

## Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene und Schubmodul von Bau-Furniersperrholz aus Buche \*

J. Ehlbeck und F. Colling

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe

Für hochwertiges Bau-Furniersperrholz aus Buche wurden Scherfestigkeiten rechtwinklig zur Plattenebene an großen und kleinen Prüfkörpern ermittelt. Das Material stammte aus drei deutschen Herstellwerken. Die Dicke der Platten hat auf die Scherfestigkeit praktisch keinen Einfluß. An kleinen Proben ergeben sich jedoch deutlich höhere Festigkeiten. Der Schubmodul kann als von der Plattendicke unabhängig betrachtet werden.

### Panel shear strength and shear modulus of beech plywood

The panel shear strength of high-quality beech plywood for structural purposes was determined using big and small test specimens. The plywood was manufactured in Germany. The panel thickness has no significant influence on the shear strength. Small test specimens result in distinctly higher shear strength values. The shear modulus can be considered independent of the panel thickness.

### 1 Einleitung

Bau-Furniersperrholz aus Buche (BFU-BU) nach DIN 68 705 Teil 5 besitzt elastomechanische Eigenschaften, die höher sind als die entsprechenden Werte für Bau-Furniersperrholz nach DIN 68 705 Teil 3. Aus diesem Grunde läßt sich das Buchenfurniersperrholz für besondere Anwendungsbereiche des Ingenieurholzbauwerks wirkungsvoll einsetzen. Während die meisten Festigkeitseigenschaften aufgrund des Aufbaues des Sperrholzes, d. h. der Anzahl der Lagen, der Furnierdicken und ihrer Lage in der Platte, recht zuverlässig abgeschätzt werden können, trifft dies weniger zu für die Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene. Erfahrungen haben aber gezeigt, daß diese Festigkeitseigenschaft im Vergleich zu Vollholz und Furniersperrholz aus Nadelhölzern besonders hoch liegt, so daß in besonderen Anwendungsbereichen die BFU-BU-Platte große Vorteile bringt. Das gilt z. B. für Knotenplatten jeder Art, für Stege von hochbeanspruchten Steg- und Kastenträgern, aber auch für Verstärkungen an Ausklinkungen, Durchbrüchen oder Rahmenecken von Brettschichtholzkonstruktionen.

Die für die Bemessung von Holzbauwerken maßgebende DIN 1052 in der gültigen Fassung aus dem Jahre 1969 weist für derartige Möglichkeiten keine zulässigen Beanspruchungen aus, so daß von bauaufsichtlicher Seite z. Zt. nur der Weg über eine Zulassung im Einzelfall aufgrund besonderer Prüfungen beschritten werden kann. Um diesen Eng-

paß zu beseitigen und gleichzeitig für einen Neuentwurf der DIN 1052 zuverlässige Daten bereitstellen zu können, war der Zweck eines entsprechenden Forschungsvorhabens, durch umfangreiche Prüfungen statistisch gesichertes Zahlenmaterial zu erhalten, um daraus zulässige Spannungen für das Abscheren rechtwinklig zur Plattenebene ableiten zu können.

Gleichzeitig sollte im Rahmen dieser Untersuchungen geprüft werden, wie stark sich die Festigkeiten unterscheiden, wenn sie an kleinen oder an großen Prüfkörpern ermittelt werden. Die wesentlich billigere Prüfung an kleinen Scherproben, die für Qualitätskontrollen nach wie vor sinnvoll ist, ergibt im allgemeinen höhere Tragfähigkeiten, so daß es wichtig ist zu wissen, mit welcher Reduzierung der Festigkeit gerechnet werden muß, wenn für Bauteilgrößen zulässige Spannungen festgelegt werden sollen. Die internationalen Beratungen in RILEM und in den zuständigen technischen Komitees der ISO – dies sind TC 139 und TC 165 – haben zwischenzeitlich zu Prüfvorschlägen für Sperrholz in Bauteilgröße geführt. Es war daher besonders interessant, auch die Praktikabilität dieser neuen Prüfeempfehlungen für einen derart hochwertigen Plattenwerkstoff zu überprüfen.

Schließlich waren durch entsprechende Verformungsmessungen an den großen Scherkörpern zusätzliche Daten über die Größe des Schubmoduls von BFU-BU-Platten zu sammeln.

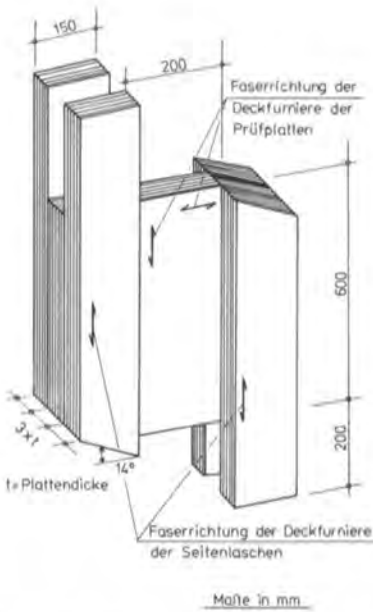
### 2 Versuchsumfang, Prüfkörperform, Prüfeinrichtungen

Von den drei Herstellwerken<sup>1</sup> in der Bundesrepublik Deutschland für BFU-BU-Platten nach DIN 68 705 Teil 5 wurde jeweils ein Plattentyp aus den vier Dickenbereichen 10 bis 15 mm, 16 bis 25 mm, 26 bis 35 mm und 36 bis 40 mm in die Untersuchungen einbezogen. Aus jedem Plattentyp wurden sechs große Versuchskörper hergestellt, so daß der gesamte Prüfumfang 72 Einzelprüfungen umfaßte. Vergleichsweise wurden insgesamt 96 Scherversuche an kleinen Prüfkörpern durchgeführt, deren Form und Abmessungen den von Möhler und Ehlbeck (1974) verwendeten Prüfkörpern entsprachen.

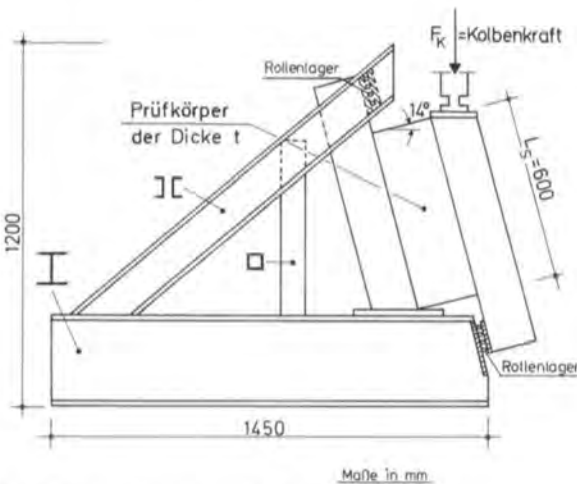
Die Prüfung der großen Scherkörper sollte in Anlehnung an den Entwurf der internationalen Prüfeempfehlung der ISO/TC 139 und 165 aus dem Jahre 1983 erfolgen. Diese

\* Kurzfassung einer Forschungsarbeit, durchgeführt im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der DGFH mit finanzieller Unterstützung durch die Centrale Marketing Gesellschaft der Deutschen Agrarwirtschaft (CMA).

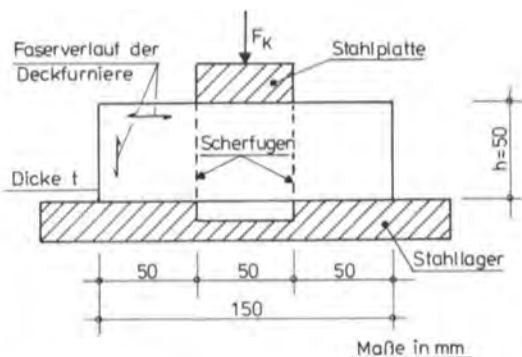
<sup>1</sup> Für die kostenlose Bereitstellung des Versuchsmaterials sei auch an dieser Stelle den Firmen AGEPAN Holzwerkstoffe KG in Heusweiler, BLOMBERGER Holzindustrie in Blomberg und A. BUDDENBERG GmbH in Bad Driburg gedankt



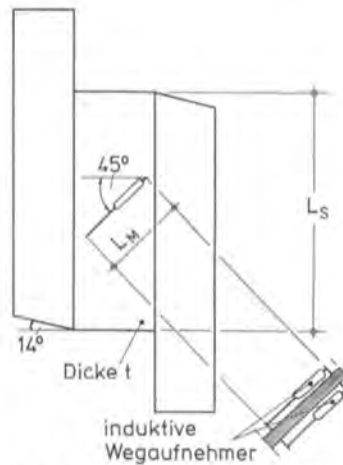
**Bild 1.** Prüfkörperform zur Bestimmung der Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene  
**Fig. 1.** Test specimen for determination of panel shear strength



**Bild 2.** Versuchseinrichtung für große Prüfkörper  
**Fig. 2.** Test set-up for big test specimens



**Bild 3.** Form und Versuchsanordnung für kleine Scherproben  
**Fig. 3.** Shape and test arrangement for small test specimens



**Bild 4.** Anordnung von Wegaufnehmern zur Messung von Schubverformungen  
**Fig. 4.** Application of deformation gauge for determination of shear deformations

Empfehlung lehnt sich an die amerikanische Norm ASTM D 2719 (1981) an. Die hohe Scherfestigkeit rechtwinklig zur Plattenebene bei den zu untersuchenden BFU-BU-Platten erforderte jedoch so große Kräfte, daß sich die schwere Prüfeinrichtung als sehr unhandlich erwies. Es wurde daher eine einfachere, stationäre Prüfeinrichtung entwickelt, die besonders bei vielen Einzelprüfungen wesentliche Erleichterungen ergab und außerdem die Kräfteinleitung in die Probe direkt als Druckkraft der Prüfmaschine zuließ. Prüfkörperform und Kräfteinwirkung blieben unverändert und entsprachen somit der internationalen Prüfeempfehlung. In Bild 1 ist die Prüfkörperform dargestellt. Die seitlich zur Kräfteinleitung aufgeleimten Laschen wurden dabei aus dem gleichen Material wie die eigentliche Prüfplatte hergestellt und so dimensioniert, daß Scherbrüche in den Seitenlaschen ausgeschlossen waren.

Die Versuchseinrichtung ist in Bild 2 schematisch dargestellt. Die Kolbenkraft der Prüfmaschine drückt unmittelbar auf die Probe. Die Scherfestigkeit  $\tau_u$  ergibt sich bei einer Probenlänge von  $L_s = 600$  mm und einer Dicke  $t$  der Furnierplatte zu

$$\tau_u = \frac{F_u \cdot \cos 14^\circ}{600 \cdot t} \tag{1}$$

mit  $F_u =$  Höchstlast des Prüfkolbens der Prüfmaschine.

Bild 3 zeigt die vergleichsweise geprüften kleinen Proben und die verwendete Versuchsanordnung. Bei diesem Prüfverfahren sind die Bruchschersflächen festgelegt. Die Scherfestigkeit ergibt sich in diesem Falle zu

$$\tau_u = \frac{F_u}{2 \cdot h \cdot t} = \frac{F_u}{100 \cdot t} \tag{2}$$

Zur Ermittlung des Schubmoduls erfolgten Messungen mit induktiven Wegaufnehmern, deren Meßlängen von  $L_M = 200$  mm unter einem Winkel von  $45^\circ$  zur Längsrichtung des Prüfkörpers verliefen (Bild 4). Die Beanspruchung des Prüfkörpers durch die Kolbenkraft  $F_K$  der Prüfmaschine bewirkt eine Verkürzung  $\Delta$  der Meßlänge, aus der der Schubwinkel  $\gamma$  berechnet werden kann. Mit der zugehörigen Schubspannung kann der Schubmodul berechnet werden zu:

$$G = \frac{F_K \cdot \cos 14^\circ}{2 \cdot L_s \cdot t} \cdot \frac{L_M}{\Delta} \tag{3}$$

Da die Beziehung nach Gl. (3) nur für eine Platte unter reiner Schubbeanspruchung gilt, durch die Kräfteinwirkungen aber zusätzlich Druckspannungen in Meßrichtung und damit auch geringfügige Stauchungen auftreten, ergibt ein nach Gl. (3) berechneter Schubmodul einen zu kleinen Wert. Aufgrund einer vergleichenden Rechnung mit Hilfe eines FE-Programms ergab sich, daß der Meßwert  $\Delta$  um den Faktor 1,14 abgemindert werden muß, um die wahre, nur durch Schubspannungen erzeugte Längenänderung zu erhalten.

### 3 Versuchsdurchführung, Brucherscheinungen

Bild 5 zeigt die Versuchseinrichtung mit eingebautem, großem Scherkörper und applizierter Meßeinrichtung. Die Belastungsgeschwindigkeit war so gewählt, daß die Brüche innerhalb von  $3 \pm 1$  min eintraten. Typische Bruchschersflächen zeigen Bild 6 (Deckfaserrichtung parallel zur Scherfläche) und Bild 7 (Deckfaserrichtung rechtwinklig zur Scherfläche). Bei den kleinen Proben lag die Bruchschersfläche stets in den erzwungenen Scherebenen (Bild 8), während sich bei den großen Proben die Bruchebene an der schwächsten Stelle des Prüfkörpers einstellte.

### 4 Ergebnisse der Versuche

Die Scherfestigkeiten sind in Bild 9 und 10 jeweils in Abhängigkeit von der Plattendicke dargestellt. Dabei wurde jeweils eine Trennung nach den drei Herstellwerken vor-



**Bild 5.** Prüfeinrichtung und eingebauter Prüfkörper  
**Fig. 5.** Test set-up with test specimen



**Bild 6.** Scherbruch bei Deckfaser parallel zur Scherfläche  
**Fig. 6.** Shear failure parallel to face-grain



**Bild 7.** Scherbruch bei Deckfaser rechtwinklig zur Scherfläche  
**Fig. 7.** Shear failure perpendicular to face-grain

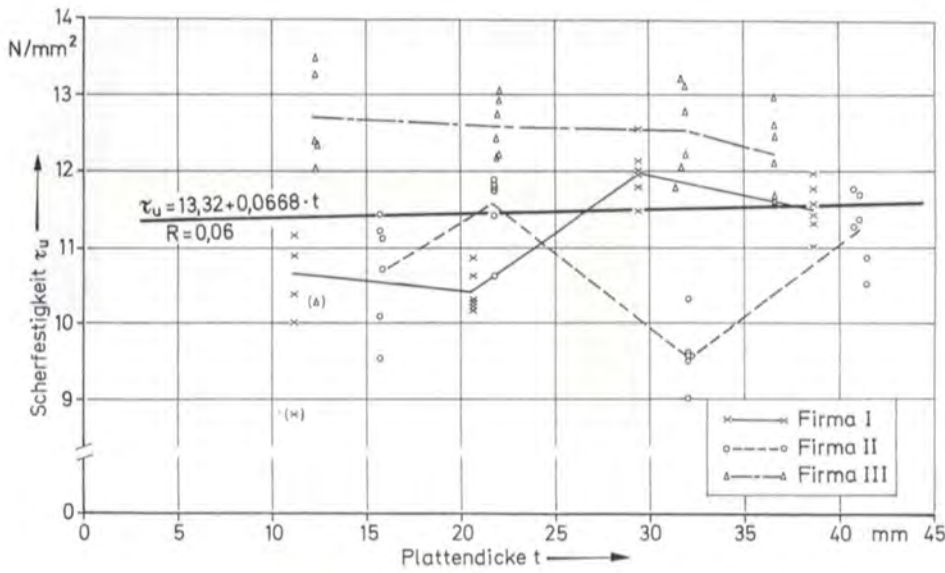


**Bild 8.** Scherbruch bei kleinen Proben  
**Fig. 8.** Shear failure of small test specimens

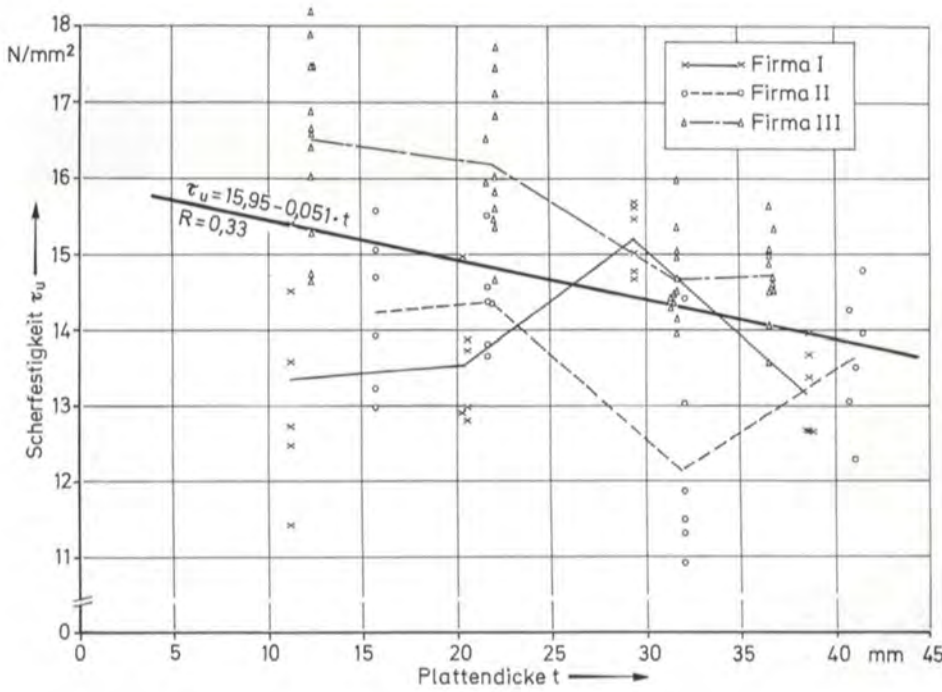
genommen. Die eingezeichneten Regressionsgeraden für das gesamte Zahlenmaterial deuten darauf hin, daß bei großen Proben eine Dickenabhängigkeit nicht vorliegt, während bei den kleinen Proben ein Abfall der Scherfestigkeit mit zunehmender Plattendicke offensichtlich wird. Wegen der großen Streuungen der Versuchswerte um die Regressionsgeraden kann dies jedoch nur als Tendenz gewertet werden. Andererseits zeigt sich auch eine Abnahme der Streuungen der Versuchswerte mit zunehmender Plattendicke. Dies kann damit erklärt werden, daß das Sperrholz mit zunehmender Dicke "homogener" wird. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens extrem schwacher oder starker Einzelfurniere ist bei dickeren Platten zwar größer, ihr Einfluß auf die Tragfähigkeit der Platte insgesamt nimmt jedoch ab.

Von Bedeutung ist in jedem Falle, daß die Scherfestigkeiten der großen Proben deutlich geringer sind als die der kleinen Proben. Dies wird nicht nur durch die Probengröße allein erklärlich, sondern hat auch im jeweiligen Prüfverfahren seine Ursachen. Die große Probe versagt tatsächlich in der schwächsten Schersfläche, während bei der kleinen Probe der Bruch in vorgegebenen Schersflächen erzwungen wird. Es muß damit gerechnet werden, daß bei großen Proben bis zu 30% geringere Scherfestigkeiten vorliegen. Dieser Abfall ist bei dicken Platten geringer als bei dünnen.

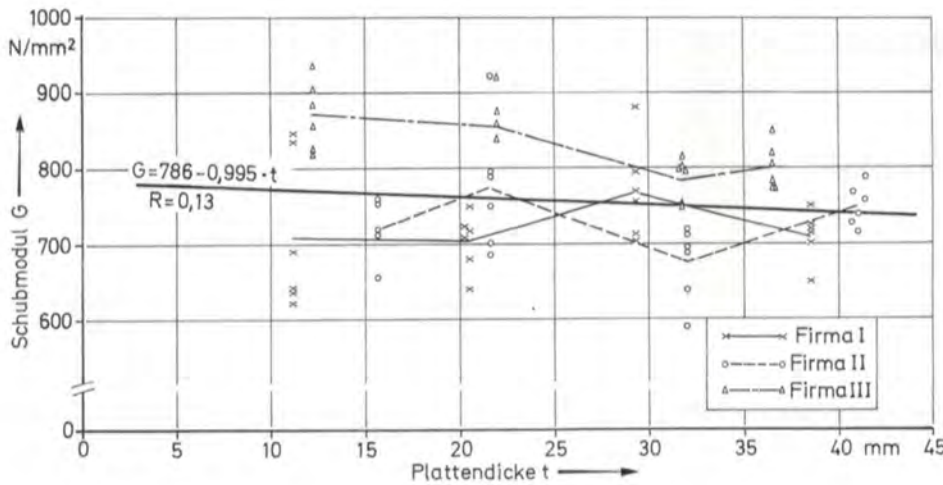
Bei allen untersuchten Platten wurden die Rohdichten, der Plattenaufbau und der Feuchtigkeitsgehalt zum Zeitpunkt der Prüfung ermittelt. Da diese Größen jedoch bei dem vorliegenden Versuchsmaterial wenig schwankten, kann auch eine Abhängigkeit der Scherfestigkeit hiervon nicht beschrieben werden. Da es sich durchweg um vielschichtiges Sperrholz handelte, konnte auch ein Einfluß



**Bild 9.** Scherfestigkeit in Abhängigkeit von der Plattendicke (große Proben)  
**Fig. 9.** Relationship between shear strength and panel thickness (big specimens)



**Bild 10.** Scherfestigkeit in Abhängigkeit von der Plattendicke (kleine Proben)  
**Fig. 10.** Relationship between shear strength and panel thickness (small specimens)



**Bild 11.** Schubmodul in Abhängigkeit von der Plattendicke  
**Fig. 11.** Relationship between shear modulus and panel thickness

**Tabelle 1.** Zusammenfassung der Prüfergebnisse

Eigenschaft		Mittelwert	Variationskoeffizient %
Feuchtigkeitsgehalt	%	8,6	4,8
Rohdichte	g/cm <sup>3</sup>	0,752	3,1
Scherfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>		
Große Proben		11,50	9,1
Kleine Proben		14,62	10,4
Schubmodul	N/mm <sup>2</sup>	760	10,1

der Faserrichtung der Deckfurniere bezüglich der Krafrichtung bzw. der Richtung der Scherfuge nicht festgestellt werden.

Bild 11 enthält die nach Gl. (3) mit dem abgeminderten Meßwert  $\Delta$  berechneten Schubmoduln in Abhängigkeit von der Plattendicke. Die Streuungen sind auch hier auffallend groß, eine Abnahme des Schubmoduls mit zunehmender Plattendicke ist jedoch kaum erkennbar. Bei geringem Abfall des Mittelwertes nimmt gleichzeitig auch die Streuung ab, so daß für die praktische Anwendung mit einem dicken-unabhängigen, einheitlichen Schubmodul gerechnet werden kann.

## 5 Zusammenfassung

An Bau-Furniersperrholz aus Buche nach DIN 68 705 Teil 5 wurden Scherversuche rechtwinklig zur Plattenebene durchgeführt, um die Scherfestigkeiten und die Schubmoduln zu ermitteln. Die Platten im Dickenbereich zwischen 10 und 40 mm stammten aus drei verschiedenen Herstellwerken in der Bundesrepublik Deutschland. Die Versuche wurden an großen Versuchskörpern in Anlehnung an eine internationale Prüfeempfehlung durchgeführt. An kleinen Vergleichsproben wurde der Einfluß der Probengröße und des Prüfverfahrens im Vergleich zu früheren Untersuchungen aufgezeigt. Die wesentlichen Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Dabei ist eine Abhängigkeit der Scherfestigkeit von der Plattendicke ebenso außer acht gelassen wie

der Einfluß der Faserrichtung der Deckfurniere bezüglich der Scherfläche, da sich diese Einflußgrößen als für die Praxis unbedeutend erwiesen.

Die charakteristische Scherfestigkeit der großen Proben als 5%-Fraktile bei einer Aussagewahrscheinlichkeit von 75% ergibt sich unter Annahme einer Normalverteilung sämtlicher Versuchswerte und ungeachtet der Plattendicken, des Plattenaufbaues und der Herkunft der Platten zu

$$\tau_k = 11,50 - 1,78 \cdot 1,05 = 9,6 \text{ N/mm}^2$$

Bei Qualitätskontrollen zur Überprüfung der Scherfestigkeit muß aber beachtet werden, daß bei Verwendung kleiner Scherproben mit erzwungenen Scherflächen höhere Scherfestigkeiten erzielt werden als bei der Prüfung an Proben in Bauteilgröße.

Der Schubmodul des untersuchten Buchenfurniersperrholzes lag im Mittel bei 760 N/mm<sup>2</sup> mit einem Variationskoeffizienten von 10,1%. Ein Rechenwert von 700 N/mm<sup>2</sup> erscheint daher für die praktische Anwendung angemessen.

## 6 Literatur

- American Society for Testing and Materials, 1981: Standard Methods of Testing; Plywood in Shear Through-the-Thickness. ASTM-Standard D 2719-81. Philadelphia/Penn., USA
- Deutsches Institut für Normung 1980: DIN 68 705 Teil 5, 1980: Sperrholz; Bau-Furniersperrholz aus Buche; Normenausschuß Holz im Deutschen Institut für Normung (DIN)
- Ehlbeck, J.; Colling, F. 1983: Ermittlung fehlender Festigkeitswerte von Buchenfurnierplatten. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, der Universität Karlsruhe
- Ehlbeck, J.; Colling, F. 1984: Determination of panel shear strength and panel shear modulus of beech-plywood in structural sizes. Proceedings of 17th Meeting of CIB-W 18 Rapperswil/Schweiz, Paper 17-4-1
- International Standardisation Organization 1983: ISO TC 139/165 – Joint Committee: Structural plywood – test methods for the determination of physical and mechanical properties
- Möhler, K.; Ehlbeck, J. 1974: Kurzzeit- und Dauerstandversuche zur Ermittlung der statischen und Dauerstandfestigkeit von Bau-Furnierplatten. Ber. a. d. Bauforschung, H. 92, Holzbau-Versuche V. Teil. Berlin: W. Ernst u. Sohn