

Bauakademie der DDR  
Institut für Industriebau  
Dipl.-Ing. Wolfgang Rug

## DIE FESTIGKEIT VON BRETTSCHICHTHOLZ IN ABHÄNGIGKEIT VON VERSCHIEDENEN EINFLUSSFAKTOREN UND MÖGLICHE SCHRITTE ZUR HÖHEREN VEREDLUNG<sup>1)</sup>

### Teil 1 - Fertigungstechnologische Einflußfaktoren

#### 1. Einleitung

Brettschichtholz besteht aus verklebten Schnittholzlamellen. Die Schnittholzlamellen werden auf eine dem Klebstoff entsprechende Holzfeuchte vorgetrocknet. Die Brettlagen stellt man in den entsprechenden Längen des herzustellenden Bauteils her: Sind die Brettlagen kürzer als die Länge des herzustellenden Bauteiles, so werden sie mittels Keilzinkverbindung miteinander verbunden. Sie können damit praktisch endlos gefertigt werden. Nach der Herstellung der Keilzinkverbindung werden die einzelnen Lagen mit Klebstoff versehen und anschließend in der Presse verklebt. Die Brettdicke variiert international i.a. zwischen 15...40 mm. In der DDR liegt die Brettdicke zur Zeit bei 30, 31 und 32 mm.

In Abhängigkeit von den fertigungstechnologischen Möglichkeiten können Rechteckquerschnitte hergestellt werden, die eine größere Variabilität in der Höhe und Breite gestatten. Gleichzeitig lassen sich gekrümmte Bauteile oder Bauteile mit einem veränderlichen Querschnitt herstellen, der der Verteilung der Schnittkräfte des projektierten Tragwerkes entspricht. Mit der Herstellung von Brettschichtholz wird ein höherer Grad der Veredlung des Baustoffes Holz erreicht. Brettschichtholz weist gegenüber dem an den Stammdurchmesser gebundenen Vollholzquerschnitt verbesserte mechanische Eigenschaften mit geringeren Streuungen (höhere Festigkeit, höherer E-Modul) auf.

Eine strenge Qualitätskontrolle bei der Fertigung ist ausschlaggebend für den erreichbaren Veredlungsgrad bzw. für die Ausnutzung des höheren Veredlungsgrades von Brettschichtholz gegenüber Vollholz. Wird eine solche Qualitätskontrolle nicht gesichert, so kann die höhere Festigkeit von Brettschichtholz nicht ausgenutzt werden. Es kann sogar zu Schadensfällen kommen /22/.

Welchen Einfluß bestimmte Faktoren während der Fertigung auf die Qualität des Brettschichtholzes haben, soll nachfolgend aufgezeigt werden.

Abschließend werden Schlußfolgerungen für die Erhöhung des Veredlungsgrades von Brettschichtholz in der DDR gezogen.

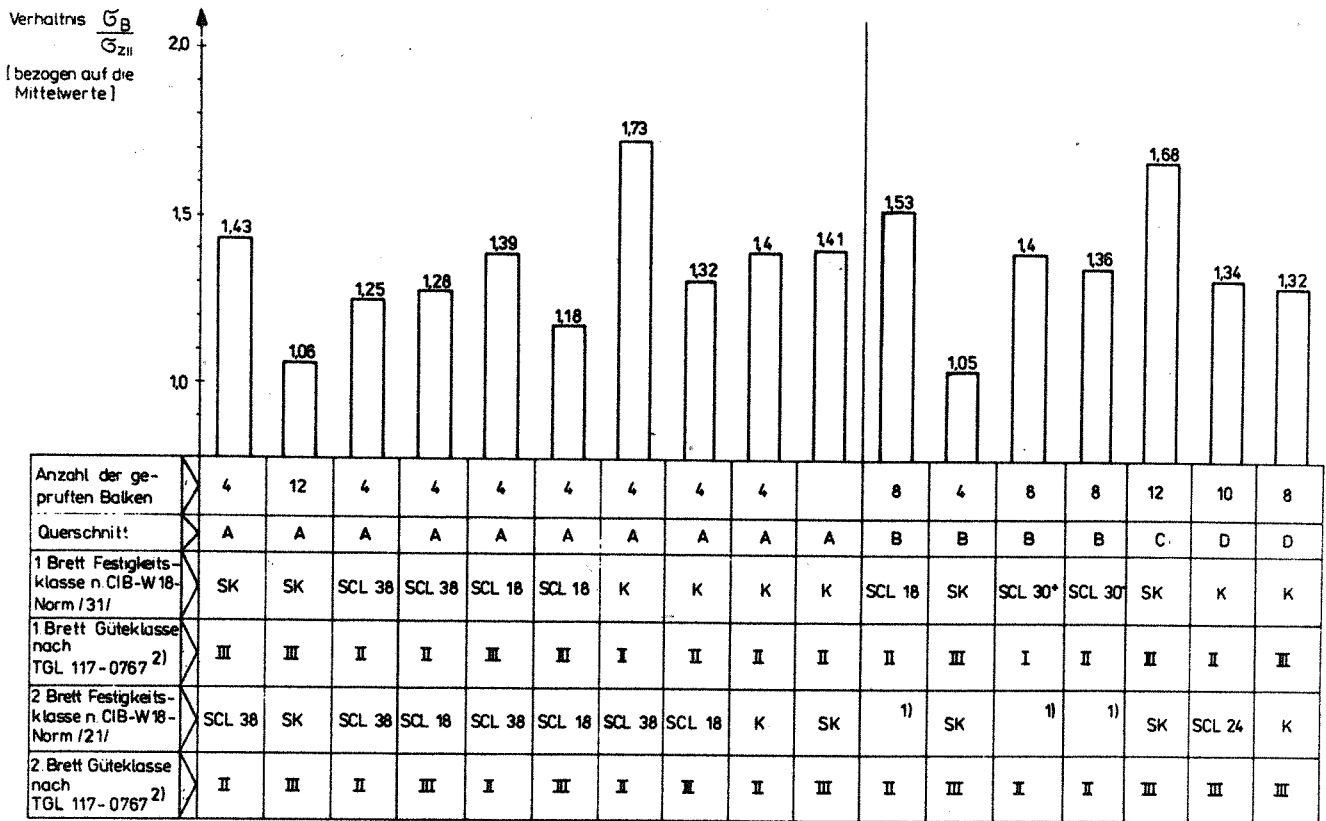
### 2. Einflußfaktoren auf die Festigkeit von Brettschichtholz

#### 2.1. Qualität der Brettlagen

##### 2.1.1. Holzgüte

Die Biegefestigkeit von Brettschichtholz ist vor allem abhängig von der Holzgüte der äußeren

1) Erweiterte Fassung des auf dem Holzbauseminar gehaltenen Vortrages



1) 50% Balken hoher E-modul, 50% Balken niedriger E-modul

2) Zuordnung erfolgte auf der Grundlage von 50% Fraktile, abgeleitet aus Biegeversuchen nach Steck / 20/

K - Keilzinkenverbindung

SK - Schwache Keilzinkenverbindung (keine ordnungsgemäße Verklebung)

Bild 1a: Verhältnis Biegebruchspannung in Abhängigkeit von der Zugfestigkeit der äußeren Brettlagen nach Angaben in / 4 /

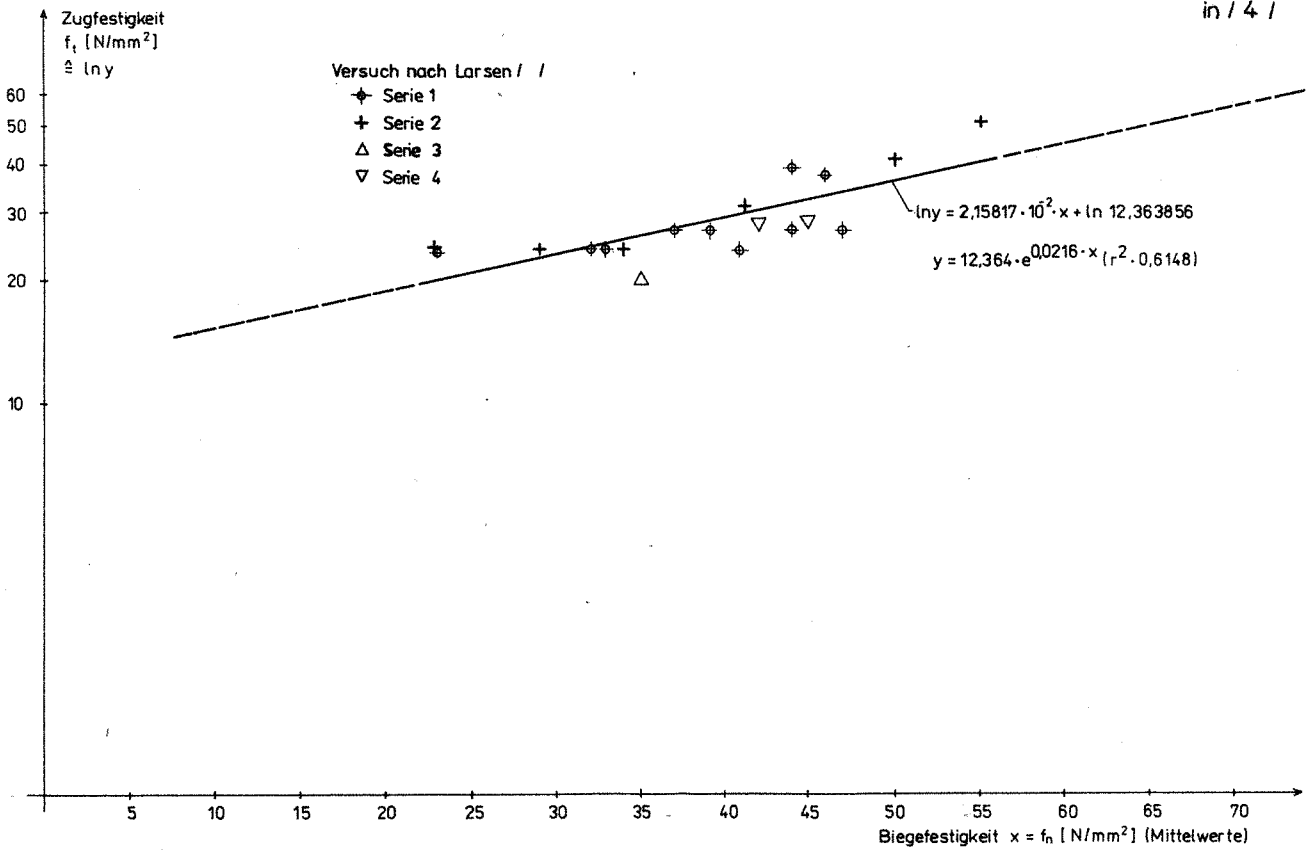


Bild 1b: Biegefestigkeit von Brettschichtträgern in Abhängigkeit von der Zugfestigkeit der Decklagen nach Versuchen von Larsen

Brettlagen. Wie LARSEN/Dänemark in /4/ feststellte, ist die Güte des äußersten Brettes entscheidend (s. auch Bild 1a u. b). Als Kriterium für die Holzgüte wird die Zugfestigkeit genommen. FRECH/BRD weist darauf hin, daß mit zunehmender Trägerhöhe bzw. Stützweite der Einfluß der Zugfestigkeit auf die Bruchlast der Träger gegenüber der Biegefestigkeit steigt /8/. Holz- oder Verleimungsfehler wirken sich mit zunehmendem Einfluß der Zugfestigkeit stärker aus. Dadurch nimmt die Bruchspannung mit zunehmender Trägerhöhe bzw. Stützweite ab, wie das folgende Bild 2 aus /8/ zeigt.

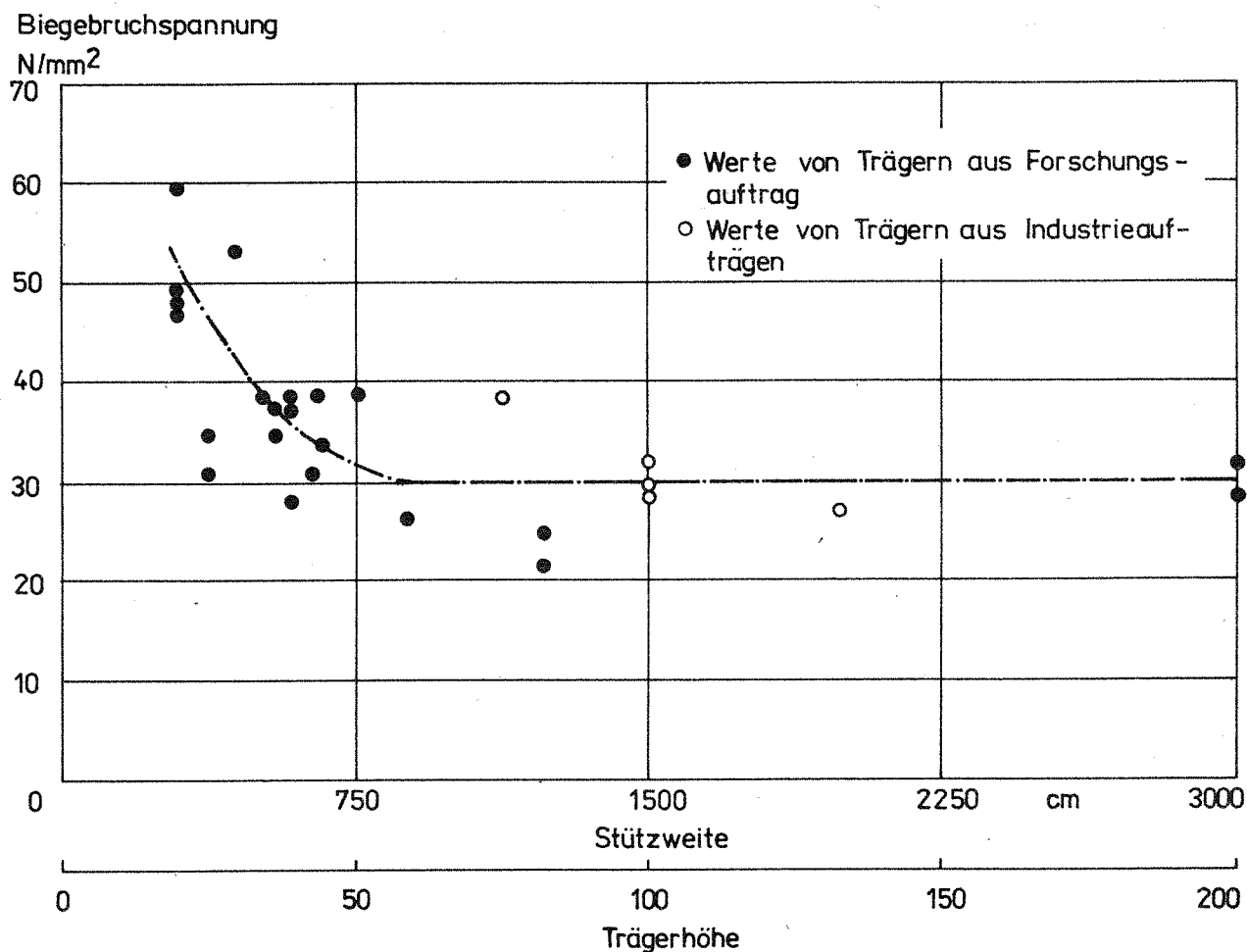


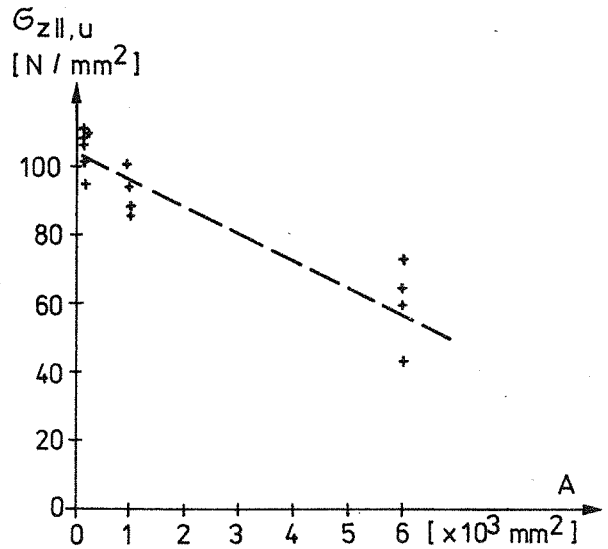
Bild 2: Rechnerische Bruchspannung in Abhängigkeit von Trägerhöhe bzw. Stützweite und die daraus resultierende Mittelwertkurve

Internationale Untersuchungen zeigen, daß sich die Festigkeit bei Anordnung von 80 % qualitäts-gemindertem Holz in den mittelmäßig beanspruchten Querschnittsteilen nur geringfügig verändert (18,1 % Festigkeitseinbuße). Dagegen läßt sich die Festigkeit von Brettschichtholz durch Ein-satz von 38 mm fehlerfreiem Holz (14 % des Querschnittes) in der Zugzone um 32 % erhöhen.

#### 2.1.2. Dicke der Brettlagen

Die Lagendicke hat ebenfalls einen Einfluß auf die Festigkeit von Brettschichtholz. Dies steht im Zusammenhang mit der volumenabhängigen Verminderung der Zugfestigkeit von Holz (s. Bild 3).

Bild 3: Einfluß des Probequerschnittes (A) auf die Zugfestigkeit bei Fichte /26/



Bei verhältnismäßig dicken Brettern ( $d \geq 31 \text{ mm}$ ) beginnt der Bruch am äußersten Brett. Das zerbrochene Brett löst sich ab. Bei allen weiteren Brettern tritt das Versagen in gleicher Weise ein /4/ (s. Bild 4 aus /10/).

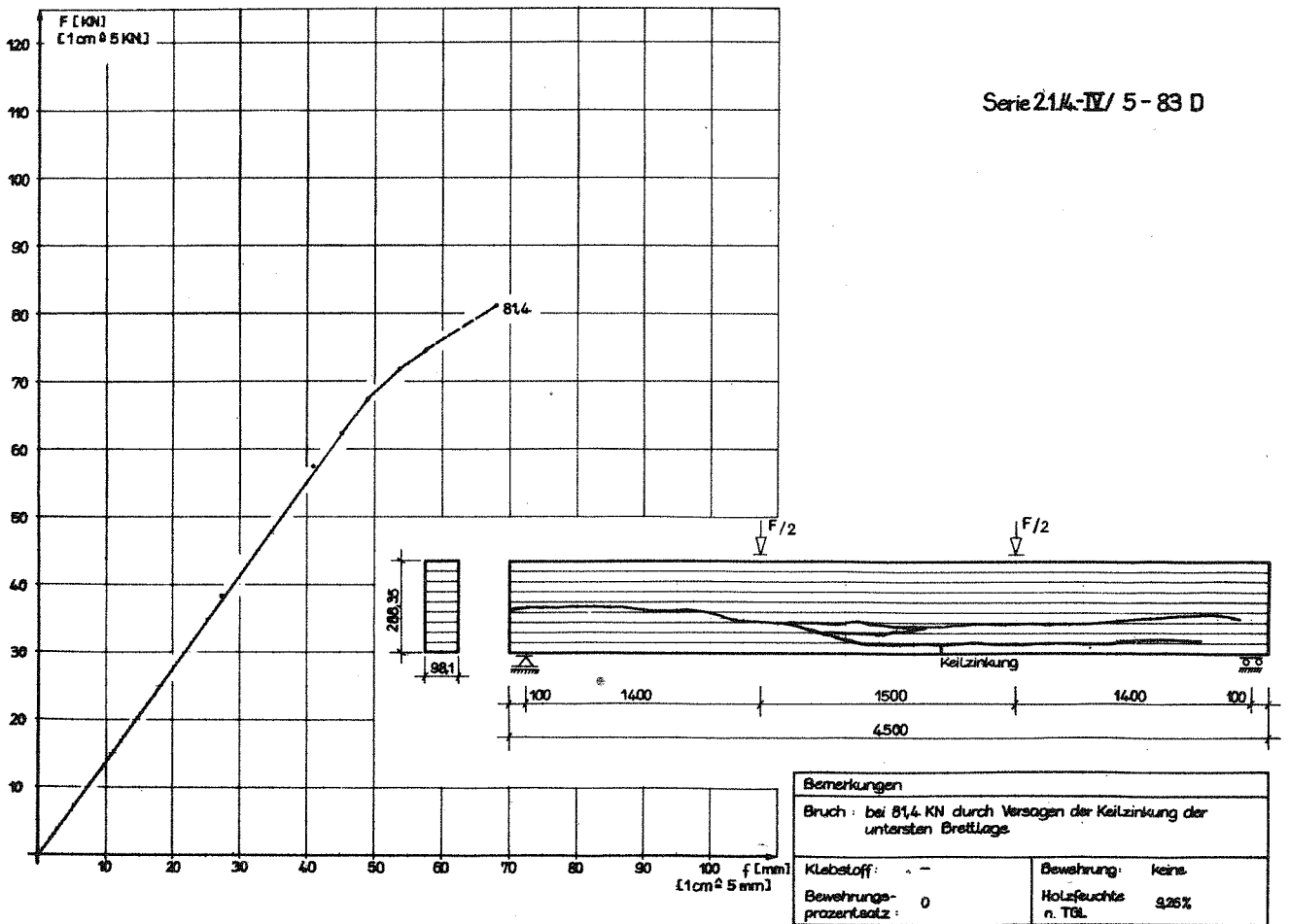


Bild 4: Last-Durchbiegungs-Kurve und Bruchbild des Trägers 4 der Serie 2.1. nach /10/

Brettschichtholzträger mit verhältnismäßig dünnen Brettern ( $d = 14 \dots 15 \text{ mm}$ ) weisen ein anderes Bruchverhalten auf. Der Bruch geht von mehreren Brettern gleichzeitig aus, ohne daß einzelne Bretter sich lösen.

LARSEN weist aufgrund seiner Versuche nach, daß Balken mit diesen Brettern (d = 14 mm) gegenüber Balken mit dicken Brettern (d = 33 mm) einen um 21 % höheren Laminierungsfaktor hatten. (Der Laminierungsfaktor ist das Verhältnis zwischen Biegefestigkeit der Balken und der Zugfestigkeit des äußeren Brettes - s. Bild 1a). Bemerkenswert ist dieses Ergebnis auch deshalb, als sämtliche Keilzinkenverbindungen eine geringere Zugfestigkeit als normale Verbindungen hatten.

KOVALŽUK/UdSSR hebt in /1/ hervor, daß bei Verwendung von 15 mm dicken Lagen (5 % des Querschnittes) die Festigkeit um 23 % zunimmt. Brettschichtträger mit einer Lagendicke von 25...30 mm weisen eine um 13 % höhere Festigkeit gegenüber Trägern mit Lagendicken von 35...45 mm auf. Die Lagendicke wirkt sich um so stärker aus, je höher der Trägerquerschnitt ist (s. Tabelle 1), was den zunehmenden Einfluß der Zugfestigkeit mit zunehmender Trägerhöhe bestätigt.

Trägerhöhe [mm]	Schichtdicke [mm]	Biegefestigkeit in MPa <sup>1)</sup> (Mittelwerte) bei Versagen durch			
		Keilzinken- verbindung	Äste	Holz	alle Bruch- ursachen
400	25...30	2,96	3,12	3,70	3,17
	35...45	2,94	3,09	3,35	3,05
	25...45	2,95	3,11	3,58	3,12
500	25...30	3,14	3,69	3,86	3,37
	35...45	2,73	2,81	3,05	2,82
	25...45	2,82	2,88	3,18	2,91
600	25...35	3,16	2,94	3,50	3,15
	35...45	2,64	2,76	2,89	2,72
	25...45	2,95	2,83	3,13	2,95
400...600	25...35	3,07	3,17	3,70	3,21
	35...45	2,76	2,84	3,08	2,85
	25...45	2,89	2,92	3,29	2,98

1) Mittelwerte aus 304 Bauelementen

Tabelle 1: Ergebnisse der Kontrollprüfung von geklebten Holzkonstruktionen in der UdSSR /1/

### 2.1.3. Qualität der Keilzinkenverbindung

Ordnungsgemäß ausgeführte Keilzinkenverbindungen vermindern nicht die Zugfestigkeit der Brettlagen. Keilzinkenverbindungen, die ohne Klebstoff oder mit ungenügendem Preßdruck ausgeführt werden, vermindern die Festigkeit der Brettlagen entscheidend. Von LARSEN wurden bei den in /4/ beschriebenen Versuchen gezielt Keilzinkenverbindungen eingebaut, die nicht ordnungsgemäß verklebt waren. Wenn das zweite äußere Brett auch eine niedrige Zugfestigkeit oder eine schwache Keilzinkenverbindung hatte, war die Biegefestigkeit der Balken äußerst niedrig.

GEHRI/Schweiz untersuchte die Möglichkeit einer Festigkeitssteigerung von Keilzinkenverbindungen durch die Vergrößerung der Klebefläche /3/. Es wurden Keilzinkenverbindungen mit flacherer Neigung für die Flanken der Keilzinkung hergestellt. Aus Bild 5 ist ersichtlich, daß eine höhere Zugfestigkeit der Keilzinkenverbindung möglich ist. Besonders bei Buchenholz kann eine kontinuierliche Erhöhung der Zugfestigkeit mit steigendem Leimflächenverhältnis erreicht werden.

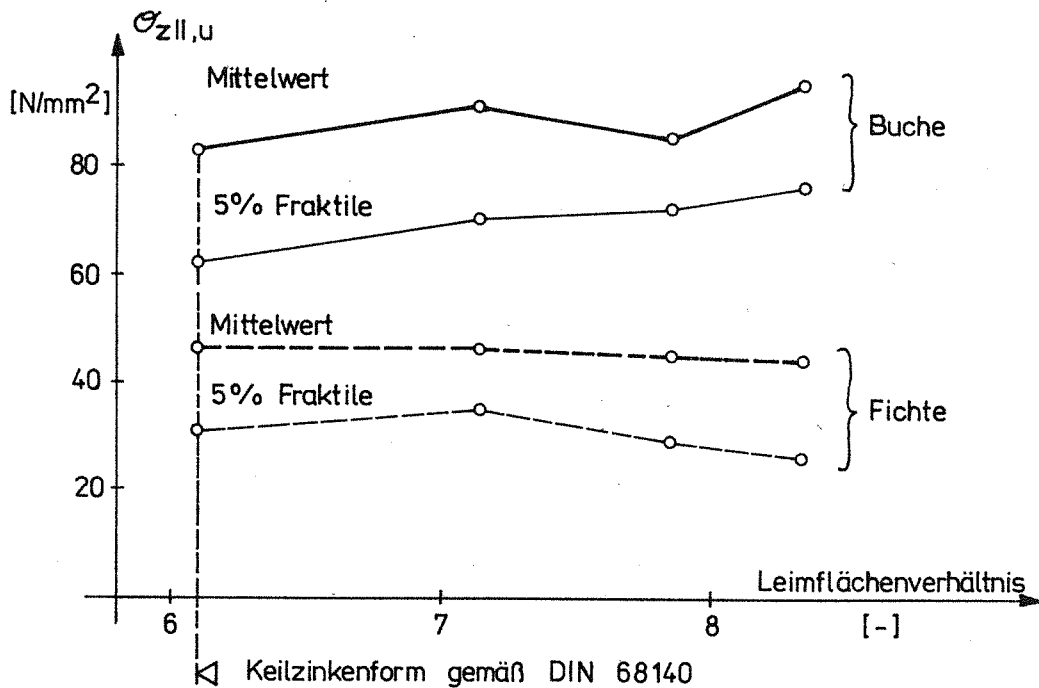


Bild 5: Einfluß des Leimflächenverhältnisses auf die Zugfestigkeit von Keilzinkenverbindungen /3/

Einen anderen Weg zur Erhöhung der Zugfestigkeit von Keilzinkenverbindungen niedriger Qualität geht SPAUN/USA. SPAUN untersuchte den Einfluß verschiedener Deckschichten auf den Biege-E-Modul und die Zugfestigkeit von Tannenholzbrettern, die in der Mitte durch Keilzinkenverbindungen gestoßen waren /9/.

Der Biege-E-Modul und die Zugfestigkeit konnten in Abhängigkeit von dem Material für die Deckschichten und des Flächenanteils wesentlich gesteigert werden (s. Bild 6). Wie aus Bild 7 hervorgeht, ist diese Methode besonders dann effektiv, wenn die Qualität bzw. Güte des Brettes gering ist. Die Wirksamkeit der Methode nimmt mit steigender Qualität bzw. Güte des Brettes ab.

#### 2.1.4. Holzart

Aufgrund der Abhängigkeit der Biegefestigkeit des Brettschichtholzes von der Zugfestigkeit der äußersten Brettlagen liegt der Gedanke nahe, die äußerste Lage aus Holz mit höherer Zugfestigkeit auszuführen.

In der Schweiz sind die grundlegenden Untersuchungen zum Einsatz von Buchenholz für Brettschichtholz schon weit gediehen (s. auch /2/, /3/, /5/ und /11/).

Damit wurden die in /12/ vorgelegten Untersuchungsergebnisse weitergeführt und der effektive Einsatz von Buchenholz im Holzbau vorbereitet.

Brettschichtträger, bei denen die 2 äußeren Lagen aus Buchenholz bestehen, weisen eine 28 % höhere Tragfähigkeit auf. Eine weitere Steigerung ist möglich durch Verwendung von Buchenholz für alle Brettlagen (s. Bild 8).

In Verbindung mit leistungsfähigeren Keilzinkenverbindungen können diese Werte nach GEHRI noch gesteigert werden /3/.

Probe				
Zunahme des Biege-E-mod und der Zugfestigkeit [%]				
	100	114	127	145
	$G_{z  }$	138	149	166
	V = 16,3 %	V = 13,7 %	V = 14,5 %	V = 14,5
Holzart	Tanne ; $S = 0,45 \text{ Mp/m}$ ; $u = 7,6 \%$			
Klebstoff	Phenol-Resorcin-Harz			
Prozentsatz (bez. a Volumen)		35 %	7,0 %	

F=Furnier 0,3175mm dick  $E_{dyn} = 122 \dots 1,97 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$   
 GF-Glasfaserrovving  $E_z = 74645 \text{ N/mm}^2$

Bild 6: Versuche von SPAUN/USA 1981 mit bewehrten keilgezinkten Brettern /9/

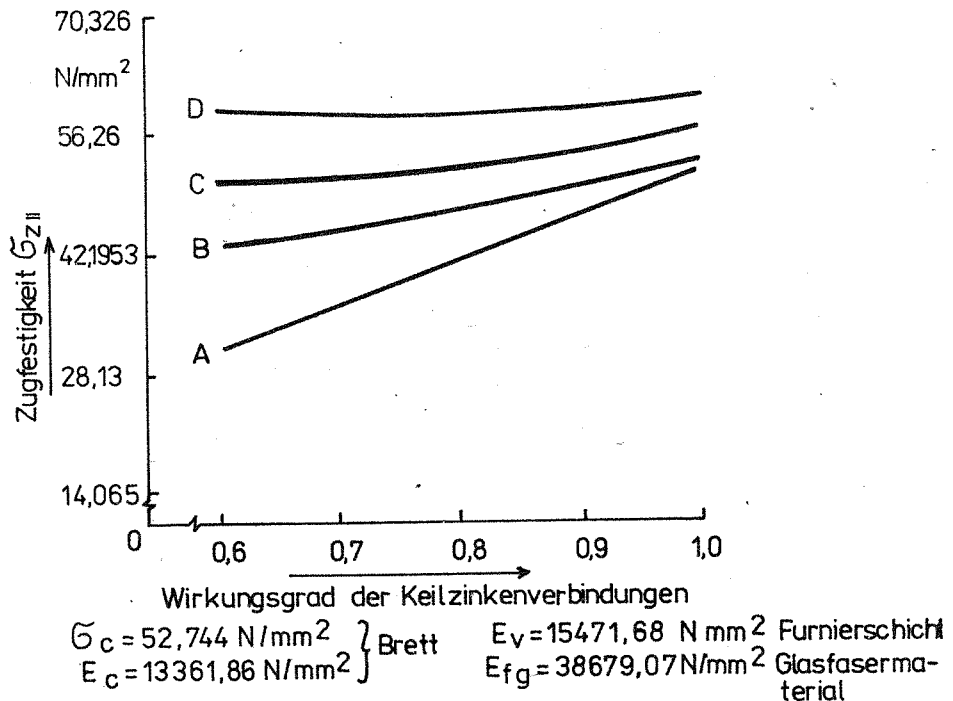


Bild 7: Wirkung der Verstärkung gemäß Bild 6 auf die Tragfähigkeit der Keilzinkenverbindung nach SPAUN/USA /9/

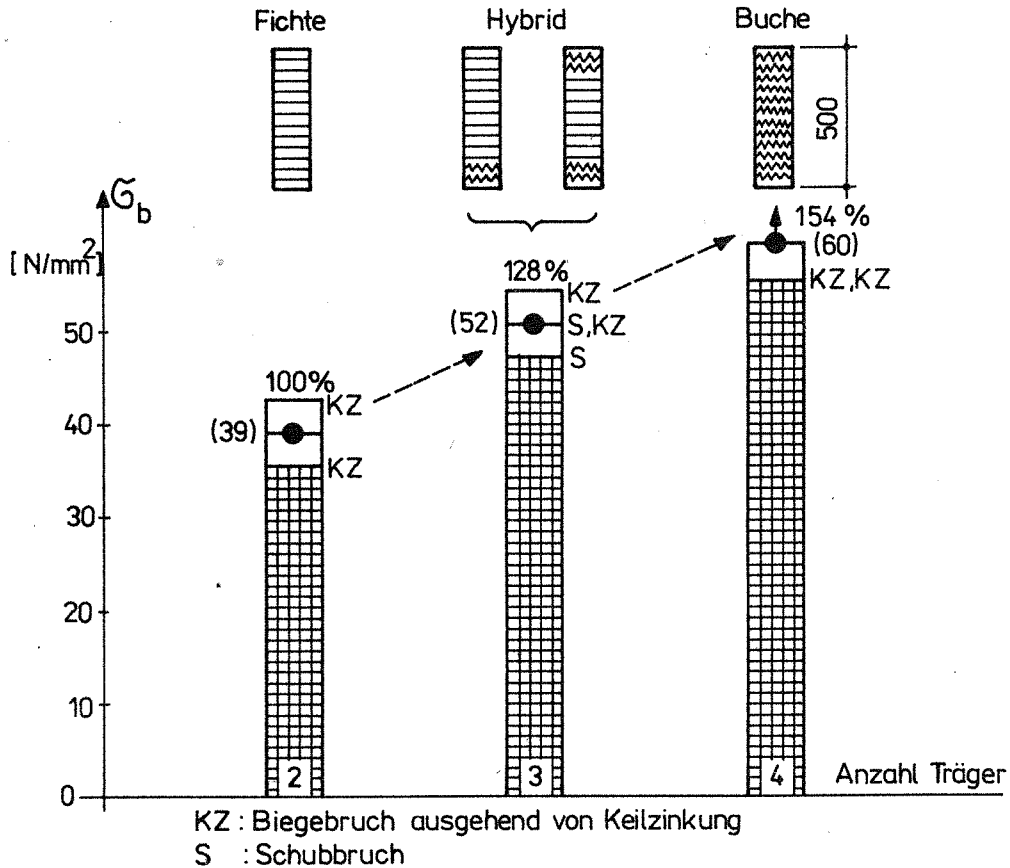


Bild 8: Steigerung der Tragfähigkeit durch Verwendung von Lamelle höherer Tragfähigkeit (insbesondere in den gezogenen Außenbereichen); KZ bedeutet Bruch ausgehend von Keilzinkung S bedeutet Schubbruch (hier im Fichtenteil) /2/

Im Zusammenhang mit der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Hybridträgern aus Buchen- und Fichtenholz bzw. Brettschichträgern aus Buchenholz sind in der Schweiz weitere Versuche geplant.

#### 2.1.5. Festigkeitssortierung

Die Holzsortierung ist notwendig, um die Holzfehler zu begrenzen. Damit werden die Voraussetzungen für die möglichst materialsparende Verwendung des Bauholzes aufgrund einer Bemessung der Bauteile bei Einhaltung von zulässigen Spannungen oder Rechengrundfestigkeiten geschaffen. Die zulässigen Rechenfestigkeiten werden in Abhängigkeit von Güteklassen, nach denen das Holz sortiert wurde, festgelegt. Neben Güteklassen für Vollholz und Rundholz gibt es in einigen Ländern Festigkeitsklassen für Brettschichtholz /23/.

Da beim Baustoff Holz die Sortierung bei jedem einzelnen Stück durchgeführt werden muß, Holz nach äußerlich sichtbaren Mängeln sortiert wird, können die Sortierkriterien nicht beliebig aufgefächert werden. Der ohnehin schon hohe manuelle Arbeitsaufwand für die Sortierung würde dadurch weiter stark ansteigen.

Im allgemeinen wird heute in vielen Ländern noch nach visuellen Kriterien sortiert (s. Tabelle 2).

Die Sortierkriterien sind identisch mit dem Einfluß der Unregelmäßigkeiten auf die Festigkeit von Holz (Äste, Schrägfaserigkeit, Reaktionsholz usw.).





Die visuelle Sortierung ist nur eine grobe aber praktikable Klassifizierung von Holz. Trotz sorgfältiger Sortierung streuen die Festigkeiten teilweise erheblich (s. Bild 9a - c). Der Baustoff Holz wird somit nicht voll ausgenutzt.

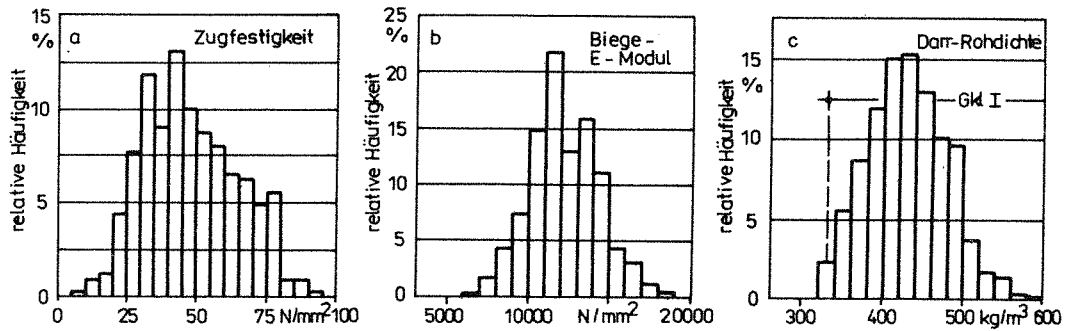


Bild 9: Relative Häufigkeit verschiedener Eigenschaften von Brettschichtholz /16/ 586 Proben nach /15/  
a) Zugfestigkeit b) Biege-E-Modul c) Darr-Rohdichte

Andererseits wurde in Untersuchungen, bei denen die Sortierung von Brett lamellen simuliert wurde, ein deutlicher Einfluß der Sortierung festgestellt. Zunächst wurde die Festigkeitsverteilung der unsortierten Brett lamellen simuliert (Bild 10), dann die Verteilung der sortierten Brett lagen (Bild 11a - d).

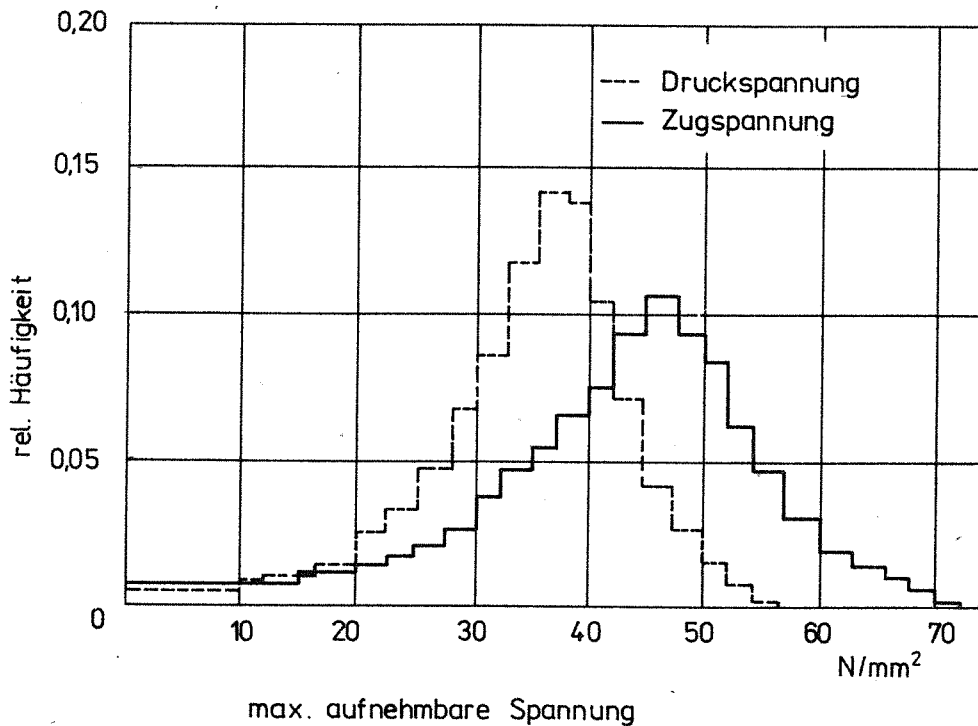


Bild 10: Histogramm der maximal aufnehmbaren Spannung der simulierten Brettélémente bei unsortiertem Angebot nach /24/

Die Zusammensetzung des Trágers aus dem sortierten Angebot (Bild 12) bildete die Grundlage für die Ermittlung der Festigkeitsverteilung der Brettschichtträger (s. Bild 13) /24/.

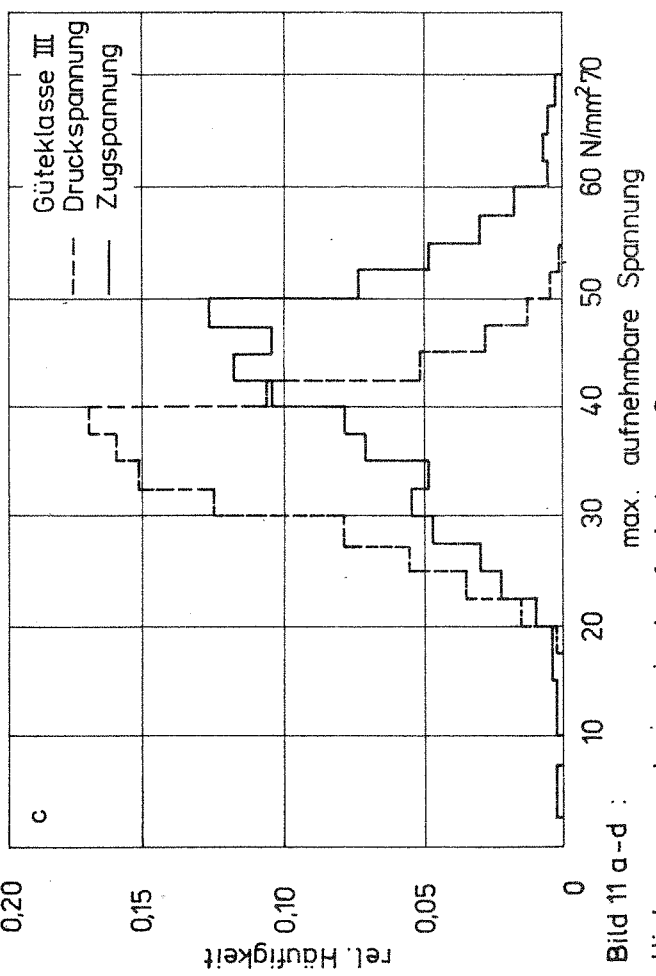
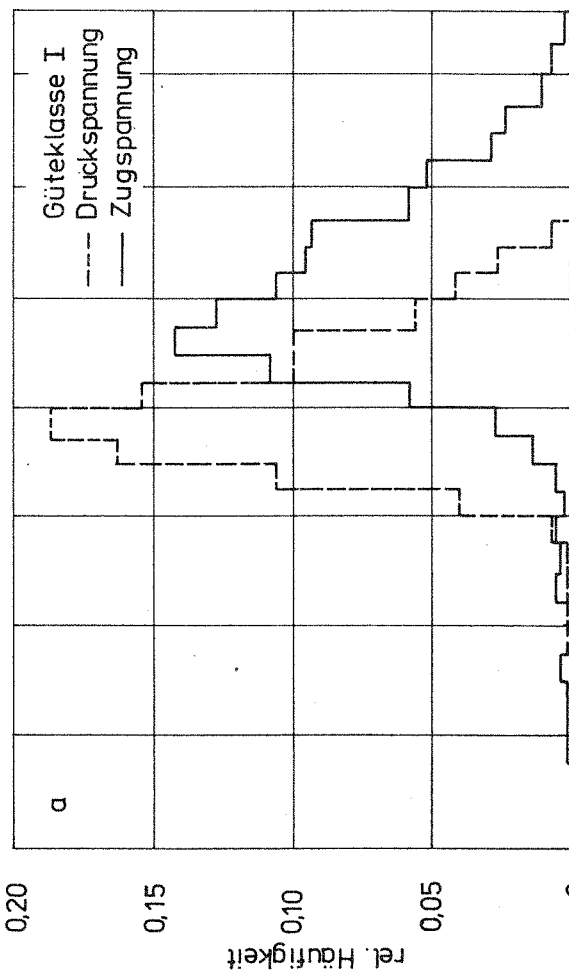
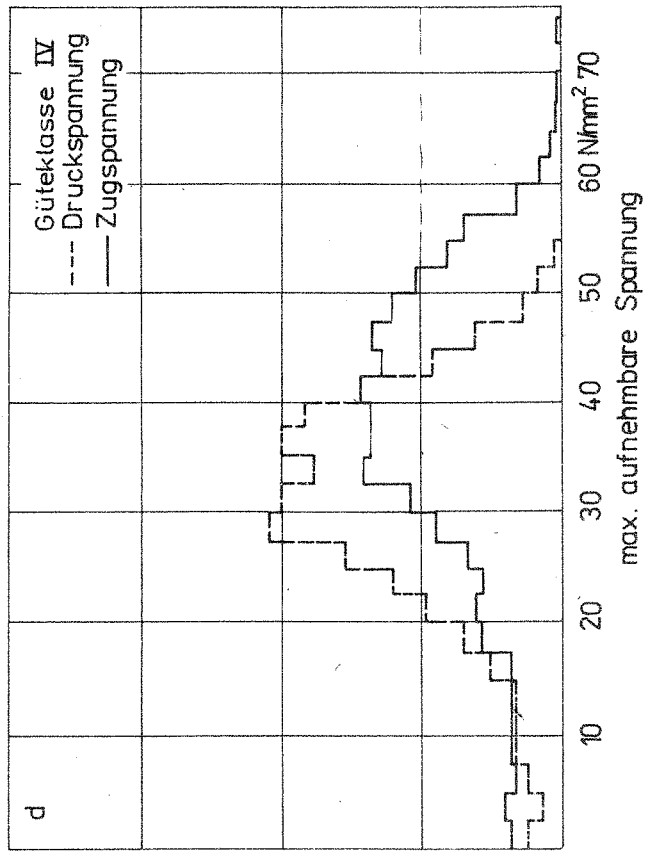
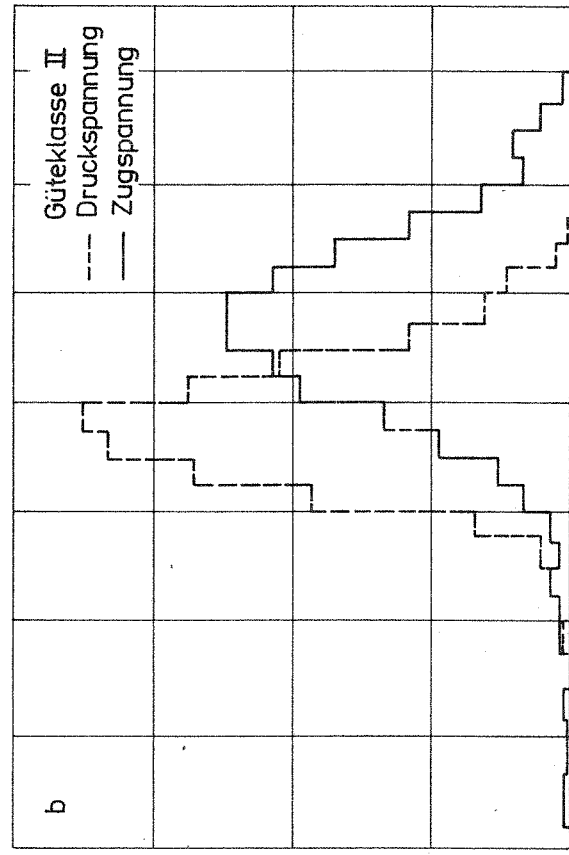


Bild 11 a - d :  
Histogramme der maximal aufnehmbaren Spannungen der simulierten Brettelelemente bei sortiertem Angebot nach 24 a - d : Güteklasse I bis IV

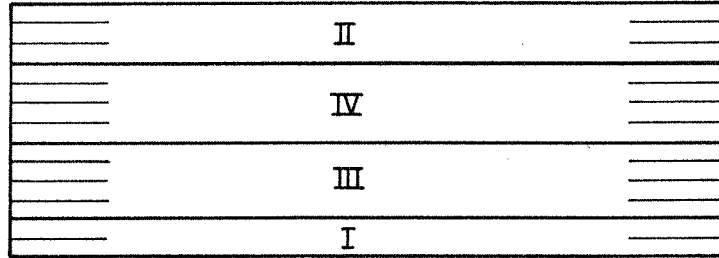


Bild 12: Aufbau der Träger bei Verwendung sortierter Bretter (Fall B)

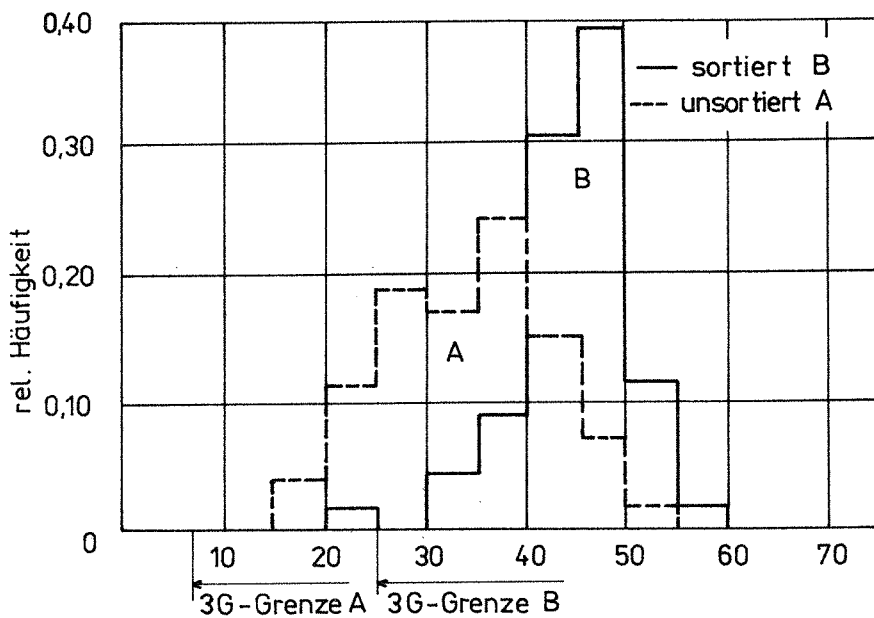


Bild 13: Histogramm der maximal aufnehmbaren (bezogenen) Spannungen der simulierten Träger nach /24/

Für die Beibehaltung der visuellen Sortierung und einer weiteren Verringerung der Ausbeute von Holz "normaler" Holzgüte aus unsortiertem Sortiment erscheint es volkswirtschaftlich effektiv, bei Brettschichtholz Verstärkungen mit Zuglamellen hoher Festigkeit einzusetzen, da mit dieser Maßnahme die Festigkeitsstreuungen in Abhängigkeit des Verstärkungsmaterials erheblich gesenkt werden können. Desweiteren sollte mit Hinweis auf das vorgenannte Beispiel überlegt werden, ob die Herstellung von mehreren Festigkeitsklassen nicht volkswirtschaftlich sinnvoll ist.

International wird zunehmend - vor allem in den USA, Australien und Großbritannien - die maschinelle Sortierung angewandt (s. Bild 14) /25/. Dabei werden verschiedene Festigkeitskennwerte zerstörungsfrei ermittelt (so zum Beispiel Biege-E-Modul, Biegekraft- oder Zugbelastung), so daß nach diesen Parametern klassifiziert wird.

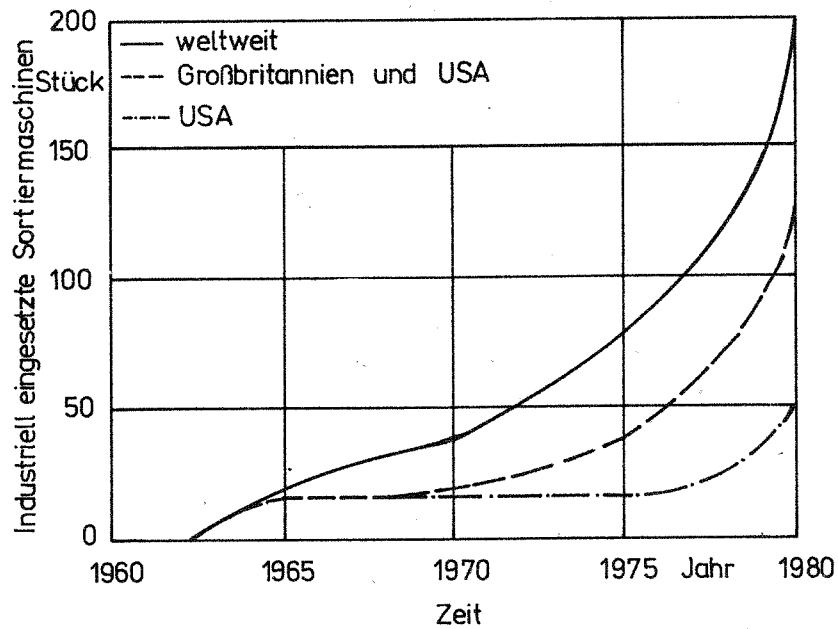


Bild 14: Zeitliche Entwicklung der Anzahl industriell eingesetzter Sortiermaschinen. Entworfen nach Einzelangaben in der Literatur von Glos und Schulz in /25/

Der progressive Anstieg der eingesetzten Sortiermaschinen erfolgte allerdings in den USA erst, als die zulässigen Spannungen für visuell sortiertes Holz herabgesetzt wurden. Der sich daraus ergebende Mehrverbrauch an Holz zwang die Holzbaubetriebe, verstärkt sortiertes Holz einzusetzen, da hier die zulässigen Spannungen höher liegen (vgl. Tabelle 3 und 4).

Ein weiterer Vorteil, der sich aus der maschinellen Sortierung ergibt, resultiert aus einer höheren Ausbeute, der aus dem unsortierten Angebot erschlossen werden kann (s. Tabelle 5).

Holzart (4 von 12 Holzarten- gruppen)	Güteklasse		
	Select Structural N/mm <sup>2</sup>	No. 1 N/mm <sup>2</sup>	No. 2 N/mm <sup>2</sup>
Douglas-fir, larch	8,3	6,8	4,5
Western hemlock	7,2	6,2	4,0
Hem-fir	6,5	5,5	3,6
Engelmann spruce, Lodgepole pine	5,3	4,6	2,9

Tabelle 3: In den USA zulässige Zugspannungen in N/mm<sup>2</sup> für visuell sortiertes Schnittholz der Anwendungsgruppe "Structural Joists and Planks" (eine von 5 Gruppen), Breite 114 bis 140 mm (Auszug). (Nach Galligan et al. 1979 und WWPA 1979) nach /25/

	Güteklasse			
	4 N/mm <sup>2</sup>	5 N/mm <sup>2</sup>	6 N/mm <sup>2</sup>	7 N/mm <sup>2</sup>
Zulässige Zugspannung	13,3	10,9	8,1	6,2
Elastizitäts- modul	13 800	12 400	11000	9600

Tabelle 4: In den USA zulässige Zugspannung und zugehöriger E-Modul in N/mm für maschinell sortiertes Schnittholz max. 38 mm dick, min. 38 mm breit (4 von 9 holzartenunabhängigen Güteklassen) (Auszug). (Nach Galligan et al. 1979 und WPA 1979) nach /25/

Sortierverfahren	Güteklasse	Ausbeute	
		Anzahl Bretter	%
Visuell	75	48	20
	50	92	39
	Ausschuß	96	41
Maschinell	M 75	220	93
	M 50	16	7
	Ausschuß	0	0

Tabelle 5: Vergleich der Ausbeute bei visueller und maschineller Schnittholzsortierung; 236 Bretter, 38 mm x 150 mm, aus finnischem Fichten- und Kiefernholz (nach Tory 1978) nach /25/

Die nachfolgende Tabelle 6 zeigt eine von GLOS und SCHULZ aufgestellte Übersicht über Sortiermaschinen, wie sie international eingesetzt werden (weitere Hinweise in /25/). Nach Einschätzung von GLOS müssen schätzungsweise ca. 4 Mio. m<sup>3</sup> Nadel-schnittholz innerhalb des Bausektors in der BRD sortiert werden. Für die Entscheidung sind neben wirtschaftlichen Gründen für die Anwenderbetriebe (s. Bild 15 Kostenentwicklung) auch Sortiment und Fragen der bauaufsichtlichen Zulassung zu beachten.

GLOS führte im Zusammenhang mit der maschinellen Festigkeitssortierung repräsentative Untersuchungen durch /15/, /16/, /17/. Er weist daraufhin, daß der Übergang zu einem höher korrelierten Sortierparameter (s. Tabelle 7), zum Beispiel nicht mehr nur nach der Ästigkeit, sondern zusätzlich maschinell nach dem Biege-E-Modul eine um 18...50 % höhere Zugfestigkeit erreicht werden kann. Dagegen bringt eine Veränderung der Klassengrenzen und der damit verbundenen Reduzierung der Ausbeute nur eine um 7...9 % höhere Zugfestigkeit (Basis 5 % Fraktile).

#### 2.1.6. Weitere Möglichkeiten zur Steigerung der Festigkeit von Brettschichtholz

Die Festigkeit von Brettschichtholz kann durch die Verwendung von Verbundwerkstoffen mit hoher Zugfestigkeit erhöht werden, wie sie in /13/, /14/ oder /3/ erprobt wurden.

Nach GEHRI steigt durch den Einsatz von nur 10 % Furnierschichtholz für die äußerste Zuglage die zulässige Biegespannung um rund 20 % /3/.

Zur Zeit wird vom Autor ein gesonderter Bericht zu diesem Thema vorbereitet. Hierüber wird zu einem späteren Zeitpunkt berichtet.

Maschine	Industriell eingesetzt seit	Kosten DM	Max. Holzdicke mm	Max. Durchlaufgeschwindigkeit m/min	Spannweite mm	Abstand der Meßintervalle mm	Wird Vorkrümmung berücksichtigt?	In Europa industriell eingesetzt?
Continuous Lumber Tester	1963	250000	38	300...500	2x 1220	150	ja	nein
CLT-1	1963	100000 <sup>a</sup>	38	150	1220	Kontinuierliche Abfrage	nein	nein
Stress-O-Matic								
Computermatic Mk P IVa	1969	180000	76	100	914	150	ja	ja
Cook-Bolinder SG-AF	1979	100000	76	80 <sup>b</sup>	914	100	ja, durch zweifache Durchlauf	ja

a Hochgerechnet aus Angaben von 1977

b Maschine ist für zweifachen Durchlauf konzipiert

Tabelle 6 : Preise und technische Angaben von Sortiermaschinen, die auf dem Biegeprinzip beruhen

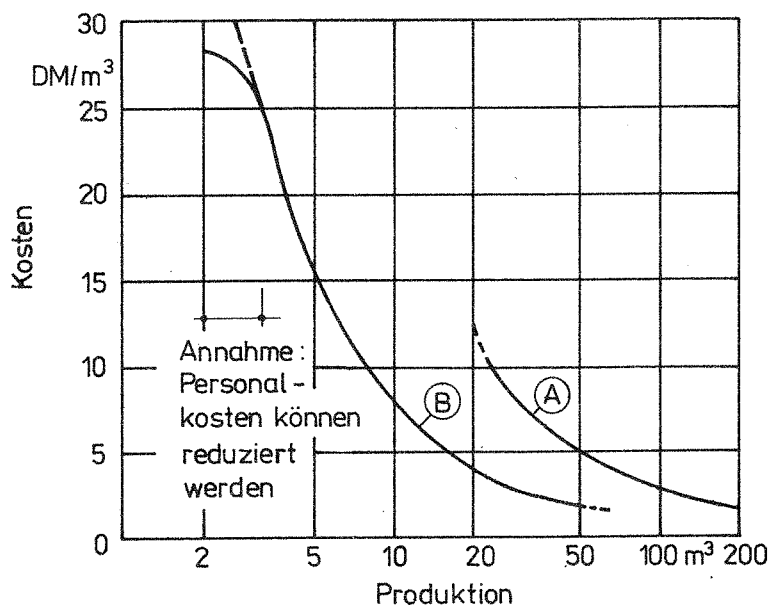


Bild 15: Kosten der maschinellen Holzsortierung in Abhängigkeit der jährlichen Produktionsmenge.

- A - durchschnittliche Kosten geschätzt unter Verwendung von Daten aus 7 amerikanischen Betrieben. Nach Ince (1979).
- B - Kostenverlauf bei jährlichen Abschreibungs-, zusätzlichen Personal- und Betriebskosten von DM 80.000 nach /25/

Parameter	Korrelationskoeffizient mit der Zugfestigkeit
Ästigkeit (KAR)	- 0,65
Faserabweichung	- 0,08
Rohdichte ( $r_0$ )	0,54
Rohdichte ( $r_u$ einschl. Ästen)	0,46
mittlere Jahrringbreite	- 0,57
Jahrringverlauf	0,29
Druckholzanteil	- 0,07
Zug - E - Modul	0,83
Biege - E - Modul	0,75

Tabelle 7: Korrelationskoeffizienten  $r$  zwischen der Zugfestigkeit und verschiedenen Holzmerkmalen und -eigenschaften nach /15/

## 2.2. Holzfeuchte

Die Holzfeuchte der Brettlamellen beeinflusst die Qualität der Klebeverbindung zwischen den Brettschichten. Das Holz kann nur im vorgetrockneten Zustand verklebt werden. Die optimale Holzfeuchte liegt zwischen 8...12 %. Bei zu trockenem Holz wird der Klebstoff zu schnell vom Holz aufgezogen. Zu feuchtes Holz behindert die Benetzung der Holzoberfläche durch den Klebstoff. Beides verringert die Festigkeit der Klebefuge. Dabei ist zu sichern, daß alle Holzlamellen annähernd gleiche Holzfeuchte haben. Sonst treten aufgrund der Quell- und Schwindverformungen in der Klebefuge Spannungen auf, die nicht nur die Festigkeit der Klebefuge herabsetzen, sondern auch bei besonders ungünstigen Umständen zum Ablösen der Lamellen führen.

Untersuchungen haben ergeben, daß die zulässige Feuchtedifferenz zwischen benachbarten Lagen von 40 mm Dicke maximal 1...1,5 % und bei 20 mm Dicke 2...2,5 % betragen sollte. Das setzt voraus, daß das Holz vorgetrocknet wird (auf ca. 20 %  $\pm$  3 %) und anschließend in der Trockenkammer auf eine Verarbeitungsfeuchte von 10  $\pm$  2 % zurückgetrocknet wird /1/.

SOLAR/Österreich errechnete für eine Feuchtedifferenz von 2 % eine Schubspannung in der Klebefuge, die über der minimalen Scherfestigkeit für Fichte ( $\approx$  4 N/mm<sup>2</sup>) liegt.

Er verweist darauf, daß es sich bei den Quell- und Schwindverformungen in der Klebefuge um Beanspruchungen quer zur Faser handelt /6/. Quer zur Faser ist die Scherfestigkeit des Holzes aber 3...4mal größer als parallel zur Faser (12...16 N/mm<sup>2</sup>). Erst wenn man eine Lamelle mit 20 % Holzfeuchte mit einer anderen von 18 % verkleben würde und letztere auf ca. 7 % austrocknet, ist mit Rissen in der Klebefuge zu rechnen.

SOLAR weist auch nach, daß für das Aufgehen von Klebefugen nicht allein ein unterschiedlicher Feuchtesprung, sondern vielmehr auch die Zeit, in welcher er erfolgt, maßgebend ist /6/.

MEIERHOFER, SELL und STRÄSZLER/Schweiz weisen darauf hin, daß andererseits die Verarbeitungsfeuchte von Brettschichtholz maximal 2 % unterhalb der mittleren Betriebsfeuchtigkeit



liegen sollte /19/. Im allgemeinen sollten 13 % nicht überschritten werden. Bei zu hoher Anfangsholzfeuchte ist eine intensive Rißbildung zu beobachten. Die Rißbildung kann teilweise verhindert werden, wenn ein Feuchtigkeitstransport (von außen nach innen) oder eine rasche Austrocknung durch einen entsprechenden Anstrich (lasur oder eine diffusionshemmende Lacklasur) behindert wird.

Bild 16 verdeutlicht, daß sich die den Betriebsbedingungen entsprechende Holzfeuchtigkeit bei zu hoher Ausgangsholzfeuchte nur sehr langsam einstellt. Es ist klar ersichtlich, daß eine scharfe Trocknungsphase bzw. Befeuchtungsphase des Holzes in Abhängigkeit von der Anfangsholzfeuchte zur Rißbildung führen würde /18/, /19/.

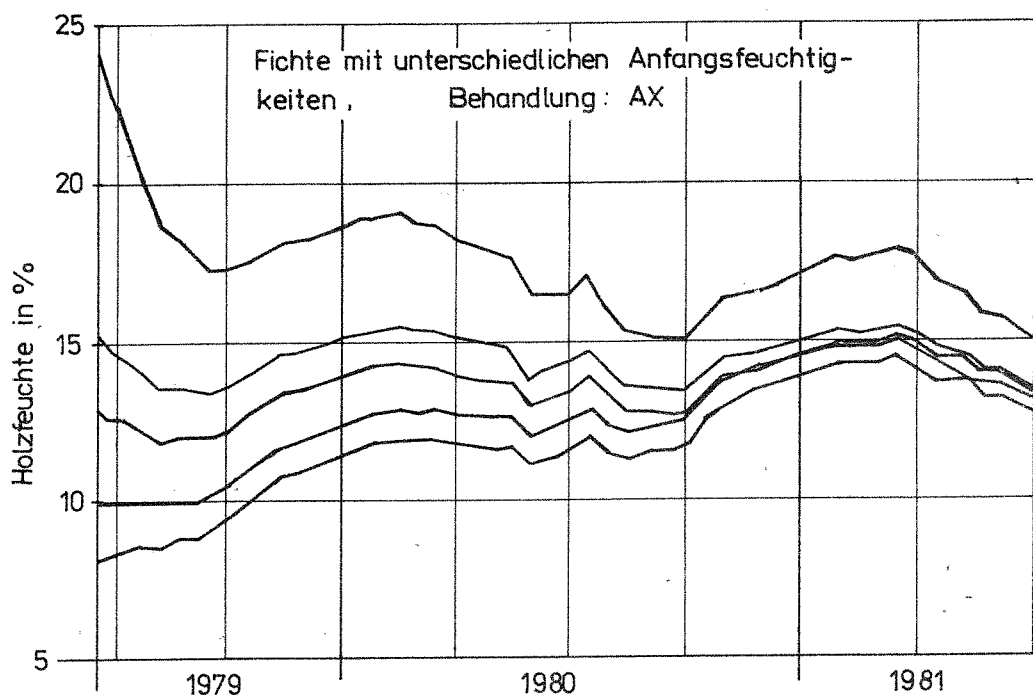


Bild 16: Volumengewittelter Holzfeuchteverlauf von Brettschichtholzabschnitten aus Fichte mit der Oberflächenbehandlung AX (Grundierung und dunkelfarbige Lacklasur) mit unterschiedlichen Anfangs-Holzfeuchtigkeiten nach /19/

### 2.3. Qualität der Verklebung

Die Qualität der Klebefuge ist abhängig von den Verarbeitungseigenschaften des Klebstoffes, den Eigenschaften der verklebten Werkstoffe, dem Klebstoffverbrauch, dem Auftragsverfahren, den offenen Wartezeit, dem Preßdruck und den Umweltbedingungen während des Verklebens (s. Bild 17).

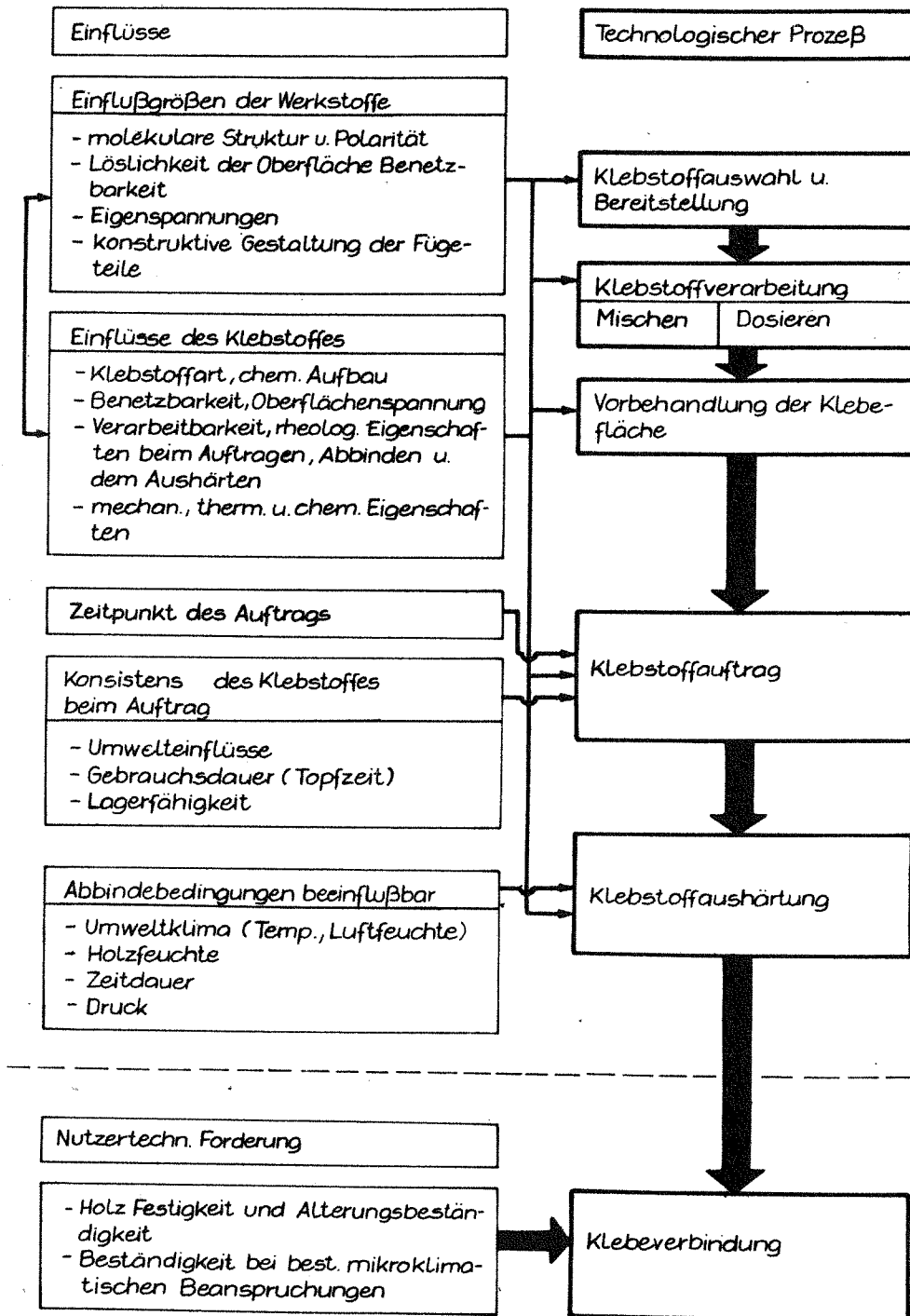
#### 2.3.1. Klebstoffauftrag

Wesentlichen Einfluß hat die Dauer des Zusammenlegens sowie des Preßvorganges auf die Festigkeit von Holzkonstruktionen. Die Zeit bis zur Beendigung des Preßvorganges umfaßt u.a. die offene und geschlossene Wartezeit. Beide müssen genau eingehalten werden.

Zahlreiche Experimente zeigten, daß die Zeit vom Beginn des Auftragens eines frisch angesetzten Klebstoffes auf die Lagen eines Brettschichtbauteiles bis zum Ende der Pressung auf jeden Fall mit der Gebrauchsdauer des Klebstoffes genau abgestimmt sein muß /1/. Der gesamte

Zeitraum soll 30...35 % kürzer als die Gebrauchsdauer sein. Die Einhaltung dieser Forderung bereitet bei der Fertigung großer Brettschichtbauteile in der DDR einige Schwierigkeiten.

Im allgemeinen nimmt die Festigkeit der Klebefuge mit zunehmender offener Wartezeit ab. Die geschlossene Wartezeit ist besonders bei Phenolharzklebstoff zu beachten. Ein merklicher Festigkeitsabfall ist vor allem bei mehrstündiger und geschlossener Wartezeit und niedrigviskosem Klebstoff festzustellen /1/.



Schematische Darstellung des technologischen Ablaufs bei der Verklebung und die Einflüsse auf den Ablauf

Die offene Wartezeit beeinflusst nicht nur die Anfangsfestigkeit der Klebeverbindung, sondern auch ihre Beständigkeit gegenüber Gebrauchsbeanspruchungen, vor allem gegenüber der Einwirkung von Wasser.

Der zweiseitige Klebstoffauftrag ist dem einseitigen Klebstoffauftrag vorzuziehen.

### 2.3.2. Preßdruck

Für die Herstellung von Bauteilen aus Brettschichtholz wird ein Preßdruck 0,5...0,8 N/mm<sup>2</sup> festgelegt. In der DDR wird ein Preßdruck von 0,6...1,2 N/mm<sup>2</sup> empfohlen. In Österreich wurde ein Preßdruck von 0,6 N/mm<sup>2</sup> als Mindestwert gefordert.

Neuere Forschungsergebnisse führten zu der Erkenntnis, daß Preßdrücke über 1 N/mm<sup>2</sup> das Holzgewebe deformieren. Als obere Grenze für den Preßdruck kann 1,0 N/mm<sup>2</sup> angenommen werden /7/, auch wenn der Holzbruchanteil mit zunehmendem Preßdruck noch ansteigt. Bild 18 zeigt die Scherfestigkeit der Klebefuge in Abhängigkeit vom Preßdruck für Holz mit stehenden und liegenden Jahresringen.

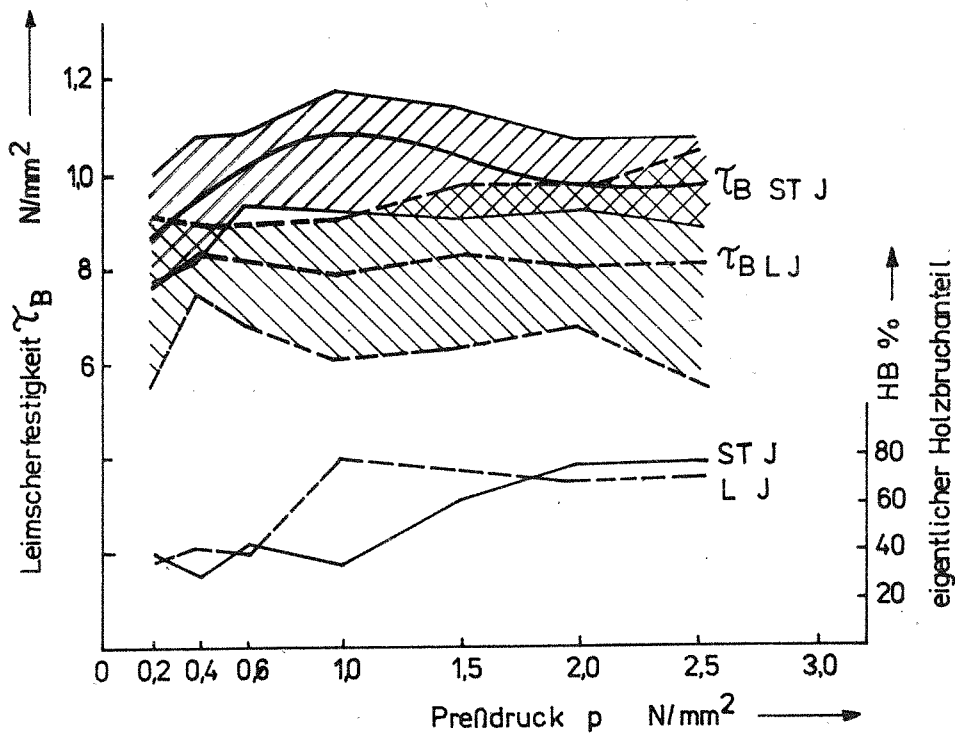


Bild 18: Abhängigkeit der Leimscherfestigkeit und des eigentlichen Holzbruchanteiles vom Preßdruck St. J. = stehende Jahresringe  
L. J. = liegende Jahresringe

### 2.3.3. Güte der Oberfläche der Brettlamellen

Herstellungsfehler reduzieren die Scherfestigkeit der Klebefuge /6/. Werden zum Beispiel stumpfe Hobelmesser verwendet oder die Bretter werden nicht voll abgehobelt, so entsteht eine deutliche Verringerung der Scherfestigkeit (s. Bild 19 aus /6/).

### 2.3.4. Umweltbedingungen

Die Qualität einer Klebeverbindung wird wesentlich von der Einhaltung der für die Aushärtung des verwendeten Klebstoffes festgelegten Umweltbedingungen (Raumtemperatur und Luftfeuchte)

bestimmt. Dabei kommt es vor allem darauf an, möglichst konstante Bedingungen herzustellen.

Die Bestimmung der Scherfestigkeit in Faserrichtung an standardisierten Prüfkörpern zeigten, daß bei konstanter Temperatur (18...22 °C) und Luftfeuchte (55 bis 75 %) die Festigkeit der Holzverklebung unabhängig von der Klebstoffart und dem Aushärtungsverfahren nur unbedeutend variiert /1/.

Bei erhöhter Temperatur (konstante Temperatur 60 °C über 90 Tage) tritt u.a. ein Festigkeitsverlust auf, der darauf zurückzuführen ist, daß das Holz im Bereich der Klebefuge an Festigkeit verliert, da die thermisch aushärtenden Klebstoffe (Karbamid-Phenol- und Resorcinharz) eine relativ große Wärmebeständigkeit haben.

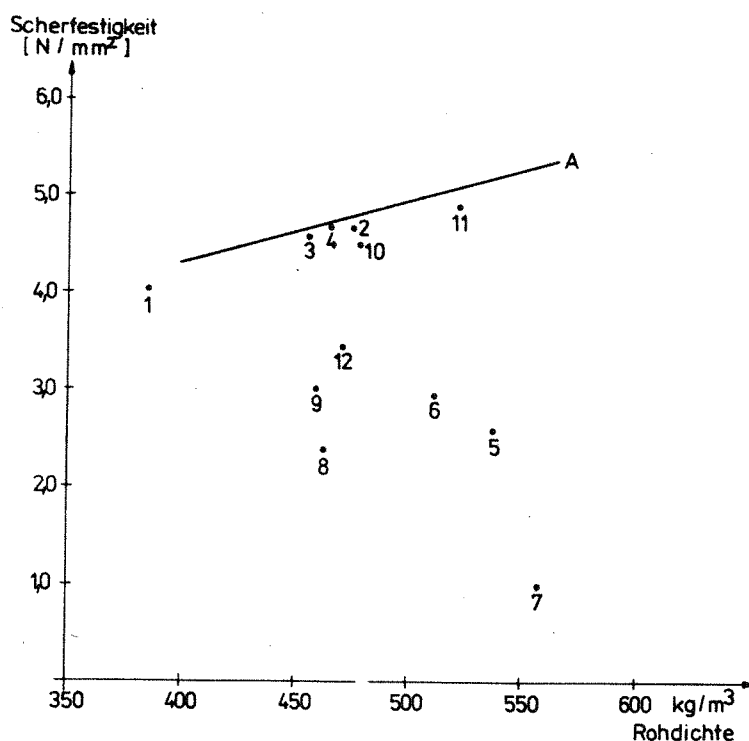


Bild 19: Beziehung zwischen Rohdichte und Scherfestigkeit und der Einfluß der Holzbeschaffenheit sowie von Herstellungsfehlern auf die Scherfestigkeit der Klebefestigkeit von Brett-schichtholzproben

- (1) Tanne ohne Fehler
- (2) Fichte ohne Fehler
- (3) Fichte, benachbarte Lamellen 10/10 % Holzfeuchtigkeit
- (4) Fichte, benachbarte Lamellen 18/18 % Holzfeuchtigkeit
- (5) Fichte, Reaktionsholz
- (6) Fichte, Ast neben der Scherfläche in der Probe
- (7) Fichte, Ast in der Scherfläche der Probe
- (8) Fichte, 25° abholzig, Scherfläche mit grobem Faserbelag
- (9) Fichte, Lamellen mit stumpfem Hobelmesser gehobelt, infolge Holzschädigung seehundfellartiger Faserbelag auf der Scherfläche
- (10) Fichte, Lamellen nicht voll ausgehobelt, Scherflächen ähnlich (9)
- (11) Fichte, Lamellen erst zwei Jahre nach der Hobelung verleimt
- (12) Fichte, Proben ganz außen aus den Trägern entnommen

Wechselt das Klima und treten dabei Temperaturwechsel und Befeuchtung gemeinsam auf, so kann es zum Festigkeitsverlust kommen, wie Bild 20 anschaulich zeigt. Bei Resorcinharzklebstoff ist der Festigkeitsabfall geringer als bei Phenol- und Karbamidharz. Härtet das Phenolharz bei Raumtemperatur aus, so ist der Festigkeitsabfall geringer als bei Aushärtung im Hochfrequenzfeld, was was auf die Überhitzung des Klebstoffes zurückzuführen ist.

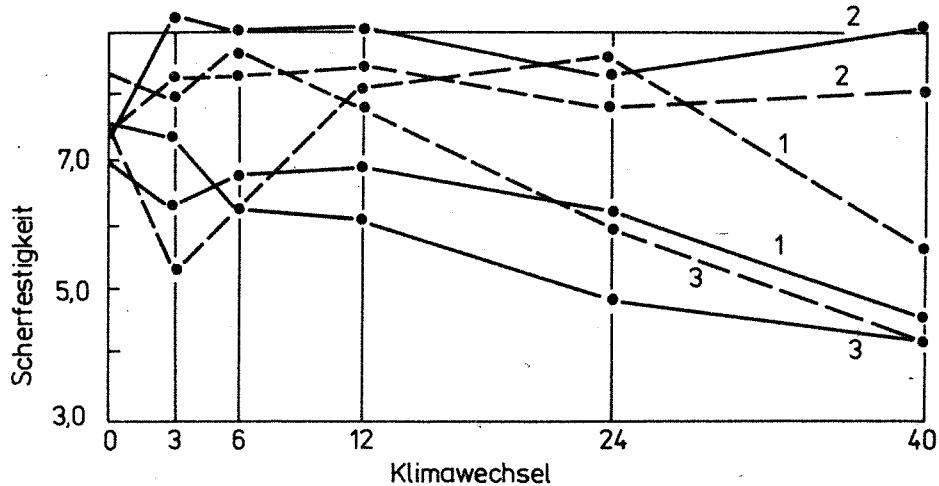


Bild 20: Scherfestigkeit von Klebverbindungen bei wechselnder Temperatur und Luftfeuchte nach /1/

- 1 KB--3-Phenolharz      — Aushärtung im HF-Feld
- 2 FR-12-Resorcinharz    - - - Aushärtung bei Raumtemperatur
- 3 UKS -Karbamidharz

### 3. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Der Veredlungsgrad von Brettschichtkonstruktionen ist von verschiedenen Einflußfaktoren während der Fertigung abhängig. Grundsätzlich ist einer strengen Qualitätskontrolle besonders Augenmerk zu schenken.

Neben einer kontinuierlichen Qualitätssicherung ist der erreichbare Veredlungsgrad von der Qualität der Brettlagen in den äußeren Randzonen des Querschnittes abhängig. Eine Verbesserung des Veredlungsgrades kann erreicht werden durch

- Verwendung von Holz hoher Güte (z.B. hoher Zugfestigkeit) in den äußeren Randzonen,
- Verwendung dünner Holzlagen,
- Verwendung von Holzarten mit höherer Festigkeit als Fichte (z.B. Lärche oder Buche),
- Veränderung der Sortierung von visuellen Methoden auf maschinelle oder visuell-maschinelle Methoden.

Alle diese Möglichkeiten erfordern eine Veränderung des technologischen Regimes in den Fertigungsbetrieben der DDR.

Im Zusammenhang mit der weiteren Verbesserung des Veredlungsgrades sind weitere vertiefende Untersuchungen erforderlich. Sie sind auf die Einführung eines möglichst breit gefächerten Bereiches von Festigkeitsklassen, in Anlehnung an international vereinbarte Festigkeitsklassen, zu orientieren.

Im Zusammenhang mit der vorgesehenen Rationalisierung der Fertigungsbetriebe sollten technologisch die Voraussetzungen geschaffen werden für die gesonderte oder parallele Fertigung der "hochfesten" oder "weniger festen" Querschnittsteile.

Verbindet man die Herstellung von Festigkeitsklassen mit einer praktikablen Veränderung der Sortiermethoden, so werden die noch bestehenden Reserven im Veredlungsgrad vollständig erschlossen und eine optimale Verwertung des für die Fertigung von Brettschichtholz vorgesehenen Holzes erreicht.

Im Hinblick auf die Veränderung der Sortiermethoden ist die Frage zu klären, warum der Holzhandel nicht sortiertes Holz anbietet. Damit wären wesentliche Reserven für den Holzbau erschließbar.

#### Literatur

- /1/ Kovalčuk, M.L.:  
Einfluß der Technologie auf die Festigkeit geklebter Holzkonstruktionen  
Holztechnologie 20 (1979) 1, S. 11-17
- /2/ Gehri, E.:  
Entwicklung des ingenieurmäßigen Holzbaus seit Grubenmann  
Schweizer Ingenieur und Architekt (1983) 33/34, S. 808-815
- /3/ Gehri, E.:  
Leistungsfähige Verbindungstechniken  
Schweizer Holzbau (1984) 8, S. 46-51
- /4/ Larsen, H.J.:  
Die Festigkeit des Brettschichtholzes  
In: Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis, Karlsruhe 1982
- /5/ Gehri, E.:  
Möglichkeiten des Einsatzes von Buchenholz für Tragkonstruktionen  
Schweizer Bauwirtschaft (1980) 56, S. 14-18
- /6/ Solar, F.:  
Erforschung einiger aktueller Probleme bei brettschichtverleimten Trägern  
Teil 1: Holzforschung und Verwertung 29 (1977) 1, S. 1-5  
Teil 2: Holzforschung und Verwertung 29 (1977) 2, S. 25-32  
Teil 3: Holzforschung und Verwertung 29 (1977) 3, S. 56-58  
Teil 4: Holzforschung und Verwertung 29 (1977) 3, S. 58-63
- /7/ Wassipul, F.:  
Einfluß des Preßdruckes auf die Festigkeit der Leimverbindungen bei Brettschichtträgern  
In: Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis, Karlsruhe 1982
- /8/ Frech:  
Prüfung großer Träger aus Brettschichtholz  
Bauen mit Holz (1979) 12, S. 590-591
- /9/ Spaun, F.D.:  
Reinforcement of wood with fiberglass  
For. Prod. J. (1981) 4, S. 26-33
- /10/ Rug, W.:  
Experimentelle und ingenieurtheoretische Untersuchungen zur Bewehrung von Ingenieurholzkonstruktionen  
Bauakademie der DDR, Institut für Industriebau, Forschungsbericht (unveröffentlicht), Berlin 1982

- /11/ Dubas, P.; Gehri, E.:  
Holzbau als Lehr- und Forschungsbereich  
Schweizer Holzbau (1982) 1, S. 20-23
- /12/ Egner, K.; Kolb, H.:  
Geleimte Träger und Binder aus Buchenholz  
Bauen mit Holz (1966) 4, S. 147-154
- /13/ Boehme, C.; Schulz, H.:  
Tragverhalten eines GFK-Holzsandwichs  
Holz als Roh- und Werkstoff 32 (1974), S. 250-256
- /14/ Boehme, C.:  
Tragverhalten von GFK-verstärkten Holzwerkstoffen  
Holz als Roh- und Werkstoff 34 (1976), S. 155-169
- /15/ Glos, P.; Heimeshoff, B.:  
Möglichkeiten und Grenzen der Festigkeitssortierung von Brettlamellen für den Holzleimbau  
In: Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis, Karlsruhe 1982
- /16/ Heimeshoff, B.; Glos, P.:  
Zugfestigkeit und Biege-E-Modul von Fichten-Brettlamellen  
Holz als Roh- und Werkstoff 38 (1980), S. 51-59
- /17/ Glos, P.:  
Was darf der Holzbau vom probabilistischen Sicherheitskonzept erwarten?  
Bauen mit Holz (1983) 1, S. 26-31
- /18/ Meierhofer, K.; Sell, J.; Sträßler, H.:  
Zur Wetterbeanspruchung tragender Holzbauteile  
In: Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis, Karlsruhe 1982
- /19/ Meierhofer, K.:  
Untersuchungen zur Optimierung des Oberflächenschutzes von Holzbauteilen, Teil 2  
Holz als Roh- und Werkstoff 41 (1983), S. 197-202
- /20/ Steck, G.:  
Die Zuverlässigkeit des Vollholzbalkens unter reiner Biegung  
Berichte der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe,  
Karlsruhe 1982
- /21/ CIB-Structural Timber Design Code, sixth edition, Januar 83  
CIB-Report 1983, Publication 66
- /22/ Krüger, K.; Rug, W.:  
Voraussetzungen für die Sicherheit und Qualität im Ingenieurholzbau  
Bauplanung-Bautechnik 39 (1984), 9, S. 404-406
- /23/ Rug, W.:  
Grundlagenuntersuchungen zur Berechnung nach Grenzzuständen im Holzbau  
Bauakademie der DDR, Institut für Industriebau, Forschungsbericht (unveröffentlicht),  
Berlin 1984
- /24/ Kersken-Bradley, M.; Maier, W.:  
Sortierung von Brettschichtenholz und Tragfähigkeit von Brettschichtbauteilen  
Holz als Roh- und Werkstoff 35 (1977), S. 263-266
- /25/ Glos, P.; Schulz, H.:  
Stand und Aussichten der maschinellen Schnittholzsortierung  
Holz als Roh- und Werkstoff 38 (1980), S. 409-412
- /26/ Einführung in die Norm SIA 164 (1981)  
Holzbau, Publikation Nr. 81-1  
Baustatik und Stahlbau



Institut für Industriebau



Zentrale Fachsektion  
Industriebau bei der  
KDT

Mitteilung

Nr. 1/85

des Fachausschusses Ingenieurholzbau  
und des Institutes für Industriebau

III. Holzbauseminar 1984

Herausgeber: Dipl.-Ing. W. Rug - Vorsitzender des Fachausschusses Ingenieurholzbau

Berlin, Juli 1985