



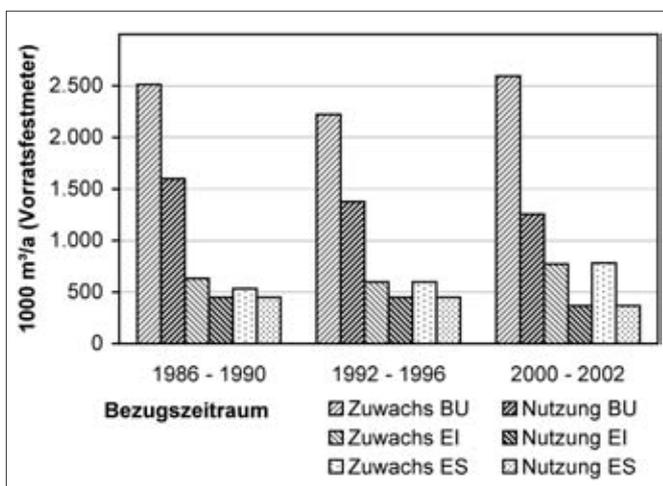
Laubhölzer für lastabtragende Bauteile im Bauwesen

Ulrich Hübner

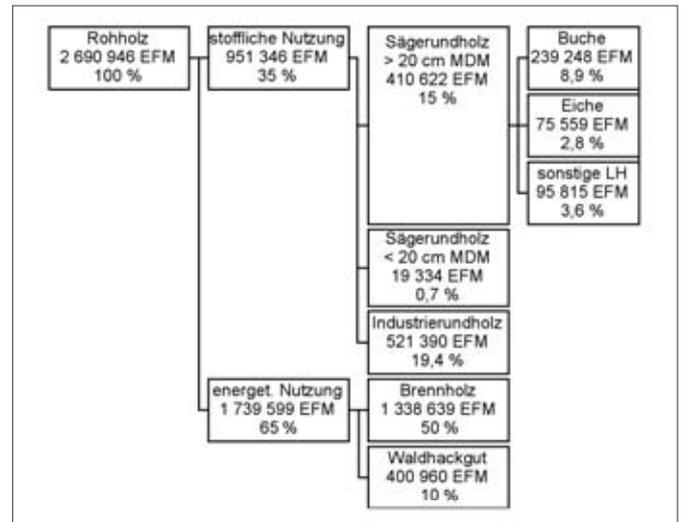
Aus der waldbaulichen Situation heraus ergibt sich die Notwendigkeit der vermehrten Verwendung von Laubholz. Die hervorragenden mechanischen Eigenschaften und die edle Ästhetik sprechen für den Einsatz von einheimischen Laubhölzern für lastabtragende Bauteile im Bauwesen. Im folgenden Beitrag werden der Stand der Forschung im deutschsprachigen Raum sowie die derzeitigen Normen und Zulassungen von Holzprodukten und Verbindungsmitteln erörtert und eine neue maschinelle Sortierung von Lamellen für Brettschichtholz und die Ausbeuten in den Festigkeitsklassen vorgestellt. Einige der bestehenden mechanischen Eigenschaften von Buche und Esche werden im Vergleich zur Fichte erläutert und die Einsatzpotenziale aufgezeigt. An den vorgestellten Referenzobjekten wird der Stand der Bautechnik ablesbar werden.

Vorrat und Nutzung von Laubhölzern in Österreich, Schweiz und Deutschland

In Österreich stieg der Gesamtvorrat von Laubhölzern im Ertragswald von 1986 bis 2002 um 26 %, wobei er bei Buche um 19 %, bei Eiche um 22 % und bei Esche um 65 % zunahm. Der jährliche Zuwachs und die jährliche Nutzung des Gesamtvorrates im Ertragswald sind in der Grafik 1 dargestellt. Die Nutzung von heimischer Buche, Eiche und Esche ging zurück, obwohl der Zuwachs etwa gleich blieb (Buche) oder stieg (Eiche und Esche). Von 1987 bis 2002 wuchs der Vorrat für alle Laubbaumarten in den westlichen Bundesländern Deutschlands um 32 %, die Steigerung belief sich auf 29 % bei Eiche und 26 % bei Buche [7]. In der Schweiz wächst auch deutlich mehr Laubholz zu, als durch Nutzung oder Mortalität ausscheidet, sodass die Laubholzbestände



Grafik 1: Zuwachs und Nutzung von Buche, Eiche und Esche



Grafik 2: Verwendung des Laubrohholzes

im deutschsprachigen Raum überaltern werden. Dies führt beispielsweise bei Buche zur Qualitätsminderung, da der Rotkern ab einem Alter von 100 bis 130 Jahren sprunghaft zunimmt.

In Österreich werden vom Rohholz, d.h. dem berindeten Stamm mit Ästen und Krone, zwei Drittel einer energetischen Nutzung zugeführt. Stofflich genutzt wird derzeit ein Drittel. Nur 15 % werden als Sägerundholz mit einem Mittendurchmesser größer 20 cm weiterverarbeitet (siehe Grafik 2).

Zukunft der Hauptbaumarten Fichte und Buche

Wie in Niedermair [17] ausführlich dargestellt, wird für die Fichte unter den Bedingungen der absehbaren Klimaänderung in Österreich in den mittleren und niedrigen Seehöhen durch die geringeren Niederschläge im Sommer und die steigenden Temperaturen in diesem Jahrhundert vor allem im sommerwarmen Osten, im subillyrischen Hügelland sowie im Donauraum die Stressbelastung stark zunehmen. „Für die Buche, die häufigste Laubbaumart im österreichischen Wald, zeigt sich im Vergleich zur Fichte ein differenzierteres Bild [...]. In Summe aber wird die Buche das für sie potentiell besiedelbare Areal in Österreich als Folge der Klimaänderung ausdehnen können“ [...]. [17]

Laubholz für tragende Konstruktionen

Der ungenutzte Zuwachs und der sich durch die Klimaänderungen verstärkende Trend zu größeren Laubholzbeständen wirft

u. a. die Frage nach neuen Anwendungsgebieten auf. Etwa zwei Drittel des Stammholzes entspricht den Güteklassen B und C und nur etwa 8 % erfüllen die strengen Gütekriterien für A und F. Aus den zu Brettern eingeschnittenen mittleren Qualitäten kann man mit einer maschinellen Festigkeitssortierung hochwertige Lamellen für Brettschichtholz sortieren. Die hervorragenden Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von einheimischen Laubhölzern wie Buche und Esche, aber auch von Robinie ließen sich für hoch beanspruchte Brettschichtholzkonstruktionen in den Nutzungsklassen 1 oder 2, also für allseitig geschlossene und beheizte oder für offene, überdachte Bauwerke nutzen. Bei frei bewitterten Konstruktionen in Nutzungsklasse 3 sind Holzfeuchteschwankungen zwischen 12 und 24 % zu erwarten, welche durch das Quellen und Schwinden der Laubholzquerschnitte ganz erhebliche Spannungen in den Klebefugen verursachen würden und damit die Dauerhaftigkeit in Frage stellen.

Forschungsprojekte im deutschsprachigen Raum

Am Institut für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz und der holz.bau forschungs gmbh wurde die hohe Leistungsfähigkeit und das Potenzial der Anwendung für tragende Bauteile im Bauwesen in folgenden Forschungsprojekten untersucht: „Entwicklung widerstandsfähiger Holzbauprodukte mit dem Hartholz Robinie“ (1999), „Merkmale der Festigkeitssortierung von Buche und Esche“ (2006), „Forschungsaktivitäten zu den Holzarten Buche, Eiche und Esche in der Schweiz mit besonderem Augenmerk auf die Hartholzverwendung im konstruktiven Bereich“ (2006), „Einsatz von Hart-Laubhölzern im Baubereich als stabförmige und flächenhafte Produkte“ (2007) und „Versuchstechnische Untersuchungen zum Thema Verbindungsmittel im Laubholzbereich“ (2007). Ende 2008 wurde „Götterbaum – Ailanthus altissima“ abgeschlossen, bis Mitte 2010 wird im Projekt „Einsatz stabförmiger Verbindungsmittel bei Esche und Buche“ geforscht werden.

Vom Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg wurden in Zusammenarbeit mit weiteren Universitäten das Projekt „Technology for high quality products from Black Locust (Robinia pseudoacacia)“ bearbeitet und 2000 abgeschlossen. Der Abschlussbericht eines weiteren groß angelegten Projekts „Hochwertiges Brettschichtholz aus Buche“, erschien 2003.

An der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg wurde 2008 das Teilprojekt „Buchenstarkholz“ vom Forschungsschwerpunkt „Aktivierung von Wertschöpfungspotenzialen zur nachhaltigen Nutzung und Verwendung von Nadel- und Laubstarkholz“ abgeschlossen und das Promotionsvorhaben von D. Ohnesorge „Untersuchungen zum Verklebungsverhalten von Buchenschnittholz (Fagus sylvatica L.) unter dem Aspekt der Brettschichtholzherstellung“ läuft. Auch die Holzforschung München befasste sich mit der „Entwicklung von Absatzmöglichkeiten für hochwertiges Buchenholz“ (2006 - 2008) und der „Aufnahme der einheimischen Holzarten Ahorn, Esche und Pappel in die europäische Norm EN 1912“ (2006 - 2007). In Deutschland wird das erste Bürogebäude mit einer Tragstruktur aus 81 m³ Laubholz-BSH als „Erweiterungsbau der Bayerischen Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft in Freising“ mit etwa 25 Arbeitsplätzen auf Basis einer Zustimmung im Einzelfall ab Sommer 2009 gebaut werden. Der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Nr. Z-9.1-679 „BS-

Holz aus Buche und BS-Holz-Hybridträger“ hat das Institut für Bautechnik in Berlin bereits zugestimmt.

Stand der Normung bezüglich lastabtragender Bauteile aus Laubholz

Sortierklasse – Festigkeitsklasse

Bereits in der dritten Auflage des Normblattes DIN 1052:1941 [22] wurden für die damals neu eingeführten drei Güteklassen nach DIN 1074 für Buche und Eiche zulässige Spannungen angegeben. In DIN 1052:2008 [23] werden verschiedenen Sortierklassen von Laubhölzern nach DIN 4074-5 [24] Festigkeitsklassen nach prEN 338 [25] zugewiesen. ÖNORM EN 1912/A3 [31] ordnet in Tabelle 2 Sortierklassen von Laubholzarten Festigkeitsklassen zu. Buche und Esche können der Festigkeitsklasse D40 zugeordnet werden, wenn sie der Sortierklasse LS13 bzw. LS10+ entsprechen. Bei Nadelholz entspricht die Sortierklasse S13 der Festigkeitsklasse C30, die charakteristische Biegefestigkeit liegt also bei 30 N/mm². In der Festigkeitsklasse D40 darf mit 40 N/mm² gerechnet werden, also einem Drittel mehr. Beim mittleren Elastizitätsmodul parallel zur Faser schwindet der Vorsprung des Laubholzes D40 mit 13 000 N/mm² gegenüber 12 000 N/mm² beim Nadelholz C30.

KLH®
Massivholz GmbH

ETA-06/0138 EOTA CE		Einfamilienhäuser
Z-9.1-482 DIBt		Mehrfamilien- und Reihenhäuser
AT - 3/06-477 CSTB		Mehrgeschossige Bauten
		Seniorenhäuser
		Bürogebäude
PCC AT.C142.H00041 PCC		Hallenbau
PCC AT.C142.H00264 PG		Kommunalbau...

www.KLH.cc
KLH Massivholz GmbH • A-8842 Katsch / Mur 202
Tel +43 (0)3588/8835-0 • Fax +43 (0)3588/8835-20 • office@klh.at

Verklebung

Baumann [2] berichtet über „Biegungsversuche mit verleimten Stäben aus Eschenholz“ mit vier liegenden bzw. stehenden Lamellen. „Die Leimfugen klafften jedoch an mehreren Stellen“ bei der Verklebung mit warmen Hautleim. Auch die Scherfestigkeit von Kleinproben aus Eschenholz mit Warmleim wurde untersucht und im Mittel mit $3,4 \text{ N/mm}^2$ ermittelt, einem unter der charakteristischen Schubfestigkeit liegenden Wert. DIN 1052:1941 [22] schließt die Laubhölzer bei den Vorschriften für „Leimverbindungen“ nicht aus.

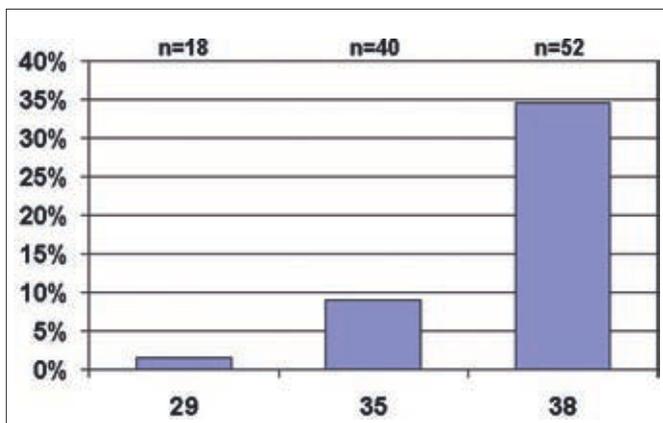
ÖNORM EN 1194 [28] ist derzeit auf Brettschichtholz aus Nadelholz beschränkt. Aicher [1] stellt für die Verklebung von 36 mm dicken Buchenholzlamellen fest: „Die Delaminierungsversuche zeigten, dass nicht rotkernige Lamellen bei geeignet gewählten Verklebungsbedingungen gut im Hinblick auf die Anforderungen an die Klebfugenbeständigkeit des Klebstofftyps II (Anwendungen bei Temperaturen $< 50 \text{ °C}$; relative Luftfeuchten $< 85 \%$) verklebt werden können.“ Ohnesorge, Richter, Becker und Aicher [18] schreiben in der Zusammenfassung zur Verklebung von Buchenlamellen: „Red heartwood did not appear to be a critical issue, which has to be considered. Rather, both lamella thickness as well as the grain orientation of the laminations are more decisive factors. A thickness less than 30 millimetres seems to strongly reduce the delamination“. Für die Verwendung von (rotkernigen) Buchenholzlamellen für Brettschichtholz in den Nutzungsklassen 1 und 2 besteht, wie bereits unter dem Kapitel „Forschungsprojekte ...“ erwähnt, eine Zustimmung im Einzelfall.

Die stark mit der Lamellendicke zunehmende Delaminierung lässt die Herstellung von Balkenschichtholz derzeit als nicht sinnvoll erscheinen (siehe Grafik 3).

Holzschrauben

Schrauben-Zulassungen

Die in Deutschland nötigen Zulassungen lassen die Verwendung von Holzschrauben ab einem Durchmesser von 8 mm nur in Fichte, Tanne und Kiefer zu. Der Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung muss größer als 45° sein. Kleinere Durchmesser müssen in Hölzern mit einer Rohdichte größer 500 kg/m^3 vorgebohrt werden. Die Regelungen in den Zulassungen entsprechen



Grafik 3: Delamination [%] of bond lines versus thickness of lamellas (mm) [18]

bezüglich der Ausziehparameter und Kopfdurchziehparameter denen der DIN 1052 [23].

Eine Ausnahme bilden die Schrauben WT-T-6,5, WT-T-8,2 und WR-T-8,9 der Firma SFS intec GmbH & Co KG (Oberursel) mit der Zulassung Z-9.1-472, welche schon ab einem Winkel von 15° zwischen Schraubenachse und Holzoberfläche (Seitenholz oder Stirnholz) eingebracht werden dürfen. Die charakteristische Rohdichte darf hier zwischen 380 kg/m^3 und 450 kg/m^3 angesetzt werden. In Grafik 4 wurde der axiale Auszieh Widerstand im Seitenholz in Abhängigkeit vom Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung für $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ und $\phi 8,2 \text{ mm}$ aufgetragen. Projiziert man die Schraubenachse auf die Seitenfläche liegt der Winkel β zwischen Projektionslinie und Faserrichtung. In der Nomenklatur der DIN 1052 [23] würden die SFS-Schrauben nach Z-9.1-472 der Tragfähigkeitsklasse 5 entsprechen.

EN 1995-1-1:2004 / A1:2008

Das Änderungsblatt A1 ermöglicht den Einsatz von Holzschrauben auch im Laubholz, allerdings unter der Voraussetzung, dass über die ganze Länge ein Führungsloch gebohrt wird. Dessen Durchmesser soll generell im Gewindeteil dem 0,7-fachen Außendurchmesser und im Schaftteil dem Schaftdurchmesser entsprechen. Bei Rohdichten des Holzes über 500 kg/m^3 sollte der erforderliche Durchmesser für das Vorbohren durch Prüfungen ermittelt werden. Der Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung muss größer als 30° sein.

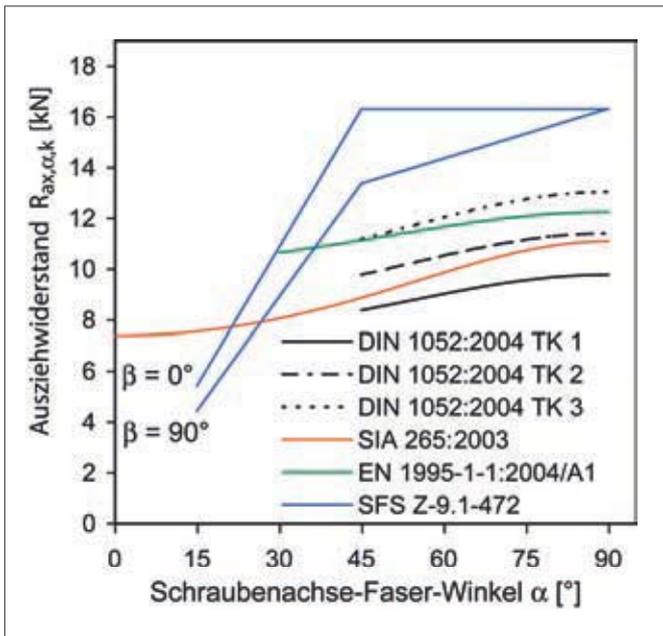
SIA 265:2003

Nach der Schweizer Norm gibt es keine Beschränkungen bezüglich der Rohdichte des Holzes, allerdings soll das Vorbohren nach Herstellerangaben erfolgen. Der Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung kann 0° in den Feuchteklassen 1 und 2 betragen, d.h. bei Holzfeuchten bis zu 20 %. Allerdings ist eine Mindesteinschraubtiefe von 100 mm einzuhalten.

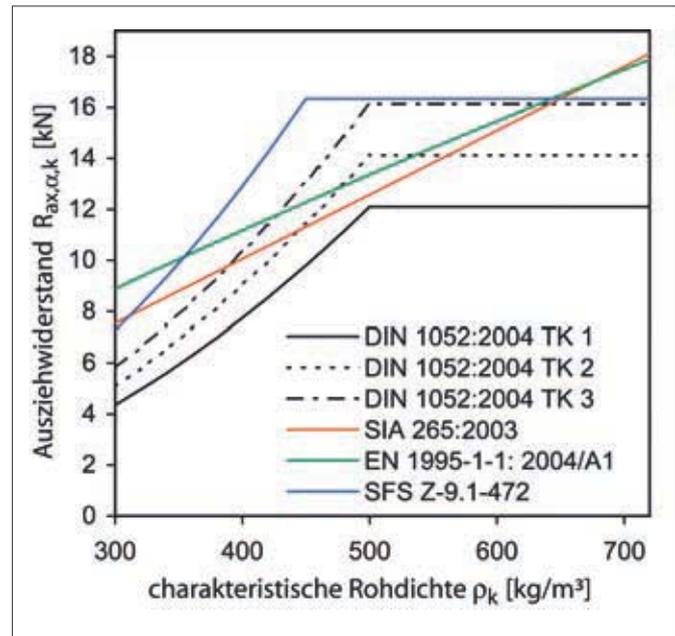
Normenvergleich

In der Grafik 4 sind die charakteristischen Auszieh Widerstände nach verschiedenen Normen und der Zulassung Z-9.1-472 in Abhängigkeit vom Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung dargestellt. Die Sicherheitskonzepte von SIA 265 [34] und EN 1995-1-1 [32] bzw. DIN 1052 [23] unterscheiden sich. Für die Gegenüberstellung wurden die Werte nach Gleichung (102) der SIA 265 [34] mit dem Verhältniswert $\gamma_M/\eta_M = 1,7$ multipliziert. Die unteren Limits für den Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung unterscheiden sich beträchtlich. Der Anstieg der Kurven nach DIN 1052 [23] im Bereich zwischen 0° und 45° entspricht etwa dem Mittel aus SIA 265 [34] und EN 1995-1-1 [32]. In die Normen hat der Winkel β keinen Eingang gefunden und die laut Zulassung Z-9.1-472 höhere axiale Ausziehtragfähigkeit bei $\beta < 90^\circ$ wird in den Normen nicht ausgenutzt. Der starke Abfall der Auszieh Widerstände nach Zulassung Z-9.1-472 von $\alpha = 90^\circ$ auf $\alpha = 0^\circ$ auf rund ein Drittel spiegelt sich in der Kurve nach SIA 265 [34] nicht wider.

In der Grafik 5 sind die charakteristischen Auszieh Widerstände nach verschiedenen Normen und der Zulassung Z-9.1-472 in



Grafik 4: Ausziehparameter in Abhängigkeit des Winkels zwischen Schraubenachse und Faserrichtung ($E_k = 450 \text{ kg/m}^3$, $\varnothing 8,2 \text{ mm}$)



Grafik 5: Ausziehparameter in Abhängigkeit von der charakteristischen Rohdichte ($\alpha = 90^\circ$, $\varnothing 8,2 \text{ mm}$)

Abhängigkeit von der Rohdichte dargestellt. Die DIN 1052 [23] begrenzt die Rohdichte zur Berechnung des Ausziehparameters auf 500 kg/m^3 und unterscheidet in drei Tragfähigkeitsklassen (TK). SIA 265 [34] und EN 1995-1-1 [32] beschränken die Rohdichte nicht. Der Anstieg der drei Kurven bis 500 kg/m^3 nach DIN 1052 [23] ist in Grafik 5 wesentlich steiler, als der nach SIA 265 [34] oder EN 1995-1-1 [32]. Die Unterschiede zwischen SIA 265 [34] oder EN 1995-1-1 [32] betragen in diesem Zahlenbeispiel maximal 18%.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Differenzen zwischen den Normen bzw. zwischen Normen und Zulassungen

beachtlich sind. Im derzeit laufenden Forschungsprojekt wird das Tragverhalten von Holzschrauben in Eschenholz in Abhängigkeit von der Einschraublänge, dem Durchmesser und dem Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung untersucht.

Festigkeitssortierung

Material und untersuchte Sortierkriterien

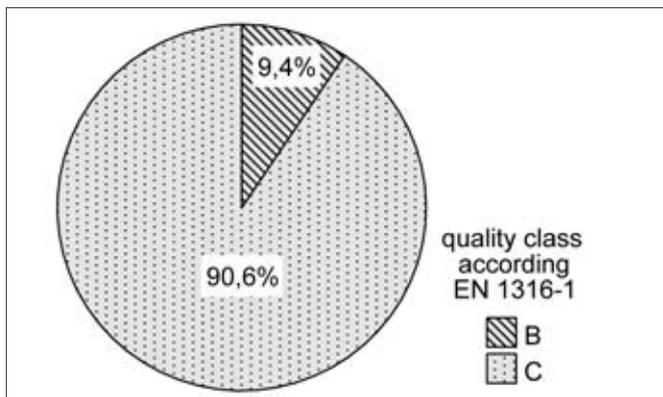
Die Esche und gut ein Drittel der Buche stammen aus der Buckligen Welt (Österreich). Zwei Drittel der Buchenbretter kommen aus verschiedenen deutschen Sägewerken. Die Volumenanteile der Bloche sind nach Güte- und Stärkeklassen in den Grafiken

Internet: www.stoebich.de E-Mail: d.lensing@stoebich.de

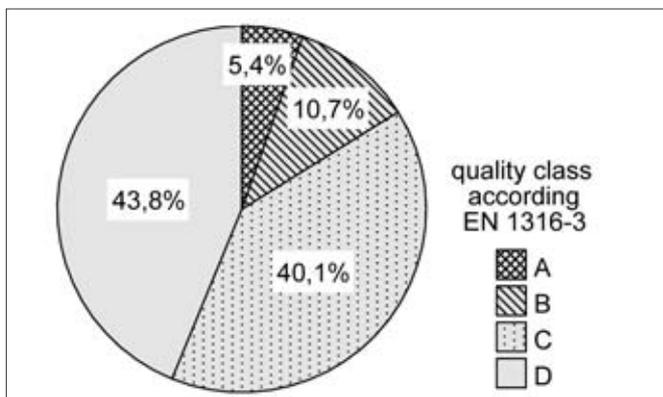
- Textile Feuer- und Rauchschutzabschlüsse
- Flexible und statische Rauchschürzen
- Brandschutzhauben für Elektronikgeräte
- Förderanlagenabschlüsse
- Steuerungen und Notstromanlagen

6 bis 9 dargestellt. Bis auf die deutschen Buchenbloche wurden alle nach ÖNORM EN 1316-1 [29] bzw. ÖNORM EN 1316-3 [30] sortiert.

Im Hinblick auf die Herstellung von Brettschichtholz wurde das Hauptaugenmerk auf Zugfestigkeit und -elastizitätsmodul nach ÖNORM EN 408 [27] von Lamellen mit einem Querschnitt von 30 x 150 mm² aus Buche (405 Stück) und Esche (395 Stück) gelegt. Mit Hilfe der Kombination von nicht zerstörenden und zerstörenden Versuchen wurde die Relevanz verschiedener Sortierkriterien untersucht. Als Sortierkriterien wurden DIN-Einzelast (DEB), DIN-Astansammlung (DAB), Rohdichte, lokaler und



Grafik 6: Güteklassen nach Volumenanteil bei Buche

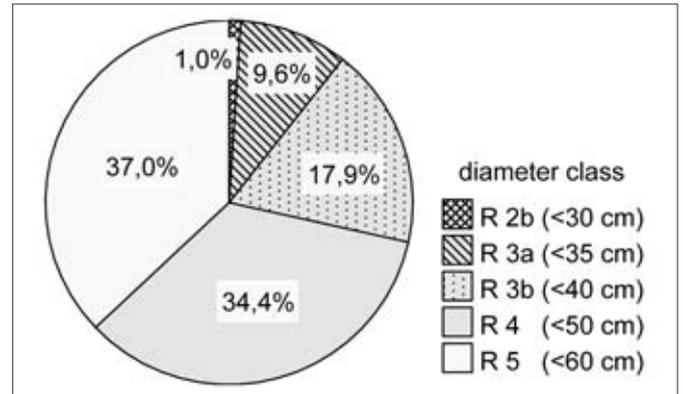


Grafik 7: Güteklassen nach Volumenanteil bei Esche

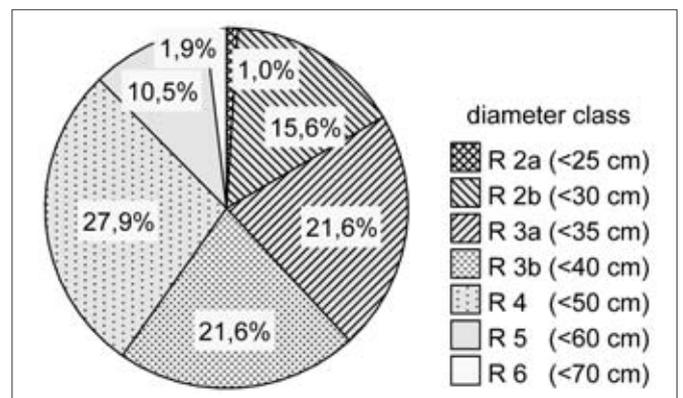
globaler Zug-Elastizitätsmodul, dynamischer E-Modul aus Ultraschalllaufzeit und der ersten Eigenfrequenz der Längsschwingung, Faserneigung nach Ritzmessung, Schwindrissen und Jahrringverlauf, Jahrringbreite, Lage im Stamm, Risse, Baumkante, Mark, Pilz- oder Insektenbefall, Anteil des Farbkerns pro Seite sowie Verformungen wie Verdrehung, Längs- und Querkrümmung bestimmt.

Durchführung der Prüfungen

Von den Stirnseiten wurde je eine Probe zur Bestimmung der Jahrringbreite und der Lage im Stamm geschnitten. Der dynamische E-Modul wurde mit Sylvatest, ViSCAN und Timber Grader bestimmt. Äste und Rindeneinschlüsse wurden ab einem Durch-



Grafik 8: Stärkeklassen nach Volumenanteil bei Buche

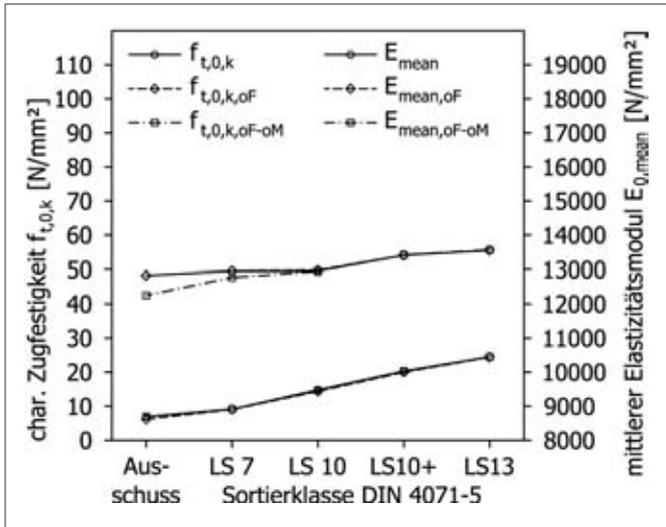


Grafik 9: Stärkeklassen nach Volumenanteil bei Esche

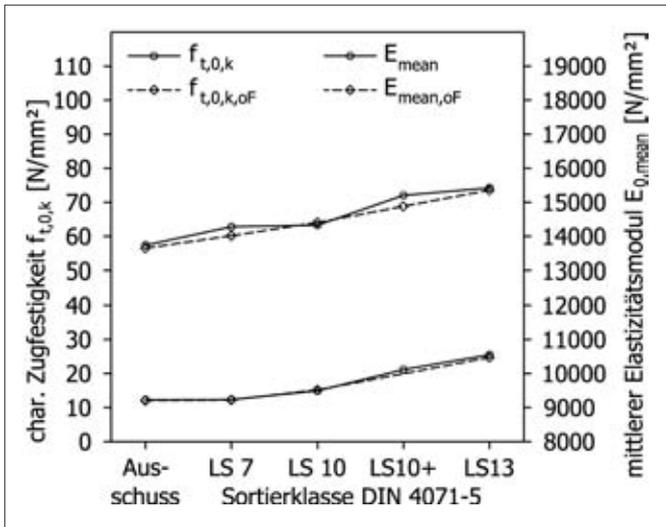
messer von 5 mm markiert, kartografiert und in einer Datenbank erfasst. In den Zugversuchen nach ÖNORM EN 408 [27] betrug die Messlänge für den lokalen E-Modul 750 mm und für den globalen 2160 mm. Anhand der Bruchstücke wurden die Ursachen bestimmt, wobei in sechs Astbilder, vier Arten der Faserneigung und neun weiteren Ursachen unterschieden wurde. Genau vermessen wurden die Lage des Bruchs und – soweit bruchrelevant – die auf die Seitenflächen projizierte maximale Faserneigung der Bruchflächen.

In den Grafiken 10 und 11 ist die charakteristische Zugfestigkeit nach ÖNORM EN 14358 [33] der Sortierklassen nach DIN 4074-5 [24] für Buche und Esche dargestellt. Der geringe Einfluss der Sortierparameter Faserneigung und Markröhre auf die Zugfestigkeit ist an den Kurven $f_{t,05,oF}$ (ohne Faserneigung) und $f_{t,05,oM}$ (ohne Markröhre) ersichtlich. Um die Markröhre befinden sich bei Buche und Esche oftmals Kernrisse, d.h. etwa 3 cm lange Risse in radialer Richtung, die bereits am stehenden Stamm vorhanden sind und sich durch die dunkle Holzfärbung von frischen Bruchflächen abheben. Diese spielen zwar für die Zugfestigkeit keine wesentliche Rolle, schwächen aber den Querschnitt bei Querkzug. Daher sollte kerngetrennt eingeschnitten werden. Der Anstieg der Festigkeit vom Ausschuss bis zu LS10 ist schwach, die Unterscheidung des Elastizitätsmoduls zwischen LS7 und LS10 wenig ausgeprägt.

Die Einordnung in Festigkeitsklassen erfolgt traditionell über die Biegefestigkeit. Das Verhältnis zwischen Zug- und Biege-



Grafik 10: Sortierklassen nach DIN 4074-5 [24], ohne Kriterium Mark für Buche



Grafik 11: Sortierklassen nach DIN 4074-5 [24], ohne Kriterium Mark bzw. Faserneigung für Esche

festigkeit ist in ÖNORM EN 338 [25] mit 0,6 angenommen und über dieses Verhältnis wurde hier die Biegefestigkeit ermittelt. Bei Buche kann danach LS10 die Festigkeitsklasse D24, LS10+ D30 und LS13 D35 zugeordnet werden. Bei Esche entspricht LS7 der Festigkeitsklasse D18, LS10 D24, LS10+ D35 und LS13 D40. Die hier ermittelten Festigkeitsklassen liegen unter denen der in ÖNORM EN 1912/A3 [31] angegebenen. Nach ÖNORM EN 14358 [33] spielt für die Ermittlung der charakteristischen Festigkeitswerte die Anzahl der Proben eine wesentliche Rolle. Jeder Sortierklasse nach DIN 4074-5 [24] wurden mindestens 50 Lamellen zugeordnet, sodass die Bestimmung der charakteristischen Zugfestigkeit auf einer genügend breiten Datengrundlage erfolgte.

Über die Messung der ersten Eigenfrequenz in longitudinaler Richtung kann man mit Hilfe der Rohdichte und der Brettlänge den dynamischen Elastizitätsmodul bestimmen, wie dies beispielsweise mit den Messsystemen TimberGrader oder ViSCAN erfolgt. Untersucht man die Abhängigkeit der Zugfestigkeit vom dynamischen Elastizitätsmodul bei Buche und Esche ergibt sich bei kubischen Funktionen ein Bestimmtheitsmaß von etwa



» STEINBACHER. ENERGIESPAREN IST ZUKUNFT. «

Steinbacher Dämmstoff GmbH · A-6383 Erpfendorf/Tirol · Salzburger Str. 35
T +43/5352/700-0 · F 700-530 · office@steinbacher.at · www.steinbacher.at

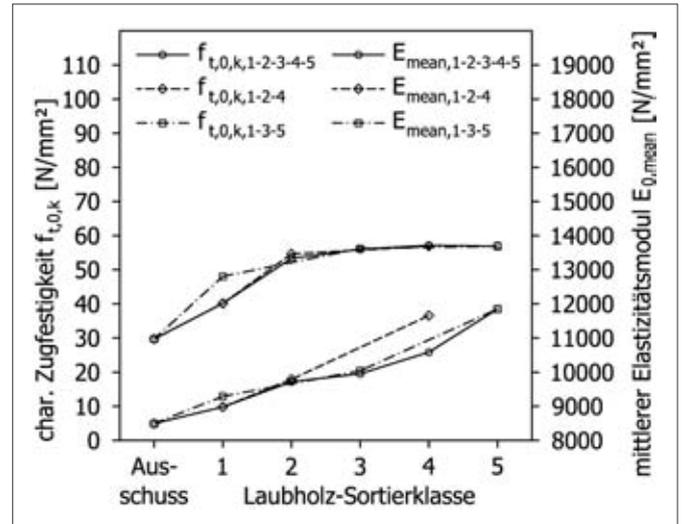
$R^2=0,3$. Man kann also nicht von Astparametern auf den Elastizitätsmodul schließen. Misst man den dynamischen Elastizitätsmodul, können bei der Festigkeitssortierung die einzelnen Klassen gerade im oberen Zugfestigkeitsbereich besser abgegrenzt werden.

Die Grenzen für die Astparameter DEB und DAB sowie den dynamischen Elastizitätsmodul aus der longitudinalen Eigenschwingung wurden so festgelegt, dass in Ausschuss und fünf Sortierklassen unterschieden werden kann (siehe Tabelle 1). Fehlstellen durch Fäule, Bohrlöcher, Rindeneinschlüsse etc. sind wie Äste zu erfassen. Bei etwa der Hälfte der Zugbrüche wurde die maximale 3D-Faserneigung im Bruch bestimmt. Die Korrelation mit der Zugfestigkeit ist sehr schwach ($R^2 < 0,14$). Bei augenfälliger Schrägfaser (größer 1:8) sollte die Lamelle dennoch aussortiert werden. Genaue Kriterien und die Vermessung festzulegen, führte zu komplizierten, aber statistisch kaum nachzuweisenden Kriterien. Hier ist ein mit frischen und geübten Augen schauender Sortierer unersetzlich. Ebenso verhält es sich mit Verdrehung, Schüsselung und Krümmung.

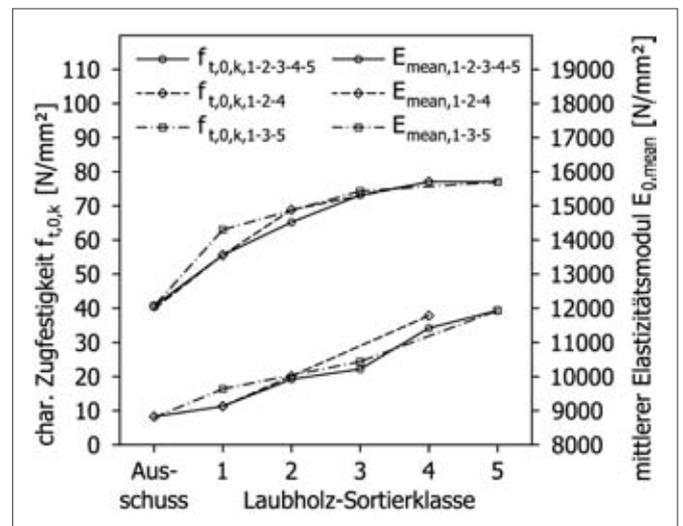
Um den betrieblichen Anforderungen an Ausbeute und gewünschten Festigkeitsklassen gerecht zu werden, können auch mehrere Klassen zusammengelegt werden, wie dies auch in den Grafiken 12 bis 15 für Buche und Esche dargestellt ist. Fehlt eine Sortierklasse in der Bezeichnung von charakteristischer Zugfestigkeit oder dynamischem Elastizitätsmodul, ist die fehlende Klasse in der nächst niedrigeren enthalten, ähnlich wie dies bei LS10+ der Fall ist.

In den Grafiken 12 und 13 ist die Sortierung von Buchenlamellen nach visuellen Kriterien der mit dynamischem E-Modul kombinierten gegenübergestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass die höheren Sortierklassen durch die Einbeziehung des E-Moduls sowohl eine höhere charakteristische Zugfestigkeit als auch einen höheren E-Modul erzielen. Ähnliches gilt für die Sortierung der Eschenlamellen, wobei hier deutlich höhere Werte erzielt werden können. Die Zuordnung der Sortierklassen zu den Festigkeitsklassen ist in Tabelle 2 ersichtlich. Die Klammerwerte geben die Ausbeute bei den untersuchten Lamellen an.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die neuen Sortiergrenzen und die Messung des dynamischen E-Moduls zu einer differenzierteren Sortierung führen. Die Laubholzsortierklassen 4 und 5, denen die Festigkeitsklasse D50 zuzuordnen ist, ist mit guten Ausbeuten zu sortieren. Die Esche liefert die besseren mechanischen Kennwerte.



Grafik 12: Neue Sortierklassen nach visuellen Kriterien für Buche



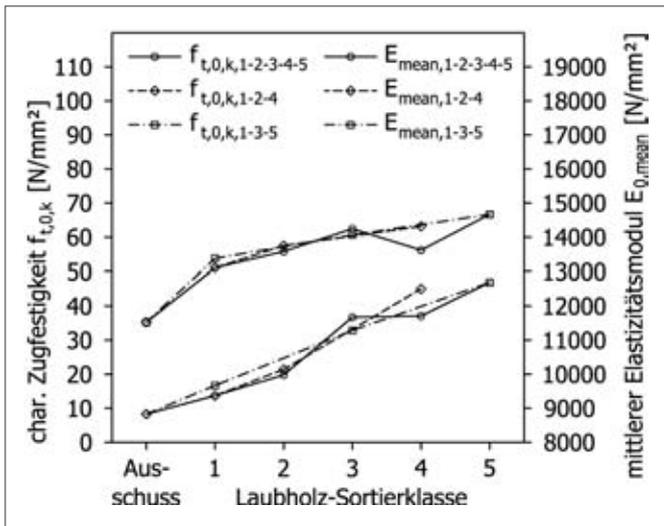
Grafik 13: Neue Sortierklassen mit visuellen Kriterien und dynamischem E-Modul für Buche

Querdruck

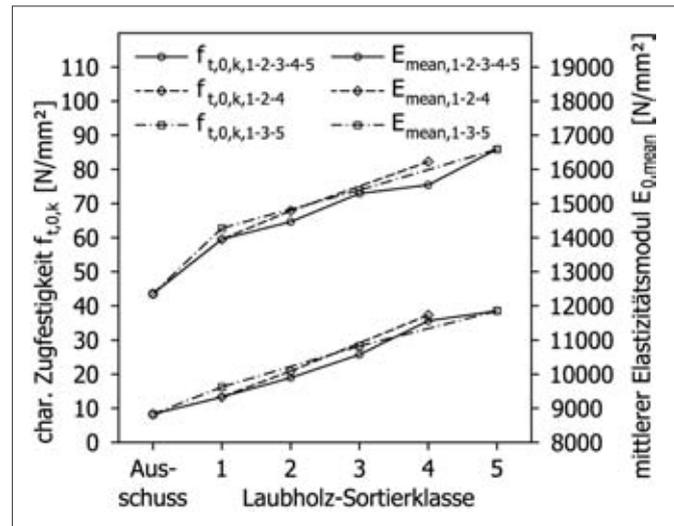
Bei der Querdruckfestigkeit nach ÖNORM EN 408 [27] handelt es sich um keine Festigkeit im Bruchzustand, wie dies bei der Zug- oder Biegefestigkeit der Fall ist. Vielmehr repräsentieren die in ÖNORM EN 338 [25] festgelegten charakteristischen Querdruckfestigkeitswerte die 5%-Quantilwerte einer Querdruck-

Laubholz-sortierklasse	max. (DEB;DAB)	Mark	nagelfeste Faulstellen	dyn. E-Modul [N/mm²]
LHK 1	< 0,50	zulässig	zulässig	> 9000
LHK 2	< 0,30	zulässig	zulässig	> 10500
LHK 3	< 0,20	längsachsenparallel zul.	zulässig	> 12000
LHK 4	< 0,10	nicht zulässig	nicht zulässig	> 13500
LHK 5	< 0,05	nicht zulässig	nicht zulässig	> 15000

Tabelle 1: Sortiergrenzen



Grafik 14: Neue Sortierklassen nach visuellen Kriterien für Esche



Grafik 15: Neue Sortierklassen mit visuellen Kriterien und dynamischem E-Modul für Esche

Laubholz-sortierklasse	Buche visuell	Buche visuell und dyn. E-Modul	Esche visuell	Esche visuell und dyn. E-Modul
LHK 1	- (13 %)	D18 (25 %)	D18 (8 %)	D18 (16 %)
LHK 2	D30 (20 %)	D30 (33 %)	D30 (26 %)	D40 (28 %)
LHK 3	D40 (19 %)	D40 (11 %)	D35 (22 %)	D40 (18 %)
LHK 4	D50 (5 %)	D50 (5 %)	D50 (9 %)	D50 (11 %)
LHK 5	D50 (31 %)	D50 (9 %)	D50 (30 %)	D50 (21 %)

Tabelle 2: Laubholzsortierklasse und Festigkeitsklasse (Ausbeute)

spannungsverteilung, die an einem bestimmten Punkt der Last-Verformungs-Kurve auftritt. An diesem Punkt kommt es zu ersten plastischen Verformungen, wobei die Ermittlung nach ÖNORM EN 408 [27] sicherstellt, dass bei verschiedenen Holzarten ein ähnlicher Verformungszustand auf der Last-Verformungs-Kurve zur Auswertung herangezogen wird. Dies wäre beispielsweise bei der Vorgabe einer bestimmten Stauchung oder einer absoluten Verformung nicht der Fall. Legt man die Querdruckspannung am Ende des linear-elastischen Bereiches zugrunde, erhöht sich die Querdruckspannung bis zum Erreichen des Auswertepunktes etwa um ein Drittel bei gleichzeitiger Verdopplung der Stauchung.

Neben der charakteristischen Querdruckfestigkeit interessiert vor allem die Lastausbreitung innerhalb des Bauteils mit ein- oder beidseitigem Vorholz, die durch den Faktor $k_{c,90}$ und eine rechnerische Vergrößerung der Lasteinleitungsfläche in den Berechnungsvorschriften modelliert wird. Für die Kalibrierung eines Finite-Elemente-Modells wurden Prüfungen an 24 bzw. 26 Schwellen ($B \times H \times L = 140 \times 245 \times 850 \text{ mm}^3$) aus Buchen- bzw. Eschen-Brettschichtholz durchgeführt.

Durchführung der Prüfungen

Für die 103 Probekörper für die versuchstechnische Ermittlung der Querdruckfestigkeit aus Buchen- bzw. die 111 aus Eschen-

Brettschichtholz ($B \times H \times L = 143 \times 245 \times 175 \text{ mm}^3$) wurden 27,2 mm starke Lamellen mit Einkomponenten-Polyurethan-Klebstoff PUR-BOND HB 530 verklebt. Zuvor waren die Lamellen nach dem Einschnitt in Rift (R), Halbriфт (HR) und Seitenware (S) unterteilt und innerhalb dieser Gruppen nach der Rohdichte sortiert worden. Der Mittelwert der Rohdichte betrug für alle Buchenquader 705 kg/m^3 (COV = 6,7 %) und bei den Eschenquadern 763 kg/m^3 (COV = 5,8 %). Die Krafteinleitung erfolgte weggesteuert mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit, wobei die Maschinengeschwindigkeit so gewählt wurde, dass die geschätzte Querdruckkraft $F_{c,90,max,est}$ innerhalb der in ÖNORM EN 408 [27] geforderten $300 \pm 120 \text{ s}$ erreicht wurden.

Die Messung des Stauchungsweges erfolgte bei den Quadern mittig an den Längsseiten über eine Messlänge von 147 mm mit induktiven Wegaufnehmern.

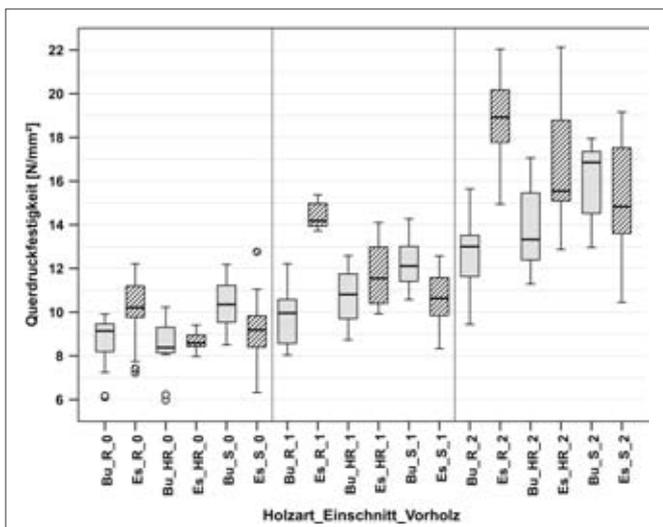
Die Verklebung der Schwellen fand so wie für die Quader beschrieben statt, die Sortierung der Lamellen erfolgte jedoch nur nach dem Einschnitt. Die Lasteinleitungsfläche bei den Druckprüfungen mit den Schwellen war ebenfalls $25\,000 \text{ mm}^2$ groß und wurde durch das Auflegen einer Stahlplatte bündig mit der einen Stirnseite der Schwelle bzw. mit einem Abstand von 164 mm vom anderen Ende realisiert.

Ergebnisse

Die Querdruckfestigkeit wurde im Mittel für Buchen-BSH zu 9,3 N/mm² und für Eschen-BSH zu 9,6 N/mm² errechnet, wobei die Variationskoeffizienten 15,9 % bzw. 15,0 % betragen. Erwartungsgemäß lieferten die Probekörper aus Halbrift bei Buche und Esche die geringsten Querdruckfestigkeiten. Seitenware war bei Buche fester als Riftware, bei Esche verhielt es sich umgekehrt. In der Grafik 16 stellt eine Box die mittleren 50 % der Querdruckfestigkeit einer Serie dar, wobei der Median als horizontaler schwarzer Strich dargestellt wurde. Im linken Drittel der Grafik 16 sind die Ergebnisse der Prüfungen der Quader wiedergegeben. Die Normalverteilung nähert sich der empirischen Verteilung am besten an. Die charakteristische Querdruckfestigkeit wurde nach Hartung [13] für Buchen-BSH zu 6,1 N/mm² und für Eschen-BSH zu 7,2 N/mm² berechnet, da ÖNORM prEN 384:2008 für die Ermittlung der charakteristischen Querdruckfestigkeit nicht anwendbar ist und EN 14358 [33] von einer Lognormalverteilung ausgeht. Nach ÖNORM EN 338 [25] ist die charakteristische Querdruckfestigkeit bereits in der untersten Festigkeitsklasse D18 mit $f_{c,90,k} = 7,5 \text{ N/mm}^2$ größer. ÖNORM EN 1194 [28] ist derzeit auf BSH aus Nadelholz beschränkt, es ist also auch kein Wert für die charakteristische Querdruckfestigkeit für Laubholz-BSH gegeben. Im Analogieschluss zu den Nadelhölzern scheint EN 384 auf der unsicheren Seite zu liegen, wobei kein Bruchversagen, sondern lediglich höhere Verformungen zu befürchten sind.

Bei Buchen- bzw. Eschen-BSH ist die charakteristische Querdruckfestigkeit mit 6,1 N/mm² bzw. 7,2 N/mm² gegenüber der von GL28h aus Nadelholz mit 3,0 N/mm² nach ÖNORM EN 1194 [28] mehr als doppelt so hoch.

Ermittelt man die Querdruckspannung für die Schwellen nach dem gleichen Verfahren wie in ÖNORM EN 408 [27] für die Quader beschrieben, ergeben sich für ein- bzw. beidseitiges Vorholz die in Grafik 16 in der Mitte bzw. rechts dargestellten Boxplots. Bei Buchenholz steigen die Werte von Rift über Halbrift zu Seitenware, bei Eschenholz ist es umgekehrt. Der Faktor $k_{c,90}$ gibt das Verhältnis zwischen scheinbarer Querdruckfestigkeit mit Vorholz zur Querdruckfestigkeit an und beträgt bei Buche und einseitigem



Grafik 16: Boxplot zur Querdruckfestigkeit in Abhängigkeit von Holzart, Einschnitt und Vorholz

Vorholz 1,2 und bei beidseitigem 1,5. Beim Eschen-BSH wurden für $k_{c,90}$ 1,2 bzw. 1,6 festgestellt.

Aus der Messung des Stauchungsweges bei den Quadern konnte für Buchen-BSH ein mittlerer Querdruck-Elastizitätsmodul von 1046 N/mm² (COV = 26 %) und für Eschen-BSH 1177 N/mm² (COV = 18 %) errechnet werden. Die 5%-Quantil-Werte nach Hartung [13] ergaben sich für Buche bzw. Esche zu 730 N/mm² bzw. 824 N/mm².

Lochleibungsfestigkeit

Whale, Smith und Hilson [21] führten an vier Nadelholz- und zwei tropischen Laubholzarten 1394 Lochleibungsversuche bis zu einem Verformungslimit von 2,1 mm durch. Von Ehlbeck und Werner [9] wurden 154 Versuche an sechs Laubholzarten, davon 55 mit Buche und 20 mit Eiche nach ÖNORM EN 383 [26] die Lochleibungsfestigkeit bei einer maximalen Verformung von 5 mm ermittelt. Die damals gültige DIN 1052-2:1988 definierte Stabdübel ab 8 mm, somit hatten Ehlbeck und Werner [9] keine Versuche mit kleineren Durchmessern vorgesehen. Leijten [16] stellte fest: „The embedment strength expressions in Eurocode 5 are based on a comprehensive study by Whale and Smith (1986b) and Ehlbeck and Werner (1992)“. Nach dieser Aussage basieren die Bemessungsgrundlagen in ÖNORM EN 1995-1-1 [32] auf den umfangreichen und grundlegenden Erfahrungen mit Lochleibungsversuchen an Nadelholz, Tropenholz und lediglich 75 Versuchen mit zwei europäischen Laubholzarten.

Bei Esche wurden die Verbindungsmittel-Durchmesser 6 mm, 8 mm, 12 mm, 16 mm und 20 mm jeweils mit den Kraft-Faser-Winkeln von 0°, 30°, 60° und 90° geprüft. Zum Vergleich wurden für Buche und Robinie Proben mit einem Verbindungsmittel-Durchmesser von 12 mm unter den gleichen Winkeln untersucht.

In Grafik 17 sind die mit Eschenholz experimentell ermittelten Lochleibungsfestigkeiten aus den 776 Versuchen nach ÖNORM EN 383 [26] dargestellt. Die Boxplots mit den verschiedenen Durchmessern sind nach Kraft-Faser-Winkeln gruppiert. Bei gleichem Kraft-Faser-Winkel ist die abnehmende Lochleibungsfestigkeit mit steigendem Durchmesser deutlich erkennbar, wobei sich dieser Trend mit zunehmendem Kraft-Faser-Winkel noch verstärkt. Für den Durchmesser 6 mm ergibt sich ein Anstieg der Lochleibungsfestigkeit mit der Zunahme des Kraft-Faser-Winkels, bei 8 mm und 12 mm herrscht keine einheitliche Tendenz. Bei den größeren Durchmessern 16 mm und 20 mm kehrt sich der Trend zu einer Abnahme mit steigendem Kraft-Faser-Winkel um.

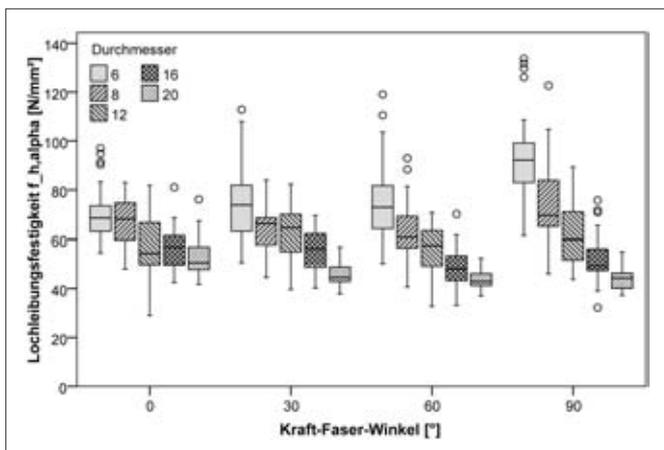
Es wurden Regressionsanalysen unterschiedlicher Berechnungsmodelle für die Lochleibungsfestigkeit der verschiedenen Stabdübeldurchmesser und Kraft-Faser-Winkel vorgenommen. Modifiziert man die Koeffizienten des Berechnungsmodells nach EN 1995-1-1 [32] ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von 0,697. Die Gleichung (1), in der sowohl Rohdichte als auch Durchmesser mit einem Exponenten eingehen, beschreibt die Versuchsergebnisse besser; das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,747. Um die Gleichung (2) für die charakteristische Lochleibungsfestigkeit zu erhalten, wurde der Vorfaktor solange abgemindert, bis nach dem Einsetzen der charakteristischen Rohdichte nur noch 5 %

der experimentellen Ergebnisse unter den berechneten Ergebnissen lagen.

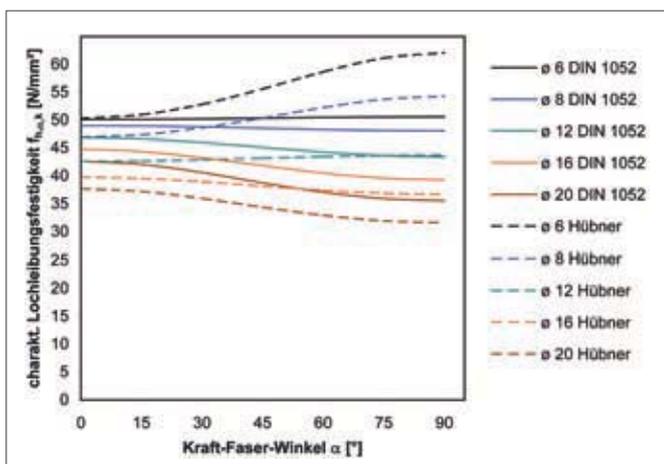
In Grafik 18 ist die charakteristische Lochleibungsfestigkeit von Eschenholz in Abhängigkeit vom Durchmesser des Stabdübels und dem Kraft-Faser-Winkel nach Gleichung (2) und EN 1995-1-1 [32] dargestellt. Legt man Gleichung (2) zugrunde, unterschreiten die Werte des Berechnungsmodells nach EN 1995-1-1 [32] im Extrem um 23 % und überschreiten sie um maximal 16 %.

$$(1) \quad f_{h,\alpha} = \frac{0.0243 \cdot \rho^{1.61} \cdot d^{-0.240}}{(0.647 + 0.0273 \cdot d) \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$(2) \quad f_{h,\alpha,k} = \frac{0.0229 \cdot \rho_k^{1.61} \cdot d^{-0.240}}{(0.647 + 0.0273 \cdot d) \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$



Grafik 17: Boxplots der nach Winkeln gruppierten Lochleibungsfestigkeiten für Esche



Grafik 18: Charakteristische Lochleibungsfestigkeit in Abhängigkeit vom Durchmesser des Stabdübels und dem Kraft-Faser-Winkel

Referenzobjekte

In der Schweiz wurde bereits seit den 1980er Jahren bezüglich der Verklebung, den mechanischen Verbindungsmitteln und den geeigneten Konstruktionen geforscht (beispielsweise Bosshard [6], Gehri [12]). Die Mehrzweckhalle in Arbon/Schweiz (1984) mit einem Raumbachwerk, in dem etwa ein Drittel der Stäbe aus Buchen-BSH bestehen, war eines der gebauten Resultate dieser wissenschaftlichen Arbeit.

Die Schreinerei Schnidrig (Visp, Schweiz) erstellte 2001 die Tragstruktur ihrer neuen Fertigungshalle aus Eschen-BSH (siehe Abbildung 1), welches von der Firma Neue Holzbau AG (Lungern, Schweiz) gefertigt wurde. Beim Erhaltungs- und Innovationszentrum in Frutigen (siehe Abbildung 2) wurden 2005 von der Neue Holzbau AG die Stützen und Riegel der Zweigelenrahmen mit eingeklebten Gewindestangen verbunden, wobei die Ecken mit Eschenlamellen verstärkt wurden. Dabei wurden Fichten- und ein Eschenbrett mit Keilzinkung zu Lamellen



Abbildung 1: Fertigungshalle der Schreinerei Schnidrig in Visp (Schweiz) mit einer Tragstruktur aus Eschen-BSH



Abbildung 2: Rahmenecke des Erhaltungs- und Innovationszentrum in Frutigen (Schweiz) mit Eschenholzverstärkung

verbunden und mit diesen partiell verstärkte BSH-Träger aufgebaut. Aus Eiche werden von der Firma Maderas Gámiz S.A. (Santa Cruz de Campezo, Spanien) Leimholzbinder hergestellt, indem Einschichtplatten mit stehender Keilzinkung verklebt und beispielsweise für sichtbare Dachstühle verwendet (siehe Abbildung 3) werden.

Ausblick

Brettschichtholz aus Laubholz hat eine angenehme und edle Oberfläche, mit der sich Werte wie Nachhaltigkeit, Natürlichkeit und Solidität elegant transportieren lassen. Diese Eigenschaften prädestinieren es für Architekten, die diese Vokabeln in ihre Sprache integrieren. Für Produzenten wird sich durch die Verwendung von Laubholz ein neuer Markt für hochwertige Produkte ergeben. Die Forschenden werden, soweit die Projektanträge Unterstützung finden, nicht nur die mechanischen Verbindungsmittel optimieren, um das hohe Potenzial dieses einheimischen Werkstoffes optimal nutzen zu können.

Literatur- und Normenverzeichnis

Literaturverzeichnis

- [1] Aicher, S.; Reinhardt, H.-W.: Delaminierungseigenschaften und Scherfestigkeiten von verklebten rotker-nigen Buchenholzlamellen. Holz als Roh- und Werkstoff 65 (S. 125-136)



Abbildung 3: Traditionelle Dachstuhlform mit Leimholz aus Eiche (Maderas Gámiz S.A., Spanien)

- [2] Baumann, R.: Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfungsanstalt an der TH Stuttgart. Reihe Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Heft 231, Verlag des Vereines deutscher Ingenieure, Berlin 1922.
- [3] Bejtka, I.: Verstärkungen von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben. Band 2 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe, 2005.
- [4] Blaß, H. J.; Bejtka, I.; Uibel, T.: Tragfähigkeit von Verbindungen mit selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde. Band 4 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe, 2006.
- [5] Blaß, H. J.; Fellmoser, P.: Druckrohrleitungen aus Holz. Band 3 der Reihe Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe, 2006.
- [6] Bosshard, H. H.; Gehri, E.; Schmider, P.: Verleimbarkeit von Buchenholz. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung. Rechenschaftsbericht, Zürich 1980.
- [7] BWI 2: Die zweite Bundeswaldinventur. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn 2002.
- [8] Egner, K.; Kolb, H.: Geleimte Träger und Binder aus Buchenholz. In: Bauen mit Holz Nr. 4 (S. 147-154), 1966.
- [9] Ehlbeck, J.; Werner, H.: Tragfähigkeit von Laubholzverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe, Abt. Ingenieurholzbau, 1992.
- [10] Frese, M.: Brettschichtholz aus Buche für tragende Zwecke im Bauwesen. Dissertation, TU Karlsruhe, 2006.
- [11] Frühwald, A.; Ressel, J. B.; Bernasconi, A.: Hochwertiges Brettschichtholz aus Buche, Zentrum Holzwirtschaft, Universität Hamburg, 2003.
- [12] Gehri, E.: Fachwerkträger aus Buche und Fichte mit Stahlknotenplatten in eingeschlitzten Hölzern. Int. Bericht 82-1, Institut für Baustatik und Stahlbau, ETH Zürich, 1982.
- [13] Hartung, J.; Elpelt, B.; Klösener, K.-H.: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. 13. unwesentl. veränd. Aufl., R. Oldenbourg, München-Wien 2002.
- [14] Hübner, U.; Bogensberger, T.; Schickhofer, G.: Embedding strength of European hardwoods. Proceedings of CIB-W18, Paper 41-7-6, St. Andrews (Canada) 2008.
- [15] Jablonkay, P.: Schrauben unter Ausziehbeanspruchung. Diplomarbeit. Prof. für Holztechnologie, ETH Zürich, 1999.
- [16] Leijten, A.J.M.; Köhler, J.; Jorissen, A.J.M.: Review of probability data for timber connections with dowel-type fasteners. Proceedings of CIB-W18, Paper 37-7-13, Edinburgh 2004.
- [17] Niedermair, M.; Lexer, M. J.; et al: Klimawandel und Artenvielfalt: Wie klimafit sind Österreichs Wälder, Flüsse und Alpenlandschaften? Österreichische Bundesforste AG – Kompetenzfeld Natur- und Umweltschutz, Wien 2007.
- [18] Ohnesorge, D.; Richter, K.; Becker, G.; Aicher, S.: Adhesion behaviour of glued laminated timber from European Beech. Enhancing bondline performance, Final Conference of COST E34 Bonding of Timber, Sopron 2008.
- [19] Reichard, M.: Collage du hêtre, du robinier et du mélèze en lamellé collé. Diplomarbeit, ETH Zürich, 1986.

- [20] Schneider, P.: Auszugsfestigkeit von EJOT-Rahmenschrauben, Eidgenössische Technische Hochschule.
- [21] Whale, L.R.J.; Smith, I.; Hilson, B.O.: Behaviour of Nailed and Bolted Joints under Short-Term Lateral Load. Proceedings of CIB-W18, Paper 19-7-1, Florenz 1986.

Normenverzeichnis

- [22] DIN 1052: Holzbauwerke – Berechnung und Ausführung, 1941.
- [23] DIN 1052: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau, Dezember 2008.
- [24] DIN 4074-5: Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit. Teil 5: Laubschnittholz, Dezember 2008.
- [25] ÖNORM EN 338: Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen, August 2008.
- [26] ÖNORM EN 383: Holzbauwerke – Prüfverfahren – Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit und Bettungswerte für stiftförmige Verbindungsmittel, März 2007.
- [27] ÖNORM EN 408: Holzbauwerke – Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften, April 2005.
- [28] ÖNORM EN 1194: Holzbauwerke – Brettschichtholz – Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte, September 1999.
- [29] ÖNORM EN 1316-1: Laub-Rundholz – Qualitäts-Sortierung. Teil 1: Eiche und Buche, Mai 1997.

- [30] ÖNORM EN 1316-3: Laub-Rundholz – Qualitäts-Sortierung. Teil 3: Esche und Ahorn, Dezember 1997.
- [31] ÖNORM EN 1912/A3: Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen – Zuordnung von visuellen Sortierklassen und Holzarten (Änderung), Jänner 2009.
- [32] ÖNORM EN 1995-1-1: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Jänner 2006.
- [33] ÖNORM EN 14358: Holzbauwerke – Berechnung der 5%-Quantile für charakteristische Werte und Annahmekriterien für Proben, April 2007.
- [34] SIA 265: Holzbau, 2003.

Quellenverweis

Die Grafiken 1 und 4 bis 18 wurden vom Autor beigestellt. Grafik 2: Johannes Prem, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung IV1. Grafik 3: Ohnesorge, Richter, Becker, Aicher [17]. Abbildungen 1 und 2: Bruno Abplanalp, Neue Holzbau AG, Schweiz. Abbildung 3: Felix Flühöh, Maderas Gámiz S.A., Spanien

Dipl.-Ing. Ulrich Hübner,
Wissenschaftlicher Mitarbeiter der holz.bau forschungs gmbH im
Bautechnikzentrum der TU Graz.
huebner@tugraz.at

**Atmungsaktive
Wärmedämmung**

**70 %
ENERGIE
GARANTIE**

Nur mehr 70 % heizen und kühlen!
Mehr Infos zur Energiegarantie unter baumit.com



open[®]reflect
Die KlimaFassade

- 23 % mehr Dämmleistung
- Behagliches Raumklima
- Energie- und kostensparend

Ideen mit Zukunft.