetrieben hergestellten Keilzinkenverbindungen. Eine detailliertere Auswertung der Keilzinkenbiegefestigkeit in Abhängigkeit von den beeinflussenden Faktoren wurde erst nachträglich ins Auge gefaßt.

Mit Hilfe einer Untersuchung, bei der die Proben nach zufälligen Gesichtspunkten aus der laufenden Produktion entnommen werden, ist es jedoch nur sehr schwer möglich, den Einfluß eines einzelnen Einflußparameters zahlenmäßig zu erfassen, weil alle anderen Einflußgrößen nicht konstant, sondern ebenfalls Schwankungen unterworfen sind.

Die Tatsache, daß ein Einfluß der Holzeigenschaften und der Keilzinkenabmessungen nachgewiesen werden konnte, weist erneut auf die Bedeutung dieser Faktoren auf die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen hin. Dieser Nachweis war aber nur deshalb möglich, weil die Holzeigenschaften und die Keilzinkenabmessungen eindeutig im Labor bestimmt werden konnten, was bei den produktionsabhängigen Faktoren nicht der Fall sein kann. Daher waren einige festigkeitsrelevante Einflußgrößen, wie z.B. die Holzfeuchte jeder Stoßhälfte zum Zeitpunkt der Verleimung, die Standzeit des Leimes oder der aufgebrauchte Längspreßdruck im Nachhinein nicht mehr feststellbar und ihre Bedeutung nicht nachweisbar.

La In einer Umfrage wurden alle Firmen, bei denen Keilzinkenproben entnommen wurden, darum gebeten, nähere Angaben über ihre Keilzinkenproduktion zu machen, wobei besonders Angaben über die verwendeten Leime, die Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang (Einzel- oder Paketfräse) und die Arbeitsleistung der Fräser zum Zeitpunkt der Probenentnahme von Interesse waren.

Nur von 18 beteiligten Firmen konnten Angaben erhalten werden, wobei die gemachten Angaben z.T. ungenau und unvollständig blieben. Eine zahlenmäßige Erfassung des Einflusses einzelner produktionsabhängiger Faktoren auf die Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen war daher im Rahmen dieser Untersuchung nur in begrenztem Umfang möglich.

3.2.5.1 Einfluß der Leimart

Von allen Proben war die verwendete Leimart (Harnstoff- oder Resorcinharzleim) bekannt, da diese mit dem bloßen Auge zu unterscheiden ist. Hierbei war die überwiegende Anzahl der Keilzinkenverbindungen mit Resorcinharz verleimt (645 von 845 Proben). Für beide Leimarten sind die Versuchsergebnisse in *Tabelle 8* getrennt angegeben.

Tabelle 8: Versuchsergebnisse (Mittelwerte); Unterscheidung nach Leimart

		f_B	E_{\min}	ρ_{\min}	max Jrb	max Fh
		N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	mm	%
Resorcin	Alle	50,6	12270	445	4,32	84
	80% KzB	52,4	13410	454	3,79	83
	80% HB	47,4	10940	434	4,95	85
	MB	50,9	12060	443	4,39	85
Harnstoff	Alle	50,7	12580	441	4,36	86
	80% KzB	55,3	13720	463	3,75	86
	80% HB	45,8	11620	428	4,87	87
	MB	50,9	12460	435	4,41	86

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß die Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindungen für beide Leimarten vergleichbar sind, und daß etwaige Festigkeitsunterschiede über die Holzeigenschaften erklärt werden können.

Im Rahmen dieser Untersuchungen konnte somit kein Einfluß der Leimart nachgewiesen werden. Daher wurde auf eine weitere Auswertung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Leimfabrikate und der zugehörigen Härter verzichtet.

3.2.5.2 Einfluß der Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang

Bei den im folgenden beschriebenen Auswertungen wurden nur die Keilzinkenverbindungen der Firmen einbezogen, von denen nähere Angaben über die Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang bekannt waren. Diese Angaben reichten von einer Lamelle (Einzelfräsung) bis hin zu einer Paketfräsung mit bis zu 10 Lamellen.

Mit Hilfe einer Regressionsanalyse wurde die Abhängigkeit zwischen der Keilzinkenbiegefestigkeit und der Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang untersucht. Die zugehörigen Korrelationskoeffizienten sind in *Tabelle 9* angegeben.

Tabelle 9: Korrelationskoeffizienten für die Abhängigkeit zwischen der Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen und der Anzahl LF der Lamellen je Fräsvorgang

	Alle	80% KzB	80% HB	MB
LF	0,215	0,405	0,085	0,279

Aus dieser Tabelle ist ein signifikanter Einfluß der Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang nur bei den Proben mit überwiegendem Keilzinkenversagen zu erkennen. Für diese Proben ist die o.a. Abhängigkeit in *Bild 18* dargestellt.

Um einen besseren Vergleich zu ermöglichen, sind in diesem Bild zusätzlich der mittlere Elastizitätsmodul E_{\min} und die mittlere Rohdichte ρ_{\min} der zugehörigen Proben angegeben.

Aus diesem Bild ist zu erkennen, daß im Vergleich zur Einzelfräsung bereits ab zwei Lamellen höhere Festigkeitswerte (bei vergleichbaren Holzeigenschaften) zu erwarten sind. Der Hauptgrund für diese Tendenz liegt darin, daß im Falle der Einzelfräsung bei jeder Keilzinkenverbindung die Gefahr besteht, daß das Brett am Ende des Fräsvorganges ausfranst. Im Falle einer Paketfräsung hingegen besteht diese Gefahr nur beim letzten Brett des Paketes, so daß hier der Anteil der "beschädigten" Keilzinkenverbindungen geringer ist.

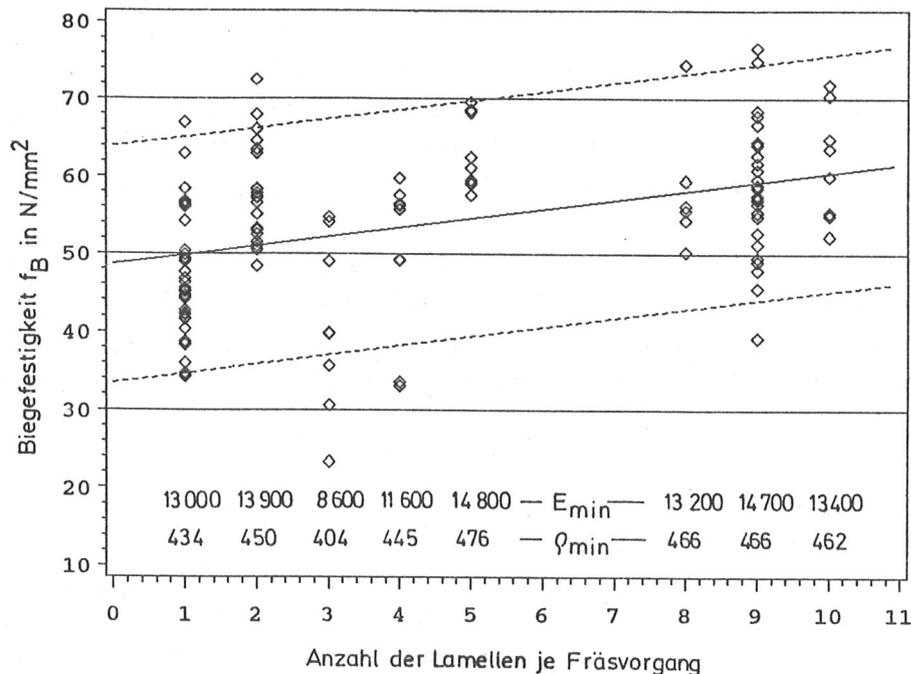


Bild 18: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen mit überwiegendem Keilzinkenversagen in Abhängigkeit von der Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang

3.2.5.3 Einfluß der Fräserleistung

Wichtige Informationen erwartete man sich bzgl. der Fräserleistungen zum Zeitpunkt der Probenentnahme, um deren Einfluß auf die Keilzinkenbiegefestigkeit untersuchen zu können.

Insgesamt 18 Betriebe machten Angaben über die mittleren Arbeitsleistungen ihrer Fräser, wobei sich diese Angaben jedoch auf unterschiedliche Größen bezogen :

- am eindeutigsten war die Angabe der Zahl der Fräsvorgänge, die, multipliziert mit der Anzahl der Bretter pro Paket, die Anzahl der gefrästen Keilzinkungen ergab. Laut diesen Angaben schwankt die mittlere Arbeitsleistung eines Fräasersatzes zwischen 2400 und 100000 gefrästen Keilzinkungen;
- andere Betriebe gaben die mittlere Fräserleistung in laufenden Lamellenmetern an, so daß die Anzahl der gefrästen Keilzinkenverbindungen über eine gewählte mittlere Brettlänge abgeschätzt werden mußte;

- wieder andere Firmen gaben die Arbeitsleistung im m^3 Brett-schichtholz an, so daß hier zusätzlich eine mittlere Brettbreite gewählt werden mußte, um einen groben Schätzwert für die Anzahl der insgesamt gefrästen Keilzinkenverbindungen zu erhalten.

Auch die Angaben über die Zeiträume, die zwischen zwei Fräserwechseln liegen, wichen z.T. erheblich voneinander ab. Während in einigen wenigen Betrieben wöchentlich ein Fräserwechsel vorgenommen wird, vergingen bei einer Firma über 4 Monate bis zum nächsten Fräserwechsel.

Neben den mittleren Fräserleistungen waren aber auch Angaben über die Fräserwechsel vor und nach der Probenentnahme erforderlich, um eine Aussage über die Fräserleistung zu diesem Zeitpunkt machen zu können. Hierbei zeigte sich jedoch, daß nur 13 Firmen angeben konnten, wann die Fräser gewechselt worden waren. Es gab also nur wenig Versuchsdaten, bei denen die Fräserleistung zuverlässig als Parameter bekannt war.

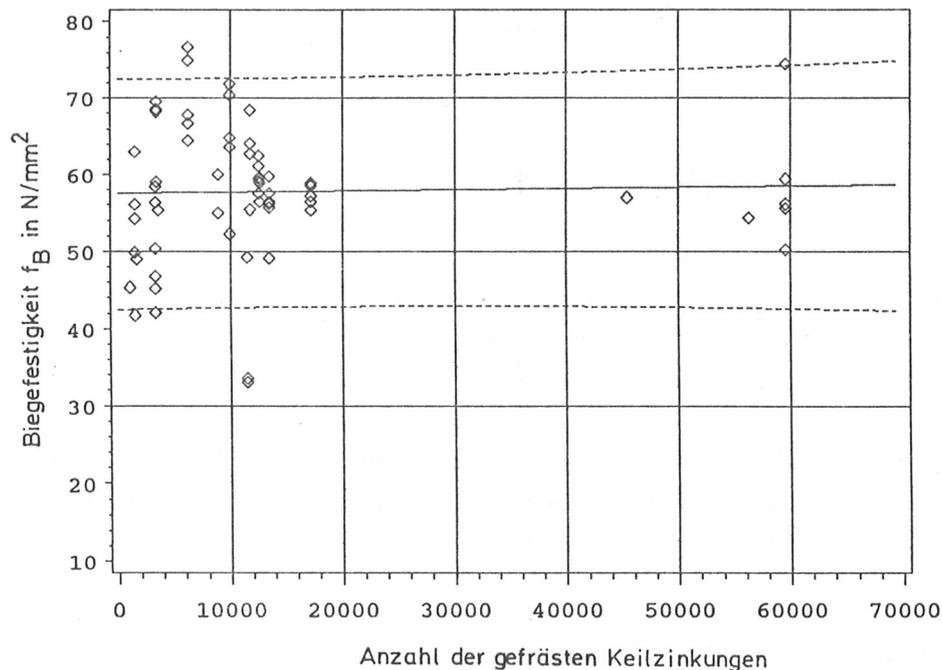


Bild 19: Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit von der Anzahl der gefrästen Keilzinkenverbindungen bis zum Zeitpunkt der Probenentnahme

In Bild 19 ist für die Proben mit überwiegendem Keilzinkenversagen die Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Anzahl der zum Zeitpunkt der Probenentnahme gefrästen Keilzinkungen dargestellt. Aus diesem Bild ist zu erkennen, daß die Anzahl der zur Verfügung stehenden Werte zu gering ist, um eine Aussage über den Einfluß der Fräserleistung auf die Keilzinkenbiegefestigkeit zu ermöglichen.

3.2.6 Firmenvergleich

Aufgrund der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Art der Probenentnahme standen von jeder Firma Keilzinkenverbindungen zur Verfügung, die zu zwei verschiedenen Zeitpunkten hergestellt wurden. Dadurch war eine bessere Abschätzung der mittleren Tragfähigkeit der von den einzelnen Betrieben hergestellten Keilzinkenverbindungen möglich.

Auf der Grundlage der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens festgestellten Ergebnisse konnte ermittelt werden, ob auftretende Festigkeitsunterschiede zwischen den Proben der ersten und der zweiten Serie auf einen der untersuchten Einflußgrößen zurückgeführt werden können.

In den Bildern 20 - 22 sind für jede Firma die Versuchsergebnisse der bei der Auswertung berücksichtigten Proben jeder Serie dargestellt. Die graphischen Darstellungen geben jeweils den Bereich $m \pm s$ an, wobei m dem Mittelwert und s der zugehörigen Standardabweichung entspricht.

Sämtliche Einzelwerte jeder Versuchsserie sind im Anhang in den Tabellen A.1 bis A.30 getrennt nach der Versagensart angegeben. Aus diesen Tabellen kann entnommen werden, warum einzelne Werte bei der Auswertung und der Darstellung in den Bildern 20 - 22 nicht berücksichtigt wurden.

So war z.B. bei der 2. Serie der Firma 10 ein bei sämtlichen Proben beobachteter reiner Leimbruch ohne Holzfaserbelag der Grund für die Nichtberücksichtigung, während bei der 2. Serie der Firma 21 die schlecht ausgeführten Keilzinkenverbindungen bei insgesamt 13 Proben ein überwiegendes Keilzinkenversagen verursachten. Bei der 2. Serie der Firma 16 hingegen war die Probenlänge mit insgesamt 700 mm zu gering, um nach dem Bruchversuch den Elastizitätsmodul jeder Stoßhälfte bestimmen zu können, so daß in Bild 21 lediglich die Festigkeitswerte angegeben werden konnten.

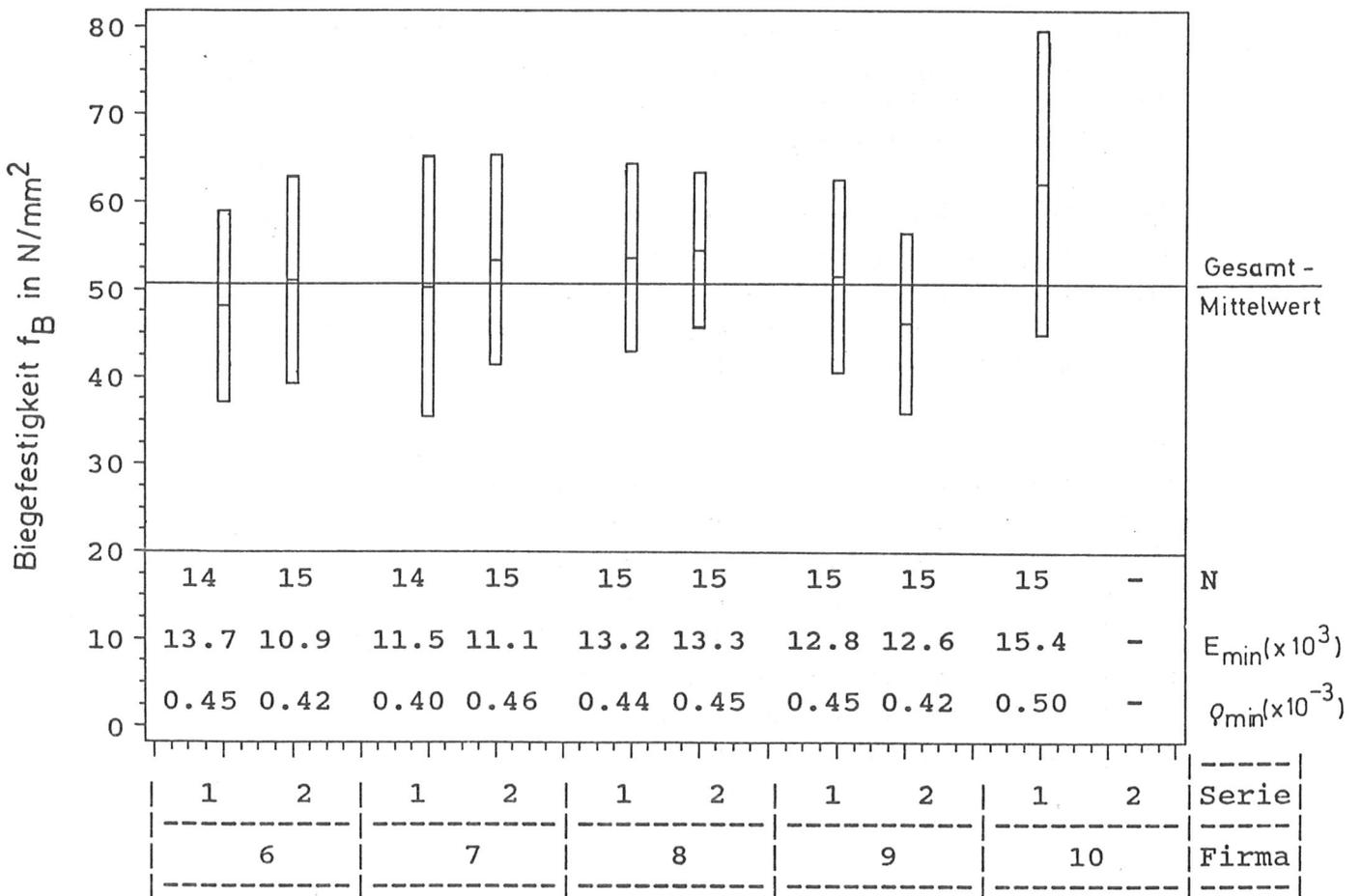
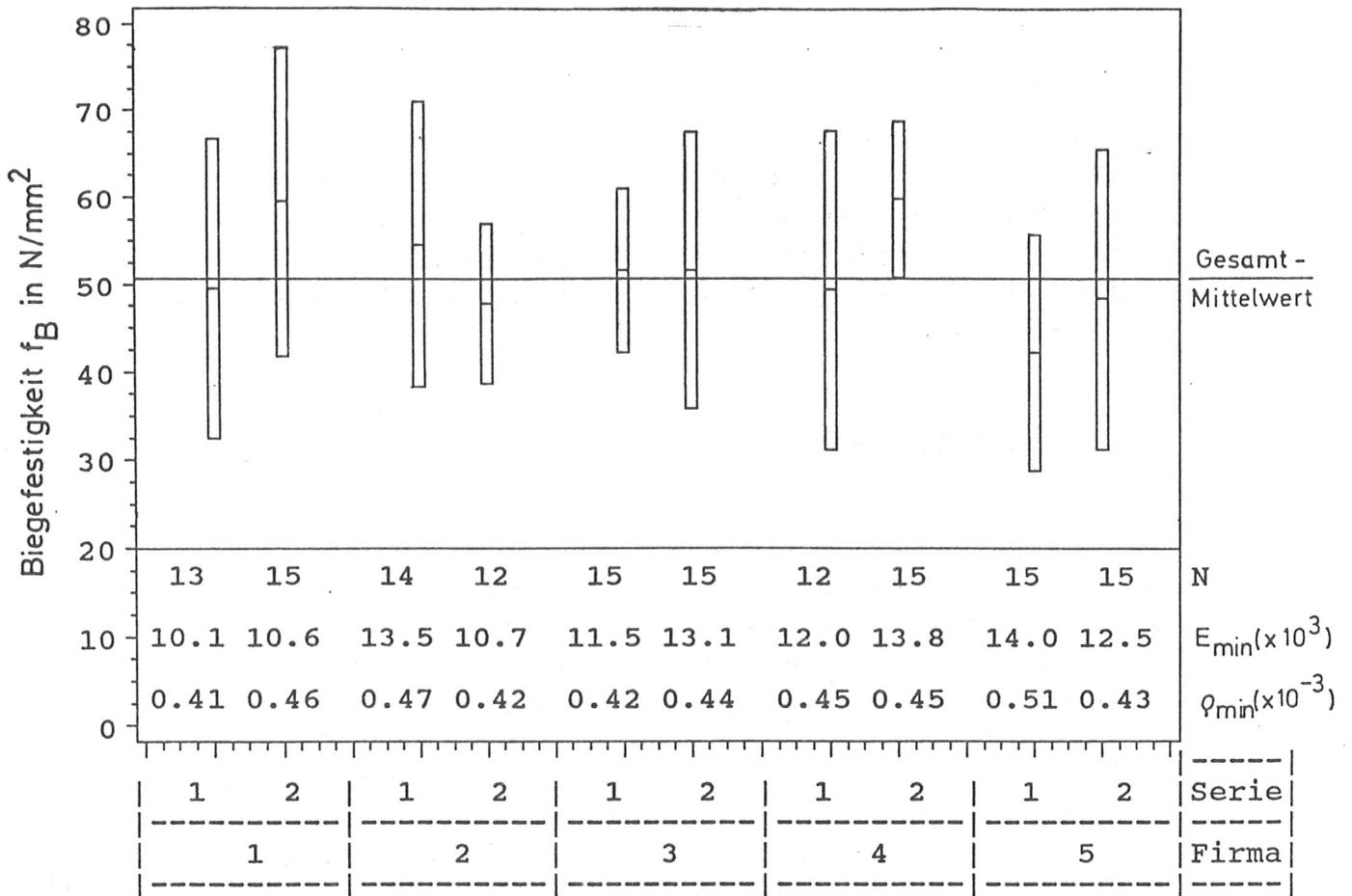


Bild 20: Firmenvergleich; alle Proben; Firma 1 - 10

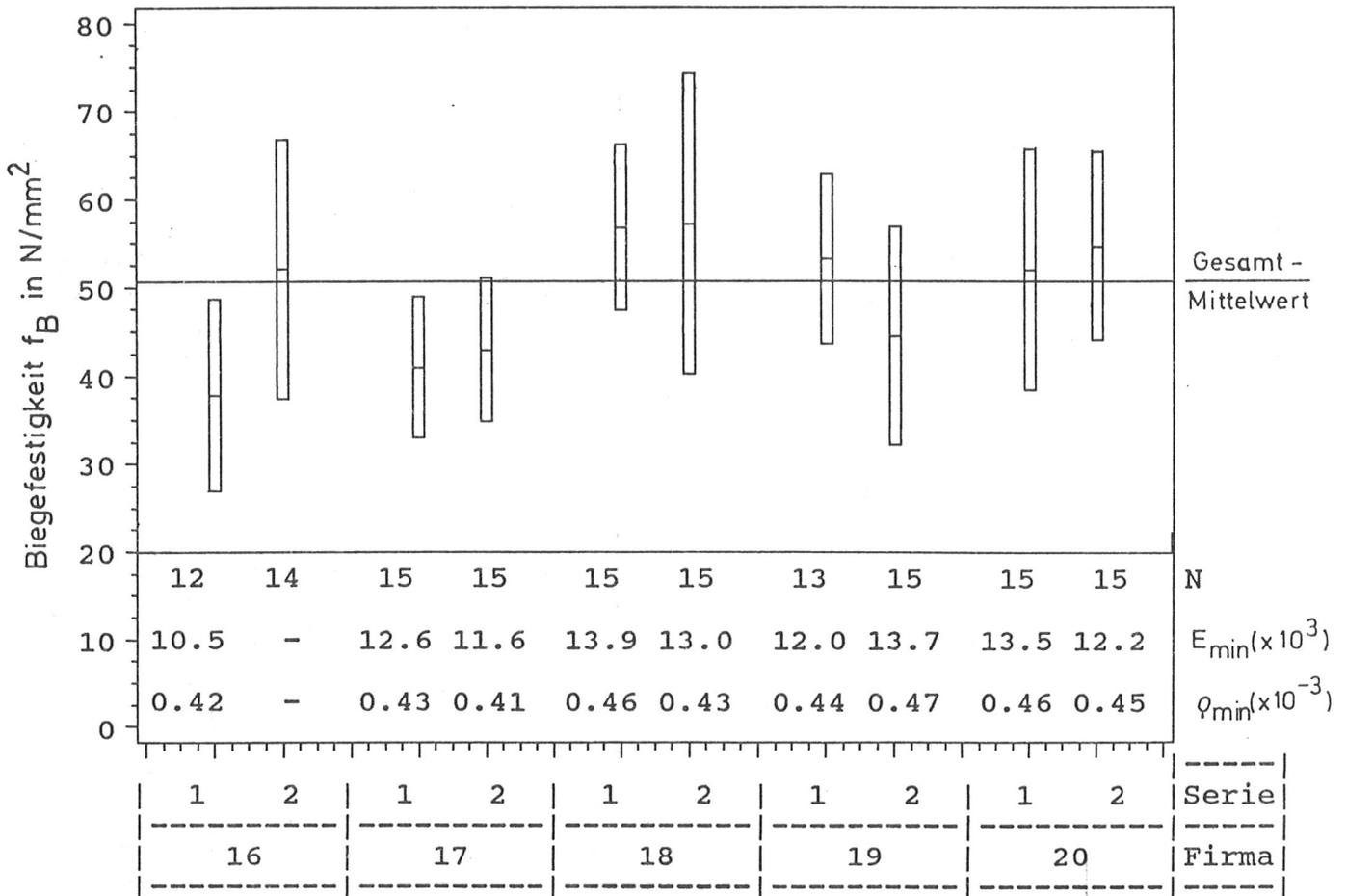
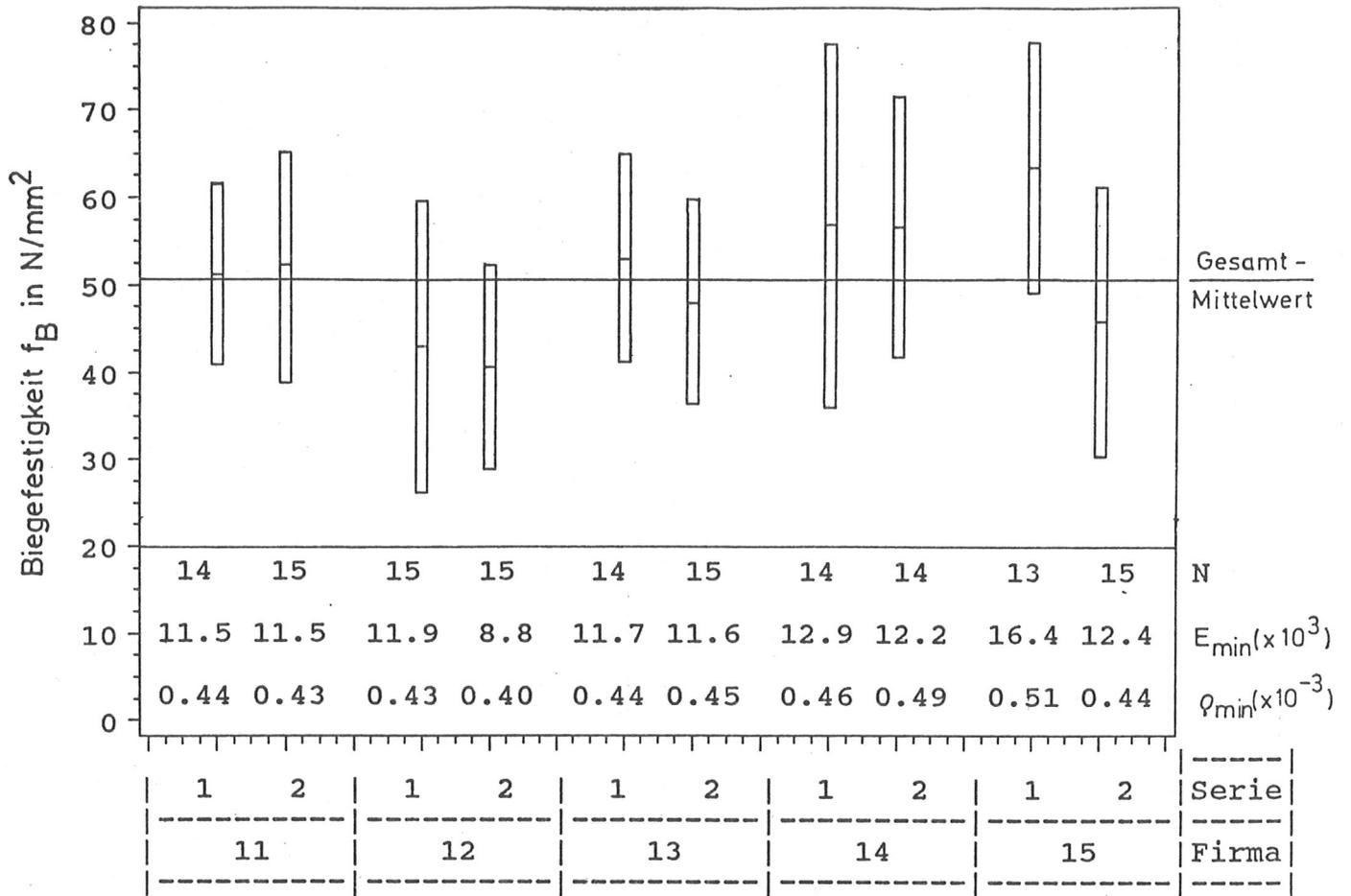


Bild 21: Firmenvergleich; alle Proben; Firma 11 - 20

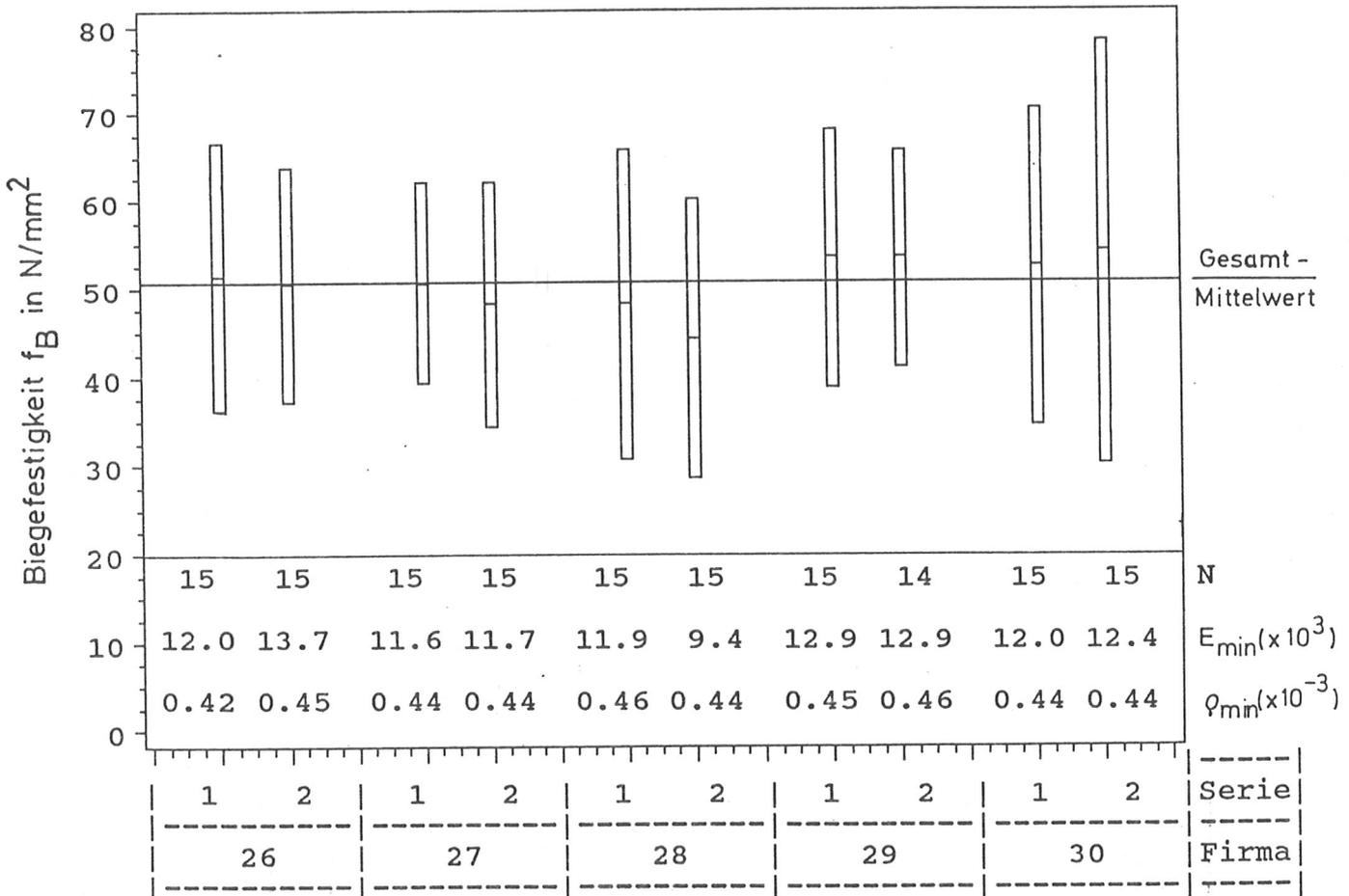
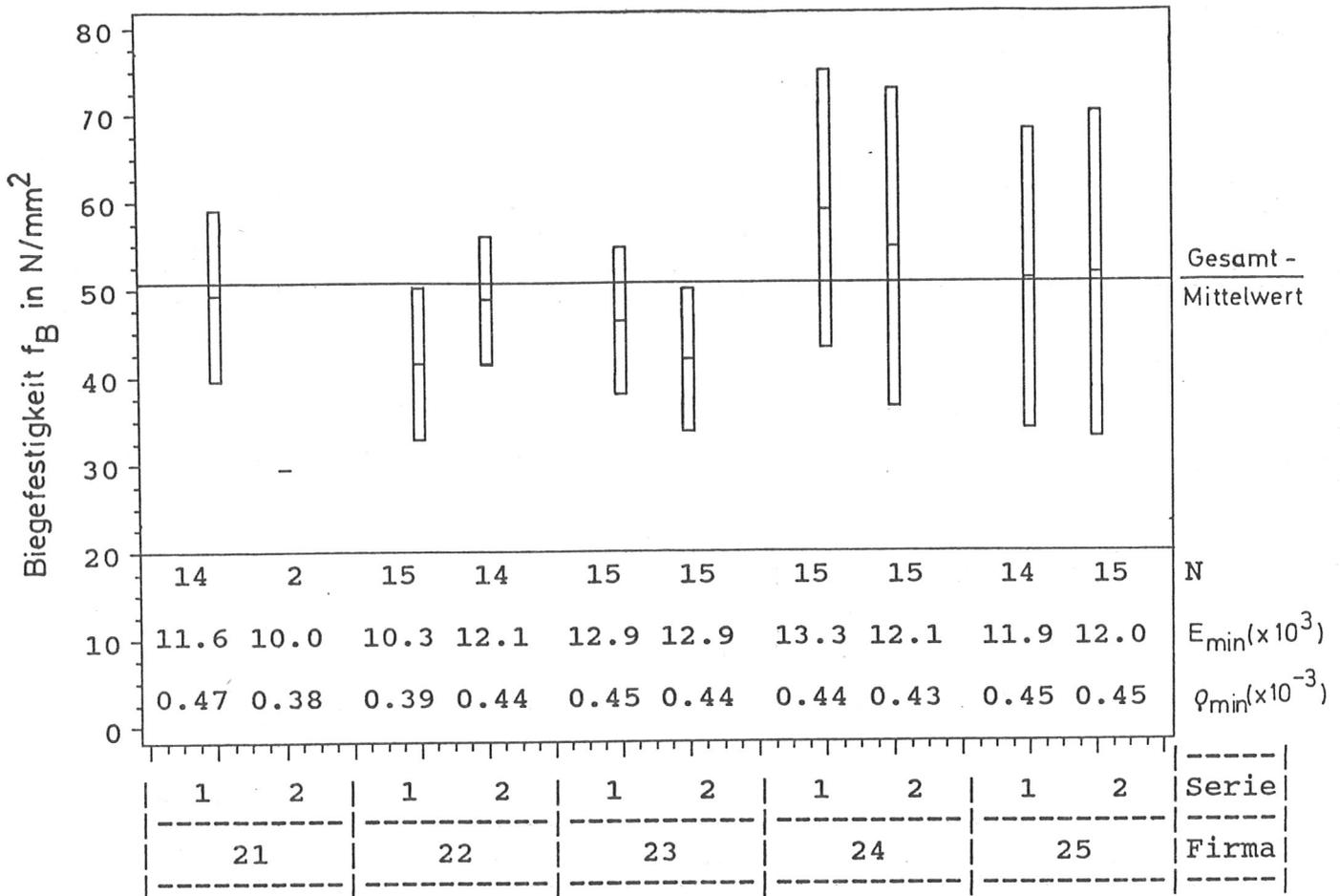


Bild 22: Firmenvergleich; alle Proben; Firma 21 - 30

Auf der Grundlage von *Bild 20 - 22* können die Betriebe in drei verschiedene Gruppen aufgeteilt werden:

- die erste Gruppe besteht aus Firmen, bei denen das Tragverhalten der Keilzinkenverbindungen mit Hilfe der Holzeigenschaften der miteinander verbundenen Bretter erklärt werden kann. Bei einem Teil dieser Gruppe wurden in beiden Serien bei nahezu identischen Holzeigenschaften auch vergleichbare Tragfähigkeiten erzielt (vgl. Firma 8, 11, 25, 27, 29, 30). Der zweite Teil dieser Gruppe besteht aus Firmen, bei denen die Keilzinkenverbindungen der ersten und der zweiten Serie z.T. beträchtliche Unterschiede aufwiesen, die aber aufgrund der unterschiedlichen Werte der Rohdichte und/oder des Elastizitätsmoduls der Bretter erklärt werden können (vgl. Firma 1, 2, 4, 7, 9, 12, 15, 22, 24, 28);
- die zweite Gruppe besteht aus Firmen, bei denen die festgestellten Tragfähigkeitsunterschiede nicht mit Hilfe der Holzeigenschaften erklärt werden können und sogar im Vergleich zur ersten Gruppe gegenläufige Tendenz zeigen (vgl. Firma 5, 6, 17, 19, 26). So wiesen z.B. die Proben der ersten Serie der Firma 5 deutlich bessere Holzeigenschaften auf als die Proben der zweiten Serie und trotzdem lag die Biegefestigkeit dieser Proben im Mittel deutlich unter der der eigentlich "besseren" Serie. Aus *Tabelle A5.1 und A5.2* ist zu erkennen, daß in beiden Serien in den meisten Fällen ein überwiegendes Keilzinkenversagen eingetreten ist. Ein Vergleich mit *Tabelle 1* zeigt, daß die Keilzinkenverbindungen der zweiten Serie mit 80% KzB eine mittlere Biegefestigkeit aufwiesen, die in der gleichen Größenordnung liegt wie das zugehörige Gesamtmittel. Die mittlere Biegefestigkeit der Proben der ersten Serie hingegen liegt deutlich unter diesem Wert. Dies deutet darauf hin, daß die Qualität dieser Keilzinkenverbindungen schlechter war, als dies normalerweise zu erwarten gewesen wäre. Grund hierfür könnten z.B. stumpfe Fräser oder nicht (mehr) ordnungsgemäßer Leim sein. Dieses "unerklärte" Tragverhalten kann nur über produktionsabhängige Faktoren erklärt werden, deren Einfluß zahlenmäßig aber nicht erfaßt werden konnte.
- Die dritte Gruppe besteht aus Firmen, bei denen das Tragverhalten der Keilzinkenverbindungen ebenfalls nicht vollständig über die Holzeigenschaften erklärt werden kann. Die hier auftretenden Unterschiede sind jedoch gegenüber denen der zweiten Gruppe so gering, daß sie möglicherweise nur auf die natürliche Streuung der Holz- und Festigkeitseigenschaften zurückzuführen sind. Hierzu gehören die Firmen 3, 13, 14, 18, 20 und 23.

Insgesamt gesehen bestätigen die o.a. Ausführungen sowohl die Bedeutung der Holzeigenschaften bei ordnungsgemäß hergestellten Keilzinkenverbindungen als auch die Bedeutung der produktionsabhängigen Faktoren, die selbst bei gutem Brettmaterial eine höhere Tragfähigkeit verhindern können.

4 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde die Biegefestigkeit von insgesamt 900 Keilzinkenverbindungen in Abhängigkeit von den wichtigsten Einflußgrößen untersucht. Hierbei wurden folgende Tendenzen festgestellt:

- Voraussetzung für hohe Tragfähigkeiten ist eine ordnungsgemäß, d.h. den Produktionsanforderungen entsprechend hergestellte Keilzinkenverbindung;
- die Tragfähigkeit einer Keilzinkenverbindung wird von der "schlechteren" Stoßhälfte bestimmt, d.h. das Versagen tritt i.d.R. in dem Brett mit den schlechteren Holzeigenschaften auf. Dies bedeutet, daß bei einer Verbindung von Brettern mit stark unterschiedlichen Holzeigenschaften die höheren Festigkeitseigenschaften des besseren Brettes nicht genutzt werden können;
- die Keilzinkenbiegefestigkeit wächst mit steigender Rohdichte, steigendem Elastizitätsmodul und abnehmender Jahrringbreite des Holzes; ein Einfluß des Frühholzanteiles konnte nicht nachgewiesen werden;
- die Proben mit überwiegendem Keilzinkenversagen wiesen im Mittel sowohl bessere Holzeigenschaften als auch höhere Festigkeitswerte auf als die Proben mit überwiegendem Holzversagen. Ein überwiegendes Keilzinkenversagen ist also nicht gleichbedeutend mit einer schlecht ausgeführten Keilzinkenverbindung;
- mit besser werdenden Holzeigenschaften wächst die Wahrscheinlichkeit eines Keilzinkenversagens, d.h. eines Scherbruches entlang der Zinkenflanken;
- die Keilzinkenverbindungen, bei denen in mindestens einer Stoßhälfte eine Markröhre auftrat, wiesen im Mittel eine geringere Biegefestigkeit auf als die Keilzinkenverbindungen ohne Markröhre;
- die Keilzinkenverbindungen mit einem 15 mm - Profil wiesen im Mittel höhere Biegefestigkeiten auf als die Proben mit einem 20 mm - Profil, was auf die günstigeren Profileigenschaften Zinkengrundbreite b und Verhältnis $\varphi = 2 l_L/t$ zurückgeführt werden kann;
- zwischen den Keilzinkenverbindungen mit Harnstoff- und Resorcinharzleimen konnte kein Unterschied in der Tragfähigkeit festgestellt werden;

- die Einflüsse von produktionsabhängigen Faktoren konnten wegen nicht ausreichender Kenntnisse über die Keilzinkenherstellung in den Betrieben nur unzureichend erfaßt werden. Hierzu sind gezielte und systematische Untersuchungen erforderlich, bei denen nur die zu untersuchenden Parameter variiert werden, während alle anderen Einflußgrößen so weit wie möglich konstant gehalten werden. Anhand der vorliegenden Versuchsdaten konnte lediglich der günstige Einfluß einer Paketfräsung nachgewiesen werden.

Wenn man aus den gewonnenen Erkenntnissen die entsprechenden Schlußfolgerungen zieht, kann die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen auf ein Niveau angehoben werden, das allen Anforderungen für die Produktion von Brettschichtholz mit hohen Festigkeiten genügt.

Die vorliegenden Untersuchungen stellen daher eine hilfreiche Grundlage für die Schaffung von Festigkeitsklassen für Brettschichtholz dar; derartige Klassenfestlegungen sind im Rahmen der europäischen Normung zum Abbau von Handelshemmnissen im Bauwesen in Vorbereitung.

5 Literatur

- [1] DIN 68140. Keilzinkenverbindung von Holz. Ausgabe Oktober 1971
- [2] Eurocode Nr.5 (Entwurf 1987). Gemeinsame einheitliche Regeln für Holzbauwerke. Bericht EUR 9887 der Kommission der Europäischen Gemeinschaften
- [3] Aicher, S.; Loeber, R. 1988: Voruntersuchung zur rechnerischen Optimierung von Keilzinkenverbindungen im Hinblick auf das Tragverhalten. Forschungsbericht, Inst. f. Holzphysik, Universität Hamburg.
- [4] Colling, F. 1990: Modell zur Berechnung der Kurzzeitbiegefestigkeit von Brettschichtholzträgern in Abhängigkeit von den Holzeigenschaften der Brettlamellen und den Festigkeitseigenschaften der Keilzinkenverbindungen. Dissertation der Fakultät für Bauingenieur - und Vermessungswesen, Universität Karlsruhe (noch nicht veröffentlicht)
- [5] Eby, R.E. 1968: Structural finger - jointing criteria and performance. Journal of the Structural Division ST3: 657 - 669
- [6] Egner, K.; Dorn, H. 1962: Untersuchungen von geleimten tragenden Holzteilen nach längerer Gebrauchsdauer. Berichte aus der Bauforschung, Heft 25, Wilhelm Ernst u. Sohn
- [7] Ehlbeck, J.; Colling, F.; Görlacher, R. 1984: Einfluß keilgezinkter Lamellen auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe
- [8] Ehlbeck, J.; Colling, F.; Görlacher, R. 1985: Einfluß keilgezinkter Lamellen auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern. Teil 2: Eingangsdaten für das Rechenmodell. Holz als Roh- und Werkstoff 43: 369 - 373
- [9] Ehlbeck, J.; Colling, F. 1987: Biegefestigkeit von Brettschichtholz in Abhängigkeit von Rohdichte, Elastizitätsmodul, Ästigkeit und Keilzinkung der Lamellen, der Lage der Keilzinkung sowie von der Trägerhöhe, Teil A: Karlsruher Untersuchungen. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe

- [10] Fisette, P.R.; Rice, W.W. 1988: An analysis of structural finger - joints made from two north - eastern species. *Forest Products Journal* 38(9): 40 - 44
- [11] Görlacher, R. 1984: Ein neues Meßverfahren zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Holz. *Holz als Roh- und Werkstoff* 42: 219 - 222
- [12] Heimeshoff, B.; Glos, P. 1980: Zugfestigkeit und Biege - E - Modul von Fichten - Brettlamellen. *Holz als Roh- und Werkstoff* 38: 51 - 59
- [13] Johansson, C.-J. 1983: Hallfasthet hos fingerskarvat virke till limtrae: Bestaemning av boej - och draghallfasthet hos fingerskarvade limtraelamellar. Teknisk rapport, Sp - rapp 10, Statens Provningsanstalt, Boras, Schweden
- [14] Johansson, C.-J. 1986: Hallfasthet hos fingerskarvat virke till limtrae: Fingerskarvade hoeghallfasta limtraelameller. Byggnadsteknik, Teknisk rapport, Sp - rapp 09, Statens Provningsanstalt, Boras, Schweden
- [15] Larsen, H.J. 1980: Strength of finger joints. Institute of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg, Dänemark
- [16] Madsen, B.; Littleford, T.W. 1962; Finger joints for structural usage. *Forest Products Journal* 2: 68 - 73.
- [17] 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., USA
- [18] 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
- [19] Radovic, B.; Rohlfing, H. 1986: Untersuchungen über die Festigkeit von Keilzinkenverbindungen mit unterschiedlichem Verschwächungsgrad. Forschungsvorhaben I. 4 - 34701, FMFA, Stuttgart
- [20] Richards, D.B. 1963: Improved tips for finger joints. *Forest Products Journal* 13(6): 250 - 251
- [21] Samson, M. 1985: Potential of finger - jointed lumber for machine stress - rated lumber grades. *Forest Products Journal* 35(7/8): 20 - 24
- [22] Selbo, M.L. 1963: Effect of geometry on the tensile strength of finger joints. *Forest Products Journal* 13(9): 390 - 400
- [23] Strickler, M.D. 1980: Finger - jointed dimension lumber - past, present and future. *Forest Products Journal* 30(9): 51 - 56

Tabelle A 1.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 1

Serie I	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Resorcin			Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -	
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB			-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	ja	6,1	376	7640	41,7
	ja	6,7	394	9950	47,9
	ja	6,5	340	8250	42,0
	nein	6,5	390	9120	46,6
	nein	6,0	392	10520	39,6
<i>Mittelwert</i>			378	9020	43,5
<i>Stand.-abw.</i>			22	1120	3,5
MB	ja	6,0	375	7500	47,4
	ja	4,2	421	12310	50,0
	ja	5,8	416	10610	44,9
	ja	5,3	467	13510	61,1
	nein	6,2	404	9330	42,2
	ja	4,2	453	11060	66,2
	ja	5,8	425	12310	53,3
	ja	5,3	430	10210	61,6
<i>Mittelwert</i>			424	10850	53,3
<i>Stand.-abw.</i>			28	1910	8,7
nicht be- rücksichtigte Proben	ja	5,5	459	13290	46,3 ¹
	nein	7,0	383	-	37,1 ²

¹ Ast im Keilzinkenbereich² 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

Tabelle A 1.2.: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 1

Serie II	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	3,3	427	13310	65,7
	nein	3,1	477	11660	66,6
<i>Mittelwert</i>			452	12490	66,1
<i>Stand.-abw.</i>			35	1164	0,6
80% HB	nein	6,3	457	7570	65,0
	nein	3,2	526	9010	45,2
	nein	3,7	471	7790	46,1
	nein	3,8	421	9250	54,1
	nein	3,1	476	11740	55,7
	nein	4,0	447	7350	42,5
<i>Mittelwert</i>			466	8790	51,4
<i>Stand.-abw.</i>			35	1644	8,4
MB	ja	3,0	476	13580	64,1
	nein	5,1	450	8550	66,8
	nein	3,5	434	-	61,8
	nein	4,0	516	13470	64,6
	nein	4,4	429	12390	67,1
	nein	5,0	428	11780	58,4
	nein	4,8	519	11600	69,6
<i>Mittelwert</i>			465	11890	64,6
<i>Stand.-abw.</i>			39	1836	3,7
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 2.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 2

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 1		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	6,5	499	15560	66,9
	nein	2,3	445	12740	56,8
	nein	2,5	518	13310	56,5
<i>Mittelwert</i>			487	13870	60,1
<i>Stand.-abw.</i>			38	1493	5,9
80% HB	nein	3,7	411	13040	38,5
	nein	3,8	436	7960	39,8
<i>Mittelwert</i>			423	10500	39,2
<i>Stand.-abw.</i>			18	3588	0,9
MB	nein	8,5	449	14010	59,6
	nein	3,0	428	13680	48,7
	nein	3,8	464	15510	58,1
	nein	5,0	463	13470	49,4
	nein	2,8	514	14920	63,9
	ja	3,2	439	10440	55,0
	nein	5,0	494	13160	54,3
	nein	3,4	498	14021	55,0
	nein	3,0	509	16860	62,1
<i>Mittelwert</i>			473	14010	56,2
<i>Stand.-abw.</i>			32	1769	5,2
nicht be- rücksichtigte Proben	nein	2,2	511	13010	61,9 ²

² 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

Tabelle A 2.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 2

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 9		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	ja	3,4	417	12230	54,8
	ja	3,6	419	9920	49,5
	ja	5,0	406	11260	49,0
	ja	4,8	445	11650	52,7
	ja	5,2	453	10850	49,5
<i>Mittelwert</i>			428	11180	51,1
<i>Stand.-abw.</i>			20	871	2,6
80% HB	nein	9,6	369	7530	46,7
<i>Mittelwert</i>			369	7530	46,7
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	ja	4,5	408	14640	41,2
	ja	5,4	400	7020	37,8
	ja	5,0	414	10260	50,2
	ja	4,8	429	12120	46,7
	ja	6,3	-	-	47,9
	nein	5,4	-	-	48,8
<i>Mittelwert</i>			413	11010	45,4
<i>Stand.-abw.</i>			12	3210	4,9
nicht be- rücksichtigte Proben	ja	6,5	425	11910	45,9 ¹
	nein	5,5	426	-	43,3 ¹
	nein	5,1	440	9280	40,3 ¹

¹ Ast im Keilzinkenbereich

Tabelle A 3.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 3

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin			Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 9	
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,5	402	-	56,4
	nein	3,2	510	16450	59,6
	nein	2,1	470	13770	58,9
<i>Mittelwert</i>			461	15110	58,3
<i>Stand.-abw.</i>			54	1896	1,7
80% HB	nein	3,6	417	10720	51,6
	ja	7,1	388	10810	44,8
	nein	5,1	373	11340	48,2
<i>Mittelwert</i>			393	10960	48,2
<i>Stand.-abw.</i>			22	335	3,4
MB	nein	3,5	405	11010	48,8
	nein	4,8	445	11710	55,2
	ja	5,6	388	11160	52,4
	nein	3,6	446	13300	54,9
	nein	6,8	445	8090	50,3
	nein	7,2	462	11960	48,4
	nein	4,8	438	6990	44,0
	nein	5,6	380	11960	52,0
	nein	5,3	386	-	48,4
<i>Mittelwert</i>			422	10770	50,5
<i>Stand.-abw.</i>			32	2132	3,6
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 3.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 3

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 9		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	3,0	437	14970	58,9
	nein	3,7	428	15510	55,4
	nein	4,5	427	12810	57,1
	nein	2,8	473	14650	58,6
	nein	3,2	479	15760	56,4
	nein	3,4	486	14860	55,4
<i>Mittelwert</i>			455	14760	57,0
<i>Stand.-abw.</i>			27	1044	1,5
80% HB	nein	5,2	444	12800	42,1
	nein	4,0	447	12970	45,7
	ja	4,3	405	11110	44,6
	nein	4,0	425	10130	42,9
	nein	6,3	412	7790	39,3
<i>Mittelwert</i>			427	10960	42,9
<i>Stand.-abw.</i>			19	2131	2,5
MB	nein	3,8	453	14910	55,7
	ja	4,8	443	11040	50,7
	ja	6,5	440	10580	45,7
	nein	3,8	456	16400	67,1
<i>Mittelwert</i>			448	13230	54,8
<i>Stand.-abw.</i>			8	2872	9,2
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 4.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 4

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Harnstoff			Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 9	
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	4,2	529	17320	60,9
<i>Mittelwert</i>			529	17320	60,9
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	nein	5,6	443	9430	40,8
	nein	4,5	423	12270	46,7
	nein	5,6	433	10320	45,4
	ja	5,7	469	10360	52,7
	nein	6,7	388	7050	35,2
<i>Mittelwert</i>			431	9890	44,2
<i>Stand.-abw.</i>			30	1895	6,6
MB	nein	5,8	381	10300	47,6
	nein	4,8	383	10060	37,7
	nein	4,3	531	17530	53,8
	nein	3,8	550	16750	66,6
	nein	4,7	414	12870	51,8
	nein	5,4	420	10320	53,6
<i>Mittelwert</i>			446	12970	51,8
<i>Stand.-abw.</i>			75	3395	9,4
nicht be- rückichtigte Proben	nein	6,4	419	7520	40,7 ²
	nein	4,5	431	12140	37,6 ²
	nein	4,2	415	12200	33,7 ²

² 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

Tabelle A 4.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 4

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 9		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,9	476	14010	62,7
	nein	2,2	464	15050	68,4
	nein	3,6	451	14740	55,4
	nein	4,0	439	14050	64,0
<i>Mittelwert</i>			458	14460	62,6
<i>Stand.-abw.</i>			16	516	5,4
80% HB	nein	2,2	485	13110	57,1
<i>Mittelwert</i>			485	13110	57,1
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	3,2	416	13690	60,1
	nein	3,1	421	11980	55,0
	nein	3,3	422	13050	60,1
	nein	3,5	419	12880	54,8
	nein	3,4	419	-	55,0
	nein	2,7	483	16020	64,4
	nein	2,4	490	14020	63,3
	nein	2,2	486	13330	64,2
	nein	4,1	427	14160	57,1
	nein	4,3	416	12670	55,4
<i>Mittelwert</i>			440	13530	58,9
<i>Stand.-abw.</i>			32	1156	4,0
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 5.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 5

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	4,0	490	15420	49,8
	nein	3,3	524	12800	33,6
	nein	2,3	548	16420	60,0
	nein	2,3	548	18260	39,9
	nein	3,2	585	18960	48,0
	nein	3,3	505	12640	41,7
	nein	2,3	501	10890	42,6
	nein	2,3	509	10820	39,0
	nein	3,2	501	13320	39,0
	nein	3,2	505	16090	43,8
	nein	3,6	507	13150	36,6
	ja	3,7	505	12020	40,5
	<i>Mittelwert</i>			519	14230
<i>Stand.-abw.</i>			27	2739	7,0
80% HB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	3,3	499	15610	45,6
	ja	4,2	497	11610	33,6
	ja	4,3	481	12280	40,2
<i>Mittelwert</i>			492	13170	39,8
<i>Stand.-abw.</i>			10	2143	6,0
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 5.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 5

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	1,9	455	14030	60,6
	nein	2,0	437	13800	52,1
	nein	3,0	446	8980	57,3
	nein	5,0	395	11000	54,0
	nein	5,3	386	10830	53,2
	nein	4,8	384	10780	44,7
	nein	5,8	382	10930	45,3
	nein	3,8	478	13340	52,3
	nein	3,1	475	14430	49,5
	nein	3,4	474	14720	54,0
	nein	3,9	445	12970	50,8
	nein	3,0	438	11760	35,3
	<i>Mittelwert</i>			433	12300
<i>Stand.-abw.</i>			37	1822	6,6
80% HB	nein	6,5	420	12840	28,1
<i>Mittelwert</i>			420	12840	28,1
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	2,5	438	14620	39,9
	nein	2,5	450	13040	48,4
<i>Mittelwert</i>			444	13830	44,2
<i>Stand.-abw.</i>			8	1116	6,0
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 6.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 6

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 1		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	4,7	458	12950	42,1
	nein	4,7	465	14340	56,3
	nein	5,3	422	14340	45,1
	nein	4,8	454	13100	46,8
	nein	5,7	452	13480	50,4
	nein	4,0	511	18700	58,5
	<i>Mittelwert</i> <i>Stand.-abw.</i>			460 29	14490 2151
80% HB	nein	4,0	422	13570	52,3
<i>Mittelwert</i> <i>Stand.-abw.</i>			422 -	13570 -	52,3 -
MB	nein	4,7	444	12970	47,5
	nein	3,7	452	12870	54,6
	nein	4,1	472	14100	47,8
	nein	4,1	428	12190	44,2
	nein	4,3	441	12370	43,0
	nein	3,8	460	12810	42,1
	nein	4,0	464	14010	43,0
<i>Mittelwert</i> <i>Stand.-abw.</i>			452 15	13040 745	46,0 4,4
nicht be- rücksichtigte Proben	nein	4,6	472	13450	39,2 ¹

¹ Ast im Keilzinkenbereich

Tabelle A 6.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 6

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 1		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	ja	3,2	433	-	56,1
	nein	3,1	449	13340	63,0
	nein	3,1	423	12380	54,1
	nein	4,6	423	12130	49,9
	nein	8,3	440	-	41,8
<i>Mittelwert</i>			434	12620	53,0
<i>Stand.-abw.</i>			11	643	7,9
80% HB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	4,0	385	10950	56,4
	nein	6,8	384	11730	49,5
	nein	5,6	392	9150	53,4
	ja	6,7	417	-	52,0
	ja	5,0	433	-	43,0
	nein	2,1	448	9850	48,8
	ja	5,7	425	10920	53,4
	nein	5,5	422	8520	52,4
	ja	4,8	438	10320	40,7
	nein	7,3	449	-	50,8
<i>Mittelwert</i>			419	10210	50,1
<i>Stand.-abw.</i>			25	1117	4,9
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 7.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 7

Serie I	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	1,6	460	13930	65,0
	nein	3,9	392	12180	57,9
	nein	3,1	452	-	52,4
	nein	4,8	-	-	55,4
<i>Mittelwert</i>			435	13050	57,7
<i>Stand.-abw.</i>			37	1242	5,4
80% HB	nein	4,4	425	10890	48,0
	nein	5,7	375	-	37,0
	nein	5,2	387	10210	49,9
	ja	7,0	402	-	53,4
<i>Mittelwert</i>			397	10550	47,1
<i>Stand.-abw.</i>			21	481	7,1
MB	nein	3,8	432	-	58,0
	nein	4,0	400	11200	42,9
	nein	6,0	359	-	48,4
	nein	4,3	381	12190	42,2
	nein	6,8	345	-	44,1
	nein	4,7	415	9637	49,8
<i>Mittelwert</i>			389	11010	47,6
<i>Stand.-abw.</i>			33	1286	5,9
nicht be- rücksichtigte Proben	nein	5,8	389	-	46,3 ²

² 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

Tabelle A 7.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 7

Serie II	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	ja	4,2	446	11160	58,9
	nein	3,1	463	12540	59,2
<i>Mittelwert</i>			455	11850	59,1
<i>Stand.-abw.</i>			12	975	0,2
80% HB	ja	3,9	464	-	44,5
	nein	3,7	448	11780	53,8
	nein	4,0	457	11680	46,6
<i>Mittelwert</i>			456	11730	48,3
<i>Stand.-abw.</i>			8	72	4,9
MB	nein	3,2	484	11700	50,5
	nein	4,1	457	9780	63,4
	ja	2,6	454	9750	54,4
	ja	5,0	475	10200	52,0
	nein	3,0	449	11760	52,9
	ja	3,0	447	10810	54,1
	nein	2,4	456	11920	63,1
	nein	2,9	467	11820	43,9
	nein	3,2	453	10990	54,1
	ja	2,2	471	9790	49,3
<i>Mittelwert</i>			461	10850	53,8
<i>Stand.-abw.</i>			12	915	5,9
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 8.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 8

Serie I	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 2		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,9	466	12990	51,0
	nein	3,5	480	15030	48,3
	nein	3,0	482	15370	63,5
	nein	2,7	453	-	58,2
	nein	4,0	416	12380	52,5
	nein	3,1	416	12960	51,0
	nein	3,0	410	13400	53,2
	nein	3,4	419	-	50,5
	nein	4,0	424	-	57,1
	nein	3,5	441	14950	57,4
<i>Mittelwert</i>			441	13870	54,3
<i>Stand.-abw.</i>			28	1213	4,6
80% HB	nein	4,4	430	11910	42,0
<i>Mittelwert</i>			430	11910	42,0
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	4,6	412	11270	49,2
	nein	2,6	479	13370	60,0
	nein	2,8	466	-	54,9
	nein	3,6	428	11660	56,0
<i>Mittelwert</i>			446	12100	55,0
<i>Stand.-abw.</i>			31	1117	4,4
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 8.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 8

Serie II	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 2		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,9	494	-	57,8
	nein	3,1	-	-	58,4
<i>Mittelwert</i>			494	-	58,1
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	0,4
80% HB	nein	6,5	444	11020	53,5
	nein	4,0	478	-	61,1
	nein	3,4	500	14040	58,4
	nein	2,5	484	15700	45,5
	nein	3,0	482	14580	57,8
	nein	2,3	482	15070	59,4
	nein	3,2	429	10950	50,6
<i>Mittelwert</i>			471	13560	55,2
<i>Stand.-abw.</i>			25	2067	5,6
MB	nein	3,1	478	17160	57,0
	nein	2,9	420	11940	50,6
	nein	3,8	403	12970	53,9
	nein	3,6	418	12330	52,6
	nein	4,0	415	12910	50,2
	nein	5,0	422	11290	51,0
<i>Mittelwert</i>			426	13100	52,6
<i>Stand.-abw.</i>			26	2085	2,6
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 9.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 9

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	3,6	453	14670	58,3
	nein	4,2	470	14260	56,9
	ja	3,4	474	13580	60,1
	nein	3,2	466	11320	47,5
	ja	2,9	491	15920	51,6
	nein	2,6	497	17090	58,3
	nein	6,5	449	8920	52,2
	nein	3,3	524	16130	56,0
	nein	5,7	410	13390	48,1
<i>Mittelwert</i>			470	13920	54,3
<i>Stand.-abw.</i>			32	2544	4,6
80% HB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	5,0	409	9270	46,1
	nein	4,5	434	11170	52,2
	nein	3,9	438	9920	51,3
	nein	4,8	423	14790	47,0
	ja	4,8	426	10570	44,6
	nein	5,0	410	11290	42,6
<i>Mittelwert</i>			423	11170	47,3
<i>Stand.-abw.</i>			12	1930	3,8
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 9.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 9

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,8	380	11250	46,7
<i>Mittelwert</i>			380	11250	46,7
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	nein	7,0	380	10000	42,9
<i>Mittelwert</i>			380	10000	42,9
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	3,7	414	12530	44,5
	nein	3,8	454	15260	49,4
	nein	4,1	445	12040	42,3
	nein	3,6	433	12050	43,1
	nein	4,8	444	12630	41,8
	ja	4,0	461	13040	50,3
	nein	4,4	409	11950	45,6
	nein	4,3	444	13150	57,1
	nein	4,6	446	13860	55,2
	nein	4,8	373	-	42,6
	nein	4,4	378	10110	41,2
	nein	2,8	505	17110	49,7
	nein	6,2	395	10790	40,1
<i>Mittelwert</i>			431	12880	46,4
<i>Stand.-abw.</i>			36	1886	5,5
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 10.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 10

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 9		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,2	552	17520	66,6
	nein	3,0	534	18530	67,8
	nein	3,2	528	18120	75,0
	nein	2,7	531	17850	76,7
	nein	2,5	535	17870	64,5
<i>Mittelwert</i>			536	17980	70,1
<i>Stand.-abw.</i>			9	374	5,4
80% HB	nein	3,2	469	14590	43,0
	nein	4,1	462	13360	52,3
	nein	3,7	450	14050	52,1
	nein	3,2	459	14060	61,9
	nein	3,6	434	13890	67,1
	nein	2,9	487	13590	64,0
	nein	5,3	457	12670	57,6
<i>Mittelwert</i>			474	13740	56,8
<i>Stand.-abw.</i>			29	612	8,3
MB	nein	3,3	471	14360	62,6
	nein	3,8	490	15120	60,7
	nein	3,5	472	15110	60,9
<i>Mittelwert</i>			478	14860	61,4
<i>Stand.-abw.</i>			10	436	1,0
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 10.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 10

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 9		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
nicht be- rücksichtigte Proben	nein	6,5	387	10860	44,0 ³
	nein	2,7	569	19570	50,0 ³
	nein	2,9	579	19820	40,8 ³
	nein	3,8	439	15300	43,8 ³
	nein	3,7	424	14140	46,5 ³
	nein	4,2	429	14210	47,8 ³
	nein	3,9	433	14450	45,9 ³
	nein	4,5	443	13460	37,8 ³
	ja	6,2	372	10720	32,4 ³
	nein	5,7	376	10750	35,9 ³
	nein	4,2	489	14560	47,3 ³
	nein	3,2	568	15620	40,5 ³
	nein	2,9	548	17640	38,4 ³
	nein	3,1	555	17010	45,1 ³
	nein	2,5	545	17450	43,0 ³

³ Reiner Leimbruch ohne Holzfaserbelag

Tabelle A 11.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 11

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 9		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	nein	5,0	419	10910	47,0
	ja	3,8	440	12960	44,0
	nein	4,7	439	12640	53,3
	nein	4,5	449	11000	52,5
<i>Mittelwert</i>			437	11880	49,2
<i>Stand.-abw.</i>			13	1076	4,5
MB	ja	6,0	389	9530	44,0
	nein	6,0	393	8020	42,6
	nein	5,0	430	9970	53,0
	nein	5,5	452	10620	54,4
	nein	6,2	424	11920	52,5
	nein	6,0	402	10210	52,7
	nein	4,9	472	10500	55,2
	nein	3,6	470	15420	51,6
	nein	2,0	436	14140	61,5
	nein	3,5	479	13410	54,1
<i>Mittelwert</i>			435	11370	52,2
<i>Stand.-abw.</i>			33	2305	5,4
nicht be- rücksichtigte Proben	nein	4,6	413	10550	45,3 ²

² 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

Tabelle A 11.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 11

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 9		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	1,1	459	13320	57,0
<i>Mittelwert</i>			459	13320	57,0
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	nein	2,3	454	12580	56,7
	nein	5,6	362	9120	37,2
	ja	3,7	375	7690	43,6
	nein	2,8	437	10200	52,5
<i>Mittelwert</i>			407	9890	47,5
<i>Stand.-abw.</i>			45	2062	8,8
MB	nein	1,8	441	12800	53,2
	ja	3,2	400	10670	43,6
	nein	2,4	429	11470	51,6
	ja	3,4	387	8900	51,8
	ja	2,3	396	11740	52,5
	nein	2,1	487	13760	65,2
	ja	2,8	453	12470	53,2
	nein	3,8	441	12060	57,7
	nein	3,9	451	12340	53,4
	nein	2,4	500	13570	56,5
<i>Mittelwert</i>			439	11980	53,9
<i>Stand.-abw.</i>			37	1427	5,5
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 12.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 12

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 3		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,7	-	-	54,7
	ja	5,8	467	10060	39,7
	nein	6,3	363	-	49,0
	nein	5,1	414	9293	23,3
<i>Mittelwert</i>			415	9680	41,7
<i>Stand.-abw.</i>			52	544	13,7
80% HB	nein	9,2	438	12040	33,3
<i>Mittelwert</i>			438	12040	33,3
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	7,0	450	12820	53,7
	nein	9,0	449	10980	48,7
	ja	6,4	465	9263	49,3
	nein	6,5	370	11320	40,3
	nein	7,6	371	7900	43,0
	nein	6,0	460	10990	48,3
	nein	3,5	518	16540	46,3
	nein	3,8	505	17010	37,0
	nein	4,7	401	13780	35,7
	nein	5,7	403	13060	42,7
<i>Mittelwert</i>			438	12370	44,5
<i>Stand.-abw.</i>			51	2909	5,8
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 12.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 12

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 3		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	3,0	399	8910	30,6
	nein	4,1	369	-	39,9
	ja	3,4	396	7750	35,6
	nein	2,0	420	6890	54,1
<i>Mittelwert</i>			396	7850	40,1
<i>Stand.-abw.</i>			21	1014	10,1
80% HB	ja	2,3	420	-	41,3
<i>Mittelwert</i>			420	-	41,3
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	2,9	389	-	42,6
	ja	3,6	374	9100	32,1
	nein	2,7	373	7620	41,7
	ja	2,5	401	9180	42,2
	nein	2,4	392	9040	41,6
	nein	3,2	371	9910	43,4
	nein	3,2	419	9100	33,9
	nein	2,6	436	9640	45,4
	nein	3,0	365	9890	44,2
	nein	2,3	406	8020	40,9
<i>Mittelwert</i>			393	9060	40,8
<i>Stand.-abw.</i>			23	783	4,3
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 13.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 13

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	ja	3,8	468	10720	61,5
<i>Mittelwert</i>			468	10720	61,5
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	nein	6,5	390	6640	42,1
	ja	4,1	421	12760	47,8
	nein	3,7	-	-	55,4
	nein	4,2	447	13800	53,4
<i>Mittelwert</i>			419	11070	49,7
<i>Stand.-abw.</i>			29	3871	6,0
MB	ja	5,2	445	11910	41,6
	nein	3,6	449	10630	55,1
	nein	3,6	448	10530	51,4
	nein	5,7	-	-	49,7
	ja	4,5	434	13620	57,3
	nein	4,7	446	12240	56,2
	nein	3,9	-	-	59,3
	nein	4,6	428	13690	57,0
	nein	3,7	449	12580	55,9
<i>Mittelwert</i>			443	12170	53,7
<i>Stand.-abw.</i>			8	1273	5,4
nicht be- rücksichtigte Proben	ja	7,0	386	9410	42,4 ²

² 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

Tabelle A 13.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 13

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	ja	4,6	430	-	46,8
	nein	4,8	464	11030	59,9
	nein	4,3	491	12950	50,8
<i>Mittelwert</i>			462	11990	52,5
<i>Stand.-abw.</i>			31	1361	6,7
80% HB	nein	6,7	431	12350	50,0
	ja	4,8	451	11100	48,2
<i>Mittelwert</i>			441	11720	49,1
<i>Stand.-abw.</i>			15	883	1,3
MB	ja	4,5	486	13960	51,4
	nein	4,2	488	14990	57,8
	nein	4,9	410	-	43,3
	ja	6,1	428	10610	38,3
	nein	4,7	429	9450	44,1
	nein	6,3	420	9820	39,6
	ja	6,3	437	10100	48,2
	ja	8,0	413	11700	48,2
	nein	7,4	-	-	46,3
	nein	5,4	454	10910	47,6
<i>Mittelwert</i>			441	11440	46,5
<i>Stand.-abw.</i>			29	2014	5,7
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 14.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 14

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 8		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	4,6	410	13110	54,3
<i>Mittelwert</i>			410	13110	54,3
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	nein	6,0	420	6300	36,0
	nein	5,5	413	-	46,5
	ja	4,2	498	13380	60,3
	ja	5,0	520	11830	50,7
	nein	4,8	460	11360	57,3
	nein	8,2	411	12070	52,8
<i>Mittelwert</i>			454	10980	50,6
<i>Stand.-abw.</i>			47	2725	8,6
MB	ja	2,5	523	15100	69,6
	nein	3,2	469	13800	60,9
	nein	5,3	458	-	57,3
	nein	5,0	460	15030	65,1
	nein	5,2	402	-	48,0
	nein	2,7	571	16150	77,1
	nein	5,4	463	13380	61,8
<i>Mittelwert</i>			478	14690	62,8
<i>Stand.-abw.</i>			54	1111	9,2
nicht be- rücksichtigte Proben	ja	5,0	434	12390	25,5 ²

² 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

Tabelle A 14.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 14

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 8		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	ja	4,0	500	-	59,4
	nein	3,7	499	15360	74,4
	nein	3,6	471	12690	55,6
	nein	5,0	477	11930	50,3
	nein	3,0	440	12950	56,1
<i>Mittelwert</i>			477	13230	59,2
<i>Stand.-abw.</i>			25	1484	9,1
80% HB	nein	5,7	433	-	43,6
	nein	4,0	509	10020	52,8
	nein	3,7	480	11550	54,2
	nein	3,3	523	12300	60,3
<i>Mittelwert</i>			486	11290	52,7
<i>Stand.-abw.</i>			40	1158	6,9
MB	ja	3,6	562	11450	51,1
	nein	3,6	471	8350	50,6
	nein	3,3	532	16590	62,8
	ja	4,0	436	-	60,0
	nein	3,6	480	11490	62,5
<i>Mittelwert</i>			496	11970	57,4
<i>Stand.-abw.</i>			50	3416	6,1
nicht be- rücksichtigte Proben	ja	5,8	448	9140	41,1 ²

² 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

Tabelle A 15.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 15

Serie I	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	4,8	466	16190	50,5
	nein	3,2	521	16540	62,7
	nein	3,1	526	17120	61,1
	nein	3,6	562	19030	74,1
	nein	1,9	523	17470	67,2
	nein	2,0	535	18320	76,9
	nein	2,2	532	17760	61,5
	nein	3,2	543	18880	66,0
<i>Mittelwert</i>			526	17660	65,0
<i>Stand.-abw.</i>			27	1038	8,2
80% HB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	3,2	525	16530	62,7
	nein	2,9	496	15650	52,9
	nein	3,2	510	13610	61,1
	nein	3,4	531	15250	66,4
	nein	4,7	408	13400	62,3
<i>Mittelwert</i>			494	14290	61,1
<i>Stand.-abw.</i>			50	2419	5,0
nicht be- rücksichtigte Proben	nein	5,2	405	13410	42,7 ²
	nein	5,0	411	13710	48,9 ¹

¹ Ast im Keilzinkenbereich² 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

Tabelle A 15.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 15

Serie II	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	4,1	480	14280	36,5
	nein	3,8	469	15330	57,6
	nein	5,5	-	-	51,1
<i>Mittelwert</i>			475	14800	48,4
<i>Stand.-abw.</i>			7	743	10,8
80% HB	nein	4,8	432	-	49,8
	nein	4,0	438	-	52,0
	nein	3,6	449	-	47,7
<i>Mittelwert</i>			439	-	49,8
<i>Stand.-abw.</i>			9	-	2,1
MB	nein	6,2	403	12910	48,4
	nein	5,2	434	13350	40,9
	nein	5,8	450	-	40,7
	nein	5,7	437	13820	52,2
	nein	4,7	439	13690	45,7
	nein	5,0	442	13940	49,9
	nein	4,2	440	7710	44,7
	nein	4,5	446	8100	25,7
	nein	5,2	404	10900	44,0
<i>Mittelwert</i>			433	11800	43,6
<i>Stand.-abw.</i>			17	2590	7,7
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 16.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 16

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 1		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	5,8	416	11420	45,3
<i>Mittelwert</i>			416	11420	45,3
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	nein	7,8	399	10180	39,9
	ja	8,0	400	9060	26,7
	ja	9,0	400	7880	37,3
	nein	7,8	419	9830	29,0
<i>Mittelwert</i>			404	9240	33,2
<i>Stand.-abw.</i>			9	1019	6,4
MB	ja	4,2	464	12250	39,0
	nein	4,4	457	12250	42,2
	nein	3,4	402	10200	41,9
	nein	3,1	425	11880	40,8
	ja	6,0	416	11630	35,9
	nein	5,7	404	11780	40,5
	nein	5,5	410	8200	35,3
<i>Mittelwert</i>			426	11170	39,4
<i>Stand.-abw.</i>			25	1484	2,8
nicht be- rücksichtigte Proben	ja	4,1	400	9980	36,5 ¹
	nein	6,3	406	10660	33,6 ¹
	ja	8,5	426	10810	39,0 ¹

¹ Ast im Keilzinkenbereich

Tabelle A 16.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 16

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 1		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	4,4	-	-	49,0
<i>Mittelwert</i>			-	-	49,0
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	nein	4,8	-	-	48,3
	nein	4,5	-	-	40,0
	nein	4,1	-	-	43,5
	nein	4,2	-	-	48,0
<i>Mittelwert</i>			-	-	44,9
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	3,9
MB	nein	4,5	-	-	42,8
	nein	3,7	-	-	62,0
	nein	3,8	-	-	52,3
	nein	4,1	-	-	53,3
	nein	4,7	-	-	54,3
	nein	3,4	-	-	57,8
	nein	4,6	-	-	54,3
	nein	4,0	-	-	64,8
	nein	3,0	-	-	59,0
<i>Mittelwert</i>			-	-	55,6
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	6,4
nicht be- rücksichtigte Proben	nein	5,5	-	-	46,8 ²

² 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

Tabelle A 17.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 17

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 1		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	6,1	420	13310	34,3
	nein	6,1	419	-	38,8
	nein	4,0	442	-	34,6
	nein	4,1	429	-	42,7
	nein	4,8	430	-	46,3
	nein	4,1	424	-	42,7
	nein	5,1	429	11140	42,3
<i>Mittelwert</i>			427	12230	40,2
<i>Stand.-abw.</i>			8	1538	4,5
80% HB	nein	3,1	432	13380	40,4
<i>Mittelwert</i>			432	13380	40,4
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	2,2	465	13550	47,7
	nein	3,6	431	12060	43,2
	nein	3,8	425	12540	43,8
	nein	3,6	426	11620	39,1
	nein	2,9	444	-	35,4
	nein	3,4	441	12250	42,9
	nein	3,7	442	13340	40,4
<i>Mittelwert</i>			439	12560	41,8
<i>Stand.-abw.</i>			14	752	3,9
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 17.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 17

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 1		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	ja	4,4	-	-	40,4
	nein	2,7	422	12930	44,7
	nein	2,7	465	14400	41,5
	nein	2,7	462	14730	47,6
	nein	2,6	442	12830	45,6
	nein	2,2	440	-	49,3
	nein	2,4	468	13570	42,1
	nein	2,7	426	-	45,0
	nein	3,0	385	7720	45,6
	nein	3,2	354	11480	44,7
	nein	3,1	358	10960	44,4
	nein	4,2	389	11590	44,1
	nein	7,5	371	-	36,1
	nein	6,7	420	11560	38,4
	<i>Mittelwert</i>			415	12180
<i>Stand.-abw.</i>			40	2026	3,5
80% HB	nein	4,0	396	5510	34,9
<i>Mittelwert</i>			396	5510	34,9
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 18.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 18

Serie I	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 2		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	ja	4,5	435	11310	52,9
	nein	5,2	425	12640	58,4
	nein	5,3	412	13160	64,6
	nein	3,6	494	15200	64,6
	nein	2,7	558	17910	55,1
	nein	5,6	393	10920	51,5
	<i>Mittelwert Stand.-abw.</i>			453 62	13520 2631
80% HB	ja	3,3	487	13560	59,1
	nein	2,6	499	16720	53,2
	nein	6,0	391	12160	53,2
	<i>Mittelwert Stand.-abw.</i>		459 59	14150 2337	55,1 3,4
MB	ja	5,0	488	12860	57,2
	ja	3,9	487	14930	50,1
	nein	3,0	546	16870	55,3
	nein	4,2	449	14980	64,1
	nein	2,8	484	13950	57,2
	nein	5,2	380	11070	55,8
	<i>Mittelwert Stand.-abw.</i>			480 54	14110 1993
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 18.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 18

Serie II	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Resorcin			Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 2	
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,0	460	15990	72,5
	nein	2,1	464	15490	66,1
	nein	3,0	464	15200	67,9
	nein	3,4	541	17600	66,1
	nein	4,6	399	13060	56,5
	nein	4,2	392	12080	56,5
	nein	5,3	365	10660	50,6
	nein	3,7	485	13740	63,0
	nein	3,0	502	13790	56,5
<i>Mittelwert</i>			452	14180	61,7
<i>Stand.-abw.</i>			57	2125	7,1
80% HB	nein	4,7	421	11810	46,0
	nein	4,6	440	9580	47,9
<i>Mittelwert</i>			430	10690	46,9
<i>Stand.-abw.</i>			14	1580	1,3
MB	nein	3,7	443	12850	60,5
	nein	4,2	384	11630	49,7
	nein	5,3	374	10430	52,8
	nein	5,3	369	10450	46,0
<i>Mittelwert</i>			392	11340	52,2
<i>Stand.-abw.</i>			34	1152	6,2
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 19.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 19

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 4		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	5,1	442	8390	57,5
	nein	4,3	449	13640	56,1
	nein	3,8	422	11910	56,4
	nein	3,2	439	12990	59,8
	nein	3,7	415	13420	49,1
	nein	3,7	468	11120	55,7
<i>Mittelwert</i>			439	11910	55,8
<i>Stand.-abw.</i>			19	1972	3,6
80% HB	nein	5,6	437	-	49,1
<i>Mittelwert</i>			437	-	49,1
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	4,4	448	13690	52,7
	nein	5,2	436	11460	43,6
	nein	5,5	411	11660	50,0
	nein	5,5	404	11430	52,7
	nein	8,0	413	9090	49,3
	nein	3,4	479	15420	59,6
<i>Mittelwert</i>			432	12120	51,3
<i>Stand.-abw.</i>			29	2174	5,2
nicht be- rücksichtigte Proben	nein	5,4	-	-	50,7 ²
	nein	9,0	410	8990	27,3 ²

² 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

Tabelle A 19.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 19

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 4		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	7,9	-	-	33,6
	nein	5,0	-	-	33,1
	ja	4,8	438	-	49,2
	ja	2,7	488	-	49,2
<i>Mittelwert</i>			463	-	41,3
<i>Stand.-abw.</i>			36	-	9,2
80% HB	ja	4,0	517	14150	47,4
	ja	4,2	491	14640	46,9
	nein	4,3	432	12350	43,3
<i>Mittelwert</i>		480	13710	45,9	
<i>Stand.-abw.</i>		44	1207	2,2	
MB	nein	5,1	-	-	40,5
	ja	5,2	441	-	38,2
	ja	4,0	512	13690	44,1
	nein	4,3	495	14090	52,0
	ja	3,1	-	-	41,0
	nein	4,5	481	13760	53,0
	nein	4,3	-	-	49,2
	ja	6,9	420	12910	47,2
<i>Mittelwert</i>		470	13610	45,6	
<i>Stand.-abw.</i>		38	499	5,6	
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 20.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 20

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	ja	3,5	400	11900	46,9
	ja	4,0	399	12760	51,6
	nein	4,7	475	13090	48,3
	nein	4,4	488	13880	55,4
	nein	3,5	524	15900	59,2
	nein	2,6	523	16730	69,9
	<i>Mittelwert</i> <i>Stand.-abw.</i>			468 57	14040 1889
80% HB	nein	3,0	399	11680	49,9
	nein	2,7	489	12980	46,3
	ja	3,6	406	10090	47,3
	nein	3,3	476	15000	53,8
	nein	3,0	459	14450	47,5
	nein	3,9	457	13510	50,3
	nein	3,3	463	14170	42,9
	ja	3,0	400	12430	50,7
	<i>Mittelwert</i> <i>Stand.-abw.</i>			444 36	13040 1616
MB	nein	4,7	481	14180	59,6
<i>Mittelwert</i> <i>Stand.-abw.</i>			481 -	14180 -	59,6 -
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 20.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 20

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	3,5	493	12320	59,7
	nein	4,4	467	11580	53,9
	nein	4,5	489	11820	56,2
	nein	2,2	493	15410	66,7
	nein	3,0	444	13300	57,5
	nein	3,8	451	10890	57,0
	nein	3,3	515	12430	60,2
<i>Mittelwert</i>			479	12530	58,7
<i>Stand.-abw.</i>			26	1473	4,1
80% HB	nein	4,5	449	12420	46,7
<i>Mittelwert</i>			449	12420	46,7
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	4,2	403	14120	56,4
	nein	3,6	424	10120	51,2
	nein	3,9	415	12420	46,5
	nein	3,7	424	11350	51,0
	nein	4,0	438	11110	54,4
	nein	4,7	445	10830	51,0
	nein	4,4	446	13160	51,9
<i>Mittelwert</i>			428	11870	51,7
<i>Stand.-abw.</i>			16	1417	3,1
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 21.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 21

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	4,6	437	12530	45,7
<i>Mittelwert</i>			437	12530	45,7
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	nein	4,4	487	14640	53,1
	nein	5,4	539	14000	45,8
	nein	3,9	451	12570	51,8
	ja	5,5	453	8430	40,1
<i>Mittelwert</i>			483	12410	47,7
<i>Stand.-abw.</i>			41	2792	6,0
MB	nein	4,5	487	7830	56,2
	nein	4,7	457	10070	56,2
	nein	4,0	532	14740	50,6
	nein	5,0	528	14240	55,0
	ja	5,7	463	10570	49,1
	ja	5,0	449	12620	49,8
	ja	5,3	448	9460	44,2
	ja	4,5	443	11320	45,7
	ja	6,7	454	9160	46,8
<i>Mittelwert</i>			473	11110	50,4
<i>Stand.-abw.</i>			35	2346	4,5
nicht be- rücksichtigte Proben	nein	6,5	439	11770	39,4 ^I

^I Ast im Keilzinkenbereich

Tabelle A 21.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 21

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Harnstoff			Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -	
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	ja	6,2	361	9280	29,4
	ja	8,0	406	10740	29,4
<i>Mittelwert</i>			384	10010	29,4
<i>Stand.-abw.</i>			32	1037	0,0
MB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
nicht be- rücksichtigte Proben	nein	5,8	434	9420	37,5 ⁴
	ja	4,8	434	13440	43,5 ⁴
	nein	5,0	397	11300	34,2 ⁴
	nein	3,4	473	16300	45,9 ⁴
	nein	3,1	462	15400	43,8 ⁴
	nein	4,3	517	15160	50,1 ⁴
	nein	6,6	403	12650	46,2 ⁴
	nein	3,8	554	15180	41,2 ⁴
	ja	6,0	380	9410	19,8 ⁴
	ja	6,2	375	10620	31,5 ⁴
	ja	7,3	389	10800	30,9 ⁴
	nein	5,8	394	11240	26,7 ⁴
	ja	6,1	367	8190	31,5 ⁴

⁴ schlecht ausgeführte Keilzinkenverbindung

Tabelle A 22.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 22

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin			Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -	
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	5,8	372	10650	34,5
	nein	4,7	399	9710	44,5
	nein	5,2	412	10310	43,5
	nein	5,1	405	10080	49,5
	nein	4,1	406	10410	43,0
	nein	3,2	410	12730	40,3
	nein	3,1	-	-	48,0
	nein	6,7	360	10570	39,3
<i>Mittelwert</i>			395	10640	42,8
<i>Stand.-abw.</i>			21	975	4,8
80% HB	nein	6,7	406	7260	36,0
<i>Mittelwert</i>			406	7260	36,0
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	8,2	384	10970	44,0
	nein	5,2	380	10500	35,0
	nein	4,8	399	-	42,0
	nein	4,5	314	-	42,3
	nein	3,2	416	-	39,8
	nein	6,9	-	-	41,0
<i>Mittelwert</i>			379	10740	40,7
<i>Stand.-abw.</i>			39	330	3,1
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 22.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 22

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin			Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -	
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	3,3	431	14500	53,1
<i>Mittelwert</i>			431	14500	53,1
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	nein	2,9	-	-	42,6
	nein	3,4	429	13130	49,5
	nein	3,0	447	12810	49,1
	nein	4,6	428	11960	53,7
<i>Mittelwert</i>			435	12630	48,7
<i>Stand.-abw.</i>			11	600	4,6
MB	nein	6,0	420	10270	47,0
	nein	5,3	431	9890	41,4
	nein	6,1	-	-	47,8
	nein	3,5	-	-	47,4
	nein	4,0	449	-	48,7
	nein	2,9	440	13950	53,3
	nein	4,0	458	-	50,9
	nein	4,5	425	12010	48,2
	nein	4,0	431	10620	50,3
<i>Mittelwert</i>			436	11350	48,3
<i>Stand.-abw.</i>			14	1660	3,3
nicht be- rücksichtigte Proben	nein	3,0	436	11540	48,5 ¹

¹ Ast im Keilzinkenbereich

Tabelle A 23.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 23

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	3,2	514	16120	53,5
	nein	3,5	424	13890	47,4
	nein	4,0	428	13420	43,1
	nein	4,2	508	15730	43,4
	nein	3,3	457	13260	45,5
	nein	4,4	458	10760	44,0
	nein	4,6	440	13130	53,2
	nein	4,1	436	12490	50,4
	nein	4,0	455	12290	41,5
	nein	4,8	413	13440	44,9
<i>Mittelwert</i>			453	13450	46,7
<i>Stand.-abw.</i>			34	1571	4,3
80% HB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	nein	3,7	445	11160	47,1
	ja	5,5	440	10860	49,8
	ja	4,1	434	12870	44,6
	nein	3,9	461	12920	38,7
	nein	3,3	482	11370	48,3
<i>Mittelwert</i>			452	11840	45,7
<i>Stand.-abw.</i>			19	981	4,3
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 23.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 23

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	4,0	462	13750	45,3
	nein	4,2	461	14700	48,9
	nein	5,1	459	13570	47,7
	nein	5,0	437	13120	40,2
	ja	3,8	428	11730	40,5
	nein	4,5	445	13960	45,3
	nein	4,7	445	13700	42,9
<i>Mittelwert</i>			448	13500	44,4
<i>Stand.-abw.</i>			13	915	3,4
80% HB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
MB	ja	4,6	424	11770	39,0
	nein	5,2	433	10960	39,0
	nein	5,3	430	13140	35,7
	nein	4,4	444	14200	42,0
	nein	4,5	449	14070	45,9
	ja	4,2	431	12200	41,7
	ja	4,2	430	11180	38,7
	ja	4,4	431	12190	35,7
<i>Mittelwert</i>			434	12460	39,7
<i>Stand.-abw.</i>			8	1230	3,4
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 24.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 24

Serie I	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 5		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,6	490	15550	68,6
	nein	2,5	450	14930	68,2
	nein	2,5	470	15340	59,0
	nein	2,3	512	15050	68,2
	nein	2,1	501	14820	69,5
<i>Mittelwert</i>			485	15140	66,7
<i>Stand.-abw.</i>			25	300	4,4
80% HB	ja	5,7	395	11820	47,4
	nein	4,6	377	11240	48,6
	ja	5,3	412	12000	49,2
<i>Mittelwert</i>			395	11680	48,4
<i>Stand.-abw.</i>			18	398	0,9
MB	nein	4,2	385	12850	53,6
	ja	5,4	420	9580	54,0
	nein	2,1	448	12920	64,3
	nein	4,8	386	12520	56,7
	nein	3,5	470	-	62,5
	nein	5,0	417	11780	52,2
	nein	2,1	508	16370	64,0
<i>Mittelwert</i>			433	12670	58,2
<i>Stand.-abw.</i>			45	2196	5,3
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 24.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 24

Serie II	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 5		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	ja	2,8	478	15150	59,2
	ja	3,3	465	14150	61,1
	ja	3,6	475	15620	57,6
	ja	3,2	452	14470	59,5
	ja	3,9	465	13100	62,4
<i>Mittelwert</i>			467	14500	60,0
<i>Stand.-abw.</i>			10	970	1,9
80% HB	nein	6,6	360	8480	35,4
	nein	5,0	376	9540	46,5
	ja	7,1	378	8270	42,3
	nein	5,4	351	9020	46,8
	ja	5,1	363	8570	49,4
<i>Mittelwert</i>			366	8780	44,1
<i>Stand.-abw.</i>			11	507	5,5
MB	nein	3,9	432	13580	60,2
	nein	4,0	460	14360	59,2
	nein	5,0	441	10640	52,7
	nein	3,0	474	15680	70,6
	ja	4,5	410	10940	58,5
<i>Mittelwert</i>			444	13040	60,2
<i>Stand.-abw.</i>			25	2192	6,5
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 25.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 25

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin			Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 10	
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,1	483	14620	60,0
	nein	2,5	440	6110	54,9
<i>Mittelwert</i>			462	10370	57,5
<i>Stand.-abw.</i>			30	6011	3,6
80% HB	nein	6,1	395	7700	42,9
	nein	7,8	437	6520	34,9
	nein	5,7	418	11000	40,0
	nein	2,2	413	11230	52,3
<i>Mittelwert</i>			416	9110	42,5
<i>Stand.-abw.</i>			17	2363	7,3
MB	nein	2,8	478	13160	56,5
	nein	2,6	473	14930	61,3
	nein	5,2	418	12650	45,5
	nein	5,8	480	13810	52,3
	nein	4,2	425	12010	43,3
	nein	4,0	476	13420	53,2
	nein	3,8	462	14170	54,7
	nein	1,9	544	15210	63,5
<i>Mittelwert</i>			469	13670	53,8
<i>Stand.-abw.</i>			39	1090	7,0
nicht be- rücksichtigte Proben	nein	6,0	404	10910	38,0 ²

² 100%-iges Holzversagen außerhalb des Keilzinkenbereiches

Tabelle A 25.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 25

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin			Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 10	
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	nein	6,0	424	7890	39,7
	ja	5,4	428	10130	43,1
<i>Mittelwert</i>			426	9010	41,4
<i>Stand.-abw.</i>			3	1584	2,4
MB	nein	5,2	368	10930	49,4
	ja	5,7	408	8180	44,7
	nein	3,4	546	13100	71,0
	nein	4,3	416	12250	56,8
	nein	3,4	493	15440	59,9
	nein	4,8	441	11620	47,8
	ja	4,6	432	13090	41,7
	nein	4,9	417	12690	50,5
	ja	3,5	509	13500	57,2
	nein	3,6	513	14590	67,9
	ja	6,2	429	10880	43,4
	ja	5,2	419	11510	50,5
	nein	3,8	457	13610	51,1
<i>Mittelwert</i>			450	12410	53,2
<i>Stand.-abw.</i>			51	1860	9,0
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 26.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 26

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 9		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,8	432	13760	57,5
	nein	4,3	423	13680	61,8
	nein	4,4	414	12140	39,2
<i>Mittelwert</i>			423	13190	52,8
<i>Stand.-abw.</i>			9	917	12,0
80% HB	nein	5,7	413	10490	56,3
	nein	3,8	441	12610	60,3
<i>Mittelwert</i>			427	11550	58,3
<i>Stand.-abw.</i>			19	1502	2,8
MB	nein	5,3	439	12170	47,6
	nein	4,5	438	12190	62,0
	nein	5,3	410	11120	36,3
	nein	5,7	412	-	49,5
	nein	4,4	414	12500	44,8
	nein	4,5	398	11570	54,7
	nein	4,6	401	11730	51,4
	ja	4,8	427	10370	47,4
	nein	4,0	423	10800	50,2
	nein	5,0	417	13300	50,7
<i>Mittelwert</i>			418	11750	49,5
<i>Stand.-abw.</i>			14	906	6,6
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 26.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 26

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Harnstoff		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 9		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,6	525	17990	45,5
	nein	3,6	484	16570	57,4
	nein	3,7	449	14380	51,2
	nein	3,0	444	13940	47,8
<i>Mittelwert</i>			476	15720	50,5
<i>Stand.-abw.</i>			37	1903	5,2
80% HB	nein	4,0	404	-	41,9
	nein	4,0	437	14090	42,7
	nein	4,4	461	9090	38,5
	nein	3,4	442	13610	57,9
	nein	3,5	445	13770	57,9
	nein	4,8	475	12910	49,1
	nein	5,3	421	14130	53,3
	nein	4,6	424	13750	47,1
<i>Mittelwert</i>			439	13050	48,6
<i>Stand.-abw.</i>			23	1792	7,4
MB	nein	3,4	469	14540	59,5
	nein	3,6	425	12900	57,7
	nein	5,2	419	10680	50,4
<i>Mittelwert</i>			438	12700	55,9
<i>Stand.-abw.</i>			28	1935	4,8
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 27.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 27

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	3,3	467	13350	55,3
	nein	4,2	428	13010	51,0
	nein	2,8	471	13660	62,2
<i>Mittelwert</i>			455	13340	56,1
<i>Stand.-abw.</i>			24	326	5,7
80% HB	ja	4,7	413	9500	43,6
	nein	3,1	462	12650	55,6
	nein	4,2	413	9630	47,4
	ja	4,8	432	10360	43,6
	nein	7,5	410	11070	42,3
<i>Mittelwert</i>			426	10640	46,5
<i>Stand.-abw.</i>			22	1286	5,4
MB	nein	4,6	442	10980	51,6
	nein	4,0	424	12310	50,5
	ja	3,6	462	9340	54,2
	nein	4,0	442	12840	55,1
	nein	4,7	428	-	47,4
	ja	3,2	451	12310	45,6
	ja	4,7	438	11280	52,4
<i>Mittelwert</i>			441	11510	51,0
<i>Stand.-abw.</i>			13	1273	3,5
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 27.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 27

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin			Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -	
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,1	453	10870	56,2
	nein	4,4	435	14250	50,0
	nein	4,9	432	13770	41,3
	nein	5,3	389	9680	46,6
	nein	5,8	399	12950	47,7
	nein	5,0	466	7350	47,0
	nein	4,4	436	12220	59,2
	nein	4,7	414	13550	42,8
<i>Mittelwert</i> <i>Stand.-abw.</i>			428	11830	48,8
			26	2380	6,2
80% HB	nein	4,7	512	10930	55,6
<i>Mittelwert</i> <i>Stand.-abw.</i>			512	10930	55,6
			-	-	-
MB	nein	3,4	408	12990	40,8
	nein	4,5	449	13340	55,8
	ja	5,7	422	6960	46,6
	nein	2,4	464	13630	56,6
	nein	5,2	428	11940	39,1
	nein	4,2	428	10490	39,1
				433	11560
<i>Mittelwert</i> <i>Stand.-abw.</i>			20	2530	8,1
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 28.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 28

Serie I	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 5		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i> <i>Stand.-abw.</i>			- -	- -	- -
80% HB	nein	7,0	-	-	44,3
	nein	5,3	-	-	50,5
	nein	4,8	-	-	38,8
	nein	4,3	487	14630	51,8
	nein	3,1	483	-	52,1
	nein	6,3	-	-	35,2
	nein	7,0	385	9840	41,1
	nein	3,8	499	-	61,7
	nein	5,0	-	-	60,9
<i>Mittelwert</i> <i>Stand.-abw.</i>			464 53	12240 3387	48,5 9,4
MB	ja	3,2	467	13510	47,9
	nein	3,3	449	11710	56,3
	nein	7,0	485	11500	50,7
	nein	2,8	498	-	43,8
	ja	6,8	382	10460	33,3
	nein	3,2	434	-	55,9
<i>Mittelwert</i> <i>Stand.-abw.</i>			453 42	11790 1271	48,0 8,6
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 28.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 28

Serie II	Keilzinkenprofil: 15 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 5		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	-	-	-	-	-
<i>Mittelwert</i>			-	-	-
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	ja	8,5	436	-	47,4
	ja	5,8	407	-	35,1
	nein	6,5	403	-	35,8
	nein	5,7	403	10610	41,5
	nein	7,2	421	7740	45,0
	nein	5,4	428	-	46,1
	nein	6,5	446	-	45,2
	nein	6,2	445	12870	50,1
	nein	5,3	472	-	51,6
	nein	8,5	471	9560	40,2
	nein	6,0	432	7980	53,2
	nein	6,0	433	8310	44,4
	nein	4,7	438	8060	49,7
<i>Mittelwert</i>			434	9300	45,0
<i>Stand.-abw.</i>			22	1879	5,7
MB	ja	5,1	436	10550	25,0
	nein	6,0	457	8880	54,9
<i>Mittelwert</i>			446	9720	40,0
<i>Stand.-abw.</i>			15	1180	21,1
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 29.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 29

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	4,0	456	-	63,6
	nein	2,4	492	17030	70,4
	ja	3,2	435	12520	46,6
<i>Mittelwert</i>			461	14780	60,2
<i>Stand.-abw.</i>			29	3190	12,3
80% HB	nein	3,6	422	12020	49,9
	nein	3,3	441	13140	47,4
	nein	3,8	-	-	46,9
	nein	3,8	418	12950	45,1
<i>Mittelwert</i>			427	12700	47,3
<i>Stand.-abw.</i>			13	601	2,0
MB	nein	3,9	445	11720	55,0
	nein	3,2	474	13880	61,8
	nein	3,7	399	12110	50,7
	nein	3,5	469	12460	54,0
	nein	3,8	478	11320	57,8
	nein	4,0	-	-	46,9
	nein	5,0	479	-	54,2
	ja	5,2	-	-	51,4
<i>Mittelwert</i>			457	12300	54,0
<i>Stand.-abw.</i>			31	980	4,5
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 29.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 29

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: -		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	5,0	400	12300	55,4
	nein	3,6	465	15090	56,5
	nein	4,0	438	11160	60,6
	nein	3,8	435	12620	55,1
	nein	3,3	446	12780	52,7
	nein	3,6	469	14420	53,6
	nein	2,3	497	16090	63,6
	nein	3,0	506	13840	45,7
	ja	6,1	476	12350	47,5
<i>Mittelwert</i>			459	13400	54,5
<i>Stand.-abw.</i>			33	1569	5,7
80% HB	nein	6,0	364	7600	41,0
	nein	6,5	468	12220	50,4
<i>Mittelwert</i>			416	9910	45,7
<i>Stand.-abw.</i>			74	3265	6,6
MB	nein	6,0	481	14790	60,6
	nein	5,8	472	12030	53,6
	nein	3,8	504	13410	52,4
<i>Mittelwert</i>			486	13410	55,6
<i>Stand.-abw.</i>			17	1378	4,4
nicht be- rücksichtigte Proben	ja	4,2	474	14610	44,2 ^I

^I Ast im Keilzinkenbereich

Tabelle A 30.1: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 30

Serie I	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 10		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	ja	5,0	407	13210	55,3
<i>Mittelwert</i>			407	13210	55,3
<i>Stand.-abw.</i>			-	-	-
80% HB	nein	9,8	346	7080	29,8
	nein	5,2	361	-	36,6
<i>Mittelwert</i>			354	7080	33,2
<i>Stand.-abw.</i>			11	-	4,8
MB	nein	3,2	505	16070	57,9
	nein	5,8	440	11590	60,0
	nein	5,7	444	11660	55,8
	nein	6,0	425	11340	53,0
	nein	5,5	408	12050	49,0
	nein	5,0	427	11040	57,5
	nein	8,8	404	9710	47,0
	nein	4,0	454	12010	57,5
	nein	4,0	506	12980	56,6
	nein	4,2	495	14070	64,3
	nein	3,1	517	14860	54,7
	nein	7,8	39,4	10840	53,2
<i>Mittelwert</i>			452	12350	55,5
<i>Stand.-abw.</i>			43	1828	4,7
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-

Tabelle A 30.2: Versuchsergebnisse (Einzelwerte); Firma 30

Serie II	Keilzinkenprofil: 20 mm Leimart: Resorcin		Anzahl der Lamellen je Fräsvorgang: 10		
	Mark- röhre	max Jrb mm	ρ_{\min} kg/m ³	E_{\min} N/mm ²	f_B N/mm ²
80% KzB	nein	2,4	530	17230	71,8
	nein	4,1	434	14130	63,6
	nein	4,3	430	13030	52,3
	nein	3,5	458	14670	64,8
	nein	1,9	520	14360	70,5
<i>Mittelwert</i>			474	14680	64,6
<i>Stand.-abw.</i>			48	1550	7,7
80% HB	nein	6,3	413	10280	44,1
	nein	5,3	393	9150	40,2
	nein	6,0	389	11040	38,0
	nein	6,0	386	10390	35,0
<i>Mittelwert</i>			395	10210	39,3
<i>Stand.-abw.</i>			12	788	3,8
MB	nein	3,2	459	12290	57,5
	nein	6,4	408	11780	48,0
	nein	5,4	411	11630	44,1
	nein	2,9	457	12230	63,2
	nein	3,0	457	12000	61,6
	nein	3,0	406	12180	58,6
<i>Mittelwert</i>			433	12020	55,5
<i>Stand.-abw.</i>			27	267	7,7
nicht be- rücksichtigte Proben	-	-	-	-	-