

**Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen  
bei Verwendung von zähelastischen Klebstoffen (Leimen)**

von

Jürgen Ehlbeck und Martin Kromer

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine  
Abteilung Ingenieurholzbau  
Universität Fridericiana Karlsruhe  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck  
1992

## VORWORT

Der Festigkeit von Keilzinkenverbindungen von Brettlamellen für Brettschichtholz kommt hinsichtlich der Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern eine besondere Bedeutung zu. Es war daher die Aufgabe, die Tragfähigkeit, insbesondere das Verhältnis von Zug- zu Biegefestigkeit, von Keilzinkenverbindungen bei Verwendung eines repräsentativen Epoxidharz- bzw. Polyurethanklebstoffes zu ermitteln und mit den Festigkeitswerten von resorcinharzverleimten Keilzinkenverbindungen zu vergleichen, um daraus Schlußfolgerungen für eventuelle Qualitätssteigerungen ziehen zu können.

Die vorliegende Arbeit entstand im Auftrag der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. mit finanzieller Unterstützung des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Baden - Württemberg.

Ein besonderer Dank gilt auch den beteiligten Holzleimbaubetrieben für deren Unterstützung bei der Herstellung von keilgezinkten Proben nach genau festgelegten Vorgaben sowie den Leimherstellern für die Bereitstellung der untersuchten Leime.

Die Bearbeitung dieses Vorhabens wurde von Herrn Dipl.-Ing. M. Kromer maßgeblich geleitet. Für den reibungslosen Ablauf und die zuverlässige Durchführung der Versuche sorgten die Herren H. Heck, J. Lafferthon und G. Rüd. Die studentischen Hilfskräfte cand.-ing. T. Baur und R. Schober zeichneten sich durch ihre Zuverlässigkeit bei der Auswertung und Darstellung der Ergebnisse sowie durch ihr Engagement bei den Untersuchungen in den Leimbaubetrieben aus.

Allen Beteiligten sei für die Mitarbeit gedankt.

Jürgen Ehlbeck

## INHALT

<b>1</b>	<b>Ziel des Forschungsvorhabens</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Derzeitiger Kenntnisstand</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Darstellung der Versuche</b> .....	<b>4</b>
3.1	Auswahl der Leime .....	4
3.2	Probenentnahme und Herstellung.....	4
3.3	Biegeversuche.....	7
3.4	Zugversuche .....	7
<b>4</b>	<b>Darstellung der Ergebnisse</b> .....	<b>9</b>
4.1	Allgemeines .....	9
4.2	Darstellung und Diskussion der Ergebnisse.....	10
4.2.1	Holzeigenschaften .....	10
4.2.2	Festigkeiten.....	15
4.2.3	Vergleich mit resorcinharzverleimten Proben.....	19
4.3	Verhältnis Zug- zu Biegefestigkeit .....	21
4.4	Charakteristische Werte .....	24
4.5	Einfluß der Versagensart .....	28
4.6	Einfluß der Markröhre .....	35
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>41</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>43</b>

## 1 Ziel des Forschungsvorhabens

Die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern wird in erster Linie von der Qualität der äußeren Zuglamellen und der Festigkeit der in diesen Lamellen vorhandenen Keilzinkenverbindungen bestimmt. Die Festigkeit einer einwandfrei hergestellten Keilzinkenverbindung ist, wie Versuche gezeigt haben, in erster Linie wegen der im Bereich des Zinkengrundes auftretenden hohen Spannungsspitzen deutlich geringer als die des fehlerfreien Holzes ohne Keilzinkenverbindung. Diese Spannungsspitzen in Verbindung mit den z. Zt. verwendeten relativ spröden Resorcinharzleimen bestimmen also das Tragvermögen einer Keilzinkenverbindung. Versuche mit verleimten Laschenstößen haben jedoch gezeigt, daß unter Verwendung von zähelastischeren Klebstoffen höhere Kräfte übertragen werden können, als dies bei resorcinharzverleimten Proben der Fall ist. Dies kann mit dem besseren "Arbeitsvermögen" des Klebstoffes erklärt werden, das einen Abbau der Spannungsspitzen ermöglicht. Diese Eigenschaft deutet darauf hin, daß auch bei Keilzinkenverbindungen höhere Festigkeiten erreichbar sein könnten, wenn zähelastischere Klebstoffe zur Anwendung kommen. Als mögliche Klebstoffe kommen dabei reaktive Epoxidharz- und Polyurethanklebstoffe in Frage.

Abweichend von DIN 16 920 - Klebstoffe; Klebstoffverarbeitung; Begriffe - , die Leim als "Klebstoff, bestehend aus tierischen, pflanzlichen oder synthetischen Grundstoffen und Wasser als Lösungsmittel" definiert, was für diese Klebstoffe nicht zutrifft, werden im folgenden die Begriffe "Leim", "Leimverbindung", "Verleimung", usw. verwendet, da diese im Holzbau bei der Herstellung und Verwendung von Brettschichtholz in der Regel angewendet werden.

Als Maß für die Güte einer Keilzinkenverbindung wird u. a. deren Biegefestigkeit angesehen, insbesondere weil diese bei Überwachungen im Herstellwerk einfach zu bestimmen ist. Da die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern aber vor allem von der Zugfestigkeit der Keilzinkenverbindung bestimmt wird, sind auch statistisch gesicherte Angaben über das Verhältnis von Zug- zu Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen erwünscht.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es also, diese Festigkeitseigenschaften der Keilzinkenverbindungen zu ermitteln, und zwar unter der Verwendung eines zähelastischen Leimes auf Epoxidharz- bzw. Polyurethanbasis. Diese Festigkeitseigenschaften müssen dabei mit Blickrichtung auf eine maschinelle Holzsortierung aber auch in Abhängigkeit von den Holzeigenschaften (Rohdichte, Elastizitätsmodul) der beiden miteinander verbundenen Bretter gesehen werden. Ein Vergleich mit den Festigkeitseigenschaften resorcinharzverleimter Keilzinkenverbindungen war aber in erster Linie Ziel des Forschungsprojektes.

## 2 Derzeitiger Kenntnisstand

Im Rahmen früherer Untersuchungen von EHLBECK ET AL. [1,2] wurden Biegefestigkeiten und Zugfestigkeiten keilgezinkter Brettlamellen an 845 Biege- bzw. 239 Zugproben ermittelt, wobei keine Anforderungen an die Holzeigenschaften der miteinander verbundenen Bretter gestellt wurden. Dabei ergaben sich die folgenden Verhältniswerte für die 5%-Fraktilen bzw. der Mittelwerte zu:

$$\frac{f_{Z,5,KZV}}{f_{B,5,KZV}} = \frac{23,4}{36,3} = 0,64$$

bzw.

$$\frac{f_{Z,m,KZV}}{f_{B,m,KZV}} = \frac{35,0}{50,6} = 0,69 .$$

Darin bedeuten:

$f_Z$  = Zugfestigkeit

$f_B$  = Biegefestigkeit

und die Fußzeiger

KZV = Keilzinkenverbindung

5 = 5% - Fraktile

m = Mittelwert.

In einem weiteren Forschungsbericht von EHLBECK/COLLING [3] findet man einen Überblick über die Biegefestigkeit von Trägern aus Brettschichtholz in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Brettlamellen. Als Grundlage für umfangreiche Simulationsrechnungen diente das sog. "Karlsruher Rechenmodell", mit dessen Hilfe die Auswirkungen verschiedener Einflußfaktoren überprüft werden konnten. Als wichtigste Ergebnisse wurden mitgeteilt:

- schärfere Anforderungen an die Ästigkeit der Brettlamellen bewirken ein häufigeres Auftreten eines Keilzinkenversagens, so daß eine strengere visuelle Holzsortierung nur bedingt zu höheren Festigkeiten des gesamten Trägers führt;
- werden bestimmte Mindestanforderungen an die Rohdichte und/oder den Elastizitätsmodul der Bretter gestellt, so sind deutlich höhere Festigkeiten zu erreichen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß sich diese Holzeigenschaften nicht nur auf die Festigkeit der Brettlamellen selbst auswirken, sondern auch auf die der Keilzinkenverbindungen.

Weiter wurde in diesem Forschungsvorhaben das Verhältnis von Zug- zu Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen an jeweils 360 Zug- und Biegeproben untersucht. Dabei wurde durch das Auswahlverfahren der Proben gewährleistet, daß die Zug- und Biegeproben jeweils paarweise identische Holzeigenschaften (Rohdichte und Elastizitätsmodul) aufwiesen.

Als wichtigste Ergebnisse dieser Untersuchungen sind zu nennen:

- das Verhältnis charakteristische Zugfestigkeit zu charakteristischer Biegefestigkeit ergab sich unabhängig vom Keilzinkenprofil und den Holzeigenschaften der keilgezinkten Brettabschnitte zu etwa 0,65;
- eine Eingrenzung der Streuung der Holzeigenschaften bewirkte ebenfalls eine geringere Streuung der Festigkeiten der Keilzinkenverbindungen;
- mit einer Mindestanforderung an den Elastizitätsmodul der Brettlamellen von  $E > 15000 \text{ N/mm}^2$  sind etwa 30-40% höhere charakteristische Festigkeiten der Keilzinkenverbindungen zu erreichen, als dies mit der derzeit praktizierten visuellen Holzsortierung der Fall ist.

WERNERSSON/GUSTAFSSON [5] haben bei Versuchen mit verleimten Laschenstößen unter reiner Schubbeanspruchung Spannungs-Dehnungs-Linien für verschiedene Leimarten ermittelt und daraus das "Arbeitsvermögen" der Leime bestimmt. Dabei hat sich gezeigt, daß bei Verwendung von Leimen mit zähelastischen Eigenschaften (Polyurethan, PVAc) höhere Kräfte übertragen werden können, als dies bei resorcinharzverleimten Proben der Fall ist.

### **3 Darstellung der Versuche**

#### **3.1 Auswahl der Leime**

Da über die Verwendung von zähelastischen Leimen auf Epoxidharz- bzw. Polyurethanbasis nur wenige Erfahrungen vorliegen, wurde bei der Auswahl der Leime auf Erkenntnisse zurückgegriffen, die bisher in anderen, zum Teil noch nicht abgeschlossenen Forschungsvorhaben gemacht wurden.

Zur Anwendung kam dabei einerseits ein einkomponentiger Polyurethan-Leim, der inzwischen nach DIN 68141 - Holzverbindungen, Prüfung von Leimen und Leimverbindungen für tragende Holzbauteile - geprüft und in bestimmtem Rahmen für die Fertigung von tragenden Holzbauteilen nach DIN 1052 - Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung - zugelassen ist.

Zum anderen wurde ein Epoxidharz verwendet, das mit Silikonelastomeren modifiziert wurde, um die gewünschten zähelastischen Eigenschaften zu erhalten. Die Leimauswahl erfolgte nach Beratungen in der begleitenden Arbeitsgruppe zu diesem Forschungsvorhaben.

#### **3.2 Probenentnahme und Herstellung**

Zur Untersuchung des Verhältnisses von Zug- zu Biegefestigkeit ist es erforderlich, daß die Prüfkörper zur Ermittlung der Zug- bzw. Biegefestigkeit vergleichbare Holzeigenschaften aufweisen. Weiter ist sicherzustellen, daß für jede Leimart ein nahezu identisches Brettangebot vorhanden ist.

Aufgrund dieser Randbedingungen wurden die Proben wie nachfolgend beschrieben entnommen und hergestellt: Aus insgesamt fünf deutschen

Holzleimbaubetrieben<sup>1</sup> wurden etwa 4 m lange Bretter entnommen und deren Rohdichte mittels Wägung, sowie deren Längs-Elastizitätsmodul mit Hilfe von Schwingungsmessungen [4] zerstörungsfrei bestimmt. Die Breite der entnommenen Bretter variierte zwischen 110 mm und 130 mm. Die Dicke betrug bei allen Brettern ca. 36 mm. Die Prüfung der keilgezinkten Proben erfolgte mit einem einheitlichen Querschnitt von  $b/d = 100/30$  mm. Um festzustellen, ob das Verhältnis Zug- zu Biegefestigkeit der Keilzinkenverbindungen von den Holzeigenschaften der keilgezinkten Bretter beeinflusst wird, und um einen Vergleich mit den bereits untersuchten resorcinharzverleimten Keilzinkenverbindungen [3] zu ermöglichen, wurden folgende drei Versuchsreihen ausgewählt:

*Tabelle 3.1:* Anforderungen an die Holzeigenschaften der keilgezinkten Bretter

Versuchsreihe	Anforderungen
I	$15000 \text{ N/mm}^2 < E^1)$
II	$11500 \text{ N/mm}^2 < E^1) < 13500 \text{ N/mm}^2$
III	keine; beliebige Bretter

<sup>1)</sup> mittlerer Längs-Elastizitätsmodul

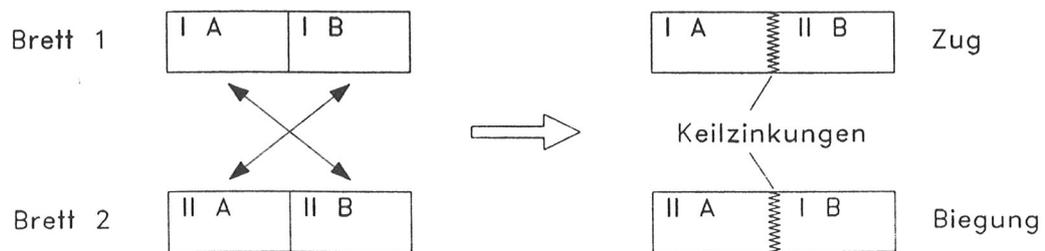
Nach der Auswahl der Bretter in den Betrieben wurden die Proben für jede Reihe nach dem Elastizitätsmodul sortiert und abwechselnd dem Leim Polyurethan bzw. Epoxidharz zugeordnet. In den so erhaltenen Gruppen erfolgte die Zusammenstellung der Einzelbretter zu Brettpaaren nach dem Zufallsprinzip, damit nicht systematisch z.B. das "beste" Brett mit dem "schlechtesten" Brett der jeweiligen Gruppe verleimt wird. Weiter wurde dar-

---

<sup>1</sup> Den Firmen Christian Burgbacher Holzwerke in Trossingen, Anton Hess Holzleimbau in Miltenberg, Schaffitzel Holzindustrie in Schwäbisch Hall, Fürst zu Fürstenberg Holzleimbau in Donaueschingen und Karl Achberger Holzbau in Bobingen, sowie den Firmen Beiersdorf AG in Hamburg und Hanse-Chemie in Geesthacht sei an dieser Stelle ausdrücklich für die freundliche Unterstützung bei den Untersuchungen gedankt.

auf geachtet, daß die Zuordnung in jeder Reihe für beide Leimarten innerhalb eines Betriebes identisch war.

Nach der Bildung der Probenpaare wurden aus jedem Brett zwei Abschnitte entnommen und nach dem in *Bild 3.1* dargestellten Schema zu Zug- bzw. Biegeproben zusammengestellt.



*Bild 3.1:* Herstellungsprinzip für die Versuchskörper

Mit Hilfe dieses Verfahrens war gewährleistet, daß ein Probenpaar nahezu identische Holzeigenschaften aufwies.

Die Herstellung und Verleimung der Keilzinkenverbindungen in jedem Betrieb erfolgte, bis auf eine Ausnahme, in einem Arbeitsdurchgang, so daß auch die Herstellungsbedingungen für alle Prüfkörper aus einem Betrieb nahezu identisch waren.

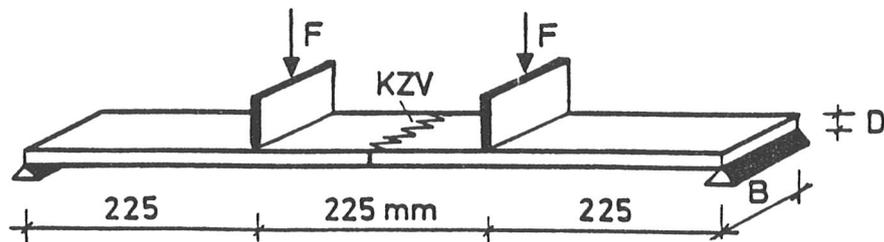
Der Leim wurde den Herstellerempfehlungen entsprechend mittels Zinkenkämmen aufgetragen. Die Verweildauer in der Keilzinkenpresse wurde auf etwa 6 s eingestellt, während der Preßdruck von der Herstellung resorcinharzverleimter Keilzinkenverbindungen übernommen wurde.

Die Prüfkörper wiesen die in Deutschland gebräuchlichsten Keilzinkenprofile (15mm- und 20mm-Profil) auf. Dies sollte Aufschluß darüber geben, ob das Verhältnis der Festigkeitswerte auch vom verwendeten Keilzinkenprofil abhängig ist.

In jeder Versuchsreihe wurden je 75 Zug- bzw. Biegeproben je Leimart hergestellt, so daß insgesamt 900 Proben zur Verfügung standen (2 Leimarten x 3 Versuchsreihen x 2 Festigkeitsprüfungen x 75 Prüfkörper).

### 3.3 Biegeversuche

Die Ermittlung der Biegefestigkeit erfolgte mit Hilfe des in *Bild 3.2* dargestellten Versuchsaufbaues.



*Bild 3.2:* Versuchsaufbau zur Ermittlung der Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen

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

$$f_B = 1350 \cdot \frac{F_{\max}}{b \cdot d^2} \quad (1)$$

mit

- $f_B$  = rechnerische Biegefestigkeit in  $\text{N}/\text{mm}^2$ ,
- $F_{\max}$  = aufnehmbare Last in N,
- $b$  = Brettbreite in mm,
- $d$  = Brettdicke in mm.

### 3.4 Zugversuche

Die Zugfestigkeit der Keilzinkenverbindungen wurde mit Hilfe der in *Bild 3.3* dargestellten Versuchseinrichtung bestimmt.

Die rechnerische Zugfestigkeit wurde ohne Berücksichtigung des Verschwächungsgrades im Zinkengrund mit Hilfe der nachfolgenden Gleichung ermittelt.

$$f_Z = \frac{F_{\max}}{b \cdot d} \quad (2)$$

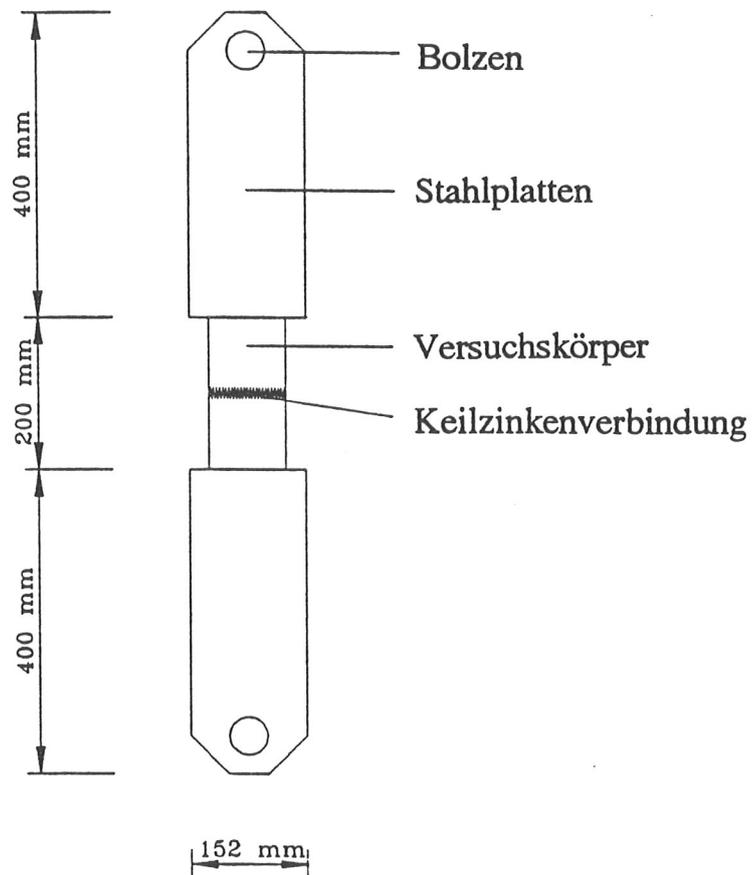
mit

$f_Z$  = rechnerische Zugfestigkeit in N/mm<sup>2</sup>,

$F_{\max}$  = aufnehmbare Last in N,

$b$  = Brettbreite in mm,

$d$  = Brettstärke in mm.

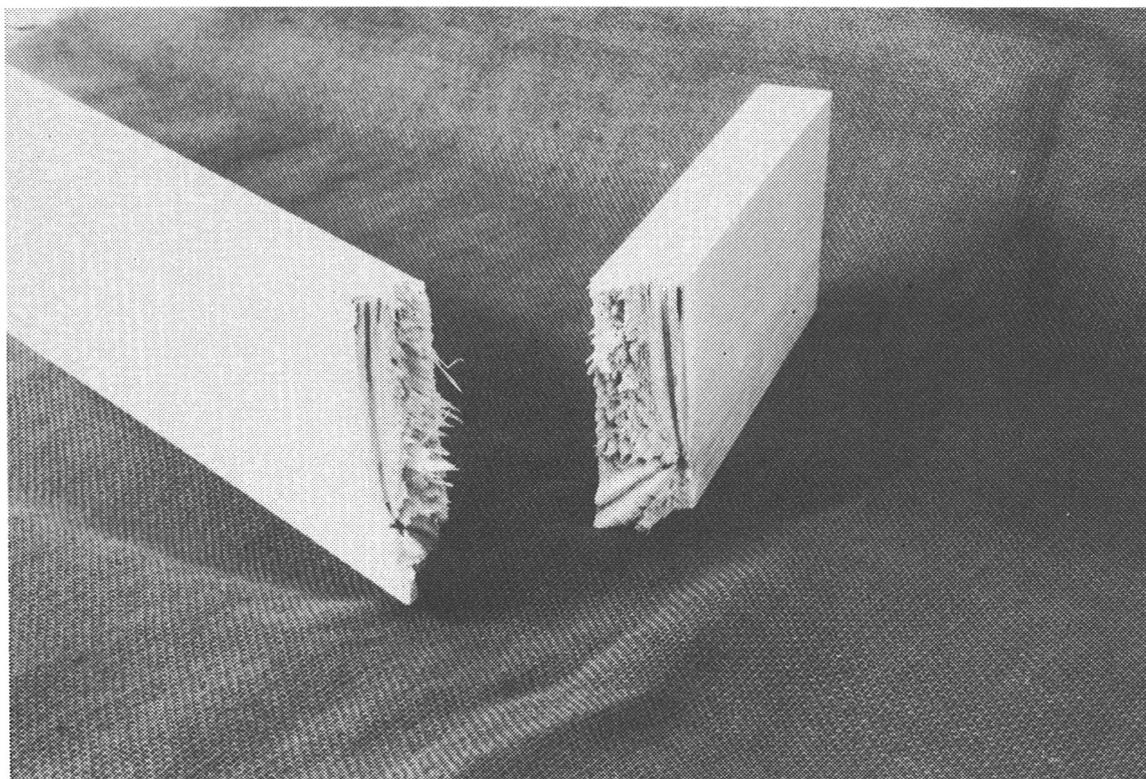


*Bild 3.3:* Vorrichtung zur Ermittlung der Keilzinken - Zugfestigkeit

## 4 Darstellung der Ergebnisse

### 4.1 Allgemeines

Bei der Herstellung der Keilzinkenverbindungen gingen insgesamt 31 Proben verloren (Kappen an falscher Stelle, "Zerstörung" während des Preßvorganges). Weitere Prüfkörper wurden von der Auswertung ausgeschlossen, weil sie im Bereich großer Äste statt im Keilzinkenbereich brachen (56 Proben, vgl. *Bild 4.1*) oder weil sie infolge mangelnden Leimauftrages vorzeitig zu Bruch gingen (13 Proben). Weitere vier Zugproben wurden ausgeschlossen, da durch Rutschen der Proben in den Einspannbacken die Bruchlast nicht erreicht wurde. Somit wurden bei der Auswertung der Versuchsergebnisse insgesamt 796 Proben berücksichtigt.



*Bild 4.1:* Prüfkörper mit Versagen im Lasteinleitungsbereich infolge Astansammlung (Biegeversuch).

Neben der erreichten Höchstlast wurde bei den Versuchen auch das Bruchbild der Proben aufgenommen.

Bedingt durch das in *Abschnitt 3.2* beschriebene Verfahren der Probenentnahme wiesen etwa 2/3 der Probenpaare (Zug- und Biegeproben) ein identisches Bruchverhalten auf. Wenn eine Zugprobe durch einen Scherbruch in den Zinkenflanken versagte, zeigte auch die zugehörige Biegeprobe dieses Bruchverhalten. Nur in etwa 2% der Fälle wiesen die Probenpaare ein gänzlich voneinander abweichendes Bruchverhalten auf. Dies konnte in den meisten Fällen darauf zurückgeführt werden, daß vorhandene Äste im Zugversuch einen größeren Einfluß auf die Festigkeit hatten als im Biegeversuch.

Im Anhang zu diesem Bericht sind für jeden Versuch die folgenden Werte angegeben:

- Probennummer,
- mittlere Rohdichte der beiden Bretthälften ( $\rho_1$  und  $\rho_2$ ),
- mittlerer Elastizitätsmodul der beiden Bretthälften ( $E_1$  und  $E_2$ ),
- rechnerische Biegefestigkeit ( $f_B$ ),
- rechnerische Zugfestigkeit ( $f_Z$ ),
- prozentualer Anteil des Holzbruches (HB) an der gesamten Bruchfläche,
- prozentualer Anteil des Versagens im Keilzinkenbereich (KB),
- Vorhandensein der Markröhre in mindestens einer Bretthälfte (M).

## 4.2 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

### 4.2.1 Holzeigenschaften

EHLBECK ET AL [2] zeigten bei ihren Untersuchungen, daß die Tragfähigkeit einer Keilzinkenverbindung in der Regel von dem Brett mit den "schlechteren" Holzeigenschaften bestimmt wird, d. h. das Versagen einer Keilzinkenverbindung wird durch einen Bruch im Brett mit der geringeren Rohdichte und/oder dem kleineren Elastizitätsmodul eingeleitet. Aus diesem Grund wurde wie bei der Auswertung der keilgezinkten Brettabschnitte bei EHLBECK/COLLING [3] der jeweils kleinere Wert der Rohdichte ( $\rho_{\min}$ ) und des Elastizitätsmoduls ( $E_{\min}$ ) bei den Auswertungen in Ansatz gebracht. In Anlehnung an die in [3] gewonnenen Erkenntnisse erfolgte die Auswertung

der hier beschriebenen Versuche in der gleichen Weise. Dadurch wird auch ein Vergleich der Ergebnisse aus verschiedenen Forschungsprojekten ermöglicht. Die *Tabellen 4.1.a und b* enthalten für jede Versuchsreihe und Firma die Mittelwerte und die zugehörigen Variationskoeffizienten für die Rohdichte  $\rho_{\min}$ , getrennt nach der bei der Herstellung der Keilzinkenverbindung verwendeten Art des Leimes. In gleicher Weise sind in den *Tabellen 4.2.a und b* die Werte für den Elastizitätsmodul  $E_{\min}$  dargestellt. *Tabelle 4.3* enthält die Werte  $E_{\min}$  der Bretter, getrennt nach den für die Verleimung der Keilzinkenverbindung verwendeten Leimarten; die Werte für die Bretter mit resorcinharzverleimten Keilzinkenverbindungen wurden aus [3] übernommen.

*Tabelle 4.1.a:* Mittelwerte  $m$  [g/cm<sup>3</sup>] und Variationskoeffizient  $v$  von  $\rho_{\min}$  (Polyurethanproben)

	Fa. 1	Fa. 2	Fa. 3	Fa. 4	Fa. 5	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
Reihe I								
m	0,480	0,498	-	0,484	0,482	0,493	0,482	0,487
v	0,04	0,05	-	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04
Reihe II								
m	0,434	0,424	-	0,437	0,435	0,427	0,436	0,432
v	0,05	0,04	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Reihe III								
m	0,444	0,405	0,450	0,478	0,436	0,429	0,461	0,437
v	0,07	0,09	0,08	0,08	0,03	0,10	0,08	0,10

<sup>\*)</sup> Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

*Tabelle 4.1.b:* Mittelwerte  $m$  [g/cm<sup>3</sup>] und Variationskoeffizient  $v$  von  $\rho_{\min}$  (Epoxidharzproben)

	Fa. 1	Fa. 2	Fa. 3	Fa. 4	Fa. 5	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
Reihe I								
m	0,478	0,503	-	0,491	0,494	0,500	0,484	0,492
v	0,05	0,04	-	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
Reihe II								
m	0,443	0,432	-	0,440	0,432	0,432	0,442	0,437
v	0,03	0,05	-	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04
Reihe III								
m	0,451	0,416	0,450	0,489	0,441	0,434	0,470	0,443
v	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09

<sup>\*)</sup> Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

*Tabelle 4.2.a:* Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ] und Variationskoeffizient  $v$  von  $E_{\min}$  (Polyurethanproben)

	Fa. 1	Fa. 2	Fa. 3	Fa. 4	Fa. 5	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
Reihe I								
m	15400	15900	-	15700	15800	15800	15600	15700
v	0,03	0,07	-	0,03	0,04	0,06	0,03	0,05
Reihe II								
m	12300	12100	-	12300	12400	12200	12300	12200
v	0,04	0,04	-	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04
Reihe III								
m	13000	10500	12300	14300	10700	11300	13600	11900
v	0,12	0,15	0,19	0,16	0,10	0,18	0,15	0,19

<sup>\*)</sup> Länge des Profiles der Keilzinkenverbindung

*Tabelle 4.2.b:* Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ] und Variationskoeffizient  $v$  von  $E_{\min}$  (Epoxidharzproben)

	Fa. 1	Fa. 2	Fa. 3	Fa. 4	Fa. 5	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
Reihe I								
m	15400	15900	-	15700	15800	15900	15600	15700
v	0,03	0,07	-	0,03	0,04	0,06	0,03	0,05
Reihe II								
m	12300	12100	-	12300	12400	12200	12300	12300
v	0,04	0,04	-	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04
Reihe III								
m	13200	10500	12400	14600	10900	11400	13900	12100
v	0,10	0,15	0,18	0,12	0,09	0,18	0,12	0,19

<sup>\*)</sup> Länge des Profiles der Keilzinkenverbindung

*Tabelle 4.3:* Vergleich der Mittelwerte  $m$  [N/mm<sup>2</sup>] und Variationskoeffizienten  $v$  von  $E_{\min}$  der keilgezinkten Bretter (R = Resorcinharz, E = Epoxidharz, P = Polyurethan)

Leim	R	R	E	E	P	P
Profil	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>
Reihe I						
m	15500	15900	15900	15600	15800	15600
v	0,05	0,07	0,06	0,03	0,06	0,03
Reihe II						
m	12200	12300	12200	12300	12200	12300
v	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04
Reihe III						
m	11300	11700	11400	13900	11300	13600
v	0,17	0,15	0,18	0,12	0,18	0,15

<sup>\*)</sup> Länge des Profiles der Keilzinkenverbindung

Aus diesen Tabellen ist folgendes zu erkennen:

- bei Reihe I sind aufgrund der Anforderungen an die Holzeigenschaften (nur Bretter mit hohem Elastizitätsmodul) die Mittelwerte für  $\rho_{\min}$  und  $E_{\min}$  naturgemäß deutlich höher als bei Reihe II und III;
- die Proben der Reihen II und III weisen etwa die gleichen Mittelwerte für  $\rho_{\min}$  und  $E_{\min}$  auf. Es ist jedoch zu erkennen, daß bei Reihe III die Proben mit 20mm-Profil einen wesentlich höheren mittleren Elastizitätsmodul haben als die Proben mit 20mm-Profil in Reihe II, während dieser Sachverhalt bei den Proben mit 15mm-Profil gerade entgegengesetzt ist. Da für die Reihe III keine besonderen Anforderungen an die Holzeigenschaften gestellt wurden (vgl. *Tabelle 3.1*), läßt sich dieses Ergebnis auf das zum Zeitpunkt der Probenentnahme vorhandene Brettangebot in den einzelnen Firmen zurückführen;
- die Streuungen (Variationskoeffizienten) der Holzeigenschaften sind bei Reihe I und II deutlich geringer als bei Reihe III. Dieses Ergebnis kann ebenfalls mit den Auswahlkriterien der Bretter erklärt werden

- und hat vermutlich die größten Auswirkungen auf die Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindungen. Da die Festigkeit einer Keilzinkenverbindung mit den Holzeigenschaften der Bretter korreliert ist, kann bei geringerer Streuung der Holzeigenschaften auch eine geringere Streuung der Festigkeitswerte der Keilzinkenverbindung erwartet werden. Dies wirkt sich wiederum günstig auf die charakteristischen Festigkeitswerte (5%-Fraktilen) einer Keilzinkenverbindung aus;
- die Mittelwerte der jeweiligen Versuchsreihen sind vergleichbar mit den entsprechenden Reihen bei EHLBECK/COLLING [3], so daß ein Vergleich mit resorcinharzverleimten Keilzinkenverbindungen möglich ist (vgl. *Tabelle 4.3*).

#### 4.2.2 Festigkeiten

In den *Tabellen 4.4.a und b* sind die Ergebnisse der Zugversuche zusammengefaßt. Die *Tabellen 4.5.a und b* enthalten die Ergebnisse der Biegeversuche jeweils getrennt nach der Leimart. Hieraus ergeben sich folgende Tendenzen:

- die mittleren Zug- und Biegefestigkeiten der Reihe I liegen etwa 20% über den entsprechenden Werten der Reihen II und III. Dieses Ergebnis läßt sich mit den "besseren" Holzeigenschaften erklären, da für die Bretter dieser Reihe ein mittlerer Elastizitätsmodul von mindestens  $15000 \text{ N/mm}^2$  gefordert war. Diese Versuche bestätigten erneut die bereits in [2 und 3] aufgezeigte Korrelation zwischen der Festigkeit von Keilzinkenverbindungen und den Holzeigenschaften der miteinander verbundenen Bretter;
- die mittleren Festigkeitswerte der Reihe II liegen nur wenig über den entsprechenden Werten der Reihe III. Dies läßt sich durch die nur geringfügig voneinander abweichenden Mittelwerte der Elastizitätsmoduln in beiden Reihen erklären (vgl. *Tabellen 4.2.a und b*);
- der große Einfluß der Holzeigenschaften auf die Festigkeitswerte zeigt sich sehr deutlich in Reihe III. Sowohl die Zug- als auch die Biegefestigkeiten der Proben mit 20mm-Profil liegen weit über den Festigkeitswerten des 15mm-Profils. Da sich bei Reihe I und II diese Unterschiede zwischen den beiden Profilen nicht zeigen, kann davon ausge-

gangen werden, daß hier die Holzeigenschaften maßgebend sind. Weiterhin sind die Festigkeiten des 20mm-Profiles in Reihe III höher als in Reihe II. Auch dieses Ergebnis läßt sich mit den mittleren Elastizitätsmoduln in den jeweiligen Reihen erklären;

- die Streuungen der Festigkeitswerte (Variationskoeffizienten) sind bei Reihe I und II deutlich geringer als bei Reihe III. Auch dieses Ergebnis war aufgrund der im vorigen Abschnitt gemachten Ausführungen über die Holzeigenschaften zu erwarten.

Die bisher festgestellten Tendenzen gelten sowohl für Keilzinkenverbindungen, die mit Polyurethan verleimt wurden, als auch für epoxidharzverleimte Keilzinkungen.

Weiter läßt sich bei Betrachtung der Festigkeitswerte der Reihen I und II feststellen, daß bei epoxidharzverleimten Proben die Keilzinkenverbindungen mit 15mm-Profil im Mittel 5-10% höhere Festigkeiten aufweisen als die Proben mit 20mm-Profil.

Bei den polyurethanverleimten Keilzinkenverbindungen ist diese Tendenz nicht zu erkennen. In diesem Fall sind die Festigkeiten für Proben mit 15mm-Profil und 20mm-Profil etwa gleich groß.

*Tabelle 4.4.a:* Ergebnisse der Zugversuche (Mittelwerte  $m$  [N/mm<sup>2</sup>], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); alle Proben mit Polyurethan keilgezinkt

	Fa. 1	Fa. 2	Fa. 3	Fa. 4	Fa. 5	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
Reihe I								
m	54,1	50,9	-	47,6	46,1	49,5	51,0	50,3
v	0,13	0,22	-	0,18	0,21	0,22	0,16	0,19
N	20	21	-	18	9	30	38	68
Reihe II								
m	41,9	39,2	-	41,4	42,0	40,3	41,7	41,1
v	0,16	0,14	-	0,13	0,11	0,13	0,15	0,14
N	18	14	-	13	9	23	31	54
Reihe III								
m	49,1	38,5	36,1	45,6	37,1	37,2	47,5	39,7
v	0,12	0,28	0,30	0,26	0,13	0,28	0,19	0,28
N	8	20	22	7	4	46	15	61

<sup>\*)</sup> Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

*Tabelle 4.4.b:* Ergebnisse der Zugversuche (Mittelwerte  $m$  [N/mm<sup>2</sup>], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); alle Proben mit Epoxidharz keilgezinkt

	Fa. 1	Fa. 2	Fa. 3	Fa. 4	Fa. 5	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
Reihe I								
m	46,0	49,9	-	41,3	43,0	47,9	43,7	45,5
v	0,18	0,17	-	0,16	0,13	0,17	0,17	0,18
N	20	21	-	19	9	30	39	69
Reihe II								
m	40,3	40,3	-	35,0	37,1	39,5	37,6	38,4
v	0,15	0,15	-	0,17	0,14	0,15	0,17	0,16
N	18	20	-	19	7	27	37	64
Reihe III								
m	48,6	36,3	31,6	39,3	35,9	33,9	44,2	36,9
v	0,11	0,17	0,23	0,15	0,10	0,20	0,17	0,23
N	10	19	23	9	4	46	19	65

<sup>\*)</sup> Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

*Tabelle 4.5.a:* Ergebnisse der Biegeversuche (Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); alle Proben mit Polyurethan keilgezinkt

	Fa. 1	Fa. 2	Fa. 3	Fa. 4	Fa. 5	15 mm*)	20 mm*)	Alle
Reihe I								
m	61,9	66,0	-	62,4	64,2	65,5	62,1	63,7
v	0,07	0,11	-	0,10	0,07	0,10	0,09	0,10
N	20	25	-	17	8	33	37	70
Reihe II								
m	51,8	53,7	-	53,4	51,6	53,0	52,6	52,8
v	0,10	0,09	-	0,11	0,15	0,12	0,11	0,11
N	18	19	-	17	10	29	35	64
Reihe III								
m	56,8	49,4	48,2	60,2	48,2	48,8	58,5	51,5
v	0,10	0,16	0,14	0,12	0,11	0,15	0,11	0,16
N	10	23	23	10	5	51	20	71

\*) Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

*Tabelle 4.5.b:* Ergebnisse der Biegeversuche (Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); alle Proben mit Epoxidharz keilgezinkt

	Fa. 1	Fa. 2	Fa. 3	Fa. 4	Fa. 5	15 mm*)	20 mm*)	Alle
Reihe I								
m	55,0	59,7	-	51,3	52,5	57,8	53,1	55,3
v	0,11	0,09	-	0,10	0,14	0,11	0,11	0,12
N	19	25	-	19	9	34	38	72
Reihe II								
m	46,7	51,7	-	46,0	47,3	50,6	46,3	48,3
v	0,12	0,11	-	0,11	0,12	0,11	0,11	0,12
N	17	24	-	19	8	32	36	68
Reihe III								
m	50,4	46,3	40,7	55,1	45,2	43,6	52,6	46,0
v	0,11	0,17	0,14	0,12	0,05	0,16	0,12	0,17
N	10	23	24	9	4	51	19	70

\*) Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

#### 4.2.3 Vergleich mit resorcinharzverleimten Proben

Tabelle 4.6 und 4.7 beinhalten zusätzlich die Ergebnisse der resorcinharzverleimten Proben aus den Untersuchungen von *Ehlbeck/Colling*. Für den Vergleich mit den hier untersuchten Leimen werden nur die Reihen I und II weiter betrachtet, da hier im Mittel vergleichbare Holzeigenschaften vorliegen. Dabei lassen sich folgende Aussagen treffen:

- die Biegefestigkeiten der epoxidharzverleimten Keilzinkenverbindungen haben etwa 5-10% niedrigere, während die polyurethanverleimten Proben gerinfügig höhere Festigkeitswerte aufweisen als die entsprechenden resorcinharzverleimten Keilzinkungen;
- die Zugversuche der untersuchten Keilzinkenverbindungen ergeben für beide Leimarten etwa 5-10% höhere Festigkeitswerte als bei den entsprechenden resorcinharzverleimten Proben. Eine Ausnahme bilden die polyurethanverleimten Proben mit 20mm-Profil: in diesem Fall liegen die ermittelten Zugfestigkeiten sogar ca. 25% über den mit Resorcinharz verleimten Keilzinkenproben. Dieser Einfluß ist sogar so groß, daß die günstigeren Profileigenschaften des 15mm-Profils, wie sie in [3] festgestellt wurden, durch die zähelastischen Eigenschaften der Leime überdeckt werden.

Tabelle 4.6: Vergleich der Zugversuche (Mittelwerte  $m$  [N/mm<sup>2</sup>], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); (R = Resorcinharz, E = Epoxidharz, P = Polyurethan)

Leim	R	R	E	E	P	P
Profil	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>
Reihe I						
m	45,9	38,9	47,9	43,7	49,5	51,0
v	0,17	0,18	0,17	0,17	0,22	0,16
N	56	54	30	39	30	38
Reihe II						
m	37,3	34,3	39,5	37,6	40,3	41,7
v	0,16	0,19	0,15	0,17	0,13	0,15
N	56	58	27	37	23	31
Reihe III						
m	35,4	32,5	33,9	44,2	37,2	47,5
v	0,26	0,20	0,20	0,17	0,28	0,19
N	57	59	46	19	46	15

<sup>\*)</sup> Länge des Profiles der Keilzinkenverbindung

Tabelle 4.7: Vergleich der Biegeversuche (Mittelwerte  $m$  [N/mm<sup>2</sup>], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); (R = Resorcinharz, E = Epoxidharz, P = Polyurethan)

Leim	R	R	E	E	P	P
Profil	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>
Reihe I						
m	62,6	59,0	57,8	53,1	65,5	62,1
v	0,11	0,13	0,11	0,11	0,10	0,09
N	56	55	34	38	33	37
Reihe II						
m	52,1	50,7	50,6	46,3	53,0	52,6
v	0,11	0,13	0,11	0,11	0,12	0,11
N	50	59	32	36	29	35
Reihe III						
m	49,6	48,7	43,6	52,6	48,8	58,5
v	0,16	0,17	0,16	0,12	0,15	0,11
N	58	55	51	19	51	20

<sup>\*)</sup> Länge des Profiles der Keilzinkenverbindung

### 4.3 Verhältnis Zug- zu Biegefestigkeit

Im Rahmen dieses Abschnittes wird das Verhältnis Zug- zu Biegefestigkeit der einzelnen Probenpaare analysiert. Insgesamt standen hierzu 355 Probenpaare zur Verfügung.

In den *Tabellen 4.8.a und b* sind die Ergebnisse für jede Versuchsreihe, jede Firma und jedes Keilzinkenprofil dargestellt. *Tabelle 4.9* zeigt die Verhältniswerte der Keilzinkenfestigkeiten für Proben die mit den hier untersuchten Leimen hergestellt wurden im Vergleich zu den resorcinharzverleimten Proben.

Aus diesen Tabellen lassen sich folgende Tendenzen erkennen:

- das Verhältnis Zug- zu Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen ist leim- und profilabhängig. Bei den resorcinharzverleimten Proben ist der Verhältniswert der Festigkeiten bei Proben mit 15mm-Profil größer als bei Proben mit 20mm-Profil. Die Verhältniswerte der epoxidharzverleimten Proben sind für beide Profilarten etwa gleich groß und bei den Proben mit Polyurethanverleimung ist der Verhältniswert der Proben mit 15mm-Profil kleiner als bei den Proben mit 20mm-Profil;
- für den untersuchten Epoxidharz- und Polyurethanleim ist der Quotient Zug- zu Biegefestigkeit in allen Versuchsreihen größer als bei den entsprechenden Reihen der resorcinharzverleimten Proben, d. h. der Unterschied zwischen Zug- und Biegefestigkeit ist geringer;
- das Verhältnis Zug- zu Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen ist nicht von den Holzeigenschaften der Bretter abhängig, denn die mittleren Verhältniswerte sind für alle Versuchsreihen nahezu gleich.

In *Bild 4.2* sind die Werte für das Verhältnis Zug- zu Biegefestigkeit der Keilzinkenverbindungen in Form eines Häufigkeitsdiagrammes dargestellt. In diesem Diagramm sind alle Versuchswerte ohne Unterscheidung nach Versuchsreihe, Firma oder Keilzinkenprofil enthalten. Dieses Bild veranschaulicht, in welchem großem Bereich die Einzelwerte schwanken.

*Tabelle 4.8.a:* Verhältnis Zug- zu Biegefestigkeit (Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ], Variationskoeffizient  $v$ , Anzahl der Probenpaare  $N$ ); alle Paare mit Polyurethan keilgezinkt

	Fa. 1	Fa. 2	Fa. 3	Fa. 4	Fa. 5	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
Reihe I								
m	0,88	0,79	-	0,73	0,72	0,77	0,82	0,80
v	0,14	0,25	-	0,15	0,24	0,24	0,17	0,21
N	20	21	-	15	7	28	35	63
Reihe II								
m	0,83	0,75	-	0,79	0,80	0,77	0,81	0,80
v	0,13	0,14	-	0,20	0,11	0,13	0,16	0,15
N	16	13	-	12	9	22	28	50
Reihe III								
m	0,87	0,77	0,75	0,74	0,78	0,77	0,81	0,78
v	0,13	0,20	0,22	0,22	0,06	0,20	0,19	0,20
N	8	18	20	7	4	42	15	57

<sup>\*)</sup> Länge des Profiles der Keilzinkenverbindung

*Tabelle 4.8.b:* Verhältnis Zug- zu Biegefestigkeit (Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ], Variationskoeffizient  $v$ , Anzahl der Probenpaare  $N$ ); alle Paare mit Epoxidharz keilgezinkt

	Fa. 1	Fa. 2	Fa. 3	Fa. 4	Fa. 5	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
Reihe I								
m	0,84	0,84	-	0,83	0,82	0,83	0,83	0,83
v	0,20	0,20	-	0,18	0,25	0,21	0,19	0,20
N	19	21	-	18	8	29	37	66
Reihe II								
m	0,88	0,80	-	0,78	0,79	0,80	0,83	0,81
v	0,17	0,18	-	0,18	0,15	0,17	0,19	0,18
N	15	19	-	18	6	25	33	58
Reihe III								
m	0,97	0,79	0,79	0,71	0,81	0,79	0,85	0,81
v	0,09	0,17	0,21	0,14	0,04	0,19	0,19	0,19
N	10	18	22	8	3	43	18	61

<sup>\*)</sup> Länge des Profiles der Keilzinkenverbindung

Tabelle 4.9: Verhältnis Zug- zu Biegefestigkeit (Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ], Variationskoeffizient  $v$ , Anzahl der Probenpaare  $N$ ); (R = Resorcinharz, E = Epoxidharz, P = Polyurethan)

Leim	R	R	E	E	P	P
Profil	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>
Reihe I						
m	0,73	0,67	0,83	0,83	0,77	0,82
v	0,15	0,16	0,21	0,19	0,24	0,17
N	53	50	29	37	28	35
Reihe II						
m	0,72	0,68	0,80	0,83	0,77	0,81
v	0,18	0,22	0,17	0,19	0,13	0,16
N	42	58	25	33	22	28
Reihe III						
m	0,71	0,68	0,79	0,85	0,77	0,81
v	0,21	0,18	0,19	0,19	0,21	0,19
N	55	55	43	18	42	15

<sup>\*)</sup> Länge des Profiles der Keilzinkenverbindung

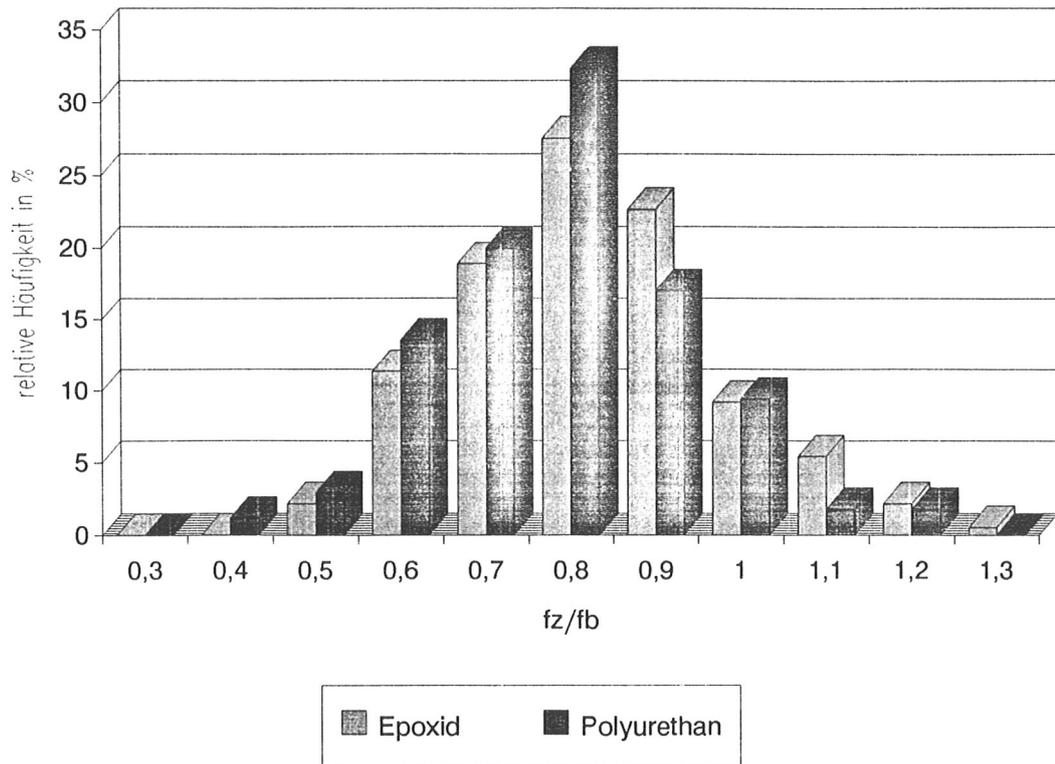


Bild 4.2: Verhältnis Zug- zu Biegefestigkeit  $f_z/f_B$  von Keilzinkenverbindungen; Einzelwerte

#### 4.4 Charakteristische Werte

Ziel der durchgeführten Versuche war es, die Festigkeitseigenschaften, insbesondere das Verhältnis von Zug- zu Biegefestigkeit, von Keilzinkenverbindungen, die mit zähelastischen Leimen hergestellt sind, zu bestimmen. Mit diesem Verhältniswert ist es möglich, die Zugfestigkeit von Keilzinkenverbindungen auf der Grundlage der einfacher zu bestimmenden Biegefestigkeit abzuschätzen, und daraus auch die zu erwartende Biegefestigkeit der aus diesen Brettlamellen hergestellten Brettschichtholzträger zu ermitteln, die bekanntlich sehr stark von der Zugfestigkeit der Keilzinkenverbindungen abhängig ist [3].

Da für die Bemessung von Bauteilen die charakteristischen Festigkeiten (i. a. die 5%-Fraktilen) maßgebend sind, wurde mit Hilfe der durchgeführten Versuche auch das Verhältnis charakteristische Zugfestigkeit zu charakteristische Biegefestigkeit ermittelt. Für die Bestimmung der charakteristischen Festigkeitswerte wurde eine Gauß-Normalverteilung angenommen.

In den *Tabellen 4.10.a-c* sind für jede Versuchsreihe und für jedes Keilzinkenprofil die charakteristischen Festigkeitswerte und die zugehörigen Verhältniswerte, sowohl für Keilzinkenverbindungen mit den untersuchten Leimen als auch für solche mit resorcinharzverleimten Keilzinkenverbindungen nach [3], angegeben. Aus diesen Tabellen sind folgende Tendenzen zu erkennen:

- die charakteristischen Festigkeitswerte der Reihe I liegen etwa 40% über den vergleichbaren Werten der Reihe III. Dies zeigt sehr deutlich, daß bei entsprechender Auswahl der Bretter nach dem Elastizitätsmodul hohe Festigkeitswerte für die Keilzinkenverbindungen erreichbar sind und gewährleistet werden können.
- die charakteristischen Festigkeitswerte der Reihe II (ohne Berücksichtigung des Keilzinkenprofils) liegen deutlich über den entsprechenden Werten der Reihe III. Dies verdeutlicht den positiven Einfluß einer geringeren Streuung der Festigkeiten, die in diesem Fall auf eine geringere Streuung der Holzeigenschaften zurückzuführen ist.
- das Verhältnis charakteristische Zugfestigkeit zu charakteristische Biegefestigkeit ist kleiner als das mittlere Verhältnis der Einzelwerte nach *Tabelle 4.8.a und b*. Dies ist auf die unterschiedlichen Streuungen der Versuchswerte bei Zug- bzw. Biegebeanspruchung zurückzuführen. Die größere Streuung (Variationskoeffizient) der Zugfestigkeit führt im Vergleich zur Biegefestigkeit zu einem kleineren charakteristischen Festigkeitswert, so daß das Verhältnis der charakteristischen Festigkeiten zueinander kleiner ist als das Verhältnis der Mittelwerte.
- für die epoxidharzverleimten Proben ist aus *Tabelle 4.10.c* keine ausgeprägte Abhängigkeit des Verhältnisses der charakteristischen Festigkeiten von den Holzeigenschaften (Reihe I bis III) zu erkennen. Somit kann für diese Leimart der Verhältniswert unabhängig von der Sortierklasse mit etwa 0,7 angegeben werden.

Bei den polyurethanverleimten Proben ist eine allgemeine Aussage über die Größe des Quotienten kaum möglich. Während der Quotient bei den Reihen I und III und den Proben mit 15mm-Profil deutlich unter 0,6 liegt, ergaben sich aus den übrigen Reihen wesentlich höhere Werte. Die niedrigen Werte resultieren aus dem großen Variationskoeffizienten bei den Zugproben, der sich bei dem vorhandenen geringen Probenumfang in jeder Teilgruppe (ca. 35 Proben) aufgrund einiger weniger 'Ausreißer' nach oben oder unten ergeben kann.

- der Vergleich der charakteristischen Festigkeiten der Keilzinkenverbindungen mit den in diesem Forschungsprojekt untersuchten Leimen mit den charakteristischen Festigkeiten der resorcinharzverleimten Keilzinkenverbindungen führt, bedingt durch vergleichbare Variationskoeffizienten innerhalb der jeweiligen Reihen, zu den gleichen Tendenzen, wie sie bereits in *Abschnitt 4.2.3* festgestellt wurden.

Tabelle 4.10.a: Charakteristische Zugfestigkeit  $f_{Z,5,KZV}$  [N/mm<sup>2</sup>] von Keilzinkenverbindungen; alle Probenpaare

	Resorcinharz			Epoxidharz			Polyurethan		
	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
Reihe I	33,0	27,4	29,9	34,2	31,9	32,5	31,3	36,6	34,2
Reihe II	27,7	23,3	25,1	29,3	27,6	28,3	32,7	31,6	32,0
Reihe III	20,3	22,1	20,9	22,8	32,4	23,3	20,1	32,5	22,0

\*) Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

Tabelle 4.10.b: Charakteristische Biegefestigkeit  $f_{B,5,KZV}$  [N/mm<sup>2</sup>] von Keilzinkenverbindungen; alle Probenpaare

	Resorcinharz			Epoxidharz			Polyurethan		
	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
Reihe I	51,1	46,0	48,2	47,3	43,8	44,6	54,1	53,5	53,6
Reihe II	43,0	39,8	41,2	39,5	37,2	37,8	43,8	43,1	43,5
Reihe III	36,7	35,0	35,9	32,4	42,2	33,4	37,6	49,2	38,4

\*) Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

Tabelle 4.10.c: Verhältnis  $f_{Z,5,KZV} / f_{B,5,KZV}$ ; alle Probenpaare

	Resorcinharz			Epoxidharz			Polyurethan		
	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
Reihe I	0,65	0,60	0,60	0,72	0,73	0,73	0,58	0,68	0,64
Reihe II	0,64	0,59	0,61	0,74	0,74	0,75	0,75	0,73	0,74
Reihe III	0,55	0,63	0,58	0,70	0,77	0,70	0,53	0,66	0,57

\*) Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

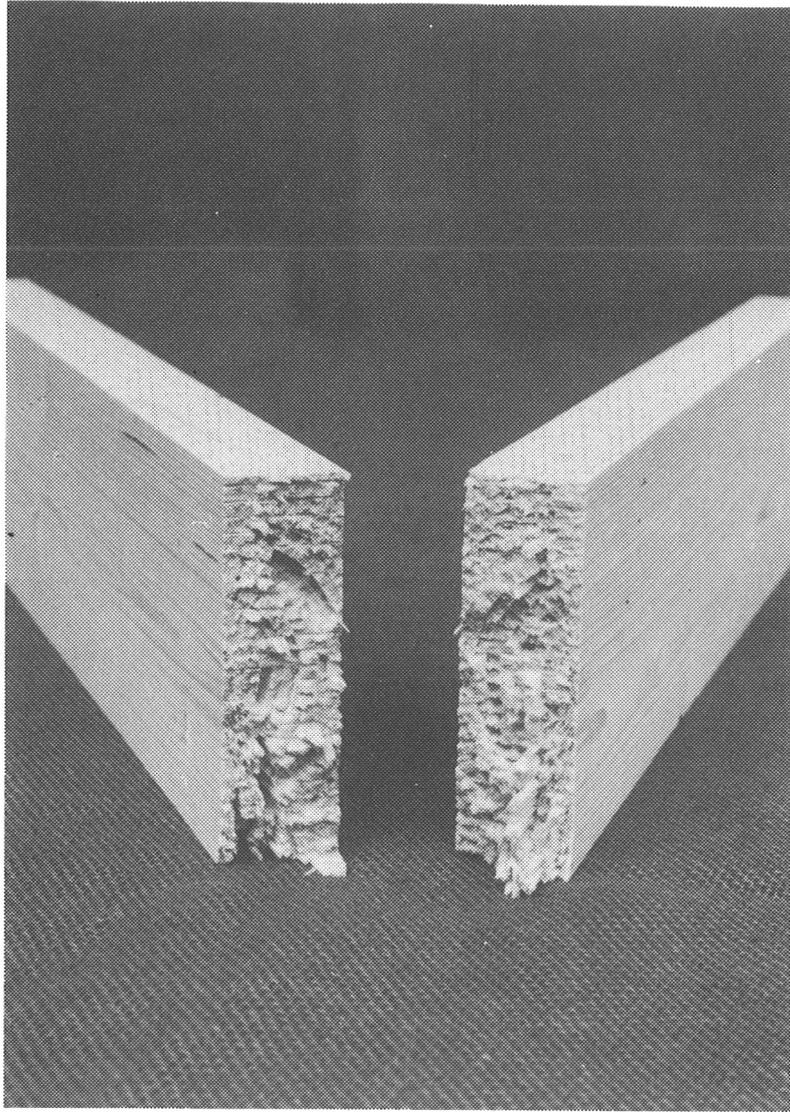
#### 4.5 Einfluß der Versagensart

Die Untersuchungen von EHLBECK/COLLING [3] zeigten, daß bei keilgezinkten Brettabschnitten mit 'schlechten' Holzeigenschaften (niedrige Rohdichte bzw. kleiner Elastizitätsmodul) in der Regel ein Holzbruch im Zinkengrund bzw. außerhalb des Keilzinkenbereichs (vgl. *Bild 4.3*) eintritt, während bei Keilzinkenverbindungen mit höherwertigen Brettern vermehrt ein Scherbruch entlang der Zinkenflanken bruchauslösend ist (vgl. *Bild 4.4*). Daneben traten bei allen Versuchsreihen nach [3] auch Mischformen aus den beiden erstgenannten Versagensarten auf (vgl. *Bild 4.5*).

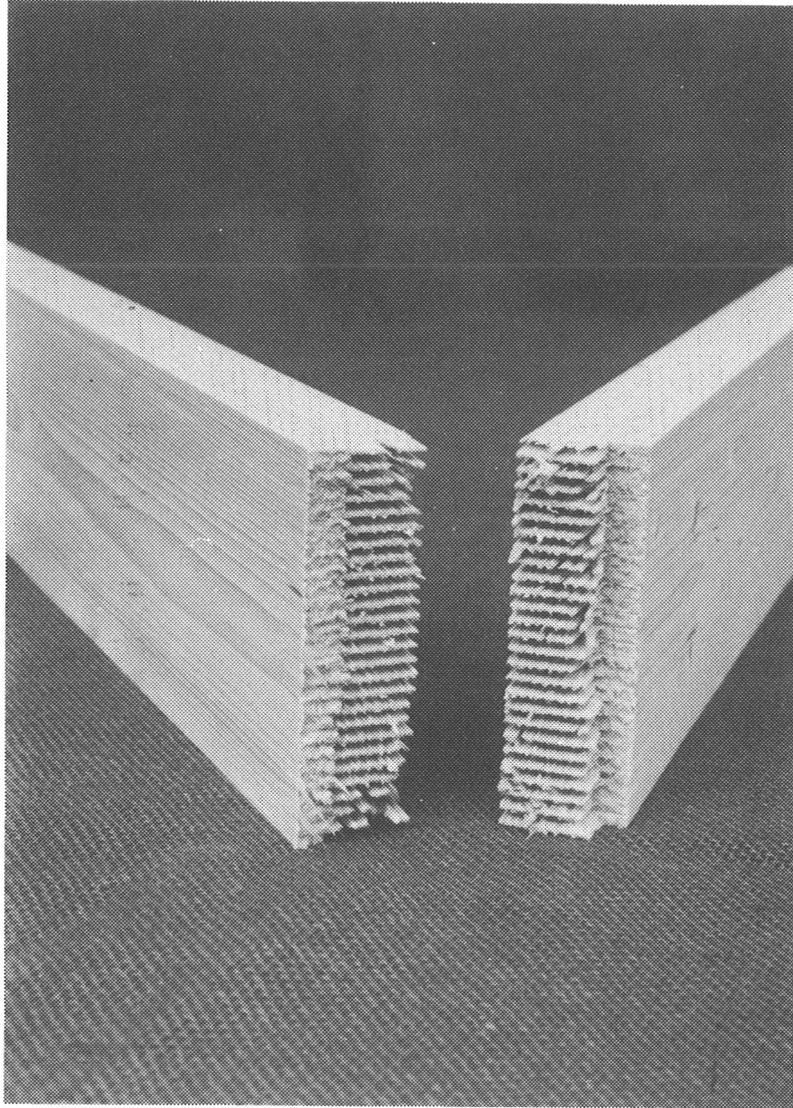
Die Tendenz, daß mit steigendem Elastizitätsmodul die Häufigkeit eines Scherbruches entlang der Zinkenflanken zunimmt, konnte auch bei den hier durchgeführten Versuchen bestätigt werden. Aus den *Tabellen 4.11.a und b* sowie den *Tabellen 4.12.a und b* ist zu entnehmen, daß bei den Proben der Reihe I mehr Keilzinkenverbindungen durch Scherbruch in den Zinkenflanken versagten als bei den Reihen II und III. Weiter ist zu erkennen, daß die Keilzinkenverbindungen mit Scherversagen im Mittel höhere Festigkeiten aufwiesen als die Proben mit Holzbruch. Ein überwiegendes Keilzinkenversagen ist also keineswegs gleichbedeutend mit einem Herstellungsmangel der Keilzinkenverbindung.

In den *Bildern 4.6 bis 4.8* sind für beide Leimarten zusammengenommen die relativen Häufigkeiten der Versagensarten Holzbruch, Scherbruch und Mischbruch getrennt nach Zug- und Biegeversuchen in Abhängigkeit vom kleineren Elastizitätsmodul  $E_{\min}$  der beiden Bretthälften dargestellt. Auch hier zeigt sich deutlich, daß die Proben mit kleinem Elastizitätsmodul häufiger infolge eines Holzbruches versagt haben, während bei höheren Elastizitätsmoduln eher ein Scherbruch entlang der Zinkenflanken auftritt.

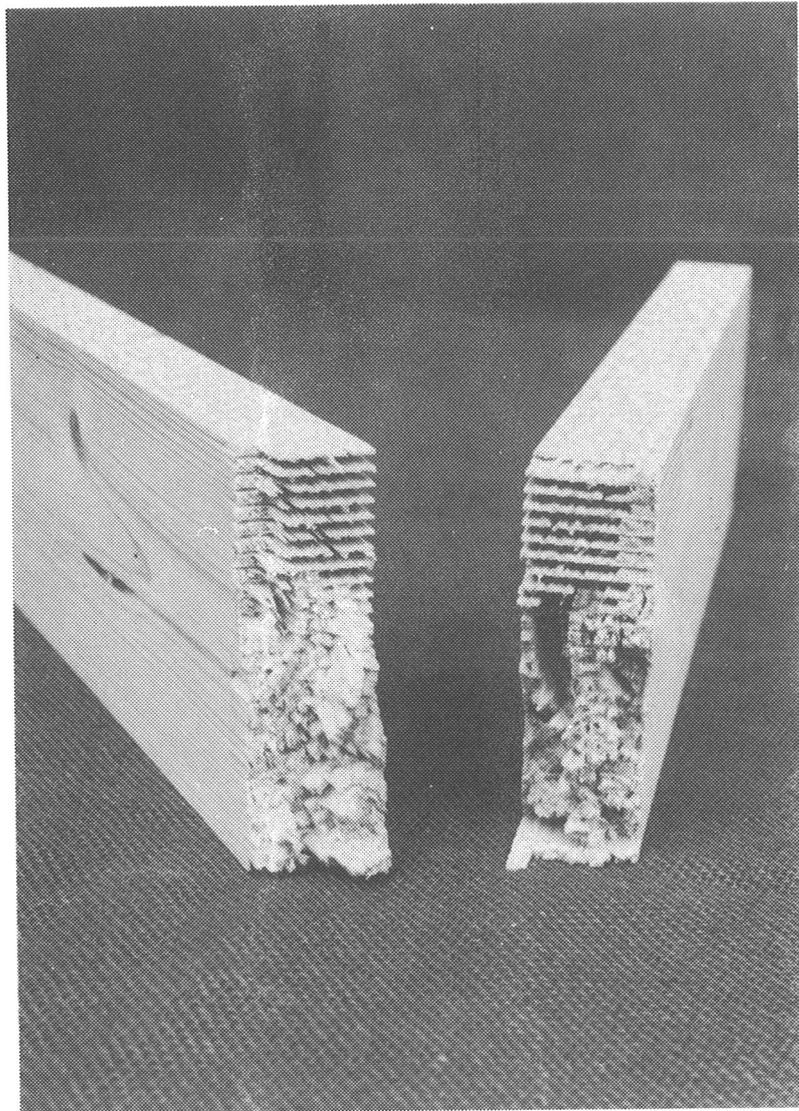
Bedingt durch die Einteilung der untersuchten Reihen wird der Bereich des Elastizitätsmoduls  $E_{\min}$  zwischen 13500 und 15000 N/mm<sup>2</sup> nur durch Proben der Reihe III abgedeckt, so daß in diesem Bereich nur eine geringe Anzahl von Versuchsergebnissen für die Auswertung zur Verfügung standen. Dadurch ergaben sich auch die in den Diagrammen deutlich erkennbaren "Sprünge" im Bereich von etwa  $E_{\min} = 14000$  N/mm<sup>2</sup>.



*Bild 4.3:* Keilzinkenverbindung mit Holzbruch im Zinkengrund



*Bild 4.4:* Keilzinkenverbindung mit Scherbruch in den Zinkenflanken



*Bild 4.5:* Keilzinkenverbindung mit Mischbruch

Tabelle 4.11.a: Ergebnisse der Zugversuche (Mittelwerte  $m$  [N/mm<sup>2</sup>], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); (Polyurethan)

	mind. 80% Scherbruch in den Zinkenflanken			mind. 80% Holzbruch			Mischbruch		
	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
REIHE I									
m	54,9	50,4	51,1	49,1	43,2	47,8	47,5	55,8	52,3
v	0,39	0,15	0,20	0,17	0,21	0,18	0,19	0,13	0,17
N	4	22	26	18	5	23	8	11	19
REIHE II									
m	31,2	41,7	39,6	39,6	39,8	39,7	47,9	47,1	47,3
v	-	0,07	0,14	0,10	0,14	0,12	0,05	0,13	0,11
N	1	4	5	19	20	39	3	7	10
REIHE III									
m	41,7	50,4	45,6	35,3	45,0	36,6	42,2	46,9	44,0
v	0,45	0,16	0,32	0,20	0,26	0,23	0,31	0,18	0,26
N	6	5	11	32	5	37	8	5	13

\*) Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

Tabelle 4.11.b: Ergebnisse der Zugversuche (Mittelwerte  $m$  [N/mm<sup>2</sup>], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); (Epoxidharz)

	mind. 80% Scherbruch in den Zinkenflanken			mind. 80% Holzbruch			Mischbruch		
	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
REIHE I									
m	49,1	44,3	44,8	47,1	42,2	46,6	48,8	42,3	45,5
v	0,26	0,18	0,19	0,17	0,18	0,17	0,16	0,15	0,17
N	3	27	30	17	2	19	10	10	20
REIHE II									
m	-	33,6	33,6	38,7	37,6	38,1	41,1	40,1	40,5
v	-	0,17	0,17	0,13	0,16	0,14	0,19	0,17	0,18
N	-	7	7	18	19	37	9	11	20
REIHE III									
m	35,9	43,7	39,3	34,1	51,1	35,6	31,7	42,3	38,1
v	0,27	0,15	0,23	0,18	0,15	0,22	0,14	0,17	0,22
N	9	7	16	31	3	34	6	9	15

\*) Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

Tabelle 4.12.a: Ergebnisse der Biegeversuche (Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); (Polyurethan)

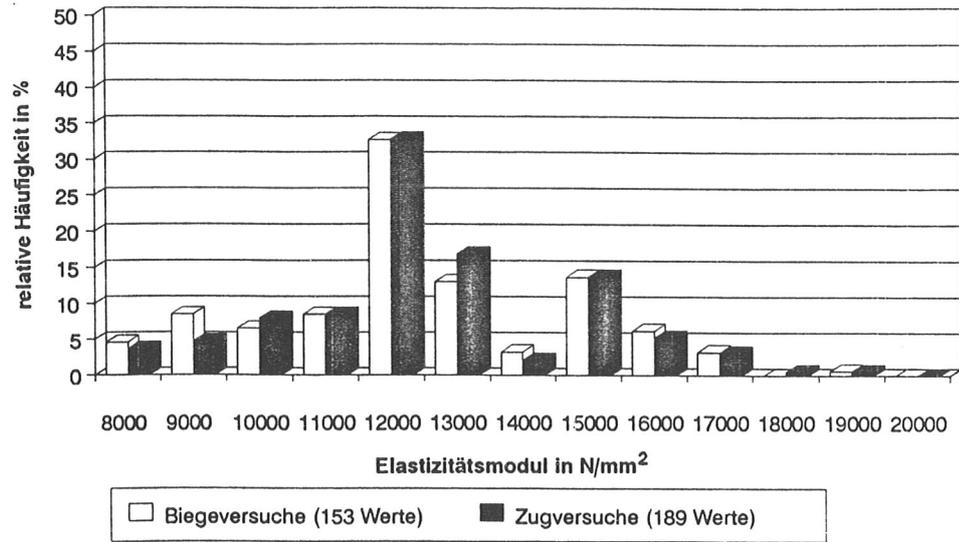
	mind. 80% Schbruch in den Zinkenflanken			mind. 80% Holzbruch			Mischbruch		
	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
REIHE I									
m	69,8	62,7	64,7	63,3	59,7	62,7	65,0	61,6	63,1
v	0,08	0,06	0,08	0,11	0,15	0,11	0,09	0,12	0,11
N	9	23	32	15	3	18	9	11	20
REIHE II									
m	49,1	50,0	49,9	52,7	49,9	51,9	54,2	53,6	53,7
v	-	0,25	0,23	0,12	0,13	0,12	0,11	0,09	0,09
N	1	7	8	21	9	30	7	19	26
REIHE III									
m	55,8	60,1	58,5	46,7	53,6	47,5	51,4	60,0	54,1
v	0,11	0,11	0,11	0,15	0,10	0,15	0,12	0,11	0,14
N	6	10	16	34	5	39	11	5	16

\*) Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

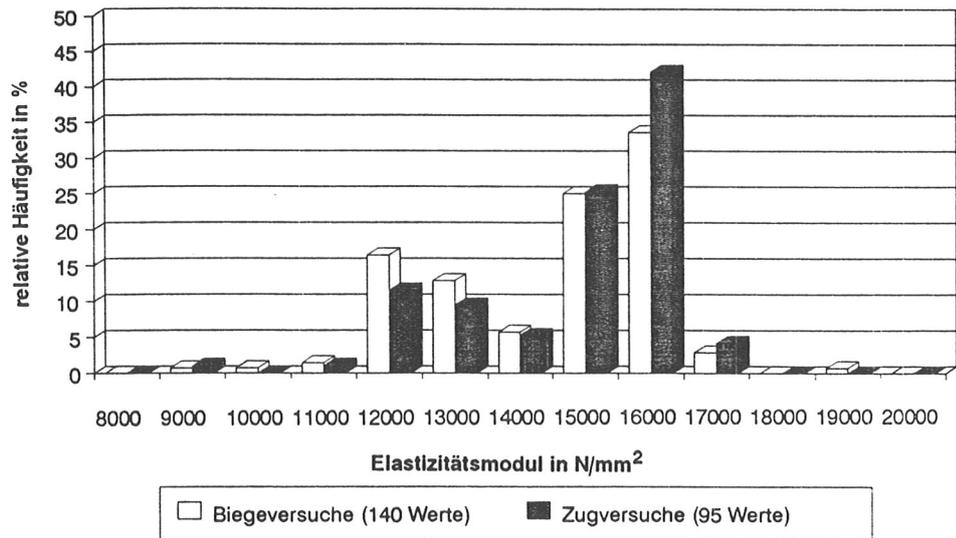
Tabelle 4.12.b: Ergebnisse der Biegeversuche (Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); (Epoxidharz)

	mind. 80% Schbruch in den Zinkenflanken			mind. 80% Holzbruch			Mischbruch		
	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
REIHE I									
m	61,2	53,3	55,4	55,8	49,0	54,5	57,1	54,2	55,9
v	0,11	0,11	0,12	0,13	0,06	0,13	0,09	0,11	0,10
N	10	27	37	13	3	16	11	8	19
REIHE II									
m	50,5	45,6	47,1	51,0	46,2	49,0	50,1	47,3	48,6
v	0,12	0,15	0,14	0,10	0,09	0,11	0,15	0,10	0,13
N	6	13	19	16	12	28	10	11	21
REIHE III									
m	42,2	53,2	47,5	44,3	41,7	44,1	44,1	53,4	45,9
v	0,15	0,11	0,17	0,15	-	0,15	0,18	0,14	0,18
N	15	14	29	20	1	21	16	4	20

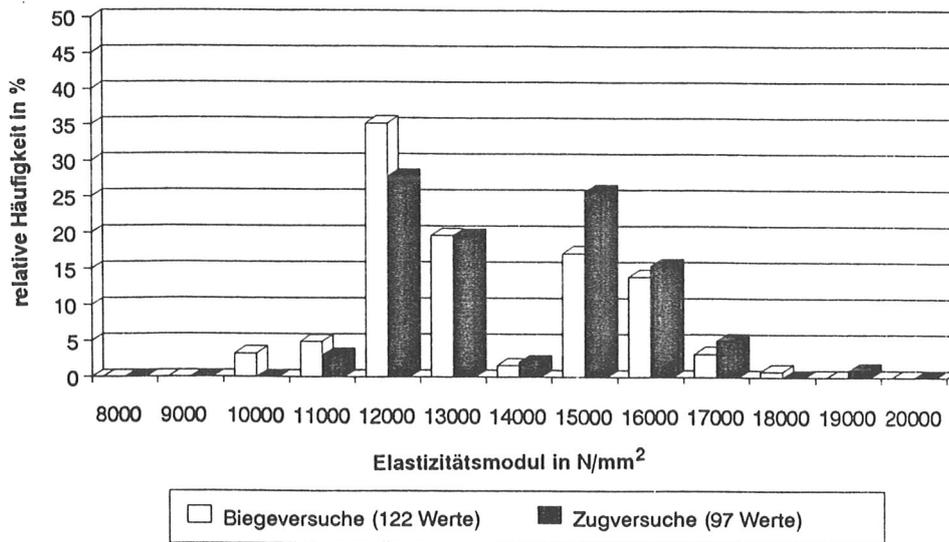
\*) Länge des Profils der Keilzinkenverbindung



*Bild 4.6:* Relative Häufigkeit der Versagensart Holzbruch in % für Zug- und Biegeversuche in Abhängigkeit vom kleineren Elastizitätsmodul  $E_{\min}$  in  $N/mm^2$



*Bild 4.7:* Relative Häufigkeit der Versagensart Scherbruch in % für Zug- und Biegeversuche in Abhängigkeit vom kleineren Elastizitätsmodul  $E_{\min}$  in  $N/mm^2$



*Bild 4.8:* Relative Häufigkeit der Versagensart Mischbruch in % für Zug- und Biegeversuche in Abhängigkeit vom kleineren Elastizitätsmodul  $E_{\min}$  in  $N/mm^2$

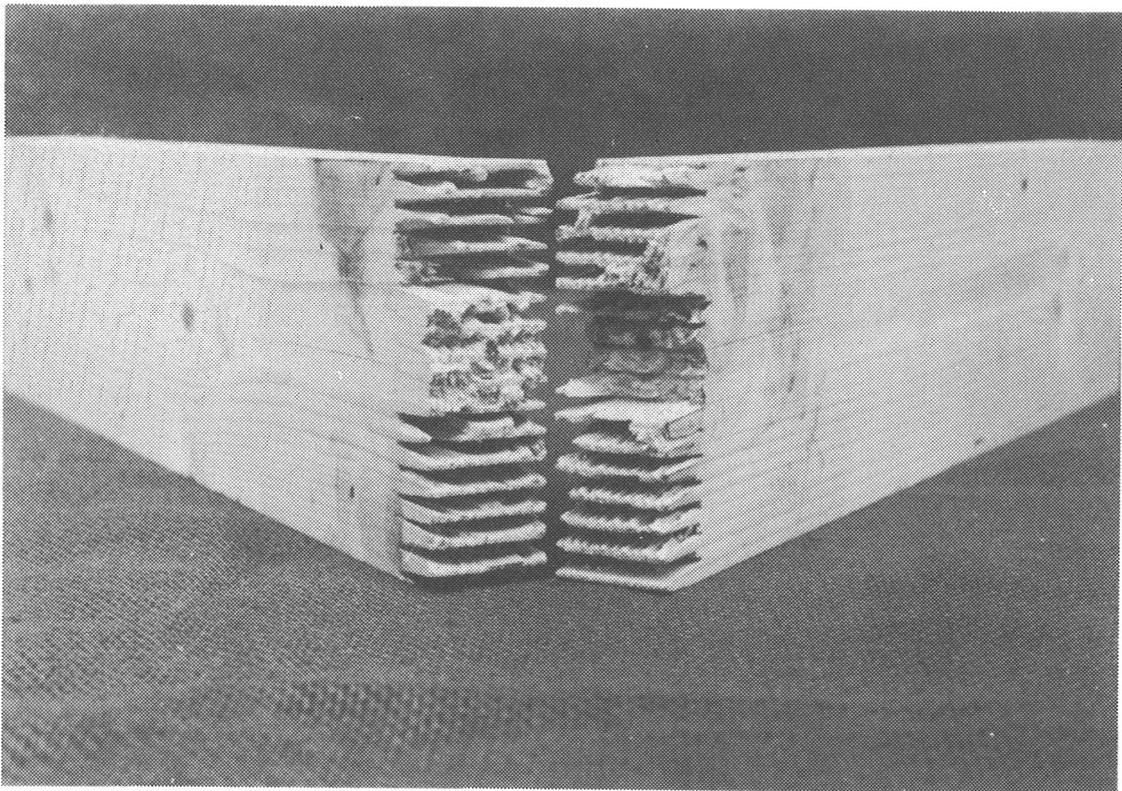
#### 4.6 Einfluß der Markröhre

Bei den Untersuchungen von EHLBECK ET AL [2] zeigte sich, daß das Vorhandensein der Markröhre in einer der beiden keilgezinkten Bretthälften ausreicht, um die Tragfähigkeit der betroffenen Keilzinkenverbindung nachteilig zu beeinflussen. Diese an Biegeproben durchgeführten Untersuchungen ergaben für Proben, die in mindestens einer Bretthälfte eine Markröhre aufwiesen, im Mittel etwa 5-10% geringere Festigkeitswerte als bei Proben ohne Markröhre. Diese Tendenz ist, wenn auch nur mit geringer Ausprägung, bei den hier untersuchten Biegeproben ebenfalls festzustellen.

Bei den geprüften Zugproben konnte dies jedoch nicht eindeutig festgestellt werden. Bei Reihe I lagen die Festigkeitswerte der Proben mit Markröhre sogar über den Werten der Proben ohne Markröhre. Anhand der hier durchgeführten Versuche ist somit keine eindeutige Abhängigkeit festzustellen. Die Ergebnisse aus *Tabelle 4.13.a und b* deuten aber zumindest darauf hin,

daß der Einfluß der Markröhre mit besser werdenden Holzeigenschaften abnimmt. Diese Aussage ist jedoch nicht statistisch abgesichert, insbesondere weil bei der Reihe I relativ wenige Proben eine Markröhre aufwiesen.

Daß das marknahe Holz einen Einfluß auf das Festigkeitsverhalten ausübt wird in *Bild 4.9* deutlich. Während im überwiegenden Teil der Keilzinkenverbindung ein Scherversagen entlang der Zinkenflanken auftrat, versagte der Bereich der Markröhre und der ersten Jahrringe durch einen Holzbruch im Zinkengrund.



*Bild 4.9:* Bruchbild einer Keilzinkenverbindung mit Markröhre

Tabelle 4.13.a: Ergebnisse der Zugversuche (Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); (Polyurethan)

	Proben ohne Markröhre			Proben mit Markröhre		
	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
REIHE I						
m	44,7	50,3	48,4	54,9	55,2	55,0
v	0,21	0,16	0,18	0,17	0,18	0,17
N	16	32	48	14	6	20
REIHE II						
m	42,4	41,5	41,8	38,7	42,0	40,2
v	0,12	0,15	0,14	0,13	0,14	0,14
N	10	20	30	13	11	24
REIHE III						
m	34,2	49,5	38,5	40,2	44,4	41,1
v	0,16	0,12	0,23	0,32	0,28	0,31
N	23	9	32	23	6	29

<sup>\*)</sup> Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

Tabelle 4.13.b: Ergebnisse der Zugversuche (Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); (Epoxidharz)

	Proben ohne Markröhre			Proben mit Markröhre		
	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
REIHE I						
m	45,2	44,0	44,4	50,9	42,0	48,3
v	0,13	0,16	0,15	0,19	0,25	0,22
N	16	33	49	14	6	20
REIHE II						
m	40,9	37,9	38,8	38,3	36,8	37,7
v	0,10	0,18	0,16	0,19	0,17	0,18
N	12	27	39	15	10	25
REIHE III						
m	33,0	46,0	37,1	34,9	41,7	36,7
v	0,20	0,18	0,25	0,19	0,13	0,19
N	24	11	35	22	8	30

<sup>\*)</sup> Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

*Tabelle 4.14.a:* Ergebnisse der Biegeversuche (Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); (Polyurethan)

	Proben ohne Markröhre			Proben mit Markröhre		
	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
<b>REIHE I</b>						
m	66,5	61,7	64,0	60,2	63,8	62,3
v	0,10	0,09	0,10	0,07	0,06	0,07
N	28	30	58	5	7	12
<b>REIHE II</b>						
m	53,7	53,7	53,7	52,3	49,2	50,8
v	0,08	0,11	0,10	0,14	0,17	0,15
N	14	21	35	15	14	29
<b>REIHE III</b>						
m	49,5	58,1	52,5	48,0	59,3	50,2
v	0,15	0,10	0,15	0,15	0,15	0,17
N	26	14	40	25	6	31

<sup>\*)</sup> Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

*Tabelle 4.14.b:* Ergebnisse der Biegeversuche (Mittelwerte  $m$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ], Variationskoeffizient  $v$ , Probenanzahl  $N$ ); (Epoxidharz)

	Proben ohne Markröhre			Proben mit Markröhre		
	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle	15 mm <sup>*)</sup>	20 mm <sup>*)</sup>	Alle
<b>REIHE I</b>						
m	57,7	53,6	55,5	58,3	50,9	54,2
v	0,12	0,11	0,12	0,09	0,11	0,12
N	29	32	61	5	6	11
<b>REIHE II</b>						
m	50,8	47,3	49,0	50,3	45,1	47,4
v	0,12	0,13	0,13	0,11	0,10	0,12
N	19	20	39	13	16	29
<b>REIHE III</b>						
m	43,3	53,6	45,8	44,1	51,6	46,5
v	0,18	0,11	0,19	0,11	0,13	0,14
N	32	10	42	19	9	28

<sup>\*)</sup> Länge des Profils der Keilzinkenverbindung

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde die Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen bei Verwendung von zähelastischen Leimen untersucht. Zur Anwendung kamen dabei ein einkomponentiger Leim auf Polyurethanbasis sowie ein mit Silikonelastomeren modifiziertes Epoxidharz. Ein besonderes Augenmerk wurde auf das Verhältnis Zug- zu Biegefestigkeit der untersuchten Proben gerichtet. Dazu wurden je 450 Zug- bzw. Biegeproben mit paarweise identischen Holzeigenschaften (Rohdichte und Elastizitätsmodul) hergestellt. Als wichtigste Ergebnisse dieser Versuche sind zu nennen:

- eine Eingrenzung der Streuungen der Holzeigenschaften bewirkt auch eine geringere Streuung der Festigkeitswerte der Keilzinkenverbindung. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die bei der Bemessung ausschlaggebende charakteristische Festigkeit (5%-Fraktile) von großer Bedeutung;
- mit einer Mindestanforderung an den Elastizitätsmodul der Brettlamellen von  $E > 15000 \text{ N/mm}^2$  sind etwa 30-40% höhere charakteristische Festigkeitswerte zu erreichen, als dies mit der derzeit praktizierten rein visuellen Holzsortierung der Fall ist;
- im Vergleich zu resorcinharzverleimten Proben ergaben die Zugversuche mit epoxidharz- bzw. polyurethanverleimten Keilzinkenverbindungen etwa 5-10% höhere mittlere Festigkeitswerte. Bei polyurethanverleimten Proben mit 20mm-Profil liegen die mittleren Zugfestigkeiten sogar bis zu 25% über den entsprechenden Keilzinkenverbindungen mit Resorcinharzverleimung. Es zeigte sich damit, daß bei Verwendung von Leim auf Polyurethanbasis eine Erhöhung der Zugfestigkeit von keilgezinkten Brettlamellen möglich ist.
- die Biegefestigkeiten von resorcinharz- und polyurethanverleimten Proben sind in etwa gleich, während die Biegefestigkeiten der Epoxidharzproben ca. 10% unter den erstgenannten Werten liegen.
- der Vergleich der mittleren Festigkeitswerte der epoxidharz- bzw. polyurethanverleimten Proben mit den resorcinharzverleimten Proben läßt sich auch auf die charakteristischen Festigkeitswerte übertragen, da für

alle untersuchten Leime in den einzelnen Reihen vergleichbare Variationskoeffizienten anzutreffen sind.

- das Verhältnis charakteristische Zugfestigkeit zu charakteristische Biegefestigkeit ergab sich für epoxidharzverleimte Proben mit 15 mm- und 20 mm-Profil, sowie für polyurethanverleimte Proben mit 20mm-Profil unabhängig von den Holzeigenschaften der keilgezinkten Brettabschnitte zu etwa 0,70. Für die polyurethanverleimten Proben mit 15mm-Profil läßt sich aufgrund der großen Variationskoeffizienten in den Reihen I und III kein zuverlässiger Verhältniswert angeben. Es ist jedoch aufgrund der Ergebnisse der Proben mit 20mm-Profil zu vermuten, daß auch hier ein Verhältniswert von 0,7 angesetzt werden kann.

Das im Hinblick auf die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern bedeutendste Ergebnis dieser Versuche ist die Tatsache, daß es nur mit Hilfe einer maschinellen Holzsortierung auf der Grundlage der Rohdichte und/oder des Elastizitätsmoduls möglich ist, Keilzinkenverbindungen mit hoher Tragfähigkeit herzustellen und vor allem auch zu gewährleisten. Insofern wurden die Untersuchungen innerhalb anderer Forschungsprojekte erneut bestätigt.

Hinsichtlich der Wahl der Leime für Keilzinkenverbindungen wurde zwar festgestellt, daß die Keilzinkenfestigkeiten auch von den Eigenschaften der Leime nachhaltig beeinflußt werden, jedoch bedarf es noch weiterer systematischer Untersuchungen, um zu entscheiden, welche Leimtypen besonders vorteilhaft sind.

## 6 Literatur

- [1] 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.
- [2] Ehlbeck, J.; Colling, F.; Wenz, J. 1989: Prüfung der Tragfähigkeit von Keilzinkenverbindungen der Lamellen für Brettschichtholz. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe.
- [3] Ehlbeck, J.; Colling, F. 1992: Biegefestigkeit von Brettschichtholz in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Brettlamellen im Hinblick auf Normungsvorschläge. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe.
- [4] Görlacher, R. 1989: Klassifizierung von Brettschichtholzlamellen durch Messung von Longitudinalschwingungen. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität Karlsruhe.
- [5] Wernersson, H.; Gustafsson, P.J. 1987: The complete stress-slip curve of wood adhesives in pure shear. CIB-W18A/20-18-3, Dublin, Ireland.



## Anhang

Im nachfolgenden Anhang werden für jeden durchgeführten Versuch die folgenden Werte angegeben:

- Probennummer,
- mittlere Rohdichte der beiden Bretthälften ( $\rho_1$  und  $\rho_2$ ),
- mittlerer Elastizitätsmodul der beiden Bretthälften ( $E_1$  und  $E_2$ ),
- rechnerische Biegefestigkeit ( $f_B$ ),
- rechnerische Zugfestigkeit ( $f_Z$ ),
- prozentualer Anteil des Holzbruches (HB) an der gesamten Bruchfläche,
- prozentualer Anteil des Versagens im Keilzinkenbereich (KB),
- Vorhandensein der Markröhre in mindestens einer Bretthälfte (M).

Versuche, die bei der Auswertung unberücksichtigt geblieben sind, werden durch folgende Fußnoten gekennzeichnet:

- a) Bruch **a**ußerhalb des Keilzinkenbereiches
- f) **F**ehlverleimung
- r) Probe bei Prüfung in den Einspannbacken **g**erutscht
- z) Probe bei Herstellung **z**erstört

Tabelle A.1: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 1

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
I E 1	0,545 0,503	17900 15700	60,2	0	100	n	49,3	0	100	n
I E 2	0,542 0,450	18000 15400	56,0	0	100	n	55,7	0	100	n
I E 3	0,505 0,474	17200 15400	4,4 f)	0	100	j	48,8	70	100	n
I E 4	0,459 0,489	16200 15200	45,6	50	100	n	45,3	30	100	n
I E 5	0,508 0,498	16200 16000	56,4	50	100	n	50,5	30	100	n
I E 6	0,563 0,468	18800 15200	49,1	0	100	n	54,7	0	100	n
I E 7	0,520 0,473	16800 15100	59,8	0	100	n	54,0	0	100	n
I E 8	0,541 0,441	15300 15100	52,4	65	100	n	46,7	60	100	n
I E 9	0,512 0,519	16800 15900	44,6	30	100	n	36,7	40	100	n
I E 10	0,516 0,512	17600 15300	61,5	60	100	n	39,5	60	100	n
I E 11	0,493 0,458	17100 15000	45,9	80	100	n	49,0	15	100	n
I E 12	0,496 0,494	15900 15100	51,0	80	100	n	47,5	80	100	n
I E 13	0,510 0,498	16900 16400	57,0	40	100	n	52,3	10	100	n
I E 14	0,540 0,513	16300 15400	52,6	0	100	n	29,2	0	100	j
I E 15	0,469 0,496	15600 15500	55,1	10	100	n	44,8	10	100	n
I E 16	0,464 0,491	17000 15600	54,8	10	100	j	43,3	20	80	n
I E 17	0,470 0,455	16600 15000	57,1	10	100	n	30,5	0	100	n
I E 18	0,493 0,486	16300 15900	59,4	30	100	n	54,2	10	100	n
I E 19	0,487 0,475	16700 15100	66,0	0	100	n	53,1	0	100	j
I E 20	0,469 0,458	16200 15600	60,6	0	100	n	34,7	0	100	n

Tabelle A.2: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 1

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
IP 1	0,543 0,528	17700 15700	66,2	0	100	n	51,3	0	100	n
IP 2	0,581 0,497	18000 15400	66,8	70	100	n	60,3	40	100	n
IP 3	0,493 0,458	17100 15300	65,2	40	100	n	59,0	70	100	n
IP 4	0,523 0,457	16200 15200	60,8	10	100	n	67,5	0	100	j
IP 5	0,536 0,506	16100 16000	58,6	0	100	n	58,8	5	100	n
IP 6	0,576 0,484	18200 15100	66,6	80	100	n	59,3	55	100	n
IP 7	0,492 0,484	16800 15000	58,1	5	100	j	59,5	40	100	j
IP 8	0,474 0,504	15200 15000	49,2	100	100	n	45,5	90	100	n
IP 9	0,484 0,458	16700 15800	64,8	0	100	n	39,5	0	100	n
IP 10	0,485 0,512	17300 15300	62,6	0	100	n	57,0	20	100	n
IP 11	0,476 0,473	17000 15000	63,7	0	100	n	47,5	0	100	n
IP 12	0,447 0,486	15900 15100	54,2	30	100	n	56,2	70	100	n
IP 13	0,496 0,494	16900 16400	63,5	5	100	n	40,2	0	100	n
IP 14	0,489 0,525	16300 15400	66,4	0	100	n	54,2	0	100	n
IP 15	0,526 0,485	15600 15400	61,8	10	100	j	55,8	10	100	n
IP 16	0,482 0,516	17000 15600	60,0	50	60	j	57,7	25	75	j
IP 17	0,503 0,474	16600 15000	63,5	20	100	n	52,3	50	100	n
IP 18	0,489 0,476	16200 15900	66,7	5	100	n	60,7	0	100	n
IP 19	0,486 0,463	16600 15100	59,8	0	100	n	50,3	0	100	n
IP 20	0,533 0,491	16200 15500	58,7	0	100	n	49,5	20	90	n

Tabelle A.3: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 1

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB	KB	M	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB	KB	M
				[%]	[%]	[-]		[%]	[%]	[-]
II E 1	0,423 0,485	13500 12600	52,8	0	100	n	48,2	45	100	n
II E 2	0,446 0,439	13500 12400	37,7	100	90	j	40,5	100	100	j
II E 3	0,459 0,423	13400 12400	42,7	0	100	j	38,7	20	80	n
II E 4	0,455 0,436	13000 12100	51,5	20	100	j	40,0	10	100	j
II E 5	0,497 0,440	12900 12800	54,7	80	100	n	45,0	90	100	n
II E 6	0,444 0,461	13500 12000	35,9 <sup>a)</sup>	100	0	n	31,2	80	50	n
II E 7	0,484 0,481	13200 11700	45,0	90	50	n	43,2 <sup>a)</sup>	100	0	n
II E 8	0,451 0,445	12100 11800	43,5	80	100	n	30,2	100	70	n
II E 9	0,451 0,438	13200 12700	51,2	10	100	n	48,0	40	100	n
II E 10	0,504 0,451	13400 12300	43,9	0	100	j	36,3	10	100	j
II E 11	0,467 0,437	13300 11600	46,1 <sup>a)</sup>	100	0	j	43,5	100	100	n
II E 12	0,472 0,427	12800 11800	49,7	100	100	n	29,5 <sup>a)</sup>	100	0	j
II E 13	0,449 0,446	13200 13100	47,1	15	100	n	47,8	90	100	n
II E 14	0,419 0,429	13100 12400	54,7	5	100	n	36,7	50	50	n
II E 15	0,461 0,473	12500 12500	42,8	100	100	n	37,2	100	100	n
II E 16	0,441 0,449	13300 12500	49,2	100	100	j	42,5	100	100	j
II E 17	0,441 0,445	13100 11600	38,1	20	80	j	38,5	55	80	n
II E 18	0,473 0,459	13100 12800	49,1	100	100	j	30,5	100	35	j
II E 19	0,450 0,458	13200 11900	43,5 <sup>a)</sup>	100	0	j	43,5	100	100	n
II E 20	0,501 0,455	13000 12500	40,0	10	100	n	47,2	40	100	n

Tabelle A.4: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 1

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
II P 1	0,445 0,405	13500 12600	51,3	65	100	j	54,8	50	100	j
II P 2	0,428 0,455	13500 12400	36,8 <sup>a)</sup>	100	0	n	35,7	90	85	n
II P 3	0,443 0,404	13400 12400	52,5	30	100	n	51,0	45	100	n
II P 4	0,423 0,421	12900 12100	54,8	50	100	j	42,7	100	100	j
II P 5	0,446 0,493	12900 12800	59,1	50	100	n	49,0	70	50	n
II P 6	0,441 0,425	13500 12100	50,5	50	100	n	49,2	100	100	n
II P 7	0,437 0,465	13200 11700	49,2	100	10	j	43,7	80	100	n
II P 8	0,483 0,436	12100 11700	37,5	90	30	n	26,5	100	60	n
II P 9	0,476 0,444	13200 12700	51,2	80	100	j	42,3	85	100	j
II P 10	0,479 0,426	13400 12200	47,8	80	100	n	36,5	100	100	n
II P 11	0,472 0,417	13300 11600	61,2	70	95	n	42,3	80	70	n
II P 12	0,450 0,446	12700 11800	47,9	90	60	j	36,2	100	100	j
II P 13	0,464 0,481	13200 13100	25,5 <sup>f)</sup>	10	100	j	37,7	50	90	j
II P 14	0,473 0,442	13100 12400	47,0	30	100	n	39,7 <sup>a)</sup>	100	0	n
II P 15	0,407 0,407	12500 12500	53,2	100	30	n	40,3	10	100	n
II P 16	0,480 0,529	13300 12500	53,1	100	30	n	39,3	100	100	n
II P 17	0,434 0,432	13100 11600	52,1	80	100	n	35,7 <sup>a)</sup>	100	0	n
II P 18	0,423 0,437	13000 12800	48,3	30	100	j	36,0	100	100	j
II P 19	0,445 0,419	13100 11900	53,7	30	100	j	48,2	70	60	n
II P 20	0,485 0,493	13000 12500	51,7	5	100	n	42,0	100	5	n

Tabelle A.5: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 1

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
III E 1	0,476 0,415	12300 11000	41,7	80	100	n	44,3	80	100	n
III E 2	0,517 0,516	17200 14700	55,7	65	100	n	59,0	100	100	n
III E 3	0,509 0,455	14300 12700	43,8	5	100	j	40,0	5	95	j
III E 4	0,489 0,423	14400 11900	45,0	60	85	j	47,2	40	100	j
III E 5	0,555 0,509	18600 15300	47,1	0	100	n	47,8	0	100	n
III E 6	0,467 0,435	15000 13200	50,5	50	100	n	49,8	80	50	n
III E 7	0,499 0,431	15100 12800	53,3	10	100	j	43,0	35	75	n
III E 8	0,437 0,443	14000 13600	55,6	10	100	n	53,5	20	100	n
III E 9	0,481 0,464	16100 14100	55,7	0	100	n	52,0	45	100	n
III E 10	0,421 0,423	13600 12900	55,6	0	100	n	49,5	10	100	n

Tabelle A.6: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 1

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
III P 1	0,468 0,378	12100 10000	53,7	70	100	n	46,3	100	30	n
III P 2	0,514 0,472	16100 14600	68,7	5	100	n	54,3	60	65	n
III P 3	0,469 0,489	14200 12500	50,1	10	100	n	51,0	80	60	n
III P 4	0,448 0,409	14300 11500	52,6	100	20	n	27,3 <sup>a)</sup>	100	0	n
III P 5	0,536 0,473	17800 15200	57,3	100	80	n	58,8	100	80	n
III P 6	0,440 0,465	14800 13000	51,0	20	80	n	40,5	90	10	n
III P 7	0,497 0,466	15000 12700	58,7	10	100	n	43,3	20	100	n
III P 8	0,446 0,453	13800 13600	62,3	10	100	n	47,0	0	100	n
III P 9	0,499 0,431	16100 14000	58,9	100	100	n	40,0 <sup>a)</sup>	100	0	n
III P 10	0,485 0,459	13300 12900	54,6	50	100	n	51,3	90	85	n

Tabelle A.7: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 2

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
IE 1	0,564 0,486	18700 15900	67,7	5	100	n	43,4	20	80	n
IE 2	0,533 0,533	16500 15900	63,3	95	95	n	53,8	90	75	n
IE 3	0,539 0,504	17200 15000	55,6	100	100	n	44,1	100	80	j
IE 4	0,539 0,524	19900 16500	55,9	85	100	n	44,3 <sup>a)</sup>	100	0	n
IE 5	0,572 0,543	19200 15000	61,7	95	100	n	34,7	90	80	j
IE 6	0,519 0,477	15400 15100	54,0	30	100	j	44,0	80	70	j
IE 7	0,531 0,514	17900 17300	62,8	40	90	n	54,4	35	80	j
IE 8	0,522 0,525	17800 17600	53,1	70	95	n	59,6	100	80	j
IE 9	0,494 0,490	17300 15700	51,2	0	100	n	63,5	0	100	j
IE 10	0,510 0,528	16500 15500	54,3	25	100	j	43,0	60	60	j
IE 11	0,513 0,537	18000 15000	63,0	10	100	n	50,3	60	90	n
IE 12	0,514 0,472	17000 15400	53,7	85	80	n	47,4	100	100	j
IE 13	0,522 0,497	16200 15800	59,7	50	100	n	56,1	90	80	j
IE 14	0,546 0,575	19600 19500	72,0	20	100	n	45,8	50	50	n
IE 15	0,558 0,493	16400 15200	66,0	100	70	n	44,4	90	90	n
IE 16	0,559 0,485	16900 15100	53,3	100	100	n	43,3	100	100	n
IE 17	0,538 0,488	16200 15100	57,7	95	95	n	46,2	100	100	j
IE 18	0,514 0,492	15600 15100	56,6	0	100	j	41,4 <sup>r)</sup>	0	0	j
IE 19	0,557 0,511	18100 16800	57,0	95	100	n	43,3	100	80	j
IE 20	0,574 0,474	18600 16500	60,9	50	100	n	68,4	70	50	j
IE 21	0,538 0,482	16300 15600	60,4	100	100	j	59,6 <sup>a)</sup>	100	0	j
IE 22	0,509 0,480	15600 15300	66,0	10	100	j	46,3	50	50	j
IE 23	0,545 0,484	16300 15100	65,1	70	100	n	54,5	90	100	n
IE 24	0,579 0,518	20100 16100	61,1	20	80	n	59,4 <sup>a)</sup>	100	0	j
IE 25	0,525 0,527	16700 16300	61,0	0	100	n	62,0	90	100	j

Tabelle A.8: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 2

Probe	$\rho_1$	$E_1$	$f_B$	HB	KB	M	$f_Z$	HB	KB	M
	$\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]								
IP 1	0,535 0,482	18700 15900	62,3	90	100	n	50,3	100	100	j
IP 2	0,520 0,526	16500 15800	62,1	70	100	n	56,3	100	20	n
IP 3	0,482 0,470	17100 15000	68,8	100	90	n	50,9 <sup>a)</sup>	100	0	j
IP 4	0,576 0,488	19800 16400	76,1	0	100	n	50,7	30	100	j
IP 5	0,588 0,504	19100 15000	60,6	100	100	n	42,5	100	50	n
IP 6	0,488 0,466	15400 15100	61,4	50	70	n	62,9	20	100	j
IP 7	0,526 0,510	17800 17300	75,0	90	80	n	52,8	95	30	n
IP 8	0,518 0,521	17600 17500	76,1	0	100	n	49,1	0	100	j
IP 9	0,498 0,536	17200 15700	68,4	90	40	n	49,6 <sup>a)</sup>	100	0	n
IP 10	0,541 0,493	16500 15500	65,7	0	100	n	79,3	0	100	j
IP 11	0,573 0,472	18000 15000	59,4	95	80	n	25,2 <sup>f)</sup>	80	100	j
IP 12	0,499 0,477	16900 15300	63,6	70	100	n	48,8	80	90	n
IP 13	0,530 0,511	16200 15800	59,6	100	100	j	47,6	95	100	j
IP 14	0,589 0,572	19500 19400	77,2	95	100	n	58,5	90	10	j
IP 15	0,510 0,528	16400 15100	62,3	80	100	n	61,2	100	80	j
IP 16	0,521 0,484	16900 15000	64,6	0	100	j	59,8	30	100	j
IP 17	0,506 0,491	16200 15100	54,6	100	75	n	44,5	95	80	n
IP 18	0,487 0,484	15500 15100	63,0	5	100	j	37,7	40	100	j
IP 19	0,532 0,476	18100 16800	73,4	25	100	n	47,3	35	65	n
IP 20	0,568 0,514	18500 16500	75,7	30	100	n	69,9 <sup>a)</sup>	0	0	j
IP 21	0,497 0,516	16300 15600	65,3	10	100	n	31,8	40	100	n
IP 22	0,478 0,473	15600 15200	67,1	100	90	n	49,5	100	60	j
IP 23	0,524 0,540	16300 15100	54,3	95	90	j	55,0	100	100	j
IP 24	0,548 0,508	20000 16000	75,4	0	100	n	28,3	5	95	n
IP 25	0,532 0,505	16700 16300	57,1	100	100	n	55,2	100	70	j

Tabelle A.9: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 2

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
II E 1	0,436 0,429	13400 12200	39,2	20	100	n	42,9	90	10	j
II E 2	0,445 0,450	12500 12100	50,7	80	100	j	40,4	100	100	j
II E 3	0,434 0,415	13000 11600	58,6	100	100	n	47,3	100	100	n
II E 4	0,485 0,465	13500 12500	46,1	80	100	j	34,7	90	100	j
II E 5	0,470 0,469	13400 11500	51,1	60	50	j	39,9	60	100	j
II E 6	0,437 0,443	11800 11600	43,2 <sup>a)</sup>	100	0	n	34,6	100	70	n
II E 7	0,493 0,458	13200 13100	58,2	65	35	j	33,5	50	100	j
II E 8	0,441 0,455	13100 13100	61,5	30	95	j	45,5	95	75	j
II E 9	0,449 0,409	13000 12000	54,6	0	100	n	40,2	50	50	n
II E 10	0,455 0,421	12500 11800	46,5	90	80	n	42,9	85	100	n
II E 11	0,450 0,424	13200 11500	52,1	10	100	n	41,6 <sup>a)</sup>	100	0	n
II E 12	0,424 0,400	12900 11800	46,9	40	80	n	43,7	70	30	j
II E 13	0,418 0,417	12300 12000	53,4	100	50	n	34,0 <sup>a)</sup>	100	0	n
II E 14	0,434 0,443	13400 13400	59,7	100	80	n	36,2	100	30	n
II E 15	0,418 0,500	12400 11700	45,8	90	100	n	42,7	95	100	n
II E 16	0,430 0,422	12700 11600	54,7	100	100	n	14,3 <sup>f)</sup>	100	30	j
II E 17	0,465 0,432	12300 11700	49,7	100	50	j	45,8 <sup>a)</sup>	100	0	j
II E 18	0,433 0,404	11900 11700	49,5	5	100	n	46,7	50	70	n
II E 19	0,486 0,465	13300 12600	48,4	100	70	j	35,3	100	30	j
II E 20	0,455 0,489	13300 12500	55,8	50	60	n	40,2	100	75	n
II E 21	0,478 0,434	12300 12000	43,4	30	100	j	28,6	55	90	j
II E 22	0,428 0,405	11900 11800	55,3	100	80	n	45,6 <sup>a)</sup>	100	0	j
II E 23	0,446 0,427	12400 11700	50,9	95	70	j	40,3	95	70	j
II E 24	0,459 0,436	13500 12200	55,5	70	90	j	34,2	90	10	j
II E 25	0,430 0,429	12600 12400	53,5	0	100	n	56,3	50	100	j

Tabelle A.10: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 2

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
II P 1	0,409 0,432	13300 12200	57,8	60	90	j	35,9 <sup>a)</sup>	100	0	j
II P 2	0,435 0,456	12500 12000	58,7 <sup>a)</sup>	100	0	n	48,5 <sup>r)</sup>	0	0	n
II P 3	0,484 0,420	13000 11500	59,8	100	100	n	29,3 <sup>a)</sup>	100	0	n
II P 4	0,456 0,417	13500 12400	61,5	100	50	j	36,0	100	50	j
II P 5	0,479 0,471	13400 11500	47,7	100	100	j	30,8 <sup>a)</sup>	100	0	j
II P 6	0,405 0,415	11800 11600	53,9	90	100	n	48,1	95	100	n
II P 7	0,452 0,439	13200 13100	26,3 <sup>f)</sup>	0	100	j	5,7 <sup>f)</sup>	0	100	j
II P 8	0,437 0,447	13100 13100	..z)				..z)			
II P 9	0,438 0,407	13000 12000	50,8	100	70	j	38,8	100	100	j
II P 10	0,437 0,435	12500 11800	50,9	100	80	n	43,7 <sup>a)</sup>	100	0	n
II P 11	0,451 0,410	13200 11500	49,0	0	100	n	45,3	70	100	n
II P 12	0,447 0,523	12900 11800	..z)				31,2	20	100	j
II P 13	0,445 0,432	12300 12000	48,6	60	100	j	34,0	100	65	j
II P 14	0,459 0,449	13400 13400	..z)				..z)			
II P 15	0,406 0,446	12400 11700	59,9	90	100	n	43,0	100	25	n
II P 16	0,421 0,429	12600 11600	56,8	100	70	j	38,6	100	95	j
II P 17	0,430 0,418	12200 11700	58,9	50	100	n	37,6	95	70	n
II P 18	0,418 0,403	11900 11600	50,4	100	70	n	35,2 <sup>a)</sup>	100	0	j
II P 19	0,422 0,459	13300 12600	..z)				..z)			
II P 20	0,469 0,441	13300 12500	47,3	100	100	j	40,9	100	100	j
II P 21	0,445 0,416	12300 11900	43,9	50	100	n	33,9	85	15	n
II P 22	0,480 0,439	11900 11800	58,1	70	40	j	48,4	70	30	j
II P 23	0,437 0,416	12400 11700	55,2	100	60	j	41,7 <sup>a)</sup>	100	0	j
II P 24	0,468 0,400	13500 12200	55,2	65	50	n	38,9	100	20	j
II P 25	0,454 0,402	12600 12300	54,2	80	100	j	34,7	100	15	j

Tabelle A.11: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 2

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
III E 1	0,470 0,444	13900 11100	54,0	100	20	n	35,3	100	30	n
III E 2	0,430 0,433	11800 11000	50,6	0	100	n	46,3	0	100	n
III E 3	0,484 0,398	12600 8400	43,5	100	90	j	25,6	100	70	j
III E 4	0,475 0,460	14600 11700	53,8	10	100	j	35,3 <sup>a)</sup>	100	0	j
III E 5	0,502 0,398	14000 8100	47,9 <sup>a)</sup>	100	0	j	38,0 <sup>a)</sup>	100	0	j
III E 6	0,416 0,391	10300 8800	43,8	100	60	j	38,3	95	100	j
III E 7	0,439 0,443	13000 12800	58,1	100	30	n	42,2	100	50	j
III E 8	0,417 0,436	13000 12800	60,6	30	100	n	45,8	90	85	n
III E 9	0,462 0,370	12700 10900	38,1	100	100	n	27,2 <sup>a)</sup>	100	0	n
III E 10	0,491 0,436	11700 10400	35,4	20	100	j	31,9	100	90	j
III E 11	0,453 0,403	13100 8300	50,1	100	30	j	35,0	100	100	j
III E 12	0,456 0,415	12400 10200	42,7	60	70	j	40,7	100	90	j
III E 13	0,438 0,465	11200 10900	46,8	95	50	j	38,6	100	100	n
III E 14	0,444 0,524	14300 14200	56,1	100	80	n	36,2 <sup>a)</sup>	100	0	n
III E 15	0,498 0,441	11600 10000	33,3	100	80	n	23,1 <sup>a)</sup>	100	0	n
III E 16	0,417 0,356	12200 8500	41,1 <sup>a)</sup>	100	0	n	30,3	100	50	n
III E 17	0,400 0,408	11200 9500	49,3	100	50	j	36,3	85	100	j
III E 18	0,401 0,387	10500 9300	43,1	100	100	n	37,2 <sup>a)</sup>	100	0	n
III E 19	0,456 0,440	13200 12200	38,5	70	100	n	33,7	100	100	n
III E 20	0,448 0,431	13500 12000	56,6	40	100	n	38,7	70	100	n
III E 21	0,421 0,479	11300 10800	45,9	50	100	j	38,9	100	10	j
III E 22	0,429 0,409	10700 10100	37,6	80	70	j	28,0	100	35	j
III E 23	0,477 0,369	11600 9500	43,4	90	100	n	39,9	100	80	n
III E 24	0,524 0,432	15300 11100	39,3	50	50	j	40,4	95	60	j
III E 25	0,451 0,444	12100 11300	45,0	100	100	n	23,1	100	15	j

Tabelle A.12: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 2

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
III P 1	0,483 0,425	13600 11000	53,6	100	30	j	38,2	100	70	j
III P 2	0,434 0,386	11700 10900	53,4	70	100	j	34,5	85	90	n
III P 3	0,471 0,395	12400 8300	46,0	100	80	j	30,7	100	100	j
III P 4	0,489 0,419	14500 11700	60,0	30	100	j	44,1	65	35	j
III P 5	0,489 0,389	14000 7900	45,6	100	100	j	20,8	100	75	j
III P 6	0,415 0,352	10300 8500	32,7	100	100	j	28,1 <sup>a)</sup>	100	0	j
III P 7	0,479 0,473	13000 12800	49,5	60	90	j	36,3	85	50	n
III P 8	0,485 0,406	12900 12800	63,6	0	100	j	57,5	50	100	j
III P 9	0,444 0,431	12700 10900	52,1	100	90	j	41,6	100	100	j
III P 10	0,423 0,388	11700 10300	45,7	100	100	j	41,2	100	65	j
III P 11	0,443 0,355	13100 8100	33,3	100	10	n	23,0	100	5	n
III P 12	0,421 0,394	12300 10200	47,7 <sup>a)</sup>	100	0	j	35,2	100	80	j
III P 13	0,425 0,454	11200 10900	51,3	90	70	j	43,3	90	70	j
III P 14	0,514 0,515	14200 14100	51,9	50	90	n	49,9	90	50	j
III P 15	0,456 0,365	11573 9721	50,1	100	50	n	35,2 <sup>a)</sup>	100	0	n
III P 16	0,440 0,363	12200 8400	41,3	100	10	j	31,7	100	100	j
III P 17	0,410 0,438	11100 9500	41,4	100	80	j	18,8 <sup>a)</sup>	100	0	j
III P 18	0,402 0,363	10400 9200	41,4	100	100	j	27,9	10	100	j
III P 19	0,459 0,448	13100 12100	55,1 <sup>a)</sup>	100	0	n	38,3	100	20	n
III P 20	0,471 0,423	13500 11900	60,1	95	100	j	51,1 <sup>a)</sup>	100	0	j
III P 21	0,418 0,396	11300 10700	51,8	60	100	j	31,3	70	100	j
III P 22	0,413 0,377	10600 10000	46,4	100	80	n	39,0	100	15	n
III P 23	0,454 0,401	11500 9400	48,6	100	100	j	38,5	100	100	j
III P 24	0,454 0,419	14700 11100	56,1	10	100	n	66,4	70	30	j
III P 25	0,414 0,417	12000 11300	60,7	30	100	n	43,7 <sup>a)</sup>	100	0	n

Tabelle A.13: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 3

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
III E 1	0,554 0,486	17300 16300	47,4	0	100	n	56,1	0	100	j
III E 2	0,438 0,437	13700 13100	38,1	0	100	n	24,1	10	100	n
III E 3	0,537 0,467	19400 12400	45,6	40	100	j	28,7	40	90	j
III E 4	0,434 0,403	12100 10000	38,7	50	100	n	29,8	85	95	n
III E 5	0,465 0,481	13900 13700	43,4	50	100	j	29,3	85	80	n
III E 6	0,478 0,472	15700 14400	42,7	0	100	n	32,1	20	90	n
III E 7	0,465 0,398	13900 11300	--z)				26,3	50	70	n
III E 8	0,417 0,419	11000 9400	38,3	90	100	n	30,3	100	35	n
III E 9	0,487 0,430	14900 12700	46,9	50	100	n	30,8	60	100	n
III E 10	0,477 0,437	16100 11100	47,7	30	100	n	36,0	80	100	n
III E 11	0,535 0,491	18400 16400	40,3	0	100	n	30,8	30	70	n
III E 12	0,460 0,455	13400 12700	48,0	50	95	n	31,3	90	30	n
III E 13	0,457 0,372	13400 8500	46,2	65	100	n	24,4	100	25	n
III E 14	0,454 0,414	14700 9600	37,5	100	80	n	21,2	80	100	n
III E 15	0,440 0,429	11800 11600	40,6	50	100	n	42,0	95	100	n
III E 16	0,535 0,462	15800 15100	42,2	0	100	n	4,3 <sup>f)</sup>	0	100	j
III E 17	0,462 0,455	14100 12100	29,4	0	100	n	31,5	15	85	j
III E 18	0,463 0,462	14500 11800	27,4	65	100	n	25,4	85	100	j
III E 19	0,500 0,467	14900 12500	47,3	10	100	j	35,0	70	100	j
III E 20	0,537 0,447	16200 8700	34,0	90	100	n	28,2	100	15	n
III E 21	0,531 0,515	18800 17100	42,8	0	100	n	37,3	0	100	n
III E 22	0,507 0,467	15900 11500	43,6	10	100	n	28,7	20	100	n
III E 23	0,480 0,453	13100 11600	34,5	5	100	n	31,8	5	95	j
III E 24	0,500 0,475	15400 13000	36,2	35	100	j	--z)			
III E 25	0,479 0,488	15300 14000	38,9	10	100	j	35,2	10	100	j

Tabelle A.14: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 3

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
III P 1	0,549 0,517	17200 16300	45,6	0	100	n	23,3	0	100	n
III P 2	0,485 0,499	13700 13100	..z)				35,5	70	75	n
III P 3	0,534 0,475	18900 12300	56,3	80	100	n	34,9	65	95	n
III P 4	0,486 0,420	12100 9800	39,7	95	90	j	30,2	90	100	n
III P 5	0,486 0,433	13900 13700	53,7	100	85	n	29,9 <sup>a)</sup>	100	0	n
III P 6	0,481 0,473	15600 14300	56,3	100	100	n	53,2	0	100	j
III P 7	0,448 0,436	13800 11200	46,3	80	100	n	38,8	100	90	n
III P 8	0,410 0,378	10100 8800	43,4	100	100	n	24,7 <sup>a)</sup>	100	0	n
III P 9	0,494 0,459	14900 12600	47,5	95	95	n	32,2	80	70	n
III P 10	0,481 0,427	15900 11000	47,1	100	40	n	38,1	100	50	n
III P 11	0,535 0,537	18100 16400	42,6	40	60	n	35,0	60	40	n
III P 12	0,462 0,440	13200 12700	47,1	90	100	n	40,1	80	100	n
III P 13	0,470 0,392	13400 8500	43,8	100	100	j	20,0	100	45	j
III P 14	0,470 0,426	14600 9500	25,7 <sup>f)</sup>	100	70	j	24,3	100	65	n
III P 15	0,460 0,437	11600 11600	40,9	85	95	j	34,0 <sup>a)</sup>	100	0	j
III P 16	0,485 0,461	15700 15000	56,7	20	100	n	39,1	15	85	j
III P 17	0,473 0,458	14000 12100	51,2	85	100	n	36,7	80	20	n
III P 18	0,492 0,446	14400 11800	39,1	70	80	j	32,4	35	90	j
III P 19	0,492 0,451	14800 12500	49,8	70	100	j	39,2	90	40	n
III P 20	0,510 0,384	16200 8700	30,6	100	95	n	25,9	100	10	n
III P 21	0,564 0,511	18400 16500	59,4	0	100	n	73,0	0	100	j
III P 22	0,492 0,450	15800 11500	51,2	100	100	n	40,8	100	100	n
III P 23	0,485 0,438	13000 11600	53,1	70	100	j	38,2	85	100	n
III P 24	0,463 0,454	15300 12800	53,7	40	100	n	33,3	20	80	n
III P 25	0,493 0,474	15200 14000	53,1	5	100	n	30,3	85	15	n

Tabelle A.15: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 4

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
I E 1	0,526 0,468	17100 15700	46,2	0	100	n	40,2	5	100	n
I E 2	0,537 0,502	17400 15900	45,0	0	100	n	37,3	0	100	n
I E 3	0,504 0,503	17000 15700	41,1	5	100	j	49,8	20	100	j
I E 4	0,518 0,480	16300 15000	25,7 <sup>f)</sup>	10	100	j	29,0	45	100	n
I E 5	0,523 0,504	17200 16200	56,7	0	100	n	52,0	5	100	n
I E 6	0,568 0,492	18700 16400	62,4	0	100	n	41,0	0	100	n
I E 7	0,502 0,459	17900 16100	50,4	5	100	n	33,3	5	100	n
I E 8	0,523 0,502	16700 15700	50,3	20	100	j	40,6	25	100	n
I E 9	0,503 0,512	16800 16700	56,1	0	100	n	39,0	5	95	n
I E 10	0,491 0,528	16500 15400	49,8	20	100	j	...z)			
I E 11	0,533 0,490	15900 15200	54,0	0	100	n	46,7	20	100	n
I E 12	0,545 0,496	19900 16100	47,1	20	100	n	43,3	30	100	n
I E 13	0,520 0,511	16400 16300	55,0	0	100	n	40,7	0	100	n
I E 14	0,505 0,491	17900 15900	52,8	0	100	n	40,5	0	100	n
I E 15	0,501 0,512	16600 15800	51,8	0	100	n	47,2	0	100	n
I E 16	0,493 0,530	15300 15300	52,8	5	95	j	29,0	0	100	j
I E 17	0,488 0,494	15100 15100	50,1	100	100	n	36,8	100	100	n
I E 18	0,543 0,434	16000 15500	49,2	0	100	n	47,2	10	100	n
I E 19	0,552 0,525	18300 15300	56,4	50	100	j	48,0	10	100	j
I E 20	0,494 0,481	16000 15500	46,9	0	100	n	42,9	35	65	j

Tabelle A.16: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 4

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
I P 1	0,511 0,468	17100 15700	55,1	5	100	n	46,7 <sup>r</sup> )	0	0	n
I P 2	0,525 0,519	17200 15900	61,0	60	90	n	50,0	85	100	n
I P 3	0,477 0,479	16900 15700	59,1	0	100	n	51,7	5	95	n
I P 4	0,483 0,502	16300 15000	65,1	50	100	n	46,9	85	100	n
I P 5	0,508 0,461	17200 16200	65,9	15	90	n	50,0	0	100	n
I P 6	0,538 0,506	18500 16300	66,7	70	90	j	47,0	5	100	n
I P 7	0,530 0,492	17600 16100	..z)				51,4	0	100	n
I P 8	0,499 0,537	16700 15600	64,9	40	90	j	59,6	70	95	j
I P 9	0,491 0,487	16700 16600	63,2	90	95	n	46,0	100	50	n
I P 10	0,506 0,477	16400 15300	58,5	20	95	n	35,5	40	80	n
I P 11	0,526 0,510	15900 15100	44,3	40	80	n	27,5	80	30	n
I P 12	0,573 0,470	19400 16000	65,1	5	100	j	39,2	10	100	j
I P 13	0,489 0,488	16400 16200	65,8	0	100	n	46,6	0	100	n
I P 14	0,527 0,471	17900 15900	69,7	60	100	j	47,7	10	90	j
I P 15	0,510 0,461	16500 15800	60,2	0	100	n	55,7	5	100	n
I P 16	0,447 0,506	15300 15200	64,0	0	100	n	36,5	0	100	n
I P 17	0,483 0,484	15100 15000	..z)				59,6	25	100	n
I P 18	0,531 0,482	16000 15500	59,4	30	100	n	..z)			
I P 19	0,540 0,519	18100 15300	72,3	10	100	n	51,7	10	100	n
I P 20	0,517 0,479	16000 15500	..z)				54,7	50	50	n

Tabelle A.17: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 4

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
II E 1	0,425 0,479	13200 12500	39,4	5	100	n	27,6	10	100	n
II E 2	0,463 0,462	13300 12700	38,3	0	100	n	35,9	20	80	n
II E 3	0,498 0,458	13200 12400	54,6	65	100	n	39,3	100	100	n
II E 4	0,426 0,448	12900 11500	52,5	50	80	n	31,6	0	100	n
II E 5	0,504 0,432	13300 12800	37,4	15	85	n	36,1	90	55	n
II E 6	0,487 0,466	13500 12900	35,1 <sup>f)</sup>	0	100	j	24,8	0	100	n
II E 7	0,445 0,472	13400 12800	47,5	70	60	j	34,5 <sup>a)</sup>	100	0	n
II E 8	0,453 0,447	13100 12300	39,4	60	100	j	31,2	85	100	j
II E 9	0,473 0,434	13200 13100	43,4	50	100	j	44,5	70	100	j
II E 10	0,461 0,462	13000 12000	49,9	40	100	j	39,3	70	95	n
II E 11	0,440 0,478	12700 11700	55,7	10	95	n	31,3	80	40	n
II E 12	0,428 0,439	13500 12800	44,7	100	100	n	30,9	90	100	n
II E 13	0,450 0,421	12900 12800	45,3	100	100	n	36,2	60	100	n
II E 14	0,445 0,446	13400 12500	49,7	50	100	j	30,3	40	100	j
II E 15	0,494 0,431	13100 12500	49,8	40	100	n	45,9	90	100	n
II E 16	0,445 0,447	11900 11800	46,6	80	100	j	39,9	100	100	n
II E 17	0,424 0,442	11700 11600	44,7	60	100	j	28,3	50	100	j
II E 18	0,429 0,465	12700 12100	46,5	100	20	n	32,7	80	100	n
II E 19	0,452 0,493	13400 11900	45,6	70	60	j	35,0	80	90	n
II E 20	0,439 0,434	12700 12200	42,9	35	100	j	43,6	50	50	j

Tabelle A.18: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 4

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB	KB	M	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB	KB	M
				[%]	[%]	[-]		[%]	[%]	[-]
II P 1	0,458 0,470	13200 12400	57,8	100	100	n	32,8	100	85	n
II P 2	0,491 0,496	13300 12700	51,0	70	100	j	35,0	80	90	j
II P 3	0,465 0,430	13200 12400	57,3	90	100	n	32,8	85	100	n
II P 4	0,472 0,429	12900 11500	47,2	50	60	j	45,0	95	85	n
II P 5	0,442 0,443	13300 12800	..z)				41,9	10	100	n
II P 6	0,467 0,431	13400 12900	56,7	20	100	j	48,1	45	100	j
II P 7	0,439 0,440	13300 12800	48,1	50	100	j	45,6	85	95	n
II P 8	0,431 0,487	13100 12300	46,7 <sup>a)</sup>	100	0	n	29,5 <sup>a)</sup>	100	0	n
II P 9	0,454 0,433	13100 13100	52,8	5	100	n	40,7	40	95	n
II P 10	0,419 0,472	13000 11900	59,4	0	100	n	..z)			
II P 11	0,479 0,454	12700 11700	..z)				..z)			
II P 12	0,463 0,466	13500 12800	61,9	55	70	n	47,3	90	50	n
II P 13	0,469 0,457	12900 12800	47,6	100	100	n	27,5 <sup>a)</sup>	100	0	n
II P 14	0,461 0,429	13400 12500	61,4	20	100	j	38,9	15	100	j
II P 15	0,455 0,404	13100 12500	52,3	60	100	n	40,0	80	20	n
II P 16	0,475 0,447	11800 11700	49,7	100	100	j	44,3	100	100	j
II P 17	0,384 0,423	11600 11600	59,1	50	90	n	..z)			
II P 18	0,464 0,453	12700 12000	42,5	5	100	j	45,7	20	100	j
II P 19	0,467 0,435	13400 11900	58,3	50	100	n	8,2 <sup>f)</sup>	0	100	j
II P 20	0,457 0,416	12700 12100	45,4	100	100	n	..z)			

Tabelle A.19: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 4

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
III E 1	0,503 0,465	16000 15400	--z)				38,0	10	100	j
III E 2	0,576 0,541	17900 14700	60,6	10	100	j	40,0	35	100	j
III E 3	0,525 0,515	18000 15600	62,7	5	100	j	51,3	50	100	j
III E 4	0,492 0,467	14500 13800	49,7	20	100	j	--z)			
III E 5	0,535 0,477	16300 15800	58,2	0	100	n	38,3	10	100	n
III E 6	0,446 0,466	12400 12100	47,2	20	100	j	34,3	40	100	j
III E 7	0,502 0,470	14700 14200	55,7	10	100	j	44,5	70	100	j
III E 8	0,529 0,525	19800 17000	62,2	35	80	n	38,0	60	40	n
III E 9	0,544 0,535	16700 16300	46,1	0	100	j	38,7	5	100	j
III E 10	0,504 0,449	16900 11600	53,2	0	100	n	30,4	25	75	n

Tabelle A.20: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 4

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
III P 1	0,491 0,583	15800 15300	57,0	20	80	n	37,3 <sup>a)</sup>	100	0	n
III P 2	0,520 0,484	17300 14700	69,6	15	85	n	...z)			
III P 3	0,573 0,491	17900 15600	60,5	0	100	n	45,7	0	100	j
III P 4	0,514 0,453	14200 13000	63,3	30	100	j	39,6	50	95	j
III P 5	0,541 0,494	16300 15700	58,8	5	100	n	53,0	0	100	n
III P 6	0,439 0,460	12400 12000	58,2	40	100	j	35,9	40	100	j
III P 7	0,499 0,493	14500 13900	54,0	80	100	j	28,2	90	50	j
III P 8	0,567 0,526	19700 16700	64,8	5	100	j	63,1	15	100	j
III P 9	0,525 0,507	16400 16200	70,3	55	100	j	53,7	50	100	j
III P 10	0,537 0,398	16800 9200	45,2	100	100	j	...z)			

Tabelle A.21: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 5

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
I E 1	0,522 0,516	16400 16100	51,3	0	100	n	40,4	10	90	n
I E 2	0,524 0,542	17000 16900	55,9	100	80	n	31,6	90	100	n
I E 3	0,459 0,513	15200 15100	56,0	40	100	n	45,3	45	100	n
I E 4	0,487 0,550	16300 16200	44,2	95	100	n	..?)			
I E 5	0,591 0,482	18100 15600	60,8	70	60	n	41,5	60	100	n
I E 6	0,508 0,511	17400 17000	22,2 <sup>f)</sup>	0	100	j	44,7	50	100	n
I E 7	0,517 0,509	16000 15500	48,3	70	100	n	43,8	100	100	n
I E 8	0,523 0,503	16100 15400	62,4	20	100	n	48,0	50	100	n
I E 9	0,565 0,490	19300 15300	53,3	40	100	n	40,5	100	100	n
I E 10	0,505 0,461	15700 15100	40,3	90	60	n	51,1	100	100	n

Tabelle A.22: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 5

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
I P 1	0,484 0,478	16300 16000	69,3	0	100	n	52,7	30	100	n
I P 2	0,495 0,517	16900 16900	..z)				50,4	90	65	n
I P 3	0,471 0,487	15200 15000	62,7	65	100	n	48,2	70	30	n
I P 4	0,490 0,501	16300 16100	66,3	40	100	n	52,5	80	100	n
I P 5	0,509 0,479	17700 15600	72,3	0	100	n	62,5 <sup>r)</sup>	0	0	n
I P 6	0,507 0,502	17300 17000	58,9	100	80	n	50,2	100	85	n
I P 7	0,503 0,467	15800 15500	59,4	30	100	j	51,7	50	100	j
I P 8	0,493 0,468	16100 15300	..z)				45,2	100	30	n
I P 9	0,532 0,481	19200 15200	64,1	100	100	n	41,5	100	100	n
I P 10	0,518 0,492	15700 15100	60,8	70	70	n	22,3	85	30	n

Tabelle A.23: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 5

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
II E 1	0,497 0,458	13100 12700	51,8	80	40	j	36,9	100	100	j
II E 2	0,457 0,443	13200 13100	44,2	50	100	n	37,6	80	100	n
II E 3	0,413 0,415	11900 11600	6,3 <sup>f)</sup>	0	100	j	33,7 <sup>a)</sup>	100	0	n
II E 4	0,438 0,452	13000 12900	53,3	95	100	n	31,1 <sup>a)</sup>	100	0	n
II E 5	0,480 0,434	13400 12400	53,8	0	100	n	42,4	85	100	n
II E 6	0,444 0,514	13300 13300	50,6	95	80	n	27,9 <sup>a)</sup>	100	0	n
II E 7	0,422 0,426	12600 12300	40,9	90	70	j	26,7	80	100	j
II E 8	0,485 0,419	12900 12300	..z)				42,8	60	100	n
II E 9	0,491 0,448	13500 12000	45,6	60	100	j	35,1	80	80	j
II E 10	0,405 0,411	12500 11600	38,3	50	80	n	37,8	65	100	n

Tabelle A.24: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 5

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
II P 1	0,464 0,472	13000 12700	52,8	100	85	j	44,7	100	100	j
II P 2	0,471 0,487	13200 13100	52,6	90	50	n	50,1	50	100	n
II P 3	0,413 0,443	11700 11500	39,6	100	80	j	33,7	100	100	j
II P 4	0,498 0,454	13000 12900	38,9	85	90	j	...z)			
II P 5	0,442 0,454	13400 12400	56,5	100	65	n	46,1	100	100	n
II P 6	0,423 0,424	13300 13300	51,5	100	95	n	40,5	100	70	n
II P 7	0,440 0,439	12600 12300	51,9	100	40	n	39,3	100	80	n
II P 8	0,425 0,447	12800 12100	65,3	80	80	j	43,5	90	80	j
II P 9	0,440 0,428	13400 12000	57,0	40	60	n	40,0	90	25	n
II P 10	0,457 0,394	12500 11600	50,2	95	60	j	39,8	100	100	j

Tabelle A.25: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 5

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
III E 1	0,441 0,397	12100 9900	..z)				31,4	80	100	j
III E 2	0,458 0,456	11300 11200	46,2	95	100	j	37,3	100	100	j
III E 3	0,527 0,451	12700 12500	42,8	85	100	n	37,0 <sup>a)</sup>	100	0	n
III E 4	0,506 0,483	15500 10700	44,4	90	80	j	34,9	90	100	j
III E 5	0,445 0,417	13300 10400	47,4	50	100	j	40,0	80	100	j

Tabelle A.26: Einzelwerte der Biege- und Zugversuche

Firma 5

Probe	$\rho_1$ $\rho_2$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$E_1$ $E_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]	$f_Z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HB [%]	KB [%]	M [-]
III P 1	0,446 0,433	12000 9600	40,9	90	100	n	30,9	100	90	j
III P 2	0,471 0,459	11200 10700	51,0	100	100	j	42,5	100	70	j
III P 3	0,471 0,434	12600 12400	53,6	80	90	n	39,0	85	100	n
III P 4	0,470 0,424	14100 10500	50,5	90	40	n	36,5 <sup>a)</sup>	100	0	n
III P 5	0,461 0,430	13200 10100	45,2	90	100	j	36,0	100	100	j