

Eigenschaften des in Leimbaubetrieben verarbeiteten Schnittholzes

F. Colling und R. Görlacher, Karlsruhe*

1. Allgemeines

Im Rahmen eines z. Zt. laufenden Forschungsvorhabens¹ soll die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern in Abhängigkeit von den festigkeitsrelevanten Holzeigenschaften Ästigkeit, Rohdichte und Elastizitätsmodul der Brettlamellen, sowie den Festigkeitseigenschaften der Keilzinkenverbindungen untersucht werden. Aufgrund der vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten dieser Einflußfaktoren ist eine Durchführung dieser Untersuchungen mit Hilfe von Trägerversuchen nicht mehr möglich. Aus diesem Grunde wurde das sog. »Karlsruher Rechenmodell« entwickelt, mit dessen Hilfe die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern abgeschätzt werden kann [1].

Dieses Modell, das sich aus zwei Computerprogrammen zusammensetzt, simuliert den Trägeraufbau unter Erfassung der Werkstoffkennwerte Rohdichte und Ästigkeit der Bretter bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Auftretens von Keilzinkenverbindungen. Mit diesen Daten werden über Regressionsgleichungen die Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften der Brettlamellen abschnittsweise berechnet. Ein Finite-Elemente-Programm, das mögliche Kraftumlagerungen bei frühzeitigem Versagen einzelner Abschnitte und das nichtlineare Werkstoffverhalten unter Druckbeanspruchung berücksichtigt, berechnet die Tragfähigkeit dieser Träger.

Dieses Rechenmodell ermöglicht es, sowohl die Tragfähigkeit von bekannten Brettschichtholzträgern mit vorgegebenen Holzeigenschaften zu berechnen als auch die Auswirkungen von unterschiedlichen Sortierverfahren – visuell, maschinell oder kombiniert visuell/maschinell – oder Keilzinkenfestigkeiten auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern abzuschätzen. Voraussetzung für zuverlässige Rechenergebnisse ist aber u. a. eine wirklichkeitsnahe Simulation der Holzeigenschaften der Brettlamellen.

Im Rahmen der hier beschriebenen Untersuchungen wurden deshalb die festigkeitsrelevanten Eigenschaften Ästigkeit, Rohdichte und Elastizitätsmodul des in deutschen Leimbaubetrieben verarbeiteten Schnittholzes aufgenommen und statistisch ausgewertet.

Auf die Auswirkungen dieser Untersuchungen auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern kann an dieser Stelle noch nicht eingegangen werden. Die hier beschriebenen Ergebnisse sollen lediglich einen Überblick über die Holzeigenschaften des z. Zt. in den Holzleimbaubetrieben verarbeiteten Brettmaterials geben.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können später auch bei der Festlegung von Grenzwerten für die Sortierparameter mit herangezogen werden.

2. Versuchsmaterial

Ziel dieser Untersuchungen war es, Verteilungen für die festigkeitsrelevanten Holzeigenschaften der Bretter anhand einer repräsentativen Stichprobe anzugeben. Daher war es erforder-

lich, Brettmaterial aus den wichtigsten Wuchsgebieten zur Verfügung zu haben.

Das Wuchsgebiet der Bretter ist jedoch oft nicht bekannt, weil die Leimbaubetriebe in der Regel nur angeben können, aus welchem Sägewerk die Bretter stammen. Woher aber die Sägewerke das Holz beziehen, läßt sich kaum mehr nachvollziehen. Deshalb wird im folgenden der Begriff des »Herkunftsgebietes« verwendet.

Das in den Leimbaubetrieben verarbeitete Brettmaterial läßt sich in folgende drei Haupt-Herkunftsgebiete unterteilen:

- Deutschland/Österreich,
- Ostblock (z. B. CSSR, DDR, UdSSR) und
- Skandinavien (z. B. Norwegen, Schweden).

Diese Einteilung diente auch als Grundlage bei der Auswahl der Betriebe, in denen die Untersuchungen durchgeführt wurden.

Die in einem Leimbaubetrieb verarbeiteten Bretter stammen oft aus unterschiedlichen Herkunftsgebieten, wobei die Wahl des jeweiligen Herkunftsgebietes zum einen vom Preis der Bretter abhängig ist, zum anderen aber auch von der Brettqualität. Hierbei bezieht sich der Begriff der Qualität allerdings nicht immer auf festigkeitsrelevante Einflußfaktoren wie z. B. die Ästigkeit der Bretter. So ist eine raue Oberfläche oder eine unbefriedigende Maßhaltigkeit, die zu Störungen im Produktionsablauf führen kann, oft der Grund für eine negative Einschätzung dieser Bretter. Solche Kriterien betreffen aber nicht die Tragfähigkeit der Bretter und waren somit auch nicht Gegenstand dieser Untersuchungen, bei denen die folgenden festigkeitsrelevanten Kenngrößen der Bretter ermittelt wurden:

- größte in einem Brett auftretende Querschnittsschwächung infolge von Ästen in Form des KAR-Wertes (siehe **Bild 1**). Hierbei entspricht der KAR-Wert dem Verhältnis der Fläche aller innerhalb eines 15 cm Brettabschnittes auftretenden Äste zur Brutto-Querschnittsfläche (KAR = Knot Area Ratio = Astflächenverhältnis);
- mittlere Rohdichte, die sich aus der Masse und den jeweiligen Abmessungen der Bretter ergab;
- mittlerer, dynamischer Elastizitätsmodul, der über Längsschwingungen mit Hilfe eines Schwingungs-Meßgerätes bestimmt wurde (vgl. [2]).

Die Holzfeuchte der Bretter wurde stichprobenartig überprüft. Sie lag zwischen 10 und 14 %.

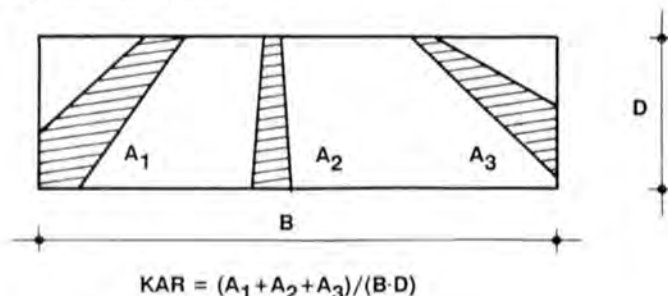


Bild 1: Berechnung des KAR-Wertes

¹ Ehlbeck, J., Colling, F.: Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Brettlamellen im Hinblick auf Normungsvorschläge, Forschungsvorhaben im Auftrag der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau, finanziert vom Institut für Bautechnik, Berlin.

* Dipl.-Ing. F. Colling und Dipl.-Ing. R. Görlacher sind wiss. Angestellte an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, der Universität Karlsruhe.

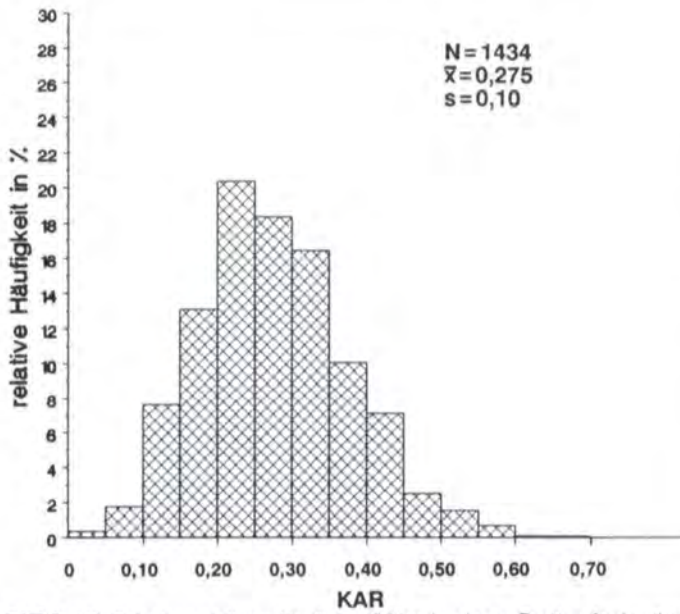


Bild 2: Häufigkeitsverteilung für den größten in einem Brett auftretenden KAR-Wert; alle Werte

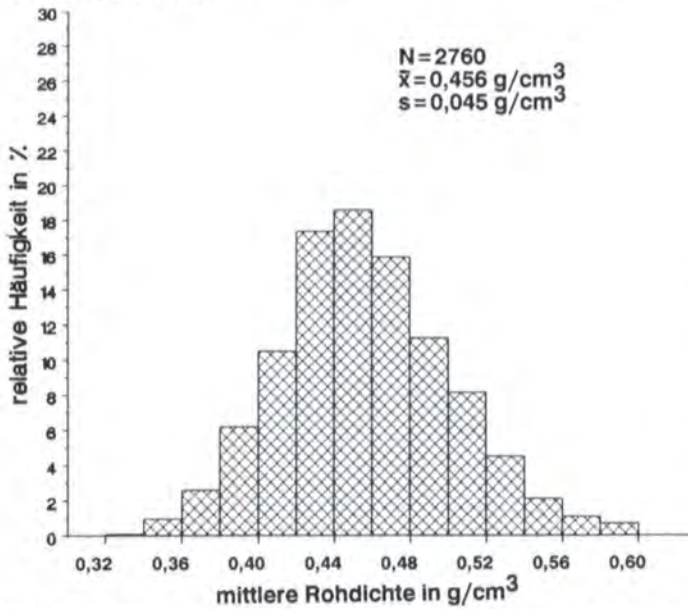


Bild 3: Häufigkeitsverteilung für die mittlere Brett-Rohdichte; alle Werte

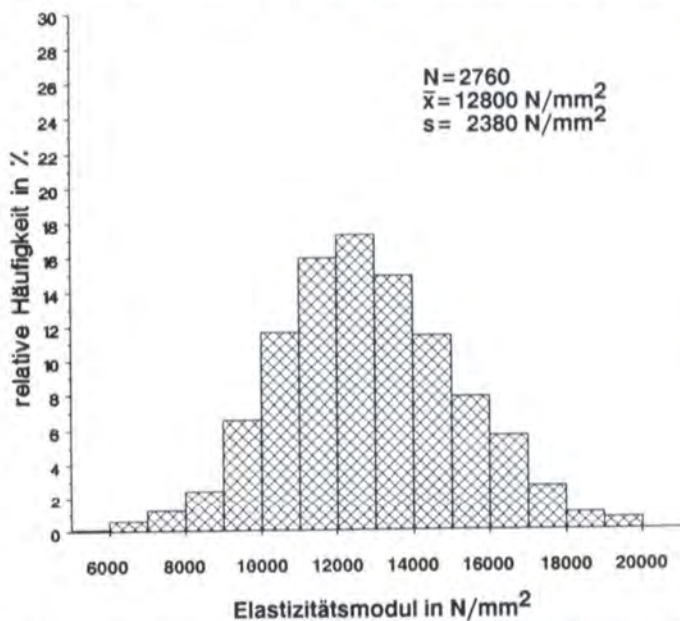


Bild 4: Häufigkeitsverteilung für den mittleren Brett-Elastizitätsmodul; alle Werte

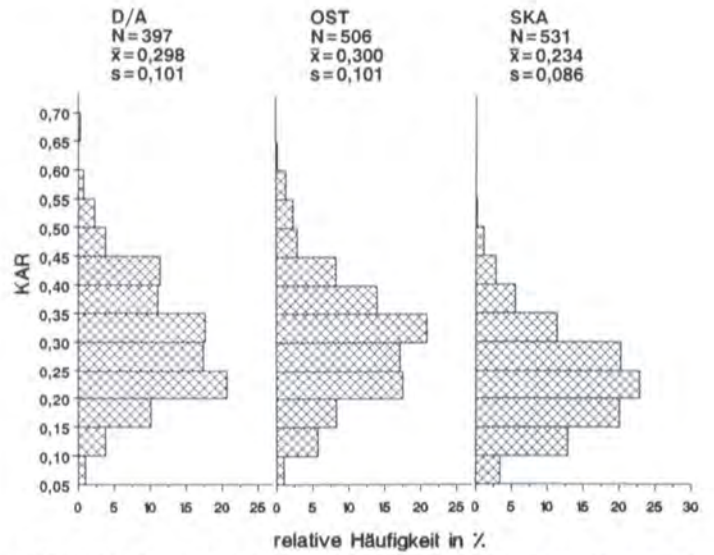


Bild 5: Häufigkeitsverteilungen des größten KAR-Wertes; Unterscheidung nach Herkunftsgebiet (D/A = Deutschland/Österreich, OST = Ostblock, SKA = Skandinavien)

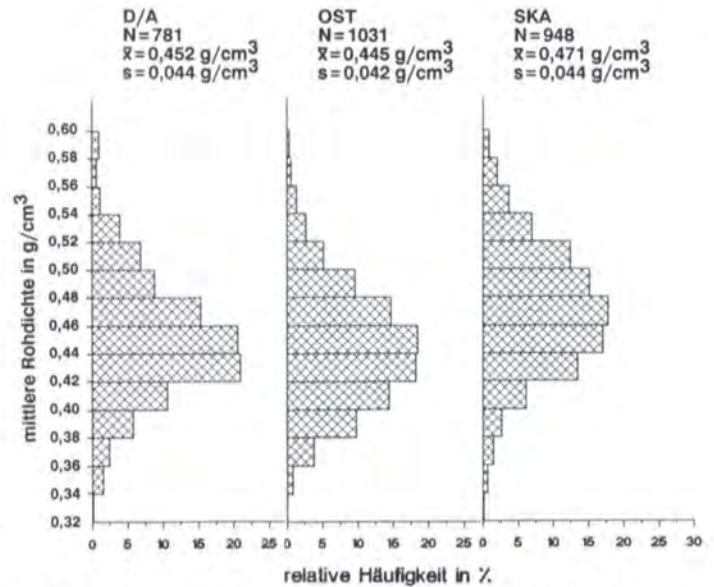


Bild 6: Häufigkeitsverteilungen der mittleren Brett-Rohdichte; Unterscheidung nach Herkunftsgebiet (D/A = Deutschland/Österreich, OST = Ostblock, SKA = Skandinavien)

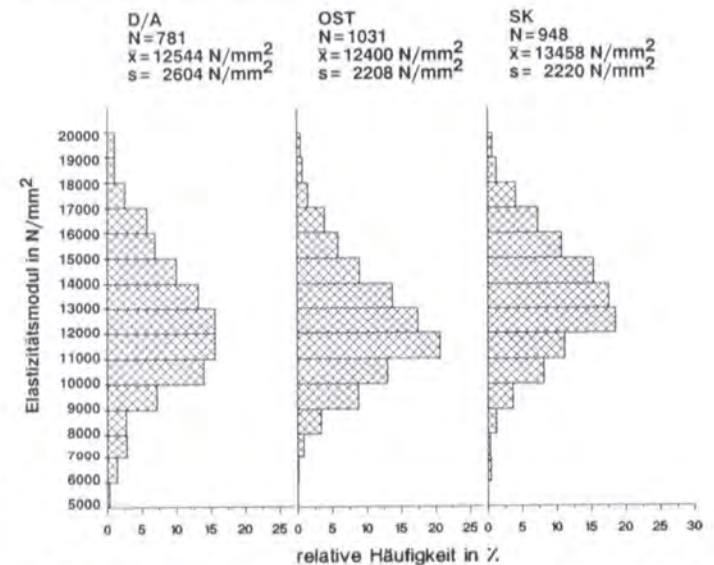


Bild 7: Häufigkeitsverteilungen des mittleren Brett-Elastizitätsmoduls; Unterscheidung nach Herkunftsgebiet (D/A = Deutschland/Österreich, OST = Ostblock, SKA = Skandinavien)

Das Versuchsmaterial gehörte durchweg der Holzart Fichte/Tanne an und stammte aus fünf deutschen Leimbaubetrieben². Insgesamt wurden von 2760 Brettern unterschiedlicher Breite die mittlere Rohdichte und der mittlere Elastizitätsmodul bestimmt. Von 1434 Brettern wurde zusätzlich der jeweils größte im Brett auftretende KAR-Wert ermittelt.³

3. Darstellung der Ergebnisse

3.1 Alle Werte

In **Bild 2 bis 4** sind die Häufigkeitsverteilungen für den größten KAR-Wert, die mittlere Rohdichte und den mittleren Elastizitätsmodul der Bretter dargestellt. Die jeweiligen Mittelwerte \bar{x} und die zugehörigen Standardabweichungen s sind ebenfalls angegeben. Diese Verteilungen wurden ermittelt unter Berücksichtigung aller Versuchswerte, unabhängig vom Herkunftsgebiet und der Brettbreite.

3.2 Unterscheidung nach Herkunftsgebiet

In **Bild 5 bis 7** sind die Häufigkeitsverteilungen der untersuchten Holzeigenschaften für jedes der drei oben genannten Haupt-Herkunftsgebiete dargestellt.

Aus diesen Bildern ist ersichtlich, daß die Holzeigenschaften der aus Deutschland/Österreich stammenden Bretter mit denen der aus dem Ostblock importierten Bretter vergleichbar sind, während die skandinavische Ware im Mittel kleinere maximale KAR-Werte und höhere Werte für die Rohdichte und den Brett-Elastizitätsmodul aufweist.

3.3 Unterscheidung nach der Brettbreite

In **Bild 8** sind für das Herkunftsgebiet Skandinavien die Verteilungen des Brett-Elastizitätsmoduls in Abhängigkeit von der Brettbreite dargestellt (Mittelwert \bar{x} und Streubreite $\bar{x} \pm s$, wobei s der Standardabweichung entspricht). Diese Verteilungen weichen je nach Brettbreite zum Teil erheblich voneinander ab, wobei eine gesetzmäßige Abhängigkeit zwischen dem Elastizitätsmodul und der Breite der Bretter nicht zu erkennen ist. Bei der Darstellung nach Bild 8 wurden alle Bretter einer Breite zusammengefaßt, unabhängig davon, aus welchem Brettstapel

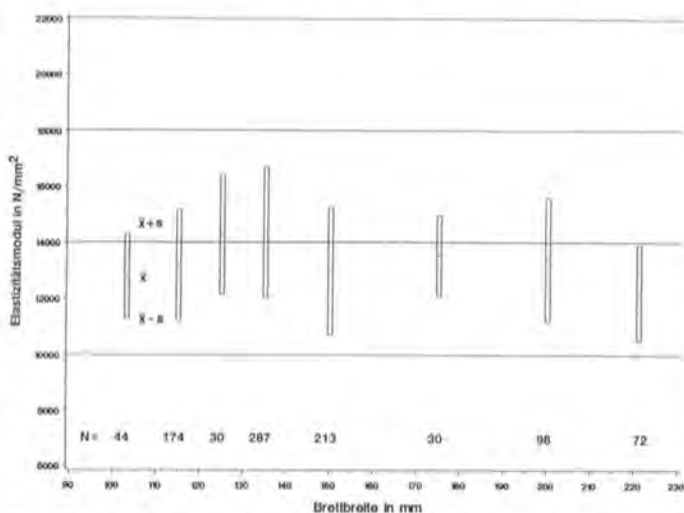


Bild 8: Häufigkeitsverteilungen des mittleren Brett-Elastizitätsmoduls in Abhängigkeit von der Brettbreite; Herkunftsgebiet Skandinavien

² Den Firmen Christian Burgbacher Holzwerke in Trossingen, W. u. J. Derix, Holzleimbau in Niederkrüchten, Anton Hess Holzleimbau in Miltenberg, Poppensieker & Derix Holzleimbau in Westerkappeln und Schaffitzel Holzindustrie in Schwäbisch Hall sei nochmals für die freundliche Unterstützung bei diesen Untersuchungen gedankt

³ Den Herren cand. Ing. M. Kromer und cand. Ing. R. Schober sei für ihre Mithilfe bei den Messungen und Auswertungen gedankt

sie stammten. Am Beispiel der Breite $B = 135$ mm sind in **Bild 9** getrennt für jeden Brettstapel, die Verteilungen des Elastizitätsmoduls angegeben. Aus diesem Bild geht hervor, daß die Unterschiede, die innerhalb einer Brettbreite vorhanden sind, bereits so groß sind, daß eine eventuell vorhandene Breitenabhängigkeit nur sehr schwer nachzuweisen wäre.

Ein Grund hierfür ist, daß Bretter aus dem gleichen Haupt-Herkunftsgebiet aus unterschiedlichen Wuchsgebieten stammen und somit auch unterschiedliche Holzeigenschaften aufweisen können.

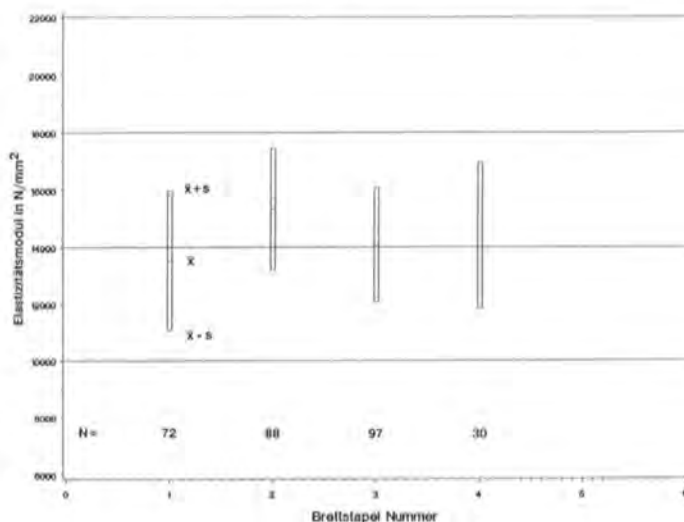


Bild 9: Häufigkeitsverteilungen des mittleren Brett-Elastizitätsmoduls; Unterscheidung nach Brettstapel (Herkunftsgebiet Skandinavien, Brettbreite $B = 135$ mm)

3.4 Abhängigkeit Elastizitätsmodul – Rohdichte

In **Bild 10** sind getrennt für jedes Herkunftsgebiet die gemessenen Brett-Elastizitätsmoduln in Abhängigkeit von der mittleren Rohdichte dargestellt. Die zugehörigen Regressionsgeraden sind ebenfalls in Bild 10 eingezeichnet.

Hieraus ist zu erkennen, daß sich die einzelnen Regressionsgeraden nur geringfügig unterscheiden, so daß die folgende, für alle Herkunftsgebiete gültige Regressionsgleichung gerechtfertigt erscheint:

$$E_{\text{Brett}} = -5520 + 40170 \cdot \rho_{\text{Brett}} \quad \text{Gl(1)}$$

mit

$$E_{\text{Brett}} = \text{mittlerer Brett-Elastizitätsmodul in N/mm}^2,$$

$$\rho_{\text{Brett}} = \text{mittlere Brett-Rohdichte in g/cm}^3 \text{ bei einer Holzfeuchte von etwa 12 \%}$$

Der Korrelationskoeffizient dieser Gleichung ergab sich zu $R = 0,76$.

4. Diskussion der Ergebnisse

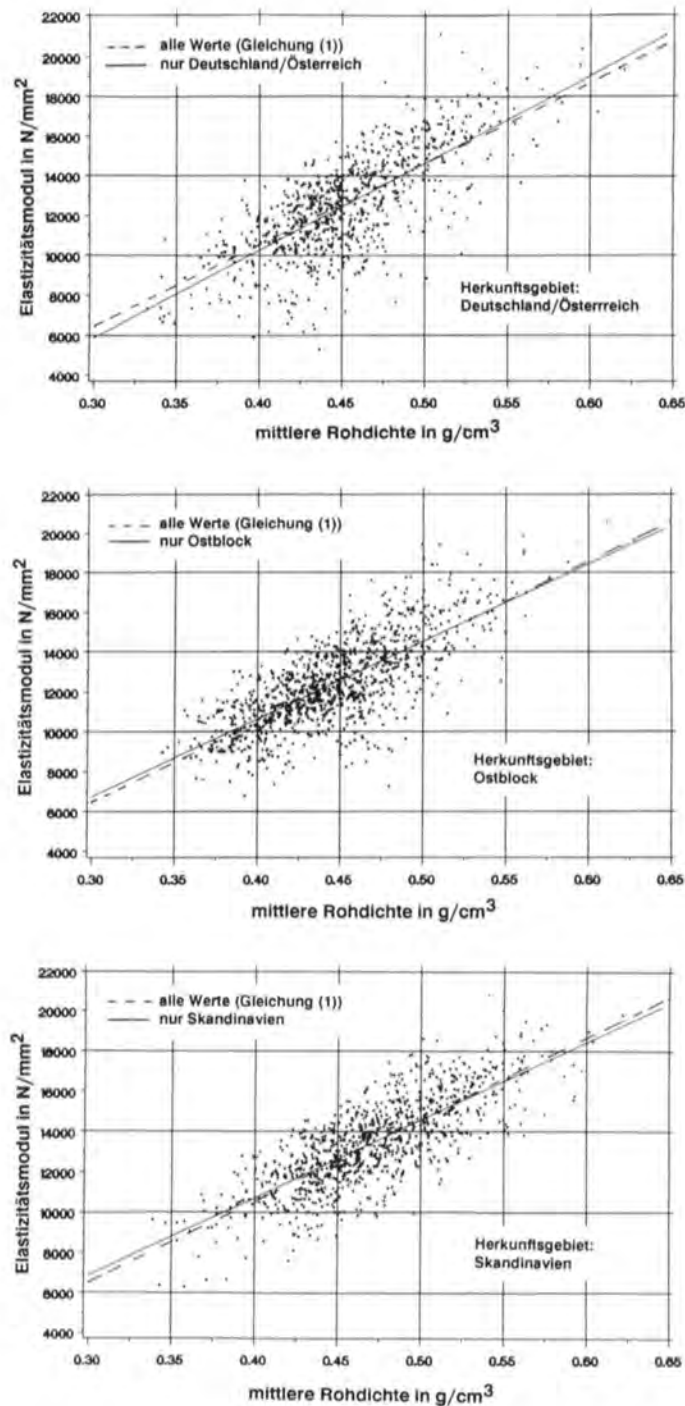
Wie in Abschnitt 3.2 bereits erwähnt, weisen die aus Skandinavien importierten Bretter im Mittel »bessere« Holzeigenschaften auf als die Bretter aus den beiden anderen Herkunftsgebieten. Aus Bild 5 bis 7 geht jedoch hervor, daß in allen Herkunftsgebieten sowohl gute als auch schlechte Bretter vorhanden sind und daß lediglich der Anteil an hochwertigen Brettern unterschiedlich groß ist. So ist aus Bild 7 zu entnehmen, daß der Anteil der Bretter mit einem Elastizitätsmodul über $15\,000$ N/mm² in den Herkunftsgebieten Deutschland/Österreich 17 %, Ostblock 13 % und Skandinavien 24 % beträgt.

In Abschnitt 3.4 wurde gezeigt, daß zwischen dem Elastizitätsmodul und der Rohdichte eines Brettes eine Beziehung besteht, die vom Herkunftsgebiet offensichtlich wenig abhängig ist. Die o. a. unterschiedliche »Ausbeute« an hochwertigen Brettern kann also mit der Rohdichte erklärt werden. Bei der Beurteilung der Steifigkeit der Bretter ist somit eine Unterscheidung nach Wuchsgebiet

ten unnötig, weil die Einflüsse von Wuchsgebiet und Wuchsbedingungen in den Holzeigenschaften bereits enthalten sind. Die gleiche Tendenz stellte Glos [3] bei seinen Festigkeitsuntersuchungen fest, die zeigten, daß die Kenntnis der Holzeigenschaften eine zuverlässige Vorhersage der Festigkeit ermöglicht, und daß eine zusätzliche Unterscheidung nach dem Herkunftsgebiet keine weitere Verbesserung der Vorhersage bewirkt. Die bei den Untersuchungen von Glos ermittelten Regressionsgleichungen bilden auch die Grundlage des in Abschnitt 1 beschriebenen Rechenmodells. Bei Simulationsrechnungen mit diesem Rechenmodell zeigte sich, daß die höchsten Biegefestigkeiten von Brettschichholzträgern dann zu erwarten sind, wenn neben einem Mindest-Elastizitätsmodul noch eine Höchstgrenze für die KAR-Werte dieser Bretter gefordert wird [4]. Diese Grenzwerte können aber nicht willkürlich festgelegt werden, sondern hierbei muß das zur Verfü-

gung stehende Brettmaterial berücksichtigt werden, damit eine ausreichende »Ausbeute« gewährleistet werden kann. Da die Tragfähigkeit von Brettschichholzträgern in besonderem Maße von der Festigkeit der äußeren Zuglamellen bestimmt wird, erscheinen solche Grenzwerte sinnvoll, die für die höchste Festigkeitsklasse noch eine Ausbeute von etwa 15 % ermöglichen. Dadurch wäre das vorhandene Brettmaterial am effektivsten ausgenutzt. In **Tabelle 1** ist die zu erwartende Ausbeute in Abhängigkeit der beiden oben genannten Kenngrößen angegeben.

Zur Zeit erfolgt die Holzsortierung in Deutschland nach DIN 4074, wobei die Astgröße das Hauptkriterium darstellt. Bei den hier durchgeführten Untersuchungen traten die größten KAR-Werte eines Brettes in den meisten Fällen im Bereich von Astansammlungen auf. Für Bretter der Güteklasse I ist für diesen Fall ein Höchstwert von 0,33 für das Maß der Ästigkeit vorgesehen. Die-



E N/mm²	KAR					Σ
	< 0,15	≥ 0,15 < 0,30	≥ 0,30 < 0,45	≥ 0,45 < 0,60	≥ 0,60	
< 7500	0,0	0,6	0,8	0,2	0,0	1,6
≥ 7500 < 10000	0,3	2,0	3,6	1,3	0,1	7,2
≥ 10000 < 12500	2,1	14,6	13,7	1,9	0,1	32,4
≥ 12500 < 15000	4,0	20,2	11,9	1,1	0,0	37,2
≥ 15000 < 17500	2,3	12,3	3,3	0,1	0,0	18,1
≥ 17500 < 20000	0,9	2,0	0,3	0,1	0,0	3,3
≥ 20000	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3
Σ	9,7	51,8	33,6	4,7	0,2	100

Tabelle 1: Auftretenshäufigkeit in % in Abhängigkeit vom Brett-Elastizitätsmodul und dem jeweils größten KAR-Wert (N = 1434 Bretter)

ser Wert ist für durchgehende Äste (vgl. A₂ in Bild 1) identisch mit dem KAR-Wert, für andere Astbilder jedoch unterscheiden sich die beiden Kenngrößen für die Ästigkeit.

Unter der Annahme, daß beide Kenngrößen für die Ästigkeit vergleichbar sind, ist aus Bild 2 zu entnehmen, daß etwa 70 % aller Bretter aufgrund ihrer Ästigkeit in die Güteklasse I eingeordnet werden können.

Weiterhin wird für die Bretter der Gkl. I eine Mindestrohndichte von 0,40 g/cm³ bei einer Holzfeuchte von 20 % gefordert. Dieser Wert entspricht etwa einer Rohndichte von 0,38 g/cm³ bei einer Holzfeuchte von 12 %. Aus Bild 3 ist zu erkennen, daß diese Bedingung von etwa 96 % aller Bretter erfüllt wird und somit kaum eine wirkliche Anforderung an das vorhandene Brettmaterial darstellt.

Diese beiden Vergleiche zeigen, daß eine Holzsortierung nach DIN 4074 das zur Zeit zur Verfügung stehende Brettmaterial nicht sehr effektiv nutzt. So kann zum Beispiel die Tatsache nicht ausgenutzt werden, daß die Tragfähigkeit von Verbindungen bei Hölzern mit höherer Rohndichte zunimmt. Dieses Tragverhalten wird bei den Bemessungsvorschlägen nach dem Entwurf zu EUROCODE 5 [5] bereits berücksichtigt.

Weiterhin führt die derzeit praktizierte visuelle Holzsortierung dazu, daß bei dem in der Bemessung oft maßgebenden Verfor-

Bild 10: Mittlerer Brett-Elastizitätsmodul in Abhängigkeit von der mittleren Brett-Rohdichte; Unterscheidung nach Herkunftsgebiet

mungsnachweis der hohe Elastizitätsmodul vieler Bretter nicht genutzt werden kann. So ist bei Brettschichtholzträgern, die aus beliebigen Lamellen aufgebaut sind, im Mittel nur ein Elastizitätsmodul erreichbar, der dem mittleren Elastizitätsmodul der Bretter entspricht ($= 12\,800\text{ N/mm}^2$). Deutlich höhere Biegesteifigkeiten sind aber durch eine Sortierung des Holzes nach dem Elastizitätsmodul zu erreichen.

Am Beispiel einer Holzsortierung, die die Bretter anhand ihres Elastizitätsmoduls in zwei gleich große Gruppen unterteilt, soll dies verdeutlicht werden. Die erste Gruppe mit Brettern, deren Elastizitätsmodul über $12\,800\text{ N/mm}^2$ liegt, besitzt einen mittleren Elastizitätsmodul von $14\,700\text{ N/mm}^2$, während die zweite Gruppe mit $E < 12\,800\text{ N/mm}^2$ einen mittleren Elastizitätsmodul von $10\,900\text{ N/mm}^2$ aufweist. Ordnet man die Bretter der ersten Gruppe in den jeweils äußeren 25 % der Trägerhöhe an, so ergibt sich ein wirksamer Biege-Elastizitätsmodul des Trägers von $14\,300\text{ N/mm}^2$ (siehe **Bild 11**). Dies entspricht einer Steigerung der Biegesteifigkeit von 12 %.

Schon an diesem einfachen Beispiel wird deutlich, daß durch eine geeignete maschinelle Holzsortierung neben einer hohen Tragfähigkeit auch eine hohe Biegesteifigkeit der Brettschichtholzträger möglich ist.

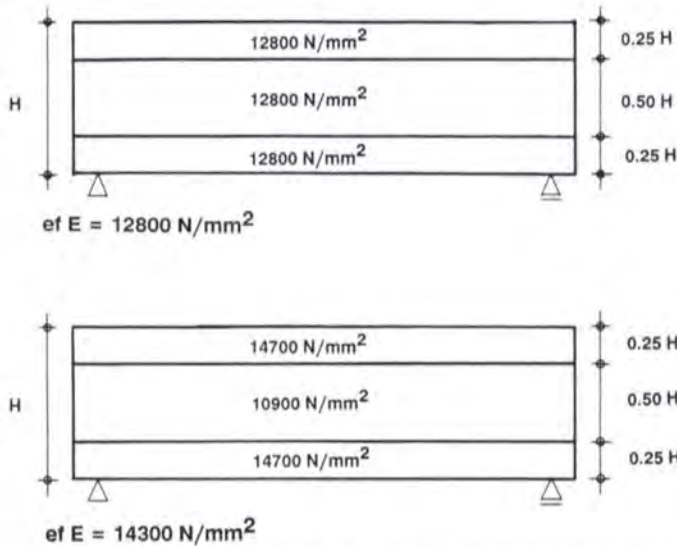


Bild 11: Wirksamer Elastizitätsmodul efE eines Brettschichtholzträgers in Abhängigkeit vom Trägeraufbau

5. Zusammenfassung

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde das in den deutschen Holzleimbauetrieben verarbeitete Schnittholz im Hinblick auf die festigkeitsrelevanten Holzeigenschaften Ästigkeit, Rohdichte und Elastizitätsmodul untersucht. Das untersuchte Brettmaterial stammte aus den drei Haupt-Herkunftsgebieten Deutschland/Österreich, Ostblock und Skandinavien. Im einzelnen ergaben sich folgende Ergebnisse:

- die aus Skandinavien importierten Bretter weisen im Mittel »bessere« Holzeigenschaften auf als die Bretter aus den beiden anderen Herkunftsgebieten;
- in allen Herkunftsgebieten sind sowohl gute als auch schlechte Bretter vorhanden, lediglich die Ausbeute an hochwertigen Brettern ist je nach Herkunftsgebiet unterschiedlich groß;
- innerhalb eines Herkunftsgebietes streuen die Holzeigenschaften erheblich, was in erster Linie auf die unterschiedlichen Wuchsregionen zurückzuführen ist;
- ein Einfluß der Brettbreite auf die untersuchten Holzeigenschaften konnte nicht nachgewiesen werden;
- die zur Zeit praktizierte rein visuelle Holzsortierung nach DIN 4074 bewirkt nur eine sehr grobe Einteilung des vorhandenen Brettmaterials;
- eine verfeinerte Holzsortierung auf der Grundlage der Rohdichte oder des Elastizitätsmoduls der Bretter ermöglicht eine effektivere Ausnutzung dieses Brettmaterials und somit auch eine wirtschaftlichere Bemessung von Holzkonstruktionen.

6. Literatur

- [1] Ehlbeck, J.; Colling, F.; Görlacher, R. 1985: Einfluß keilgezinkter Lamellen auf die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern. Holz als Roh- und Werkstoff 43: 333-337, 369-373 und 439-442
- [2] Görlacher, R. 1986: A dynamic method for determining elastic properties of wood. CIB-W18, Florence, Italy
- [3] Glos, P. 1978: Zur Bestimmung des Festigkeitsverhaltens von Brettschichtholz bei Druckbeanspruchung aus Werkstoff- und Einwirkungskenngrößen. Bericht zur Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke, Heft 35, SFB 96, München
- [4] Ehlbeck, J.; Colling, F. 1987: Die Biegefestigkeit von Brettschichtholzträgern in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Brettlamellen. bauen mit holz 89 (10): 646-655
- [5] Kommission der Europäischen Gemeinschaften 1987: Eurocode Nr. 5. Gemeinsame einheitliche Regeln für Holzbauwerke, Bericht EUR 9887, Luxemburg