

# Einfluß der Trägerhöhe auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholz

W. Rug, M. Badstube

Recontie-Ingenieurbüro Holz GmbH, Berliner Straße 5, O-1130 Berlin

W. Schöne

BAUFA Engineering GmbH Leipzig

Der Einfluß der Trägerhöhe auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholz wurde untersucht. Bei Brettschichtholzträgern ohne Keilzinkungen in der äußeren Lage vermindert sich die Biegefestigkeit mit steigender Höhe. Der Höhenfaktor wurde aus den Versuchsergebnissen berechnet. Die theoretischen Werte bestätigen die rechnerischen Werte nach Eurocode 5. Bei Brettschichtholzträgern mit Keilzinkungen gibt es keine Abhängigkeit von der Trägerhöhe. In den meisten Fällen werden aber in der Praxis Keilzinkenverbindungen bei Brettschichtholzträgern auftreten. Deshalb ist die Einführung eines Höhenfaktors für die Berechnung von Brettschichtholzträgern in den Normen nicht zweckmäßig.

## Influence of beam height on the bending strength of glued laminated timber

The influence of beam height on the bending strength of glued laminated timber was investigated. Tests showed that with increasing beam height the bending strength decreases for glued laminated timber beams without finger joints (wood failure). Theoretical values confirm calculated values of Eurocode 5. There is not a dependence of strength from the beam height by glued laminated timber beams with finger joints in the outer core. In most cases, glued laminated beams have finger joints in the outer core. Therefore, it is not useful to introduce a height factor in design of glued laminated beams in codes.

## 1 Ziel der Untersuchungen

In den Jahren 1985–1989 wurde in der ehemaligen DDR an der grundlegenden Novellierung der Holzbaunormen (TGL 33 135/01 bis 02/11) gearbeitet. Die neuen Normen (StBA-Nr. 90/88) sollten weitestgehend dem Eurocode 5 entsprechen. In diesem Zusammenhang wurden eine Reihe von theoretischen und experimentellen Untersuchungen durchgeführt, so u. a. Versuche zur Klärung des Einflusses der Trägerhöhe auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholz (BSH). Ziel der Untersuchung war es, eine Aussage über die Verwendung eines Anpassungsfaktors  $K_h$  „Höhenabhängigkeit“ (Höhenfaktor) für Brettschichtholz zu treffen, wie er auch in den Normen SIA 164 (1981) und TGL 33 135/01 enthalten ist.

## 2 Bisheriger Kenntnisstand

Die Biegefestigkeit der BSH-Träger wird im wesentlichen von zwei Faktoren beeinflusst, nämlich der Holzfestigkeit und der Keilzinkenfestigkeit.

Eine schärfere visuelle Sortierung beeinflusst die Keilzinkenfestigkeit nicht. Erst eine maschinelle Sortierung anhand der Rohdichte oder des Elastizitätsmoduls der Bretter läßt auch höhere Keilzinkenfestigkeiten erwarten.

Veröffentlichungen von Ehlbeck und Colling (1987; 1988) sagen aus, daß bei BSH-Trägern, bei denen das Versagen auf den Bruch der Keilzinkenverbindung zurückzuführen war, keine Abhängigkeit der Biegefestigkeit von der Trägerhöhe festgestellt werden konnte. Die Biegefestigkeit der BSH-Träger liegt i. a. in der Größenordnung der Zugfestigkeit der Keilzinken.

Aus Versuchen folgte, daß BSH-Träger, deren Keilzinkenverbindungen versagten, bis 330 mm Trägerhöhe etwa die gleiche Biegefestigkeit aufwiesen, wie Träger mit 1000 mm Höhe. Dagegen wurde bei BSH-Trägern, die im maximalen Biegezugbereich keilzinkenfrei sind, eine Abnahme der Biegefestigkeit, insbesondere bei Trägerhöhen zwischen 167 ... 500 mm festgestellt.

Unter Beachtung der in der Literatur enthaltenen Aussagen bezüglich der Höhenabhängigkeit der Biegefestigkeit von BSH-Trägern wurden eigene experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Die Auswertung dieser Untersuchungen berücksichtigt auch die Ergebnisse der Arbeit von Schöne (Schöne; Fritzsche 1989), der frühere Versuche auswertete.

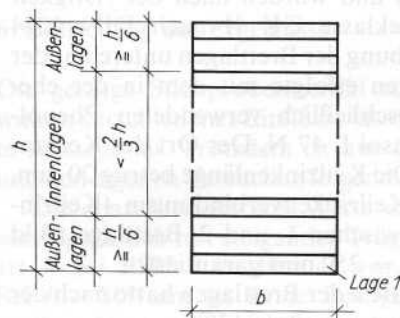


Bild 1. Brettschichtholzsorten

Fig. 1. Kinds of laminated beams

Sorten	BSH 0	BSH M 3
Sortierung	visuell	maschinell
der Lager		
Außenlagen	Holzart NSH GK II	NSH F II
	KZV in mm $\geq 250$	$\geq 250$
Innenlagen	Holzart NSH GK II	NSH F III
	KZV in mm = 0	= 0

BSH – Brettschichtholz (laminated beams); NSH – Nadelnschnittholz (sawn timber, softwood); KZV – Keilzinkenversatz (finger joint displacement); GK – Güteklasse (grading class); F – Festigkeitsklasse (strength class)

**Tabelle 1.** Versuchsergebnisse von BSH 0-Trägern unter Biegebeanspruchung

Versuchs-Nr.	$h$ mm	$l_1$ mm	$l_2$ mm	$n$	$E_{m,mean}$ $N \cdot mm^{-2}$	$f_{m,mean}$ $N \cdot mm^{-2}$	$s$ $N \cdot mm^{-2}$	$k$ $N \cdot mm^{-2}$	$f_{m,k}$ $N \cdot mm^{-2}$	Zugbruch im Prüfbereich $l_2$ , Bruchart:
1	288	4320	1152	5	11830	38,0	1,93	2,26	33,6	Keilzinkung
2				28	11214	45,0	5,73	1,645	35,6	Ast oder Holz
3	608	9120	2432	7	12014	36,0	4,12	2,13	27,2	Keilzinkung
4				5	11200	36,6	4,51	2,26	26,4	Ast oder Holz
5	800	12000	3200	8	13663	37,4	6,26	2,09	24,3	Keilzinkung
6				3	13267	38,7	3,06	2,61	30,7	Ast oder Holz
7	992	14880	3968	5	13700	39,1	5,35	2,26	27,0	Keilzinkung
8				5	12960	36,9	4,75	2,26	26,2	Ast oder Holz

Bedeutung der Symbole:

$n$  – Prüfkörperanzahl;  $E_{m,mean}$  – Mittelwert des Biege-E-Moduls;  $f_{m,mean}$  – Mittelwert der Biegefestigkeit;  $s$  – Standardabweichung;  $k$  – Umrechnungsfaktor von kleinen auf große Stichprobenanzahlen;  $f_{m,k}$  – Charakteristischer Wert der Biegefestigkeit (5%-Quantil)

**Tabelle 2.** Versuchsergebnisse von BSH M3-Trägern unter Biegebeanspruchung,  $b = 97$  mm

Versuchs-Nr.	$h$ mm	$l_1$ mm	$l_2$ mm	$n$	$E_{m,mean}$ $N \cdot mm^{-2}$	$f_{m,mean}$ $N \cdot mm^{-2}$	$s$ $N \cdot mm^{-2}$	$k$ $N \cdot mm^{-2}$	$f_{m,k}$ $N \cdot mm^{-2}$	Zugbruch im Prüfbereich $l_2$ , Bruchart:
1	192	2880	768	12	10909	33,3	5,27	1,99	22,8	Keilzinkung
2				12	11683	42,3	10,8	1,99	20,8	Ast oder Holz
3	288	4320	1152	7	12417	37,1	5,52	2,13	25,3	Keilzinkung
4				5	12070	37,4	8,06	2,26	19,2	Ast oder Holz
5	608	9120	2432	10	12851	35,8	5,59	2,03	24,5	Keilzinkung
6				–	–	–	–	–	–	–

Bedeutung der Symbole: wie bei Tabelle 1

### 3 Untersuchungsmaterial

Es wurden 2 Brettschichtholzsorten hergestellt und getestet (s. Bild 1):

#### – BSH-Träger der Sorte BSH 0

Für die Kurzzeitversuche wurden im Bild 1 und Tabelle 1 angegebenen BSH 0-Träger verwendet. Die Brettlagen der BSH 0-Träger bestanden aus Nadel-schnittholz (Kiefer) und wurden nach der Ästigkeit visuell in die Güteklasse GK II nach DIN 4074 sortiert. Die Verklebung der Brettlagen untereinander sowie der Keilzinken erfolgte mit dem in der ehemaligen DDR ausschließlich verwendeten Phenolharzklebstoff Plastasol L 47 N. Der Ort der Keilzinkung war zufällig. Die Keilzinkenlänge betrug 20 mm. Der Abstand der Keilzinkenverbindungen (Keilzinkenversatz-KZV) zwischen 1. und 2. Brettlage (Bild 4) wurde mit KZV = 250 mm garantiert.

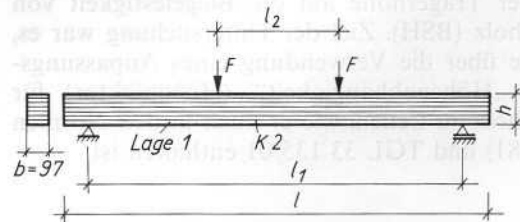
Die Ausgleichsfeuchte  $u$  der Brettlagen hatte nach der Fertigung einen Wert von etwa 12%.

#### – BSH-Träger der Sorte BSH M 3

Für die Kurzzeitversuche wurden die im Bild 1 und Tabelle 2 angegebenen BSH M 3-Träger verwendet. Die Brettlagen dieser Träger bestanden ebenfalls aus Nadel-schnittholz (Kiefer). Sie wurden maschinell nach dem Biege-Elastizitätsmodul und der Ästigkeit in Festigkeitsklassen sortiert. Die Außenlagen (s. Bild 1) genügten dabei der Festigkeitsklasse F II ( $E = 9500 N/mm^2$ , Einzeläste und Astansammlungen nach (TGL 33 135/03 E 88). Entscheidend für die Zuordnung in eine Festigkeitsklasse war der ungün-

stigste Wert eines Sortierparameters. Die Verklebung der Brettlagen entsprach den BSH-Trägern BSH 0. Es wurde grundsätzlich in der Lage 1 (unterste Trägerlage, Zuglage, Bild 1) innerhalb des Prüfbereiches (Bild 2) eine Keilzinkung angeordnet. Die Keilzinkenlänge lag bei 50 mm. Der Abstand der Keilzinkenverbindungen (Keilzinkenversatz-KZV) zwischen 1. und 2. Lage wurde mit KZV = 250 mm garantiert.

Die Ausgleichsfeuchte  $u$  der Brettlagen betrug etwa 12%. Für die Berechnung des Anpassungsfaktors  $K_h$  wurden die Ergebnisse früherer Untersuchungen an Brettschichtholzbalken BSH 0 mit visuell sortierten Lagen einbezogen (s. Tabelle 3).



**Bild 2.** Prüfschema;  $h$  Prüfkörperhöhe;  $L$  Prüfkörperlänge;  $l_1$  Stützweite,  $l_1 = 15$  h;  $l_2$  Prüfbereichslänge,  $l_2 = 4$  h; KZ Keilzinkung, stets im Prüfbereich  $l_2$ , Lage 1

**Fig. 2.** Test procedure;  $h$  height;  $l$  length;  $l_1$  distance of support;  $l_1 = 15$  h;  $l_2$  length of testing area;  $l_2 = 4$  h; NZ finger joint, always within  $l_2$

Tabelle 3. Mittelwert der Biegefestigkeit  $f_{m,mean}$  und Anpassungsfaktor,  $k_h$  von BSH 0,  $b = 97$  mm

Versuchs-Nr.	$h$ mm	$l_1$ mm	$l_2$ mm	$V_i =$ $b \cdot h \cdot l_1$ in $m^3$	$n$	$f_{m,mean}$ $N \cdot mm^{-2}$	$k_{h,exp.}$ (1)	Bruchart	$A_i$ (2)	$\frac{A_{i,1}}{A_{i,t}}$	$\frac{V_i}{V_1}$	$\frac{h_i}{h_1}$	$k_{h,theor.}$ (3)
1	288	4320	1152	0,121	5	38,0	1	A	—	—	—	—	—
					28	45,0	1	B	0,876	1	1	1	1
2	608	6080	2432	0,359	1	40	1,053	A	—	—	2,97	2,11	—
					4	44,1	0,98	B	0,909	0,964	—	—	0,841
3	608	9120	2432	0,538	3	33,2	0,874	A	—	—	4,45	2,11	—
					3	34,0	0,756	B	0,876	1	—	—	0,830
4	608	12160	2432	0,717	4	38,1	1,003	A	—	—	5,93	2,11	—
					2	40,5	0,9	B	0,856	1,02	—	—	0,817
5	800	8000	3200	0,621	6	37,5	0,987	A	—	—	5,13	2,78	—
					—	—	—	B	0,909	0,964	—	—	0,786
6	800	12000	3200	0,931	4	33,8	0,889	A	—	—	7,69	2,78	—
					1	36	0,8	B	0,876	1	—	—	0,775
7	800	16000	3200	1,242	4	41,0	1,079	A	—	—	10,26	2,78	—
					2	40,0	0,889	B	0,856	1,02	—	—	0,762
8	929	9290	3716	0,837	6	36,0	0,947	A	—	—	6,92	3,23	—
					—	—	—	B	0,909	0,964	—	—	0,757
9	992	14880	3968	1,432	3	40,2	1,058	A	—	—	11,83	3,44	—
					3	38,7	0,86	B	0,876	1	—	—	0,734
10	992	19840	3968	1,909	3	35,8	0,942	A	—	—	15,78	3,44	—
					2	34,3	0,762	B	0,856	1,02	—	—	0,722

#### 4 Versuchsdurchführung

Für den Prüfaufbau der BSH-Träger wurde, um einen querkräftfreien Bereich zu bekommen, eine 4-Punkt-Belastung gewählt (Bild 2). Aus Untersuchungen an Bauholz (Apitz 1982) ergibt sich zur Vermeidung von Schubbrüchen das Verhältnis der Biegespannung  $\sigma_{m,d}$  zur Schubspannung  $\tau_d$  mit 22, für einen Schubeinfluß von etwa 6%, das Verhältnis der Stützweite  $l_1$  zur Prüfkörperhöhe  $h$  mit 15. Unter diesen Voraussetzungen errechnete sich die Länge des Prüfbereiches  $l_2$  mit  $l_2 = 4h$  (Apitz 1982) (Bild 2).

Die Last wurde stufenweise so aufgebracht, daß der Bruch nach 3 ... 5 min Belastung erfolgte. Die Versuche wurden bei einer Lufttemperatur von  $T = 20^\circ C$ , einer relativen Luftfeuchte von  $u = 65\%$  und einer Holzfeuchte von  $u = 12\%$  durchgeführt. Es wurde in Stützweitenmitte die Trägerdurchbiegung  $u_z$  mittels Meßuhr bestimmt.

#### 5 Ergebnisse

##### 5.1 Biegeversuche mit BSH 0-Trägern

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Es werden 2 Brucharten unterschieden:

- Zugbruch in der Keilzinkung im Prüfbereich  $l_2$ , Lage 1 (Bild 2).
- Zugbruch im Ort oder Holz im Prüfbereich  $l_2$ , Lage 1 (Bild 2).

Die Mittelwerte der Biegefestigkeit  $f_{m,mean}$  zeigen für die Bruchart A keine Abhängigkeit von der Trägerhöhe (Tabelle 1). Für die Bruchart B ist eine Reduzierung der mittleren Biegefestigkeit  $f_{m,mean}$  zwischen  $h = 300 \dots 600$  mm erkennbar.

Der charakteristische Wert der Biegefestigkeit (5-%-

Quantil)  $f_{m,k}$  wurde aus der Gaußschen Normalverteilung durch Umrechnung von kleinen auf große Stichprobenzahlen erhalten (John 1979).

##### 5.2 Biegeversuche mit BSH M 3-Trägern

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 2 angegeben. Bei den Mittelwerten der Biegefestigkeit  $f_{m,mean}$  ist bei der Bruchart A keine Festigkeitsverminderung zwischen  $h = 300 \dots 600$  mm, dagegen bei der Bruchart B eine Festigkeitsreduzierung erkennbar. Ähnlich verhält es sich bei den charakteristischen Werten der Biegefestigkeit  $f_{m,k}$ .

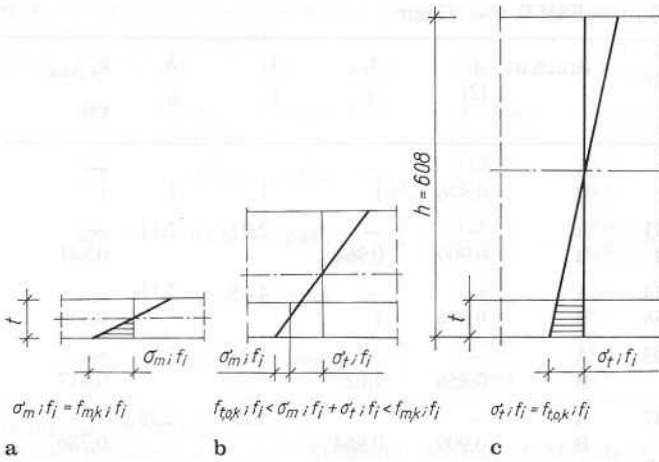
#### 6 Beurteilung der Ergebnisse

Die geringe Stichprobenanzahl sowie das Zusammenwirken verschiedener Einflüsse lassen nur eine beschränkte Aussage zu. Trotzdem ist aus den Literaturangaben und den eigenen Versuchen folgende Tendenz erkennbar:

Die charakteristischen Werte der Biegefestigkeit  $f_{m,k}$  verringern sich mit steigender Trägerhöhe für die Bruchart A bei BSH 0 im Bereich von  $h = 300 \dots 800$  mm. Bei  $h = 800$  mm ist keine Festigkeitsreduzierung feststellbar. Hierzu läßt sich folgende Erklärung finden: Nach Ehlbeck (Ehlbeck: Colling 1988) beträgt bei einer Keilzinkenverbindung die Zugfestigkeit 80% der Biegefestigkeit

$$f_{t,o,k,fj} \approx 0,8 f_{m,k,fj}$$

Während bei einer keilgezinkten Brettlage eine reine Biegebeanspruchung mit zugehöriger Biegefestigkeit  $f_{m,k}$  vorliegt, tritt mit zunehmender Trägerhöhe in der Keilzinkung außer der Biegebeanspruchung noch eine Zugbeanspruchung auf. Bei einer Lagendicke von 32 mm



**Bild 3a-c.** Beanspruchung der Keilzinkenverbindung bei zunehmender Höhe eines BSH-Trägers; **a** reine Biegung; **b** Biegung und Zug; **c** Quasi-Zug;  $f_i, j$  Spannung;  $f_{ki, fj}$  Charakteristische Festigkeit der Keilzinken (5%-Quantil)

**Fig. 3a-c.** Strain of the finger joint with increasing beam height; **a** bending stress only; **b** bending and tension; **c** quasi-tension;  $f_i, j$  stress;  $f_{ki, fj}$  characteristic strength of the finger joint (5% quantil)

wird ab einer Trägerhöhe von 608 mm die Keilzinkung quasi nur noch durch Zug beansprucht (Bild 3). Dies wäre eine Erklärung dafür, weshalb die Keilzinkenfestigkeit maßgebend und der Höhenfaktor oberhalb 608 mm ausgeschaltet wird. Um zu einer endgültigen Aussage kommen zu können, sind noch weitere Versuche für die Bruchart A im Bereich  $h = 608$  mm erforderlich.

Anpassungsfaktor  $k_h$  „Höhenabhängigkeit“ BSH (Höhenfaktor). Zur Bestimmung des Anpassungsfaktors  $k_h$  werden die Mittelwerte der Biegefestigkeit  $f_{m, mean}$  von BSH 0 verwendet (Tabelle 3). Der experimentelle Höhenfaktor wird für die Brucharten A und B in Abhängigkeit vom Volumenverhältnis  $V/V_1$  und dem Höhenverhältnis  $h/h_1$  wie folgt berechnet (Ehlbeck; Colling 1988). Hierbei ist  $V = b \cdot hz \cdot l_1$  ( $l_1$  = Stützweite).

$$k_{h, exp} = \frac{f_{m, mean, i}}{f_{m, mean, 1}} \tag{1}$$

Nach (2) ist

$$\lambda_L = \left[ \frac{1}{m+1} \cdot (1 + a_2 m) \right]^{1/m} \quad a_2 = \frac{l_2}{l_1}$$

$m$  Weibull Exponent, abhängig vom Variationskoeffizienten der entsprechenden Beanspruchungsform,  $m = 8$

$$\lambda_L = \left[ \frac{1}{9} \cdot (1 + 8a_2) \right]^{0,125} \tag{2}$$

$\lambda_L$  = Völligkeitsbeiwert in Richtung  $l_1$

Nach (2) ist

$$k_{h, theor.} = \frac{\lambda_{L \cdot 1}}{\lambda_{L \cdot i}} \cdot \frac{\lambda_{h \cdot 1}}{\lambda_{h \cdot i}} \left( \frac{V_1}{V_i} \right)^{1/m}$$

Es ist  $\lambda_h = \left( \frac{1}{m+1} \right)^{1/m}$

$\lambda_h$  = Völligkeitsbeiwert in Richtung  $h$

Für gleiches  $m$  wird  $\lambda_{h, 1} = \lambda_{h, i}$

und damit  $k_{h, theor.} = \frac{\lambda_{i \cdot 1}}{\lambda_{i \cdot i}} \cdot \left( \frac{V_i}{V_1} \right)^{-(1/m)}$

mit  $m = 8$  wird  $k_{h, theor.} = \frac{\lambda_{L \cdot 1}}{\lambda_{L \cdot i}} \cdot \left( \frac{V_i}{V_1} \right)^{-0,125} \tag{3}$

Die Regressionsanalyse ergibt für die Bruchart A sehr kleine Korrelationskoeffizienten  $r$ . Die Regressionsanalyse für BSH 0

Bruchart A

$$k_h = 0,9863 \cdot \left( \frac{V}{0,121} \right)^{-0,0031}; \quad V \text{ in m}^3 \tag{4}$$

$r = 0,034$

$$k_h = 0,9899 \cdot \left( \frac{h}{288} \right)^{-0,0033}; \quad h \text{ in mm} \tag{5}$$

$r = 0,048$

$$k_h = 0,9764 \cdot e^{0,00065 \cdot (V/0,121)} \tag{6}$$

$r = 0,040$

$$k_h = 0,9868 \cdot e^{-0,0023 \cdot (h/288)} \tag{7}$$

$r = 0,024$

Bruchart B

$$k_h = 0,993 \cdot \left( \frac{V}{0,121} \right)^{-0,0796}; \quad V \text{ in m}^3 \tag{8}$$

$r = 0,664$

$$k_h = 0,996 \cdot \left( \frac{h}{299} \right)^{-0,1677}; \quad h \text{ in mm} \tag{9}$$

$r = 0,628$

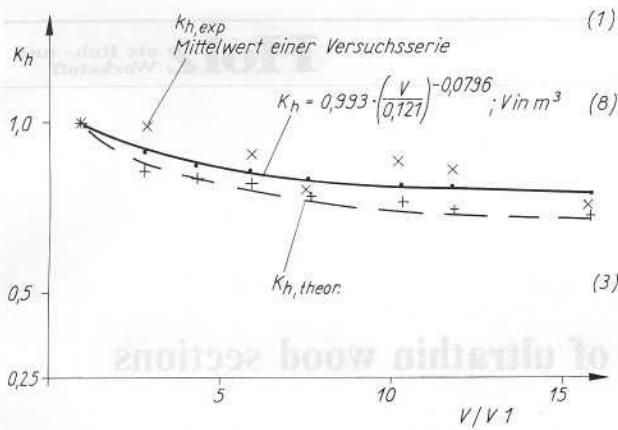
$$k_h = 0,9512 \cdot e^{-0,0128 \cdot (V/0,121)} \tag{10}$$

$r = 0,593$

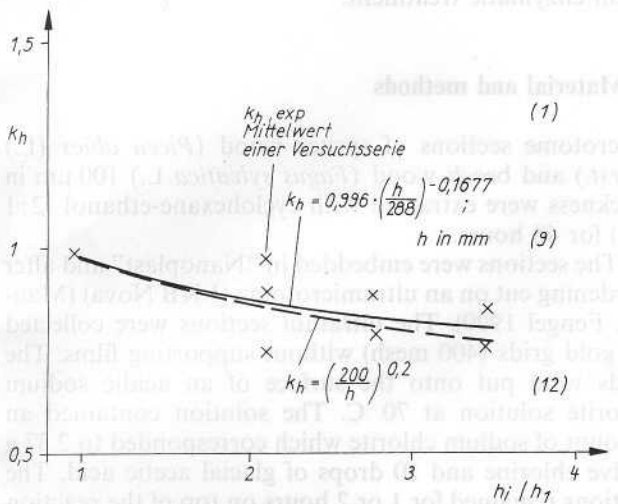
$$k_h = 1,052 \cdot e^{-0,0796 \cdot (h/288)} \tag{11}$$

$r = 0,608$

Das bedeutet, daß für Bruchart A keine Höhenabhängigkeit vorhanden ist. Für Bruchart B existieren signifikante Korrelationskoeffizienten [5]. Sie bestätigen die Höhenabhängigkeit der Biegefestigkeit für den keilzinkenfreien hochbeanspruchten Bereich (Bruchart B). Bei der Berechnung des theoretischen Höhenfaktors  $k_{h, theor.}$  nach Colling (Colling 1986) für Bruchart B in Abhängigkeit vom Volumenverhältnis (Ehlbeck; Colling, 1988; Schöne, Fritzsche 1989) ist zu erkennen, daß der theoretische Höhenfaktor etwas unterhalb des aus Ver-



**Bild 4.** Anpassungsfaktor  $k_h$  in Abhängigkeit vom Volumenverhältnis für Bruchart B (BSH 0);  $V = 0,121 \text{ m}^3$   
**Fig. 4.** Modification factor  $k_h$  in dependence on volume ratio for failure mode B (BSH 0);  $v = 0.121 \text{ m}^3$



**Bild 5.** Anpassungsfaktor  $k_h$  in Abhängigkeit vom Querschnittshöhenverhältnis für Bruchart B (BSH 0);  $h_1 = 288 \text{ mm}$  bei (1) und (9);  $h_1 = 200 \text{ mm}$  bei (12)  
**Fig. 5.** Modification factor  $k_h$  in dependence on cross section ratio for failure mode B (BSH 0);  $h_1 = 288 \text{ mm}$  using Eq. (1);  $h_1 = 200 \text{ mm}$  using Eq. (12)

suchswerten ermittelten Höhenfaktors  $k_h$  verläuft (s. Bild 4).

Ein Vergleich des aus den Versuchswerten ermittelten

Höhenfaktors mit dem nach Eurocode 5, Anhang 2, S. 110 (Eurocode 5).

$$k_h = \left(\frac{200}{h}\right)^{0,2} = \frac{1}{\left(\frac{h}{200}\right)^{0,2}} \quad (12)$$

ergibt bei gleichen Höhenverhältnissen  $h/h_2$  nahezu Übereinstimmung (s. Bild 5).

### 7 Zusammenfassung

Die Auswertung des Schrifttums sowie eigene Versuche an BSH-Trägern ergeben, daß für die Bruchart A (Keilzinkenbruch im beanspruchten Bereich) kein Zusammenhang zwischen Trägerhöhe und Biegefestigkeit besteht.

### 8 Literatur

Apitz, R.: Ermittlung von Festigkeitskennwerten für Vollholz bei der Beanspruchung Biegung durch Versuche. Forschungsbericht, Techn. Hochschule Wismar 1982

Colling, F.: Einfluß des Volumens und der Spannungsverteilung auf die Festigkeit eines Rechteckträgers. Holz Roh-Werkstoff 44 (1986) 179–183

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

Ehlbeck, J.; Colling, F.: The strength of glued lamination qualities and strength of finger joints 1988

CIB W 18, 21–12–3.–Canada, Sept. 1988

Eurocode 5 Holzbauwerke, deutsche Entwurfsfassung – 1987

John, B.: Statistische Verfahren für technische Meßreihen. München–Wien 1979

Schöne, W.; Fritzsche, E.: Der Einfluß der Trägerhöhe auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholz. Bauplanung-Bautechnik 44 (1989) 9 417–420

TGL 33 135/03 E 88 Holzbau; Tragwerke, Gütebedingungen, Bauschnittholz (Entwurf) 1988 (DDR-Norm)

SIA 164 (1981) Holzbau; Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich

TGL 33 135/01, 1. Änderung 1987, Holzbau, Tragwerke, Berechnung, Bauliche Durchbildung, Leipzig

TGL 33 135/01 Holzbau; Tragwerke, Berechnung, Bauliche Durchbildung, Ausgabe Januar 1984 und August 1985

Vorschrift StBA-Nr. 90/88: Holzbau, Tragwerke, Berechnung nach Grenzzuständen (Ergänzung zur TGL 33 135/01), Ausgabe 1988

Kretschmar, F.: Prüfbericht 1/42950/74 des Instituts für Bauelemente und Faserbaustoffe (BAUFA), Leipzig 1974 (unveröffentlicht)