

Ist Birke die bessere Buche? Mechanische Eigenschaften und Referenzprojekte aus BIRKE|BSH&BSP

Is Birch the better Beech? Grading, processing and mechanical properties of birch Glulam and birch CLT

Le bouleau, du hêtre en mieux ? Tri, transformation et qualités mécaniques du lamellécollé et du CLT en bouleau

Georg Jeitler
HASSLACHER NORICA TIMBER
Sachsenburg, Österreich



Manfred Augustin
holz.bau forschungs gmbh
Graz, Österreich



Ist Birke die bessere Buche?

Mechanische Eigenschaften und Referenzprojekte aus BIRKE|BSH&BSP

1. Einleitung

HASSLACHER NORICA TIMBER ist eine holzverarbeitende Industrie mit etwa 1.200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und Produktionsstandorten in Österreich, Deutschland, Slowenien und Russland. In den Forsten rund um das Sägewerk «HaslacherLes» in Malaya Vishera/Russland ist die Holzart Birke weit verbreitet und wächst in einschneidenden Qualitäten und Mengen. Rund 30 % der Waldfläche sind dort mit der Holzart Birke – neben Fichte, Kiefer und Pappel – bedeckt.

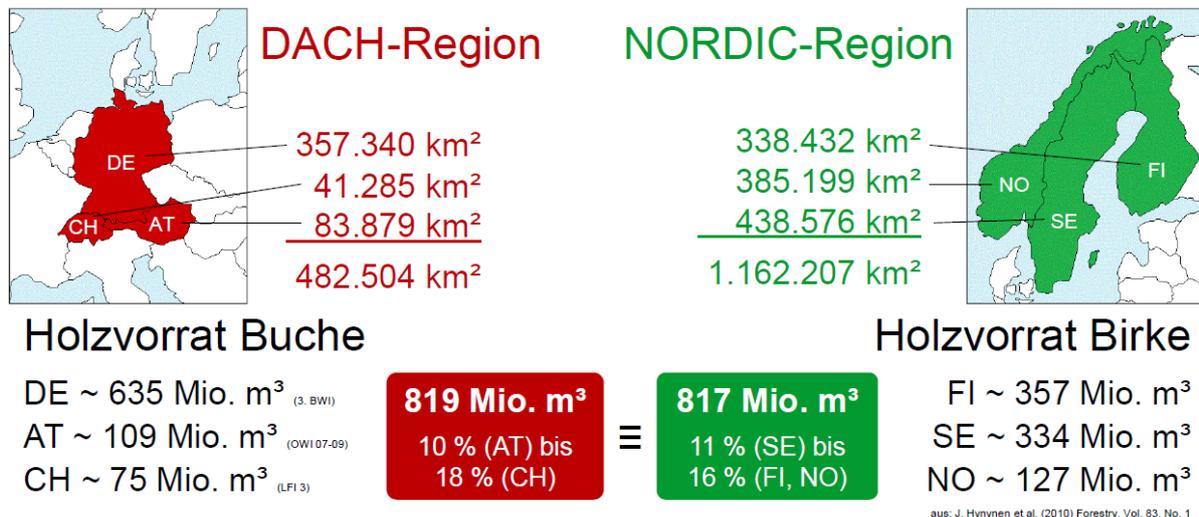


Abbildung 1: Holzvorrat an Buche in der DACH-Region im Vergleich zur Birke in der NORDIC-Region [17].

Abbildung 1 zeigt die Vorratsfestmeter an Buche und Birke in der DACH- und NORDIC-Region. Die größten Vorkommen der Birke liegen jedoch in Nordamerika und Russland, diese Regionen sind in Abbildung 1 nicht erfasst.

Die Holzart Birke (lat.: *Betula pendula*) wird vorwiegend für die Produktion von Furnierschichtholz genutzt. Für diese Anwendung können allerdings nur Stämme mit geringer Abholzigkeit und hoher Qualität verwendet werden. Der Großteil der vorkommenden Birke wird indessen keiner wirtschaftlichen Nutzung zugeführt.

Nach einer ersten Anwendung im Zuge des mehrgeschoßigen Wohnbaues «massive living» in Graz und den damit verbundenen Tastversuchen zur Ermittlung der Festigkeit, Steifigkeit und vor allem der Verklebbarkeit, wurde das hohe Potential der Holzart Birke erkannt und ein weiterführendes Projekt BIRKE|BSH&BSP formuliert und umgesetzt. Das Ziel dieses Forschungsprojektes lag darin, die Holzart Birke für die industrielle Weiterverarbeitung zu Brettschichtholz und Brettspertholz zu untersuchen, die mechanischen Eigenschaften der angeführten Bauprodukte zu ermitteln und somit die Grundlagen für einen möglichen Einsatz im Baubereich aufzubereiten. Die Herausforderungen lagen dabei im Bereich der Trocknung, der Festigkeitssortierung und in der Verklebung, sowohl in der Keilzinkenverbindung als auch in der Fläche. Der Hauptteil des Projektes konzentrierte sich auf die Ermittlung der mechanischen Eigenschaften mit dem Ziel ein vollständiges Festigkeits- und Steifigkeitsprofil für lastabtragende Brettschichtholz- und Brettspertholzbauteile aus Birke definieren zu können. Die dazu erforderlichen Prüfungen wurden gemeinsam mit dem Kompetenzzentrum holz.bau forschungs gmbh in Graz sowie mit dem Institut für Holzbau und Holztechnologie an der Technischen Universität Graz durchgeführt.



Abbildung 2: Wände mit Brettsperrholz aus Birke, eingesetzt beim Projekt «massive living» (2012) in Graz, zeigen die optische Vielfalt der Holzart Birke: Birke mit Braunkern (links) und Birke weiß/blank (rechts).

2. Stand der Forschung und der Technik

Die meist verwendete Holzart für die Produktion von Brettschichtholz und Brettsperrholz ist die Nadelholzart Fichte. In geringeren Mengen werden auch Kiefer und Tanne sowie für spezielle Oberflächen auch Lärche und Zirbe verwendet. Liegen die Produktionsmengen bei Brettschichtholz (BSH) in Europa schon seit Jahren auf konstantem Niveau von rund 3,0 Mio. m³, so zeigt sich im Bereich des Brettsperrholzes (BSP) ein stetiger Anstieg der Produktionsmengen. Wurden im Jahr 2008 noch 200.000 m³ BSP produziert, so werden es 2016 bereits rund 550.000 m³ sein [18]. Laubhölzer werden dafür nur in verschwindend geringen Mengen oder bei Spezialanwendungen in Form von Verstärkungsmaßnahmen eingesetzt.

Erste Arbeiten für den Einsatz des Laubholzes Buche wurden von Egner und Kolb [1] und Gehri [2] durchgeführt. Frühwald et. al. [3] zeigten mit ihrer Arbeit zu hochwertigem Brettschichtholz aus Buche dessen hohes mechanisches Potential als verklebtes lastabtragendes Produkt. Im Jahre 2005 wurde eine ähnliche Studie zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften von Brettschichtholz aus Buche durch Blaß et. al. [4] durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Arbeit führten zu einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-676 [5]. Diese Zulassung der Studiengemeinschaft Holzleimbau lässt Festigkeitsklassen von bis zu GL48c und damit verbunden charakt. Biegefestigkeiten von $f_{m,k} = 48$ N/mm² bei einem Biege-E-Modul von 15.100 N/mm² zu. Die zugehörigen charakt. Druckfestigkeiten von $f_{c,0,k} = 21$ N/mm² und charakt. Zugfestigkeiten von $f_{t,0,k} = 25$ N/mm² liegen bei allen angegebenen Festigkeitsklassen konstant auf vergleichsweise geringem Niveau. Die charakt. Schubfestigkeit konnte mit $f_{v,k} = 3,4$ N/mm² und der charakt. Querdruck bei $f_{c,90,k} = 8,4$ N/mm² identifiziert werden. Strahm und Gehri geben in [19] maximale Festigkeitsklassen für BSH in Buche von GL48c und GL48h an, jedoch bei einem signifikant höherem Niveau der charakt. Druck- und Zugfestigkeiten von (mit $\gamma_m = 1,25$ und $k_{mod} = 0,8$ rückgerechnet) bei $f_{t,0,k} = 37,5$ N/mm² bzw. $f_{t,0,k} = 42$ N/mm².

Eine Neuentwicklung in der jüngsten Zeit stellt das Produkt «BauBuche» der Firma Pollmeier Furnierwerkstoffe GmbH dar. Die zugehörige allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-837 [6] beschreibt einen Schichtholzwerkstoff aus Furnieren der Holzart Buche mit einer charakt. Biegefestigkeit von $f_{m,k} = 70$ N/mm² und einem Biege-E-Modul von 16.700 N/mm² sowie einer charakt. Zugfestigkeit von $f_{t,0,k} = 55$ N/mm², einer charakt. Druckfestigkeit von $f_{t,0,k} = 49,5$ N/mm² und einer charakt. Schubfestigkeit von $f_{v,k} = 4,0$ N/mm². Auf Grund von Homogenisierungseffekten bei der Verwendung von Furnieren und der damit verbundenen Reduktion der Streuungen in den Festigkeiten sowie von Größen- bzw. Volumeneffekten dürfen die genannten Festigkeiten – unter definierten Randbedingungen – noch erhöht werden.

Eine übersichtliche Zusammenfassung zum Stand des Wissens und der Forschung sowie dem Stand der Normung und Zulassung liefert Aicher in [20]. Neben den Entwicklungen zur Holzart Buche werden auch andere Laubhölzer sowie laubholzbaasierte Produkte angeführt und die zugehörigen Anschlüsse und Vorteile in der Verbindungstechnik in Laubholzbauteilen beleuchtet.

3. Material und Methoden

3.1. Rohmaterial und Festigkeitssortierung des Rohmaterials

Das erforderliche Rohmaterial wurde im russischen Werk «HasslacherLes» in Malaya Vishehera/RUS eingeschnitten und auf eine Zielholzfeuchte von $u = 12\%$ technisch getrocknet. Die Trocknung beanspruchte rund dreimal so viel Zeit wie Nadelholzlamellen gleichen Querschnitts. Aus der Literatur ist bekannt, dass eine Vakuumtrocknung diese Zeitdauer verkürzen kann.

In der NORITEC Holzindustrie GmbH in Sachsenburg wurde an jedem Brett der dynamische E-Modul mittels eines GoldenEye706-Scanners ermittelt, wobei alle Bretter mit einem dynamischen E-Modul unter 11.000 N/mm^2 vor der visuellen Sortierung ausgeschieden wurden. Der Ausschussanteil lag dabei unter 1% . Bei der visuellen Sortierung wurden die Sortierparameter für LS10 nach DIN 4074-5 [5] angewendet. Höherwertigere Bretter verblieben im Grundmaterial, sodass von einer Sortierung LS10+ gesprochen werden kann.

Tabelle 1: Ergebnisse der Steifigkeitssortierung: Rohdichte (d) und dynamischer E-Modul (E)

Steifigkeitsklasse	--	E16.0_d530
Anzahl	--	4412 Bretter
Mittlere Rohdichte	ρ_{mean}	594 kg/m ³
Min. Rohdichte	ρ_{min}	441 kg/m ³
Max. Rohdichte	ρ_{max}	753 kg/m ³
Variationskoeffizient	COV	7 %
Dynamischer E-Modul	$E_{dyn,mean}$	15.995 N/mm ²
Min. dynamischer E-Modul	$E_{dyn,min}$	11.045 N/mm ²
Max. dynamischer E-Modul	$E_{dyn,max}$	23.064 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	12 %

In diesem Zusammenhang soll erwähnt werden, dass zur Nutzung des hochwertigen Materials der Birke die Einführung von z. B. drei Steifigkeitsklassen zielführend erscheint. Diese könnten wie folgt definiert werden:

Ausschuss / E15_d530 (+ visuell LS10) / E18_d580 (+ visuell LS13).

Tabelle 2: Abschätzung des Potentials von Birke bei Einführung von Steifigkeitsklassen (basierend auf dem dynamischen E-Modul (E) und Rohdichte (d))

Steifigkeitsklassen Anteil		E15_d530 70 %	E18_d580 30 %
Mittlere Rohdichte	ρ_{mean}	590 kg/m ³	630 kg/m ³
Min. Rohdichte	ρ_{min}	500 kg/m ³	520 kg/m ³
Max. Rohdichte	ρ_{max}	700 kg/m ³	750 kg/m ³
Variationskoeffizient	COV	5 %	5 %
Char. Rohdichte	ρ_k	530 kg/m ³	580 kg/m ³
Dynamischer E-Modul	$E_{dyn,mean}$	15.000 N/mm ²	18.300 N/mm ²
Min. dynamischer E-Modul	$E_{dyn,min}$	11.000 N/mm ²	17.000 N/mm ²
Max. dynamischer E-Modul	$E_{dyn,max}$	17.000 N/mm ²	23.000 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	8 %	6 %

Mit den beiden angeführten Festigkeits- bzw. Steifigkeitsklassen könnte kombiniert aufgebautes Brettschicht- bzw. Brettsperholz mit höheren mechanischen Eigenschaften angedacht werden. Damit wäre auch ein höherwertigeres Erscheinungsbild der damit aufgebauten Produkte verbunden.

3.2. Zugprüfung der Bretter

Um detaillierte Informationen über die festigkeitssortierten Rohlamellen zu erhalten, wurden zwei Serien mit insgesamt $n = 105$ Brettern einer Zugprüfung nach EN 408 [15] unterzogen.

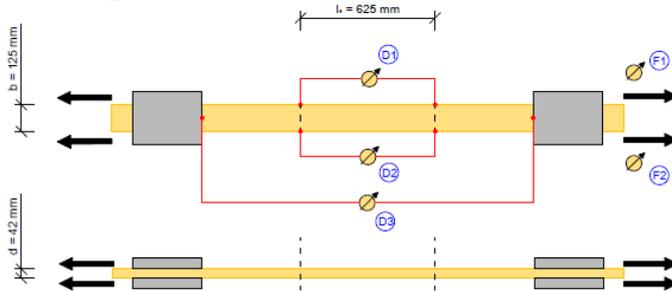


Abbildung 3: Prüfkonfiguration der Zugversuche nach EN 408 [15]

Die Serie 1 mit $n = 43$ Prüfkörpern wies einen Querschnitt von $b/h = 126 \text{ mm} \times 42 \text{ mm}$ auf. Die Ergebnisse der Zugprüfung können Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Zugversuche an Brettern - Serie 1

Serie 1 42 x 126 mm ²		43 Prüfkörper
Mittlere Rohdichte	ρ_{mean}	597 kg/m ³
Charakt. Rohdichte	ρ_k	547 kg/m ³
Variationskoeffizient	COV	5 %
Mittlerer Zug-E-Modul	$E_{t,0,l,mean}$	14.463 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	12 %
Mittlere Zugfestigkeit	$f_{t,0,l,mean}$	39,6 N/mm ²
Charakt. Zugfestigkeit (mit k_h)	$f_{t,0,l,k}$	24,4 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	21,4 %

Die Prüfkörper der Serie 2 ($n = 62$) hatten einen Querschnitt von $b/h = 120 \text{ mm} \times 37 \text{ mm}$. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 angeführt.

Tabelle 4: Zugversuche an Brettern - Serie 2

Serie 2 37 x 120 mm ²		62 Prüfkörper
Mittlere Rohdichte	ρ_{mean}	606 kg/m ³
Charakt. Rohdichte	ρ_k	546 kg/m ³
Variationskoeffizient	COV	6 %
Mittlerer Zug-E-Modul	$E_{t,0,l,mean}$	14.219 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	12 %
Mittlere Zugfestigkeit	$f_{t,0,l,mean}$	43,9 N/mm ²
Charakt. Zugfestigkeit (mit k_h)	$f_{t,0,l,k}$	26,7 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	23,3 %

Da die Ergebnisse der mechanischen Zugeigenschaften Serien 1 und 2 gut korrelieren, konnte darauf basierend eine Festigkeits- bzw. Steifigkeitsklasse für die derart sortierten Rohlamellen der Holzart Birke definiert werden.

Tabelle 5: Mechanische Eigenschaften der Festigkeits- bzw. Steifigkeitsklasse DT24E14.3_d545

Festigkeits- bzw. Steifigkeitsklasse DT24E14.3_d545		
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{t,0,l,k}$	24 N/mm ²
Zug-E-Modul	$E_{t,0,l,mean}$	14.300 N/mm ²
Charakt. Rohdichte	ρ_k	545 kg/m ³

3.3. Festigkeitseigenschaften der Keilzinkenverbindung

Es wurden zwei Serien mit insgesamt $n = 98$ Prüfkörper mit einem durchschnittlichen Querschnitt von $b / h = 126 \text{ mm} \times 42 \text{ mm}$ geprüft. Das Keilzinkenprofil 15/3.8 mm und ein MUF-Klebstoff kamen dabei zur Anwendung. Für eine einwandfreie Verklebung in der Keilzinkenverbindung wurden in einem Vorprojekt der notwendige Pressdruck sowie einige Varianten der Schärfung der Keilzinkenfräser untersucht.

Die unten angegebenen Biegeprüfungen wurden nach EN 408 [15] und die Zugprüfungen nach EN 14080 [12] durchgeführt und zeigten ein sehr hohes Potential in den mechanischen Eigenschaften sowie einen relativ geringen Variationskoeffizienten. Dies kann als Indikator für eine gut funktionierende Produktion der Keilzinkenverbindung betrachtet werden.

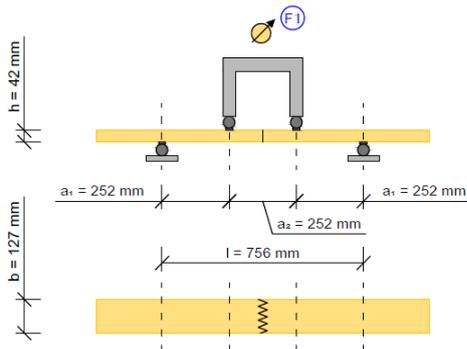


Abbildung 4: Biegeprüfung der Keilzinkenverbindung nach EN 408 [15].

Die Ergebnisse der Biegeprüfung der Keilzinkenverbindung – $n = 44$ Prüfkörper mit einem Querschnitt von $b/h = 126 \text{ mm} \times 43 \text{ mm}$ – können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 6: Biegefestigkeiten der Keilzinkenverbindung

Serie 43 x 126 mm ²		44 Prüfkörper
Mittlere Biegefestigkeit	$f_{m,j,mean}$	72,8 N/mm ²
charakt. Biegefestigkeit	$f_{m,j,k}$	60,4 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	10 %

Die Zugprüfungen wurden gemäß EN 14080:2013 durchgeführt. Die freie Prüflänge betrug dabei 200 mm.

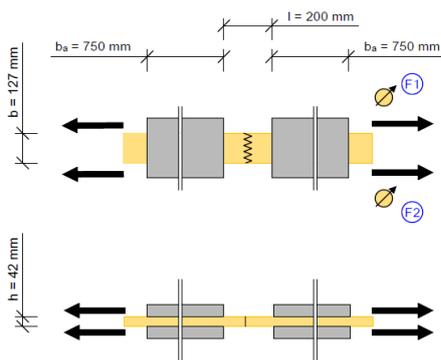


Abbildung 5: Zugprüfung der Keilzinkenverbindung nach EN 14080 [12].

Die Ergebnisse der Zugprüfung der Keilzinkenverbindung – $n = 54$ Prüfkörper mit einem Querschnitt von $b/h = 127 \text{ mm} \times 42 \text{ mm}$ – können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 7: Zugfestigkeiten der Keilzinkenverbindung

Serie 42 x 127 mm ²		54 Prüfkörper
Mittlere Zugfestigkeit	$f_{t,j,mean}$	55,7 N/mm ²
Charakt. Zugfestigkeit	$f_{t,j,k}$	43,9 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	12,4 %

3.4. Birke Brettsperrholz – Prüfungen und Ergebnisse

Mit dem zuvor beschriebenen Grundmaterial wurden in der NORITEC Holzindustrie GmbH Standort Stall im Mölltal (Kärnten/Österreich) Brettsperrholz-Elemente produziert. Für die Flächenverklebung wurde ein 2K MUF-Klebstoff der Firma DYNEA in Kombination mit einer Hochfrequenzpresse verwendet. Der aufgebrauchte Pressdruck betrug dabei $1,0 \text{ N/mm}^2$ (dies entspricht rund 100 to/m^2 !). Im Zuge dieses Projektes musste auch ein eigenes Pressenregime entwickelt werden, um eine einwandfreie Verklebung in der Fläche zu gewährleisten. Klebstoffauftragsmengen, das Verhältnis zwischen Klebstoff und Härter, Penetrationszeit, Pressdruck und Temperatur sowie die Nachhärtezeit waren dabei entscheidende Faktoren.

3.4.1 Ermittlung der mechanischen Eigenschaften Biegefestigkeit und Biege-E-Modul an Brettsperrholz der Holzart Birke

Für die Ermittlung der mechanischen Biegeeigenschaften wurden 5-schichtige Brettsperrholz-Elemente mit einer Gesamtdicke $t_{\text{BSP}} = 200 \text{ mm}$ (40-40-40-40-40 mm) aufgebaut und einer 4-Punkt-Biegeprüfung nach EN 408 [15] bzw. prEN 16351 [16] unterzogen.

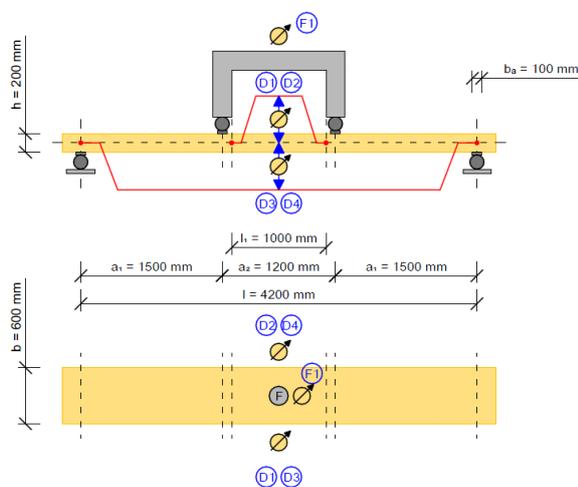


Abbildung 6: Biegeprüfung an Brettsperrholz aus Birke nach EN 408 [15] bzw. prEN 16351 [16] zur Ermittlung der Biegefestigkeit und des Biege-E-Moduls.

Die $n = 20$ Prüfkörper wiesen eine Breite von rund 600 mm auf und zeigten folgendes Verhalten hinsichtlich Biegefestigkeit und Elastizitätsmodul sowie Rohdichte.

Tabelle 8: Ergebnisse der Biegeprüfung an Brettsperrholz der Holzart Birke

Stärke: 200 mm 5 Schichten: 40-40-40-40-40 Breite: 600 mm		20 Prüfkörper
Mittlere Biegefestigkeit	$f_{m,CLT,mean}$	46,7 N/mm ²
Charakt. Biegefestigkeit (mit $k_{h,CLT}$)	$f_{m,CLT,k}$	38,1 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	11,6 %
Biege-E-Modul	$E_{0,CLT,mean}$	15.524 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	4,3 %
Mittlere Rohdichte	$\rho_{CLT,mean}$	631 kg/m ³
Charakt. Rohdichte	$\rho_{CLT,k}$	614 kg/m ³
Variationskoeffizient	COV	1,4 %

Der Höhen- bzw. Volumenfaktor $k_{h,CLT} = (150/h)^{0,1}$ wurde angewendet, um die charakteristische Biegefestigkeit auf eine Referenzdicke $t_{\text{BSP}} = 150 \text{ mm}$ umzurechnen. Details zum Volumenfaktor können [14] entnommen werden.

3.4.2 Ermittlung der mechanischen Eigenschaften Rollschub und Biege-E-Modul an Brettsperrholz der Holzart Birke

Für die Ermittlung der Rollschubfestigkeit wurden 5-schichtige Brettsperrholz-Elemente mit einer Gesamtdicke $t_{BSP} = 200$ mm (40-40-40-40-40) aufgebaut und einer 4-Punkt-Biegeprüfung nach prEN 16351 [16] unterzogen.

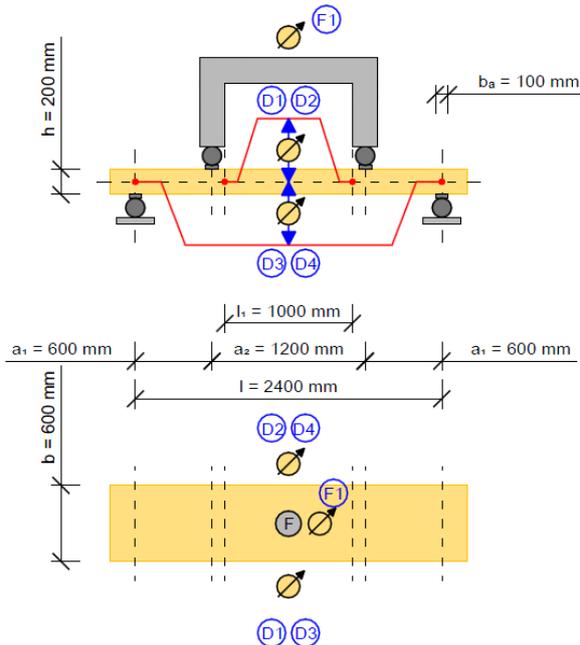


Abbildung 7: Biegeprüfung an Brettsperrholz nach prEN 16351 [16] zur Ermittlung der Rollschubfestigkeit.

Die $n = 20$ Prüfkörper wiesen eine Breite von rund 600 mm auf und zeigten folgendes Verhalten hinsichtlich Rollschubfestigkeit und Biege-E-Modul sowie Rohdichte.

Tabelle 9: Ergebnisse der Biegeprüfung hinsichtlich Rollschub an Brettsperrholz der Holzart Birke

Stärke: 200 mm 5 Schichten: 40-40-40-40-40 Breite: 600 mm		20 Prüfkörper
Mittlere Rollschubfestigkeit	$f_{r,CLT,mean}$	2,2 N/mm ²
Charakt. Rollschubfestigkeit	$f_{r,CLT,k}$	1,8 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	9,1 %
Mittlerer Biege-E-Modul	$E_{0,CLT,mean}$	15.349 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	4,5 %
Mittlere Rohdichte	$\rho_{CLT,mean}$	637 kg/m ³
Charakt. Rohdichte	$\rho_{CLT,k}$	623 kg/m ³
Variationskoeffizient	COV	1,1 %

Weiters wurde auch eine Serie mit 3-schichtigen Elementen (19-19-19) geprüft, wozu Bretter aus Seitenware Verwendung fanden. Für diese BSP-Elemente konnte eine charakt. Rollschubfestigkeit von $f_{r,CLT,k} = 2,5$ bis $3,0$ N/mm² festgestellt werden. Daraus lässt sich ein hohes Potential für die Verwendung von Brettern aus Seitenware insbesondere für die Mittellagen des Brettsperrholzes folgern.

Im Vergleich dazu liegt die Rollschubfestigkeit für Brettsperrholz der Holzart Fichte zwischen $0,70$ und $1,20$ N/mm². In [21] konnte eine charakt. Rollschubfestigkeit für die Holzart Buche von $f_{v,r,k} = 4,5$ N/mm² beobachtet werden, allerdings auf Basis einer Versuchskonfiguration in Anlehnung an EN 789 [22].

3.4.3 Ermittlung der Schubfestigkeit in Plattenebene

Die folgenden Ergebnisse basieren auf $n = 24$ Prüfungen an 3-schichtigen Brettsperrholz-Elementen mit einer Gesamtdicke $t_{BSP} = 97$ mm (39-19-39 mm) und einer Höhe von $h = 220$ mm. Die Prüfkonfiguration wurde nach den Festlegungen in prEN 16351 [16] aufgebaut.

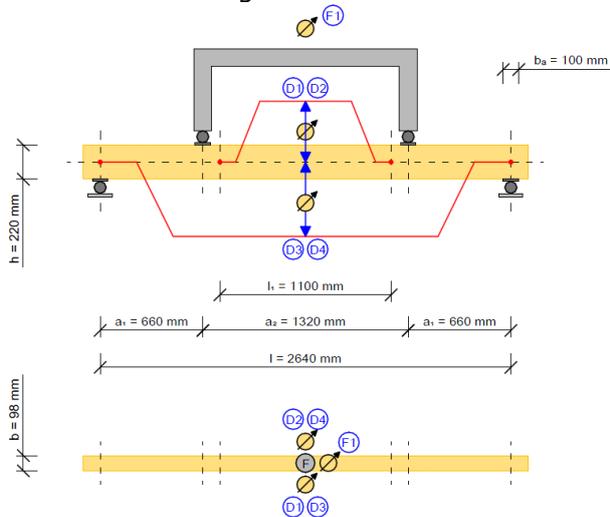


Abbildung 8: Biegeprüfung nach prEN 16351 [16] zur Ermittlung Schubfestigkeit in Plattenebene.

Die folgenden Ergebnisse wurden auf die Nettofläche bezogen.

Tabelle 10: Ergebnisse der Biegeprüfung hinsichtlich Rollschub an Brettsperrholz der Holzart Birke

Stärke: 97 mm 3 Schichten: 19-39-19 Höhe: 220 mm		24 Prüfkörper
Mittlere Schubfestigkeit in Plattenebene	$f_{v,CLT,IP,mean}$	16,2 N/mm ²
Charakt. Schubfestigkeit in Plattenebene	$f_{v,CLT,IP,k}$	15 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	4 %

3.4.4 Ermittlung der mechanischen Eigenschaften auf Querdruck von Brettsperrholz der Holzart Birke

Zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften auf Druck quer zur Faserrichtung wurden $n = 20$ Prüfkörper mit einem Querschnitt von $b/h =$ rund 160×160 mm² und einer Höhe h von rund 200 mm einer Querdruckprüfung nach EN 408 [15] unterzogen.

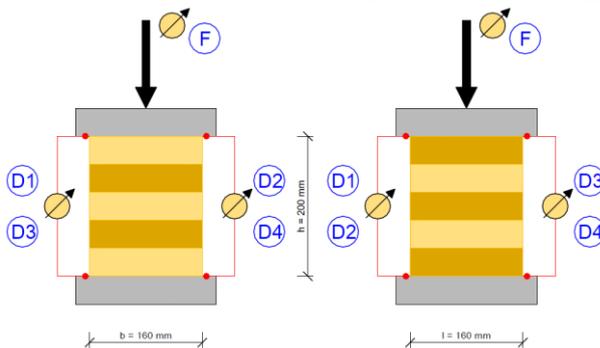


Abbildung 9: Prüfkonfiguration nach EN 408 [15] zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften auf Druck quer zur Faserrichtung.

Tabelle 11: Ergebnisse der Querdruckprüfungen an Brettsperrholz der Holzart Birke

5 Schichten: 40-40-40-40-40 Breite 160 mm Länge 160 Höhe 201 mm		20 Prüfkörper
Mittlere Querdruckfestigkeit	$f_{c,90,CLT,mean}$	5,8 N/mm ²
Charakt. Querdruckfestigkeit	$f_{c,90,CLT,k}$	5,0 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	7 %
Mittlerer E-Modul quer zur Faserrichtung	$E_{c,90,CLT,mean}$	665 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	11,5 %

3.4.5. Zusammenfassung der mechanischen Eigenschaften von Brettsperrholz der Holzart Birke

Die folgende Tabelle fasst die mechanischen Eigenschaften von Brettsperrholz der Holzart Birke zusammen. Größtenteils basieren die Werte der Kenngrößen auf den durchgeführten Untersuchungen oder konnten aus formalen Zusammenhängen abgeleitet werden.

Tabelle 12: Bemessungsrelevante, mechanische Eigenschaften von Brettsperrholz der Holzart Birke

Mechanische Eigenschaften BIRKE BSP		
Biegefestigkeit	$f_{m,CLT,k}$	38 N/mm ²
Zugfestigkeit	$f_{t,0,CLT,net,k}$	28,5 N/mm ²
	$f_{t,90,CLT,net,k}$	0,6 N/mm ²
Druckfestigkeit	$f_{c,0,CLT,net,k}$	38 N/mm ²
	$f_{c,90,CLT,k}$	5,0 N/mm ²
Schubfestigkeit in Plattenebene	$f_{v,CLT,IP,k}$	15 N/mm ²
	$f_{T,node,k}^*$	2,5 N/mm ²
Schubfestigkeit aus der Plattenebene	$f_{v,CLT,OP,k}$	4,5 N/mm ²
Rollschubfestigkeit	$f_{r,CLT,k}$	1,8 N/mm ²
Elastizitätsmodul	$E_{0,CLT,mean}$	15.000 N/mm ²
	$E_{0,CLT,05}$	12.500 N/mm ²
	$E_{90,CLT,mean}$	650 N/mm ²
	$E_{c,90,CLT,05}$	540 N/mm ²
	$E_{c,90,CLT,mean}$	650 N/mm ²
	$E_{90,CLT,05}$	540 N/mm ²
Schubmodul	$G_{CLT,mean}$	850 N/mm ²
	$G_{CLT,05}$	710 N/mm ²
Rollschubmodul	$G_{r,CLT,mean}$	175 N/mm ²
	$G_{r,CLT,05}$	145 N/mm ²
Rohdichte	$\rho_{CLT,k}$	600 kg/m ³
	$\rho_{CLT,mean}$	620 kg/m ³

*Anmerkung: Auf der konservativen Seite liegender, festgelegter Wert

3.5. Birke Brettschichtholz – Prüfungen und Ergebnisse

Mit dem eingangs beschriebenen Grundmaterial wurden in der NORITEC Holzindustrie GmbH Standort Sachsenburg (Kärnten/Österreich) Brettschichtholzträger produziert. Für die Flächenverklebung wurde ein 2K MUF-Klebstoff der Firma DYNEA in Kombination mit einer Hochfrequenzpresse verwendet. Der aufgebrauchte Pressdruck betrug dabei 0,8 N/mm². Im Zuge dieses Projektes musste, wie auch schon im Bereich des Brettsperrholzes, ein eigenes Pressenregime entwickelt werden. Das so produzierte Brettschichtholz wurde mit Lamellen der Dicke $t = 40$ mm aufgebaut.

3.5.1 Ermittlung der mechanischen Eigenschaften Biegefestigkeit und Biege-E-Modul an Brettschichtholz der Holzart Birke

Im Zuge der Untersuchungen wurden Biegeprüfungen nach EN 408 [15] bzw. EN 14080 [12] an $n = 28$ Brettschichtholzträgern durchgeführt. Die mittlere Holzfeuchtigkeit betrug zum Zeitpunkt der Prüfung $u = 11,6$ %. Von allen Prüfkörpern wurde der dynamische E-Modul mittels Ultraschalllaufzeitmessung ermittelt. Dabei konnte ein mittlerer dynamischer E-Modul von 17.900 N/mm² festgestellt werden.

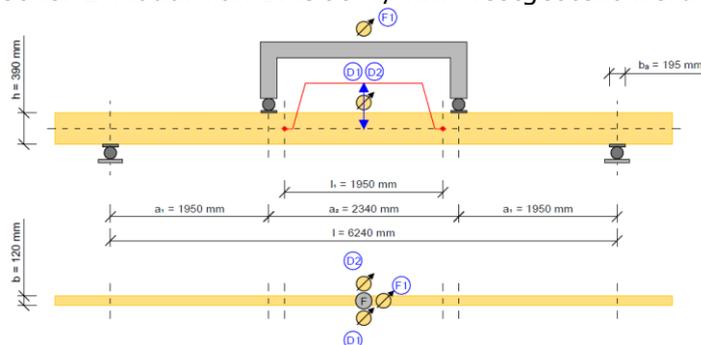


Abbildung 10: Prüfkfiguration zur Ermittlung der Biegefestigkeit und des Biege-E-Moduls.

Tabelle 13: Ergebnisse der Biegeprüfungen an Brettschichtholz der Holzart Birke

Breite: 120 mm Höhe: 389 mm		28 Prüfkörper
Mittlere Biegefestigkeit	$f_{m,g,mean}$	48,6 N/mm ²
Charakt. Biegefestigkeit	$f_{m,g,k}$	36,9 N/mm ²
Charakt. Biegefestigkeit (mit k_h)	$f_{m,g,k}$	35,4 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	14,2 %
Mittlerer Biege-E-Modul	$E_{0,g,mean}$	14.831 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	4,1 %
Mittlere Rohdichte	$\rho_{g,mean}$	614 kg/m ³
Charakt. Rohdichte	$\rho_{g,k}$	599 kg/m ³
Variationskoeffizient	COV	1,3 %

Der Höhen- bzw. Volumenfaktor $k_h = \max [0,9; (h/600)^{0,1}] = (389/600)^{0,1} = 0,958$ wurde angewandt, um die charakt. Biegefestigkeiten auf eine Höhe von $h = 600$ mm zu referenzieren.

3.5.2 Ermittlung der Schubfestigkeit an Brettschichtholz der Holzart Birke

An $n = 15$ Brettschichtholzträgern wurde die Schubfestigkeit nach EN 408 [15] ermittelt.

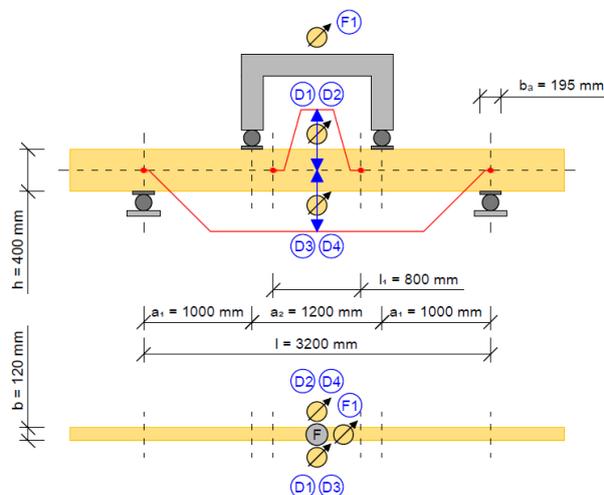


Abbildung 11: Prüfkongfiguration zur Ermittlung der Schubfestigkeit und des Biege-E-Moduls.

Die mittlere Holzfeuchtigkeit betrug zum Zeitpunkt der Prüfung $u = 10,9$ %. Lediglich an 3 der insgesamt $n = 15$ Prüfkörper konnte ein tatsächliches Versagen auf Schub beobachtet werden. An 13 Prüfkörper wurde ein Versagen in der Biegezugzone festgestellt und die zugehörige Schubspannung zum Zeitpunkt des Biegeversagens ermittelt. Die angeführte Schubfestigkeit kann daher als ein Kleinstwert der Schubfestigkeit der betrachteten Probe gesehen werden.

Tabelle 14: Ergebnisse der Schubprüfungen an Brettschichtholz der Holzart Birke

Breite: 120 mm Höhe: 390 mm		15 Prüfkörper
Mittlere Schubfestigkeit	$f_{v,g,mean}$	6,89 N/mm ²
Charakt. Schubfestigkeit	$f_{v,g,mean}$	4,94 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	15,7 %
Mittlerer Biege-E-Modul	$E_{0,g,mean}$	15.721 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	5,9 %
Mittlere Rohdichte	$\rho_{g,mean}$	613 kg/m ³
Charakt. Rohdichte	$\rho_{g,k}$	590 kg/m ³
Variationskoeffizient	COV	1,9 %

In [19] wird eine Schubfestigkeit auf Design-Niveau von $f_{v,g,d} = 3,0$ N/mm² angegeben. Das entspricht einer charakt. Schubfestigkeit für Brettschichtholz aus Buche von $f_{v,g,k} = 4,5$ N/mm². Vergleichend dazu wird in [5] eine charakt. Schubfestigkeit von $f_{v,g,k} = 3,4$ N/mm² angeführt.

3.5.3 Ermittlung der mechanischen Eigenschaften auf Querdruck

Die Querdruckeigenschaften nach EN 408 [15] wurden an $n = 20$ Prüfkörpern aus Brett-schichtholz der Holzart Birke untersucht.

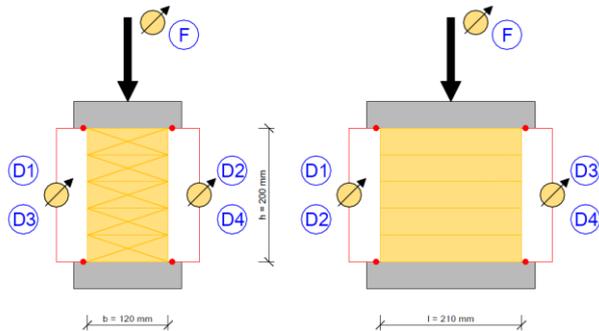


Abbildung 12: Prüfkongfiguration nach EN 408 [15] zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften auf Querdruck.

Die mittlere Holzfeuchtigkeit aller Prüfkörper betrug zum Zeitpunkt der Prüfung $u = 11,2 \%$. Die Prüfergebnisse können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 15: Ergebnisse der Querdruckprüfungen an Brett-schichtholz der Holzart Birke

Breite: 120 mm Länge: 210 mm Höhe: 200 mm		20 Prüfkörper
Mittlere Querdruckfestigkeit	$f_{c,90,g,mean}$	5,78 N/mm ²
Charakt. Querdruckfestigkeit	$f_{c,90,g,k}$	4,97 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	7,5 %
Elastizitätsmodul quer zur Faserrichtung	$E_{c,90,g,mean}$	665 N/mm ²
Variationskoeffizient	COV	11,5 %

In [19] wird eine Querdruckfestigkeit auf Design-Niveau von $f_{c,90,g,d} = 4,5 \text{ N/mm}^2$ bzw. $5,0 \text{ N/mm}^2$ in Abhängigkeit der Festigkeitsklasse bei einem E-Modul von 1.000 N/mm^2 angegeben. Das entspricht einer charakt. Querdruckfestigkeit für Brett-schichtholz aus Buche von $f_{c,90,g,k} = 6,8 \text{ N/mm}^2$ bzw. $7,5 \text{ N/mm}^2$. Vergleichend dazu wird in [5] eine charakt. Querdruckfestigkeit von $f_{c,90,g,k} = 8,4 \text{ N/mm}^2$ bei einem E-Modul von $E_{c,90,g,mean} = 650 \text{ N/mm}^2$ über alle angegebenen Festigkeitsklassen hinweg festgelegt.

3.5.4 Zusammenfassung der mechanischen Eigenschaften von Brett-schichtholz der Holzart Birke

Die folgende Tabelle gibt eine zusammenfassende Darstellung des Profils der mechanischen Eigenschaften von Brett-schichtholz der Holzart Birke. Größtenteils basieren die Ergebnisse auf durchgeführten Untersuchungen, teilweise konnten diese aus formalen Zusammenhängen abgeleitet werden.

Tabelle 16: Bemessungsrelevante, mechanische Eigenschaften von Brett-schichtholz der Holzart Birke

Mechanische Eigenschaften BIRKE BSH		
Biegefestigkeit	$f_{m,g,k}$	32 N/mm ²
Zugfestigkeit	$f_{t,0,g,k}$	26 N/mm ²
	$f_{t,90,g,k}$	0,6 N/mm ²
Druckfestigkeit	$f_{c,0,g,k}$	32 N/mm ²
	$f_{c,90,g,k}$	4,5 N/mm ²
Schubfestigkeit	$f_{v,g,k}$	4,5 N/mm ²
Rollschubfestigkeit	$f_{r,g,k}$	2,0 N/mm ²
Elastizitätsmodul	$E_{0,g,mean}$	15.000 N/mm ²
	$E_{0,g,05}$	12.500 N/mm ²
	$E_{90,g,mean}$	650 N/mm ²
	$E_{90,g,05}$	540 N/mm ²
Schubmodul	$G_{g,mean}$	850 N/mm ²
	$G_{CLT,05}$	710 N/mm ²
Rollschubmodul	$G_{r,g,mean}$	175 N/mm ²
	$G_{r,g,05}$	145 N/mm ²
Rohdichte	$\rho_{g,k}$	600 kg/m ³
	$\rho_{g,mean}$	620 kg/m ³

4. Pilotprojekte

4.1. Pilotprojekt Brettsperrholz

Im Jahr 2015 wurde ein Einfamilienhaus in St. Magdalena am Lemberg in der Oststeiermark / Österreich als Pilotprojekt mit dem beschriebenen Brettsperrholz der Holzart Birke errichtet. Das Brettsperrholz wurde sowohl für die sichtbaren Innenwände, als auch die Dachscheiben und Zwischengeschoßdecken verwendet. Vor allem bei der Bemessung der Zwischendecke zeigte sich aufgrund des relativ hohen Elastizitätsmoduls gegenüber Brettsperrholz aus Nadelholz ein signifikantes Einsparungspotential. Die Volumensparnis beträgt rund 10 bis 15 %, also in etwa einen Dimensionssprung in der Deckenstärke. Auch konnte bei den sichtbaren Brettsperrholzelementen im Rahmen dieses Pilotprojektes die sogenannte «Exzellentlamelle» erfolgreich eingesetzt werden. Diese Lamelle weist einen 3-schichtigen Aufbau, ähnlich einem kleinen Brettsperrholz auf.

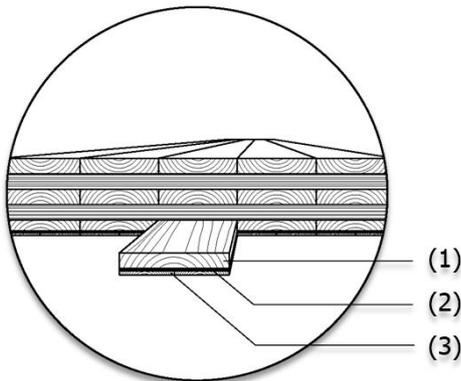


Abbildung 13: Skizze und Aufbau der patentierten «Exzellentlamelle»

Für die 5 bis 7 mm dünne Deckschicht (3) können Nadel- und Laubhölzer eingesetzt werden. Die darunter (quer-) liegende Sperrschicht (2) aus Nadelholz verhindert ein Schwinden der Deckschicht und damit die Fugen- und Rissbildung in der Sichtoberfläche. Die Füllschicht (1) besteht aus maschinell festigkeitssortierten Lamellen und kompensiert die Sperrschicht, was die mechanischen Eigenschaften betrifft. Damit ist die Exzellentlamelle wie eine Vollholzlammelle statisch nachweisbar und kann in die statische Bemessung mit einbezogen werden.



Abbildung 14: Wände und Decken aus BIRKE|BSP des Pilotprojektes Einfamilienhaus Raser mit der Exzellentoberfläche [Quelle: Holz&Bau Hirschböck Hartberg/Österreich].

4.2. Pilotprojekt Brettschichtholz

Die im Jahre 2015 errichtete Lagerhalle der NORITEC Holzindustrie GmbH umfasst eine Fläche von rund 800 m². Die maximale Spannweite von $l = 27$ m wurde mit einer 3 m hohen Fachwerkkonstruktion aus Brettschichtholz der Holzart Birke überspannt. Der Untergurt weist einen blockverklebten Querschnitt von $b/h = 420 \times 480$ mm auf. Neben dem eingesetzten Produkt kann auch die Konstruktion des Fachwerkes als innovativ bezeichnet werden: Um Bauhöhe zu sparen bzw. die maximale Durchfahrtshöhe zu erreichen, wurden die Vertikalen geteilt ausgeführt, sodass der Hauptträger zwischen diesen hindurchgeführt werden konnte, die gleichzeitig das Gabellager für den Hauptträger bilden. Der Hauptträger weist einen Querschnitt von $b/h = 160 \times 1.000$ mm bei einer Spannweite von $l = 18$ m und einer Auskrägung von 5,75 m auf. Gegenüber einer Konstruktion aus üblichem Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24h konnten rund 20 % bis 25 % an Holzvolumen eingespart werden.



Abbildung 15: Pilotprojekt BIRKE|BSH: Lagerhalle der NORITEC Holzindustrie GmbH in Stall im Mölltal, Fachwerkkonstruktion.



Abbildung 16: Pilotprojekt BIRKE|BSH: Hauptträger mit einer Auskrägung von 5,75 m und einer Spannweite von 18 m. Der Träger rechts wurde als Verbundbauteil ausgeführt.

5. Danksagung

Die vorliegenden Forschungsergebnisse wurden im Rahmen des COMET K- Programmes «focus sts» an der holz.bau forschungs gmbh (hbf) in Graz erarbeitet. Für die gute Zusammenarbeit wird den Mitarbeitern der hbf Dank ausgesprochen. Ebenso gedankt sei Herrn Univ.-Prof. DI Dr. Gerhard Schickhofer, der den Anstoß zu dieser F&E-Aktivität mit dem Projekt «massive living» lieferte und den vorliegenden Beitrag mit wertvollen Inputs unterstützte. Ein großer Dank gilt allen in diesem Projekt involvierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der HASSLACHER NORICA TIMBER Gruppe, welche dieses Projekt mit hohem persönlichen Einsatz und großem Eifer unterstützt haben und weiter daran arbeiten, den Einsatz von Laubholz auch in anderen Produkten voran zu treiben.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Egner K., Kolb H.: Geleimte Träger und Binder aus Buchenholz. Bauen mit Holz 68(4): 147-154, 1966.
- [2] Gehri E.: Verbindungstechniken mit hoher Leistungsfähigkeit – Stand der Entwicklung. Holz als Roh- und Werkstoff, Jahrgang 43: Seite 83-88; 1985.
- [3] Frühwald A., Ressel J. B., Bernasconi A.: Hochwertiges Brettschichtholz aus Buche, Abschlussbericht, Hamburg, 2003.
- [4] Blaß H. J., Denzler J., Frese M., Glos P., Linsenmann P.: Biegefestigkeit von Brettschichtholz aus Buche, Berichte zum Ingenieurholzbau, Karlsruhe, 2005.
- [5] Z-9.1-679, BS-Holz aus Buche und BS-Holz Buche-Hybridträger, Berlin, 2009.
- [6] Z-9.1-837, Brettschichtholz aus Buchen Furnierschichtholz; Deutsches Institut für Bautechnik, 2013.
- [7] DIN 4074-5 «Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 5: Laubschnittholz», 2008.
- [8] Schickhofer G.: Gutachterliche Stellungnahme Nr. GU15-302-1-01, Festigkeitseigenschaften von Brettschichtholz aus Birke, Graz, 2015
- [9] Schickhofer G.: Gutachterliche Stellungnahme Nr. GU15-302-2-01, Festigkeitseigenschaften von Brettsperrholz aus Birke, Graz, 2015
- [10] Augustin M., Sieder R.: Brettschichtholz und Brettsperrholz aus Birke, Forschungsbericht focus_sts 2.1.2_1_SF5, holz.bau forschung gmbh, Graz 2015.
- [11] Schickhofer G., Sieder R.: Brettschichtholz und Brettsperrholz aus Birkenholz, Prüfbericht Nr. PB12-112-6-01, Lignum Test Center, Graz 2015.
- [12] ÖNORM EN 14080:2013-08-01 «Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen»
- [13] ÖNORM EN 1194:1999-09-01 «Holzbauwerke – Brettschichtholz – Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte»
- [14] Unterwieser, H., Schickhofer, G.: Characteristic values and test configurations of CLT with focus on selected properties. Cost Action FP1004. 2013.
- [15] ÖNORM EN 408:2010-12-01 «Holzbauwerke – Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften», 2010.
- [16] prEN 16351:2013 «Holzbauwerke – Brettsperrholz – Anforderungen».
- [17] Schickhofer, G.: «Von der Vision zur Version – Forschung und Entwicklung als Basis erfolgreicher Innovationen im Holzbau», Vortrag im Rahmen der Klausurtagung der Holzindustrie Steiermark, Bad Aussee, 2015.
- [18] Jauk, G.: «Ja, in drei Monaten – Nachfrage übersteigt Kapazitäten», Holzkurier, BSPspecial, Wien/München/Hamburg, 2016.
- [19] Strahm, T.: «Laubholz im Ingenieurholzbereich», 9. Europäischer Kongress (EHB 2016) Bauen mit Holz im urbanen Raum, 205-220, Köln, 2016.
- [20] Aicher, S.: «Laubholzprodukte und –anwendungen / Anschlüsse», 9. Europäischer Kongress (EHB 2016) Bauen mit Holz im urbanen Raum, 191-204, Köln, 2016.
- [21] Aicher, S., Christian, Z., Hirsch, M.: «Rolling shear modulus and strength of beech wood laminations», Holzforschung 70(8): 773-781, 2016
- [22] DIN EN 789:2005-01 «Holzbauwerke - Prüfverfahren - Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen», 2005.