

FACHTAGUNG HOLZBAU 2018



FACHTAGUNG HOLZBAU BADEN-WÜRTTEMBERG

2018





Philipp Dietsch

Studium an der TU München
Masterarbeit an der UBC
Abschluss 2005

Dr.-Ing., Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München

2005 - 2012

wissenschaftlicher Assistent am
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, Prof. Winter, TU München

Gerhard Schickhofer

Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz

Alfons Brunauer (1963 – 2018)

Wiehag, Altheim, Österreich

Roberto Tomasi

NMBU, As, Norwegen

Ulrich Hübner

Fachverband der Holzindustrie, Wien, Österreich

2012

Promotion zum Thema

"Einsatz und Berechnung von
Schubverstärkungen für Brett-
schichtholzbauteile"

Harald Krenn

KLH, Katsch an der Mur, Österreich

Peter Mestek

Sailer Stepan und Partner, München

Thomas Moosbrugger

Rubner, Kiens, Österreich

Seit 2012

Teamleiter Holzbau am Lehrstuhl
für Holzbau und Baukonstruktionen,
Prof. Winter, TU München

Tobias Wiegand

Studiengemeinschaft Holzleimbau, Wuppertal

2016 - 2018

Mitglied des Project Teams „Brett-
sperrholz und Verstärkungen
SC5/PT5.1 in der nächsten Genera-
tion des Eurocodes

Delegierter in deutschen und euro-
päischen Normenausschüssen „Eu-
rocode 0“ und „Eurocode 5“

Vorsitzender COST Action FP1402

Vorsitzender INTER (früher CIB
W-18)

Eurocode 5:2022

Einführung in den neuen Abschnitt Brettsperrholz

Vorbemerkung der Autoren

Die Eurocodes befinden sich in einer Phase intensiver Überarbeitung. Mit den Teilen „Holz-Beton-Verbund“, „Brettsperrholz“ und „Verstärkungen“ sind die ersten Entwürfe für neue Abschnitte zum Eurocode 5 fertiggestellt. Die Fachöffentlichkeit ist an einer umfassenden Information interessiert, gleichzeitig ist ein breites Feedback aus der Praxis erwünscht. Die Autoren wurden daher von verschiedenen Seiten gebeten, über die o.g. Entwicklungen zu berichten. Wir bitten daher um Verständnis, dass zur Sicherstellung einer umfassenden und gleichbleibenden Information der unterschiedlichen Teilnehmerkreise sich einander gleichende Veröffentlichungen erfolgen (z. B. an den Karlsruher Tagen 2018 und an dieser Veranstaltung).

Die seit mittlerweile über 20 Jahren andauernde Entwicklung von Brettsperrholz sowie selbstbohrenden Vollgewindeschrauben stellen für den Holzbau, vor allem den mehrgeschossigen Holzbau, einen bedeutenden Fortschritt dar. Dementsprechend liegt es auf der Hand, diese mittlerweile etablierten Produkte in die europäischen Bemessungsnormen einzuführen. Dieser Beitrag stellt die wichtigsten Inhalte und Hintergründe zum für die nächste Generation des Eurocode 5 entworfenen Abschnitt Brettsperrholz dar und erläutert Weiterentwicklungen gegenüber der bisherigen Bemessungspraxis.

Einleitung

Seit den ersten Pilotprojekten und bauaufsichtlichen Zulassungen Mitte der 1990er Jahre hat Brettsperrholz eine beeindruckende Entwicklung durchlaufen [1]. Die kontinuierlich wachsende Anzahl von Produktionsstätten und bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) bzw. Europäischen technischen Bewertungen (ETA) belegen deutlich die zunehmende Akzeptanz und Attraktivität dieses mittlerweile etablierten Bauproduktes. Die industrielle Produktion von Brettsperrholz ermöglicht einen sehr hohen Vorfertigungsgrad; großformatige Wand-, Decken- und Dachbauteile inkl. Öffnungen und Leitungsführungen können einfach hergestellt werden. Auf der Baustelle lassen sich diese mit z.B. Vollgewindeschrauben einfach und schnell montieren. Brettsperrholzelemente werden überwiegend eingesetzt beim Bau von Ein- und Zweifamilienhäusern, im mehrgeschossigen Wohnungsbau und bei Schul- und Gewerbebauten. Auch der im internationalen Umfeld zunehmende Bau von Hochhäusern aus Holz ist eng mit der Entwicklung von Brettsperrholz verknüpft. Die europäische Bemessungsnorm für Holzbauten, Eurocode 5, enthält in ihrer aktuellen Fassung [2] keine spezifischen Angaben zur Bemessung von Brettsperrholz. Die normgerechte Anwendung von Brettsperrholz ist bisher nur in wenigen europäischen Ländern über nicht widersprechende Regeln zum Eurocode 5 (NCCI) in den nationalen Anhängen (NA) ermöglicht [3], [4]. Um die offensichtliche Lücke im Eurocode 5 zu schließen wurde der Themenblock Brettsperrholz

auf der Liste der Arbeitspakete zur Überarbeitung desselben als vorrangig eingestuft [5].

Herangehensweise

Normung markiert einen wichtigen Schritt erfolgreicher Forschung und Entwicklung, welche positive Anwendung und Akzeptanz in der Praxis gefunden hat, siehe Abb. 1.

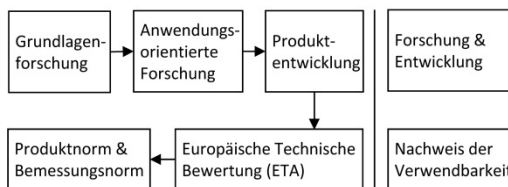


Abbildung 2

Struktur der Normungsarbeit

Entsprechend der europäischen Position zur Normung sollen harmonisierte technische Regeln für übliche Bemessungsfälle erarbeitet werden und nur Regeln enthalten, die auf allgemein anerkannten Forschungsergebnissen beruhen, welche durch ausreichende praktische Anwendung und dahingehende Erfahrungen validiert wurden.

Die Zielgruppe für solche Bemessungsregeln sind kompetente Bauingenieure und Tragwerksplaner, also qualifizierte Fachleute die in der Lage sind, in ihrem Bereich selbstständig zu arbeiten [6]. Die Entwicklung von Bemessungsansätzen für Bauprodukte setzt voraus, dass für diese genormten Prüfverfahren eine

Produktnorm oder eine abZ / ETA zur Verfügung stehen. Die Arbeit an den europäischen Bemessungsnormen ist wie folgt strukturiert, siehe auch Abb. 2 und [7]: Das europäische Normungskomitee CEN/TC 250 hat ein Mandat, die Bemessungsregeln für das Bauwesen weiterzuentwickeln. Dieses Komitee ist in 11 Sub-Komitees unterteilt; CEN/TC 250/SC 5, eines dieser Sub-Komitees, ist verantwortlich für alle Teile des Eurocode 5 (EN 1995). Die nationalen Normungsinstitute (z.B. DIN) entsenden über ihre Spiegelausschüsse Delegierte in diese Sub-Komitees. Zur Erleichterung der technischen Arbeit wird das Sub-Komitee SC 5 von 10 Arbeitsgruppen (WGs) unterstützt. Arbeitsgruppe 1 ist verantwortlich für Brettsper Holz. Die nationalen Spiegelausschüsse entsenden Experten in die Arbeitsgruppen. Die Arbeitsgruppen sind verantwortlich für ihr spezifisches Arbeitsprogramm. In ihnen werden technische Diskussionen geführt, welche in Vorschläge für die Normung münden. Die Ausarbeitung eines Entwurfes des Normentextes inkl. Zeichnungen liegt in der Verantwortung sog. Project Teams (PTs). Innerhalb eines vorgegebenen Zeitrahmens müssen die PTs einen Normentwurf inkl. harmonisierter Terminologie und Symbolen und unter Berücksichtigung der Grundsätze des „ease-of-use“ [6] erstellen. Darüber hinaus müssen die PTs sog. Hintergrunddokumente erarbeiten, welche die technischen Begründungen und wissenschaftlichen Hintergründe für den vorgeschlagenen Normentext beschreiben. Während der Bearbeitungsphase durchlaufen die Entwürfe der PTs drei Phasen der Kommentierung seitens der nationalen

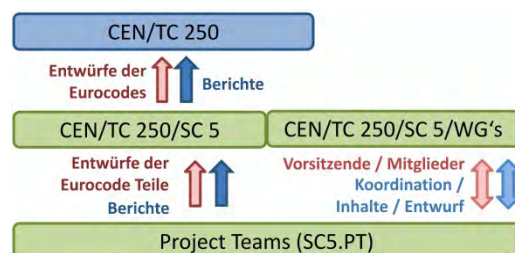


Abbildung 1

Entwicklung von Produkten und der Weg zur Anwendbarkeit

Normenausschüsse. Das Project Team SC5.T1 hat Ende April 2018 seinen finalen Entwurf eingereicht. Die finalen Entwürfe der PTs werden bis zum Abschluss der Arbeiten am Eurocode 5 weiter diskutiert und erforderlichenfalls angepasst. Im Folgenden werden die wichtigsten Inhalte und Hintergründe des Schlusserwerfs des PT SC5.T1 zum Thema Brettsperrholz (nachfolgend auch Entwurf Brettsperrholz genannt) vorgestellt und die Weiterentwicklungen gegenüber der bisherigen Bemessungspraxis erläutert.

Grundlagen der Bemessung und Baustoffeigenschaften

Allgemeines

Das Tragverhalten von Brettsperrholzelementen ist, bedingt durch die orthogonale Anordnung der einzelnen Lagen, durch konstruktive Anisotropie geprägt, siehe Abb. 3. Für die Spannungs- und Verformungsberechnung ist es entscheidend, die korrekten Querschnitts- und Steifigkeitswerte anzusetzen. Für die Ermittlung der Normalspannungen werden dabei nur die in Richtung der Beanspruchung ausgerichteten Lagen angesetzt, die Querlagen wer-

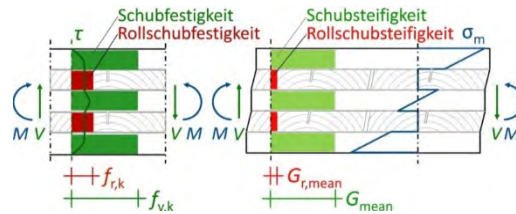


Abbildung 4

Brettsperrholz: Verlauf der Schub- und Biegespannungen, Verformungsfigur sowie Schubfestigkeiten und Schubsteifigkeiten in Abhängigkeit der Lagenrichtung

den bei der Ermittlung der Querschnittswerte vernachlässigt. Bei den Querlagen ist jedoch zwingend zu beachten, dass diese auf Rollschub beansprucht werden. Die Rollschubfestigkeit ist sehr gering. Aufgrund des gleichzeitig sehr geringen Rollschubmoduls ($G_r \approx 0,15 \cdot G$) ergeben sich wesentlich höhere Schubverformungen der Querlagen im Vergleich zu den Längslagen, dadurch ist die Bernoulli-Hypothese eines ebenen Querschnitts nicht mehr erfüllt, der Verlauf der Biegespannungen weicht vom Bernoulli Balken ab, siehe Abb. 4. Im Entwurf Brettsperrholz wird dieses als tragendes Holzprodukt definiert, das aus mindestens drei flächig verklebten Lagen besteht, stets Brettlagen enthält aber auch Holzwerkstoffplatten enthalten darf. Mindestens eine Lage ist rechtwinklig zu den benachbarten Lagen angeordnet. Die Anwendung ist auf die Nutzungsklassen 1 und 2 beschränkt.

Abbildung 3

Brettsperrholz: 1) Elementebene; 2) Seitenfläche; 3) Schmalfläche; 4) äußere Lagen; 5) innere Lagen; 6) Lamellen; 7.) Keilzinkenstöße in Lamellen; 8) Generalkeilzinkenstoß; 9) Breite b_{CL} der Platte bzw. Höhe h_{CL} des Balkens mit Biegespannungen rechtwinklig zur Richtung der Außenlagen; 10) Breite b_{CL} der Platte bzw. Höhe h_{CL} des Balkens mit Biegespannungen parallel zur Richtung der Außenlagen.

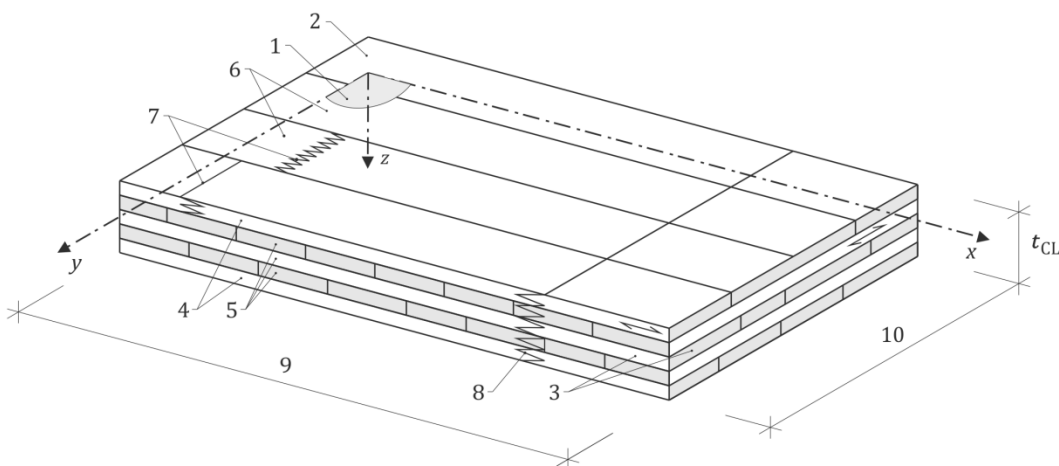


Tabelle 2Werte für k_{def} für Brettsperrholz**Teilsicherheitsbeiwert, k_{mod} , k_{def}**

Trotz der spezifischen Eigenschaften von Brettsperrholz, die eine breite Anwendung flächiger, massiver Holzbauteile erst ermöglicht haben, lassen sich einige Analogien zwischen Brettsperrholz und Brettschichtholz, dem zweiten großen, geklebten, jedoch linearen Vollholzprodukt finden. Beide Produkte bestehen üblicherweise aus festigkeitssortierten Nadelholzlamellen, verklebt mit Produkten aus den gleichen Klebstofffamilien. Die Mindestanforderungen an die Herstellung, die Erstprüfung und werkseigene Produktionskontrolle sind vergleichbar, die Referenzprüfkörper für BSP und BSH (nach EN 14080 [8]) haben vergleichbare Abmessungen und eine ähnliche Anzahl von Lamellen mit Fasern parallel zur Tragrichtung. Dieser Äquivalenzgrad begründet [9], warum für Brettschichtholz und Brettsperrholz der gleiche Teilsicherheitsbeiwert empfohlen wird:

$$\gamma_M = 1,25 \quad (1)$$

Auch für den Modifikationsbeiwert k_{mod} von Brettsperrholz werden identische Werte wie für Vollholz und Brettschichtholz empfohlen, siehe Tab. 1.

Nutzungs- klasse	Lasteinwirkungsdauer				Sehr kurz
	Ständig	Lang	Mittel	Kurz	
1	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1

Tabelle 1Werte für k_{mod} für Brettsperrholz

Material	Nutzungs-kategorie	
	1	2
Brettsperrholz	0,80	1,00

Bei der Betrachtung der Verformungsbeiwerte k_{def} ist der Umstand zu berücksichtigen, dass die Querlagen von Brettsperrholz auf Rollschub beansprucht werden, siehe Abb. 4. In diesen treten ausgeprägte Kriecherscheinungen auf [10]. Es wird empfohlen, die gleichen Verformungsbeiwerte k_{def} wie für Sperrholz zu verwenden, siehe Tab. 2. Diese Werte weichen von den Werten im deutschen Nationalen Anhang zum Eurocode 5 [3] ab.

Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften

Brettsperrholz ist nach EN 16351 [11] (bisher noch nicht über das offizielle Amtsblatt der EU eingeführt) oder einer ETA auf Basis des EAD [12] herzustellen. Die anzugebenden Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften beziehen sich üblicherweise auf die Eigenschaften der Lagen mit Fasern parallel zur Richtung der betrachteten Spannung. Für homogenes Brettsperrholz aus Nadelholz mit:

- Lagenstärken $15 \text{ mm} \leq t_{lay} \leq 40 \text{ mm}$ bzw. $20 \text{ mm} \leq t_{lay} \leq 80 \text{ mm}$ bei Lagen aus mehreren faserparallel verklebten Schichten
- Lagen der gleichen Festigkeitsklasse

darf die Bestimmung der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften des Brettsperrholzelementes (Index CL) aus den Eigenschaften der Lagen entsprechend Tab. 3 durchgeführt wer-

den. Die aus den abZ / ETAs oder [2] bekannten Systemeffekte dürfen nicht angesetzt werden, sie sind im zugrundeliegenden Festigkeitsmodell bereits integriert. Ebenso bereits abgedeckt sind die geringen Querschnittschwächungen aus Fugen und Entlastungsnoten. Bei der Bemessung von Verbindungen sind diese jedoch zu berücksichtigen.

Eigenschaft	Symbol	Wert	Beispiel CL24 ²⁾
Biegefestigkeit	⊥ zur Ebene (Platte) $f_{m,x,k}$ $f_{m,y,k}$	$3 \cdot f_{t,0,l,k}^{0,8}$	24,0
	in der Ebene (Scheibe) $f_{m,edge,x,k}$ $f_{m,edge,y,k}$	$f_{m,l,k}^{3)}$	20,5
Zugfestigkeit	in der Ebene $f_{t,x,k}^{4)}$ $f_{t,y,k}^{4)}$	$1,2 \cdot f_{t,0,l,k}$	16,0
	⊥ zur Ebene $f_{t,z,k}$	0,50	0,50
Druckfestigkeit	in der Ebene $f_{c,x,k}$ $f_{c,y,k}$	$3 \cdot f_{t,0,l,k}^{0,8}$	24,0
	⊥ zur Ebene $f_{c,z,k}$	3,00	3,00
Schubfestigk. bei Plattenbeanspruchung	Longitudinal $f_{v,k}$	3,50	3,50
	Rollschub $f_{r,k}$	$\min \left\{ \begin{array}{l} 0,2 + 0,3b_l/t_l^{5)} \\ 1,40 \end{array} \right.$	0,80 ⁶⁾
Schubfestigk. bei Scheibenbeanspruchung	bezogen auf effektiven Querschnitt $f_{v,xy,k}$ $f_{v,yx,k}$	5,50	5,50

Schub- und Torsion bei Scheibenbeanspruchung	in Klebefläche ⊥ verklebter Lamellen	$f_{tor,node,k}$	2,50	2,50
	Rollschub	wie bei Plattenbeanspruchung		
Elastizitätsmodul	in der Ebene	$E_{x,mean}$ $E_{y,mean}$	$1,05 \cdot E_{0,l,mean}^{7)}$	11.600 ⁷⁾
	⊥ zur Ebene	$E_{z,mean}$	450 ⁷⁾	450 ⁷⁾
Schubmodul	⊥ zur Ebene	$G_{xz,mean}$ $G_{yz,mean}$	$G_{l,mean}^{7)}$	650 ⁷⁾
	in der Ebene	$G_{xy,mean}$ $G_{yx,mean}$ $G_{tor,mean}$	$\min \left\{ \begin{array}{l} 650 \\ 1 + 2,6(t_l/b_l)^{1,2} \\ 450 \\ 5), 7), 8) \end{array} \right.$	450 ^{6), 7), 8)}
Schubmodul	Rollschub	$G_{r,mean}$	$\min \left\{ \begin{array}{l} 30 + 17,5b_l/t_l \\ 100 \\ 5), 7) \end{array} \right.$	65,0 ^{6), 7)}
Rohdichte		ρ_k	$1,1 \cdot \rho_{l,k}^{9)}$	385 ⁹⁾
		ρ_{mean}	$\rho_{l,mean}$	420

Tabelle 3

Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften in N/mm² sowie Rohdichten in kg/m³ für Brettsperrholz mit Brettlagen aus Vollholz, abgeleitet aus den Eigenschaften der Vollholzlammellen ¹⁾

1) Der Referenzquerschnitt ist 5-lagig mit einem Verhältnis von Breite zu Dicke $b_{CL}/t_{CL} = 600 \text{ mm}/150 \text{ mm}$ mit Ausnahme der Biegefestigkeit in der (Scheiben)ebene, welche auf einem 3-lagigen Brettsperrholzbalken mit einer Höhe $h_{CL} = 150 \text{ mm}$ und nur einer Lage mit Faserrichtung in Richtung der zugehörigen Spannung beruht.

2) Brettsperrholz mit Brettlagen aus Vollholz aus Lamellen mit einer charakteristischen Zugfestigkeit in Faserrichtung $f_{t,0,l,k} \geq 14 \text{ N/mm}^2$; einem mittleren Elastizitätsmodul von

$E_{l,mean} = 11.000 \text{ N/mm}^2$ und einer charakteristischen Rohdichte $\rho_{k} = 350 \text{ kg/m}^3$ (T14 nach EN 338).

3) Für Brettsperrholz aus Lamellen mit einer charakteristischen Zugfestigkeit in Faserrichtung $f_{t,0,k} \geq 14 \text{ N/mm}^2$ und einer charakteristischen Festigkeit in Faserrichtung auf Hochkantbiegung $f_{m,1,k} \geq 20,5 \text{ N/mm}^2$.

4) Dieser Wert berücksichtigt einen Systemfaktor für mindestens 15 in x-Richtung beziehungsweise y-Richtung beanspruchte Lamellen.

5) b_l ist entweder die Lamellenbreite oder der Abstand zwischen dem Rand und einer Entlastungsnut oder der Abstand zwischen Entlastungsnuten in einer Lamelle. t_l ist die Lamellendicke. Das minimale Verhältnis b/t_l kann der Leistungserklärung (DoP) entnommen werden.

6) Für Verhältnisse $b/t_l \geq 2$.

7) Die 5%-Quantile des Elastizitätsmoduls und des Schubmoduls entsprechen 5/6 der Mittelwerte: $E_{05} = 5/6 \cdot E_{mean}$ und $G_{05} = 5/6 \cdot G_{mean}$.

8) Der Wert ist auf den Bruttoquerschnitt bezogen.

9) Für Verbindungen in nur einer Lamelle einer Lage ist die charakteristische Rohdichte der Lamelle ρ_{k} anzuwenden.

Den in Tab. 3 angegebenen Werten liegen viele und umfangreiche Untersuchungen zugrun-

de, der interessierte Leser wird auf [13] sowie die Informationen und Literaturangaben in [14] verwiesen.

Für Brettsperrholz mit äußeren Lagen einer höheren Festigkeitsklasse sind die Biegefestigkeit und Biegesteifigkeit für Biegung in Plattenebene aus den Eigenschaften dieser Lagen zu bestimmen. Alle anderen Eigenschaften sind aus den Eigenschaften der innenliegenden Lagen zu bestimmen. Die Eigenschaften von Brettsperrholz mit abweichenden Aufbauten (z.B. mit Lagen aus Holzwerkstoffplatten) sind mittels Verbundtheorie unter Verwendung der Eigenschaften der einzelnen Lagen zu bestimmen.

Für Brettsperrholzelemente unter Biegung senkrecht zur Plattenebene (also auch Knicken) mit Breiten b_{CL} kleiner als die Elementdicke t_{CL} sind die Festigkeitseigenschaften zu Null zu setzen. Für Elementbreiten $t_{CL} \leq b_L \leq 600 \text{ mm}$ sind die Biege-, Zug- und Druckfestigkeiten in Faserrichtung mit $k_{cor,b}$ abzumindern:

$$k_{cor,b} = \frac{b_{CL} [mm]}{1200} + 0,5 \quad (2)$$

Für Brettsperrholzelemente unter Biegung in der (Scheiben)ebene werden Systemfaktoren (Erhöhungsfaktoren) für Bauteile mit mehr als einer Lage mit Faserrichtung in Richtung der zugehörigen Spannung (konservative Annahme im Festigkeitsmodell) sowie Bauteilhöhen $150 \text{ mm} \leq h_{CL} \leq 600 \text{ mm}$ angegeben. Für Brettsperrholzelemente unter Biegung in Platt-

tenebene wird aufgrund der vergleichbar geringen Anzahl an Lagen und dem damit verbundenen spröden Zugversagen der äußeren Lagen kein zusätzlicher Höhenfaktor k_h angegeben.

Die Schwind- und Quellmaße von Brettsperrholz aus Nadelholz dürfen wie folgt angenommen werden:

Rechtwinklig zur Elementebene mit 0,24 % je Prozent Holzfeuchteänderung und in der Elementebene mit 0,02 % - 0,04 % je Prozent Holzfeuchteänderung. Die Schwind- und

Quellmaße in Elementebene hängen vom Aufbau ab. Für typische Aufbauten bezieht sich der kleinere Wert auf die x-Richtung (Richtung der äußeren Lagen) und der größere Wert auf die y-Richtung (Richtung der Querlagen). Teilweise können die Schwind- und Quellmaße auch höher liegen [15].

Grenzzustände der Tragfähigkeit

Allgemeines

Der Entwurf Brettsperrholz macht keine Angaben zur Anwendung bestimmter Verfahren zur Berechnung von Brettsperrholzelementen unter Plattenbeanspruchung, da die Wahl me-

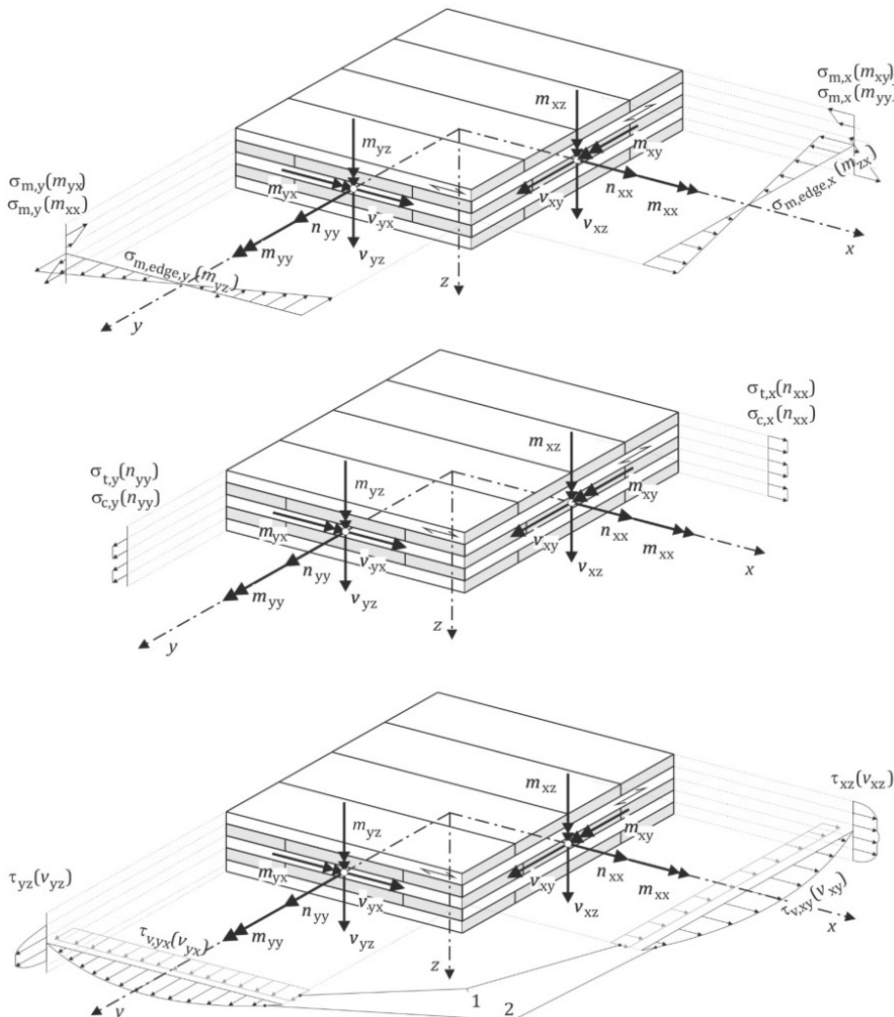


Abbildung 5

Bezeichnungen der Spannungen, Kräfte und Momente für eine beispielhafte Spannungsverteilung in einem Brettsperrholzelement

chanischer Berechnungsansätze (z.B. γ -Verfahren [2], Schubanalogieverfahren [3], Timoshenko) dem Tragwerksplaner überlassen sein sollte.

Eine vergleichende Übersicht zu anwendbaren Verfahren kann [16] und [17] entnommen werden. Die Spannungsnachweise sind mit den effektiven Querschnitten der in Richtung der Beanspruchung ausgerichteten Lagen zu führen, siehe Abb. 5, außer sie sind explizit auf den Bruttoquerschnitt des Brettsperrholzelementes bezogen. Die Bezeichnung der Richtung der Momentenbeanspruchung in Abb. 5 weicht von der klassischen Bezeichnung nach

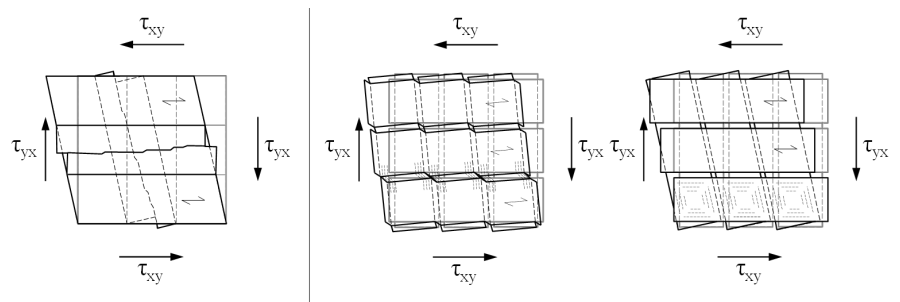
ein Nachweis der Biege-Randspannungen ist ausreichend, auf einen kombinierten Nachweis der Schwerpunkts- und Biege-Randspannungen in den einzelnen Lagen darf verzichtet werden. Ausnahme bilden gedrungene Brettsperrholzelemente ($l/h_{CL} < 5$) unter Biegung in Scheibenebene.

Schub

In Abhängigkeit der Beanspruchung sind für Brettsperrholz bis zu fünf verschiedene Schubbeanspruchungen zu berücksichtigen: Schub und Rollschub bei Beanspruchung in Plattenebene, siehe Abb. 4, sowie Bruttoschub, Nettoschub und Torsion in den Kreuzungsflä-

Abbildung 6

Versagensmechanismen Bruttoschub, Nettoschub und Torsion, aus [19]



Plattentheorie ab, da ansonsten zwei unterschiedliche Biegespannungen (aus Biegung der Platte bzw. Scheibe) die gleiche Bezeichnung bekämen. Die Diskussion der Bezeichnungen in CEN/TC 250/SC 5 ist noch nicht abgeschlossen.

Biegung

Der Einfluss der Schubverformung auf die Biegespannungen darf bei schlanken Einfeldträgern (l/t_{CL} bzw. $l/h_{CL} \geq 30$) vernachlässigt werden. Die in Tab. 3 angegebenen Biegefestigkeiten berücksichtigen bereits die Kombination von Biege- und Zugspannungen in den Lagen,

chen bei Beanspruchung in Scheibenebene, siehe Abb. 6.

Im Vergleich zu den Angaben in den abZ / ETAs wurden die Nachweisverfahren und anzusetzenden Festigkeitskennwerte im Entwurf Brettsperrholz harmonisiert.

Bei Beanspruchung in Plattenebene wird zu meist die Rollschubbeanspruchung maßgebend. Die Rollschubfestigkeit wird vor allem durch das Verhältnis zwischen Lamellenbreite bzw. Abstand der Fugen/Entlastungsnuten zur Lagen- bzw. Lamellenstärke, b/t , bestimmt,

siehe Tab. 3 [18]. Der Rissfaktor darf zu $k_{cr} = 1,0$ angesetzt werden. Bei Beanspruchung in Scheibenebene ist zumeist nur der Nachweis auf Nettoschub (mit der zugehörigen Festigkeit $f_{v,xy,k} = f_{v,yx,k} = 5,5 \text{ N/mm}^2$) maßgebend. Bei der Bestimmung des maßgebenden effektiven Nettoquerschnitts (Summe der schwächeren Lagen) ist die Dicke t der äußeren Lagen um 20 % abzumindern, siehe auch [19]. Eine Beanspruchung auf Nettoschub in Scheibenebene bedingt auch Beanspruchungen auf Torsion in den Kreuzungsflächen (und umgekehrt). Der zugehörige Nachweis der Torsionsspannungen in den Klebeflächen der rechtwinklig verklebten Lamellen ist bei den gegenwärtig festgesetzten Festigkeitskenngrößen für Torsion und Nettoschub jedoch nur für Brettsperrholzelemente zu führen, bei denen das Verhältnis $b/t \leq 4$ beträgt [20]. In diesen Fällen gilt:

$$\tau_{tor,node,d} = \frac{3}{2} \cdot \tau_{v,xy,d} \cdot \left(\frac{t_l}{b_l}\right) \leq f_{tor,node,d} \quad (3)$$

Die Eigenschaften von Brettsperrholz auf Bruttoschub werden nicht in Ansatz gebracht, da diese eine tragende Verklebung der Schmalseiten (zurzeit nicht auf dem Markt vorhanden) sowie eine annähernde Rissfreiheit über die Nutzungszeit des Bauwerks bedingen. Auch die Schubbemessung für stabförmige Bauteile aus Brettsperrholz (Hochkantbiegung) wird im Entwurf Brettsperrholz behandelt. Der Bemessungsansatz ist eng an die Angaben von Flaig [21] angelehnt.

Stabilitätsnachweise

Im Nachweis auf Biegeknicken nach dem Ersatzstabverfahren darf der Imperfektionsbeiwert wie für Brettschichtholz zu $\beta_c = 0,1$ gesetzt werden. Bei der Spannungsberechnung dürfen Schubverformungen vernachlässigt werden, da die Knickgefahr mit höherer Schlankheit zunimmt, gleichzeitig jedoch der Einfluss der Schubverformungen auf die Biegespannungen abnimmt.

Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Der Anteil der Schubverformung w_v an der Gesamtverformung w liegt bei einem Verhältnis von Spannweite l zu Elementdicke t_{CL} von $l/t_{CL} \geq 30$ in der Regel unter 10 % und darf vernachlässigt werden. In üblichen Bemessungssituationen werden für als Einfeldträger gelagerte Brettsperrholzelemente mit Spannweiten $l < 4 \text{ m}$ zumeist die Verformungsnachweise bemessungsmaßgebend, für Spannweiten $l > 4 \text{ m}$ werden zumeist die Schwingungsnachweise maßgebend.

Im Rahmen der Schwingungsnachweise gemäß der aktuell gültigen Fassung des Eurocode 5 [2] werden Nachweise der Eigenfrequenz, der Durchbiegung unter Einzellast (Steifigkeit) und der Schwinggeschwindigkeit geführt. Jüngere Entwicklungen von Deckenkonstruktionen wie Brettsperrholz- und Holz-Beton-Verbundkonstruktionen lassen sich mit diesen Kriterien (z.B. Eigenfrequenz $f_1 > 8 \text{ Hz}$) nur noch schwer nachweisen. Dementsprechend werden im Entwurf „Brettsperrholz“ Vorschläge zum Schwingungsnachweis von schwereren Decken

($\rho_k \geq 50 \text{ kg/m}^3$) gemacht, welche sich eng an die Angaben von Hamm [22] anlehnen. Diese Vorschläge werden aktuell im verantwortlichen Project Team SC5.T3 diskutiert und weiter bearbeitet. Tab. 4 gibt Werte für den modalen Dämpfungsgrad von Brettsperrholzdecken an.

Deckenaufbau	Modaler Dämpfungsgrad ζ
BSP-Decke mit schwimmendem Estrich und schwerer Schüttung (> 60 kg/m ³)	0,04
BSP-Decke mit oder ohne leichter Schüttung	0,025

Tabelle 4

Werte für den modalen Dämpfungsgrad ζ für Brettsperrholzdecken

Bauteile

Wandscheiben

Für Brettsperrholzelemente als Wandscheiben werden Konstruktionsregeln gegeben, die hier in Auszügen wiedergegeben werden. Eine tragende Wandscheibe sollte ein Verhältnis von Wandhöhe h zu Wandbreite l von $h/l \leq 4$ aufweisen. Wandscheiben können als monolithische oder segmentierte Wandscheibe ausgeführt werden. Die Verbindungen zwischen Teilen einer segmentierten Wand dürfen auf einen konstanten Schubfluss bemessen werden. Die Beanspruchungen aus horizontalen Lasten in Fenster- bzw. Türstürzen sind zu berücksichtigen, wenn das Abheben der angrenzenden Wände nicht verhindert wird. Bei der Berechnung der Beanspruchungen sowie der Verformungsberechnung sind die Verformungsanteile der Verbindungsmittel zu berücksichtigen. Im Unterschied zu den Angaben in abZ / ETAs

darf die Schubsteifigkeit einer Wandscheibe aus Brettsperrholz mit dem Schubmodul für Schub in der Scheibenebene, $G_{xy,mean} = G_{yx,mean}$ und unter Ansatz des Bruttoquerschnittes ermittelt werden.

Konzentrierte Lasteinleitung in Scheibenebene

Bei der Auflagerung von Unterzügen oder auch Pfetten auf Wänden werden lokal hohe Lasten in Brettsperrholzwände eingetragen. Neben dem Nachweis der Kontaktfläche im Brettsperrholz müssen Stabilitätsnachweise und gegebenenfalls im Bauteil unter der Wand auch Querdrucknachweise geführt werden. Hierfür werden Angaben zur Lastausbreitung gegeben. Für Brettsperrholzelemente innerhalb der folgenden Grenzen werden diese Angaben deutlich vereinfacht:

- Verhältnis der Summe der Lagendicken in Richtung der Last $\sum t_x$ zur Gesamtdicke t_{CL} von $\sum t_x / t_{CL} \geq 0,6$.
- Verhältnis der Lasteinleitungsbreite b zur Elementhöhe h von $b/h \leq 0,1$.

In diesen Fällen darf die effektive Breite auf halber Höhe des Elements $b_{ef}(h/2)$ und am Fuße des Elements $b_{ef}(h)$ unter Annahme eines Lastausbreitungswinkels von 25° vereinfachend berechnet werden zu:

$$b_{ef}\left(\frac{h}{2}\right) = b_{ef}(h) = b + 0,5 \cdot h \quad (4)$$

Druck rechtwinklig zur Faser

Für Brettsperrholzelemente mit einem Verhältnis zwischen maximaler und minimaler Lagen-
 dicke $t_{l,max}/t_{l,min} \leq 2$ darf der Querdruckbeiwert $k_{c,90,CL}$ wie folgt berechnet werden:

$$k_{c,90,CL} = \sqrt{\frac{b_{dis} \cdot l_{dis}}{b \cdot l}} \leq 4 \quad (5)$$

Die Verteilungsbreite b_{dis} bzw. -länge l_{dis} basieren auf der Annahme eines mittleren Lastausbreitungswinkels von 35° (Längslagen: 45°, Querlagen: 15°), siehe Abb. 7. Die Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faser von Brettsperrholz aus Vollholzlamellen $f_{c,z,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$ ist höher als die Querdruckfestigkeit von Brett-

schichtholz. Gleiches gilt für den Elastizitätsmodul rechtwinklig zu Faser $E_{z,mean} = 450 \text{ N/mm}^2$. Grund ist in beiden Fällen der Sperrreffekt der Querlagen [23].

Konzentrierte Lasteinleitung rechtwinklig zur Ebene

Für den „Durchstanznachweis“ unter Einzellasten rechtwinklig zur Ebene von Brettsperrholzplatten ist in der Regel die Rollschubfestigkeit maßgebend. Aufgrund einer positiv wirkenden Spannungsinteraktion aus Querdruck und Rollschub sowie nichtlinearer Effekte im Bereich der Lastkonzentration [24] darf für Brettsperrholz ausschließlich aus Brettlagen aus Vollholz eine 60 % höhere Rollschubfestigkeit ange-

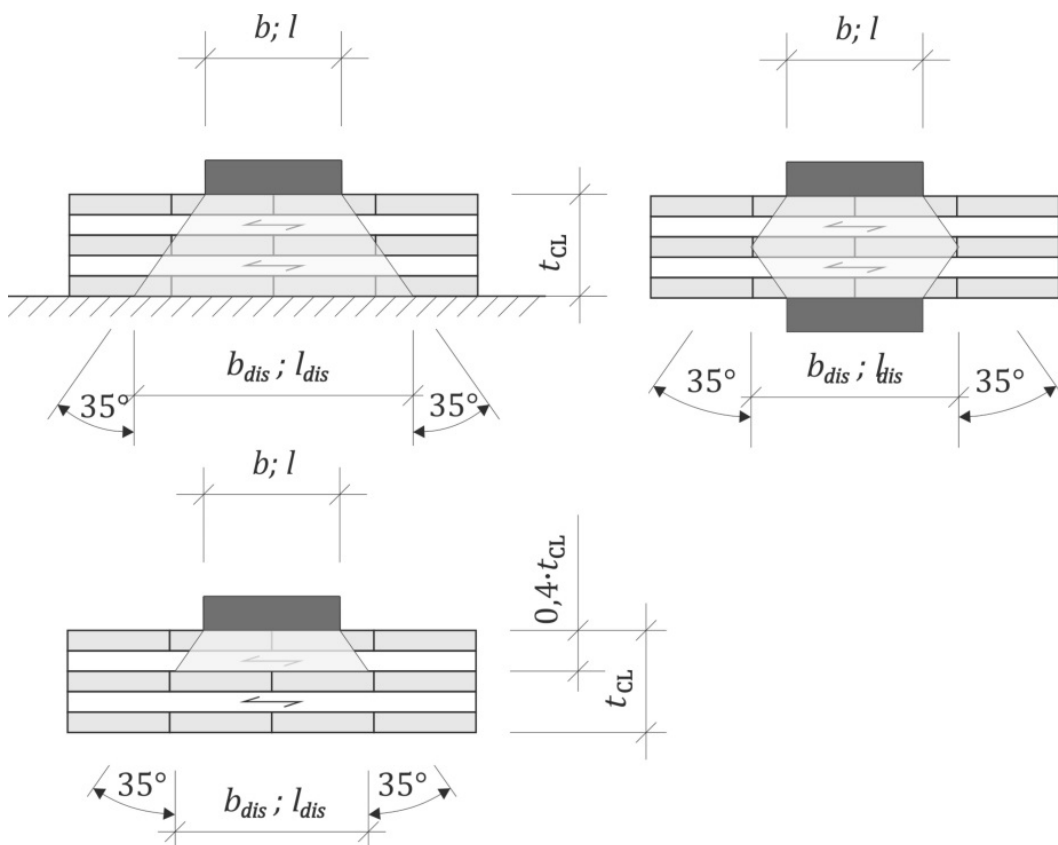


Abbildung 7
 Lastausbreitung und Verteilungsbreite bei Druck rechtwinklig zur Faser

setzt werden [25]. Die Rollschubspannungen im Bereich lokaler Einzellasten dürfen unter Ansatz einer mitwirkenden Breite ermittelt

werden. Hierfür darf ein Lastausbreitungswinkel von 35° bis zur maßgebenden Lage angesetzt werden, siehe Abb. 8 und [24]. Der Nachweis ist dann wie folgt zu führen:

$$\tau_{r,d} \leq k_{r,pu} \cdot f_{rd} \quad (6)$$

mit: $k_{r,pu} = 1,60$ für BSP aus Brettlagen aus Vollholz

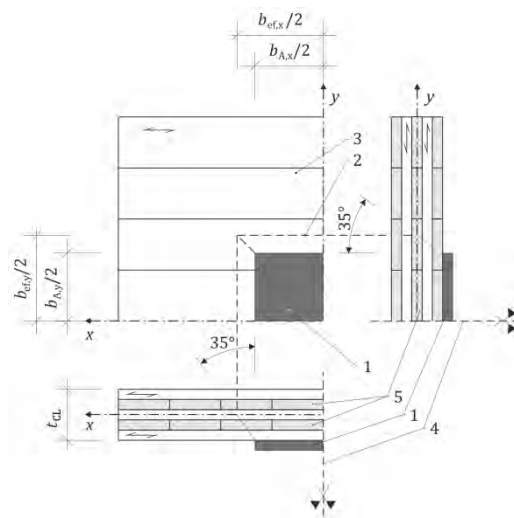


Abbildung 8

BSP unter Einzellast
(1 – Lasteinleitungsfläche;
2 – maßgebender Schnitt;
3 – BSP; 4 – Bauteilrand oder
Symmetrieachse; 5 – maßgebende Lage)

Auch Verstärkungen für den Fall hoher Auflagerlasten bzw. hoher Einzellasten werden im Entwurf Brettsperrholz behandelt. Der Bemessungsansatz ist eng an die Angaben von Mestek [24] angelehnt.

Rippenplatten

Der Entwurf Brettsperrholz enthält auch Angaben zur Bemessung von Rippenplatten aus

Brettsperrholzplatten, verklebt mit z.B. einem Brettschichtholzquerschnitt.

Ausblick

Das Project Team SC5.T1 *CLT and Reinforcement* hatte nicht den Auftrag, die Themen *Brand* (EN 1995-1-2) und *Verbindungen* (EN 1995-1-1 Kapitel 8) zu behandeln. Diese werden in den Project Teams SC5.T4 *Fire* (EN 1995-1-2) und SC5.T5 *Connections* behandelt. Einen Überblick über jüngere Entwicklungen in beiden Bereichen, geben [26] und [27]. Die beiden Project Teams beginnen Ihre Arbeit im Herbst 2018, im April 2021 übergeben sie ihre finalen Entwürfe. Aus den Entwürfen der Project Teams wird CEN/TC 250/SC 5 Normentwürfe der einzelnen Teile EN 1995 erstellen. Diese gehen anschließend in die offiziellen Umfragen und abschließend in die formelle Abstimmung. Danach werden die nationalen Anhänge für die einzelnen Teile der Eurocodes erarbeitet und beide Dokumente national eingeführt. Bis zur Zusammenführung der einzelnen Entwürfe der PTs wird sich CEN/TC 250/SC 5/WG 1 *CLT* mit der Vereinheitlichung des Schubnachweises für Scheiben und stabförmige Bauteile sowie Durchbrüchen und Ausklinkungen in stabförmigen Bauteilen (Hochkantbiegung) befassen.

In freundschaftlicher Verbundenheit gewidmet Alfons Brunauer (1963-2018)

Literatur

- [1] Brandner, R.; Flatscher, G.; Ringhofer, A.; Schickhofer, G.; Thiel, A. (2016): Cross laminated timber (CLT) – Overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products* Vol. 74, H. 3, S. 331–351.
- [2] EN 1995-1-1:2004; Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, + AC (2006) + A1 (2008) + A2 (2014). CEN European committee for standardization, Brüssel, Belgien.
- [3] DIN EN 1995-1-1/NA:2013; Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Holzbau. DIN, Berlin.
- [4] ÖNORM B 1995-1-1:2015-06, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - Nationale Festlegungen zur Umsetzung der ÖNORM EN 1995-1-1, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen. ASI Austrian Standards International, Wien, Österreich.
- [5] Dietsch, P.; Winter, S. (2012): Eurocode 5 - Future Developments towards a more comprehensive code on timber structures. *Structural Engineering International* Vol. 22, H. 2, S. 223-231.
- [6] CEN/TC 250 N1239 (2014): Position paper on enhancing ease of use of the Structural Eurocodes. CEN/TC 250 Document N1239, Brüssel, Belgien.
- [7] Kleinhenz, M., Winter, S., Dietsch, P. (2016): Eurocode 5 – a halftime summary of the revision process, in: *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering WCTE 2016*, Wien, Österreich.
- [8] DIN EN 14080:2013-09: Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen. DIN, Berlin.
- [9] Fink, G., Köhler, J., Brandner, R. (2018): Application of European design principles to cross laminated timber. *Engineering Structures*, Vol. 171, S. 934 - 943
- [10] Jöbstl, R.; Schickhofer, G. (2007): Comparative examination of creep of GLT- and CLT-slabs in bending, in: *Proceedings of the 40th Meeting of CIB W18*, Paper 40-12-3, Bled, Slowenien.
- [11] DIN EN 16351:2015-12: Holzbauwerke – Brettsperrholz – Anforderungen. DIN, Berlin.
- [12] EAD 130005-00-0304:2015: Solid wood slab element to be used as structural element in buildings. EOTA, Brüssel, Belgien.
- [13] Unterwieser, H.; Schickhofer, G. (2013): Characteristic Values and Test Configurations of CLT with Focus on selected Properties, in: Harris, R., Ringhofer, A., Schickhofer, G.: Pro-

- ceedings of the Conference “Focus Solid Timber Solutions – European Conference on Cross Laminated Timber (CLT)” of COST Action FP1004 in Graz, Austria, S. 53-57, ISBN 1-85790-181-9.
- [14] Brandner, R.; Tomasi, R.; Moosbrugger, T.; Serrano, E.; Dietsch, P. (eds.) (2018): Properties, Testing and Design of Cross Laminated Timber: A state-of-the-art report by COST Action FP1402 / WG 2. Shaker Verlag, Aachen. ISBN 978-3-8440-6143-7.
- [15] Moosbrugger, T., Guggenberger, T., Neumüller, F., Neumüller, A. (2018): Schwinden und Quellen von orthogonal verklebten Holzprodukten. Holztechnologie Vol. 59, H. 1, S. 5-16.
- [16] Bogensperger, T.; Silly, G.; Schickhofer, G. (2012): Comparison of Methods of Approximate Verification Procedures for Cross Laminated Timber, in Brandner, R.; Tomasi, R.; Moosbrugger, T.; Serrano, E.; Dietsch, P. (eds.) (2018): Properties, Testing and Design of Cross Laminated Timber: A state-of-the-art report by COST Action FP1402 / WG 2. Shaker Verlag, Aachen. ISBN 978-3-8440-6143-7.
- [17] Winter, S.; Kreuzinger, H.; Mestek, P. (2009): Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. Serie Holzbau der Zukunft. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Teilprojekt 19, 2009, ISBN 978-3-8167-7875-2.
- [18] Ehrhart, T.; Brandner, R. (2018): Rolling shear: Test configurations and properties of some European soft- and hardwood species. Engineering Structures Vol. 172, S. 554-572.
- [19] Brandner, R.; Dietsch, P.; Dröscher, J.; Schulte-Wrede, M.; Kreuzinger, H.; Sieder, M. (2017): Cross laminated timber (CLT) diaphragms under shear: Test configuration, properties and design. Construction and Building Materials Vol 147, S. 312–327.
- [20] Schickhofer, G.; Bogensperger, T.; Moosbrugger, T. (Hrsg.) (2010): BSPHandbuch: Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz – Nachweise auf Basis des neuen europäischen Normenkonzepts. Verlag der Technischen Universität Graz, ISBN 978-3-85125-109-8.
- [21] Flaig, M. (2012): Stabförmige Bauteile aus Brettsperrholz, in: Görlacher, R. (Hrsg.): Karlsruher Tage: Holzbau – Forschung für die Praxis, KIT Scientific Publishing, ISBN 978-3-86644-913-8.
- [22] Hamm, P.; Richter, A. (2009): Personeninduzierte Schwingungen bei Holzdecken – neue Erkenntnisse führen zu neuen Bewertungsverfahren. Ingenieurholzbau Karlsruher Tage - Forschung für die Praxis, Bruderverlag, Köln.
- [23] Brandner, R. (2018): Cross laminated timber (CLT) in compression perpendicular to plane: Testing, properties, design and recommendations for harmonizing design provisions for structural timber products. Engineering Structures, Vol. 171, S. 944 – 960

[24] Mestek, P. (2012): Punktgestützte Brettsperrholzkonstruktionen - Schubverstärkungen mit Vollgewindeschrauben, in: Görlacher, R. (Hrsg.): Karlsruher Tage: Holzbau – Forschung für die Praxis, KIT Scientific Publishing, ISBN 978-3-86644-913-8.

[25] Bogensperger, T.; Jöbstl, R. (2015): Concentrated load introduction in CLT, in: Proceedings of the 2nd INTER Meeting, Paper 48-12-1, Šibenik, Kroatien.

[26] Falk, A.; Dietsch P.; Schmid, J. (eds) (2016): Proceedings of the Joint Conference of COST Actions FP1402 & FP1404 "Cross Laminated Timber – A competitive wood product for visionary and fire safe buildings". KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, ISBN 978-91-7729-043-8.

[27] Ringhofer, A.; Brandner, R.; Dietsch, P. (eds) (2017): Proceedings of the "International Conference on Connections in Timber Engineering – From Research to Standards" of COST Action FP1402. Verlag der Technischen Universität Graz, ISBN 978-3-85125-554-6.

Autoren

Die Anzahl der Autoren ergibt sich aus der Tatsache, dass die Erstellung des Entwurfs *Brettsperrholz* eine Teamarbeit war. Philipp Dietsch, Gerhard Schickhofer, Alfons Brunauer, Roberto Tomasi und Tobias Wiegand (lead) haben in ihrer Funktion als PT-Mitglieder, Ulrich Hübner, Harald Krenn, Peter Mestek und Thomas Moosbrugger haben in ihrer Funktion als Mitglieder von CEN/TC 250/SC 5/WG 1 federführend an der Erstellung mitgearbeitet.

Anhang – Symbole

b_{CL}	Breite eines Brettsperrholzelementes;
b_{dis}	Verteilungsbreite;
$f_{tor,node,d}$	Bemessungswert der Schubfestigkeit der Klebefläche rechtwinklig verklebter Lamellen;
h_{CL}	Höhe eines Brettsperrholzelementes;
$k_{cor,b}$	Beiwert für eine reduzierte Elementbreite;
$k_{r,pu}$	Beiwert zur Berücksichtigung nicht-linearen Verhaltens und der Spannungscombination;
l_{dis}	Verteilungslänge;
t_{CL}	Dicke eines Brettsperrholzelementes;
$t_{l,max}$	Maximale Dicke einer Lamelle in einem Aufbau eines Brettsperrholzelementes;
$t_{lay,max}$	Maximale Dicke einer Lage in einem Aufbau eines Brettsperrholzelementes;
$t_{x(y)}$	Summe der Dicken der Lagen mit Ausrichtung in x(y)-Richtung;
β_c	Imperfektionsbeiwert;
ζ	Modaler Dämpfungsbeiwert;
$\tau_{r,d}$	Bemessungswert der Rollschubspannung
$\tau_{tor,node,d}$	Bemessungswert der Schubspannung in der Klebefläche rechtwinklig verklebter Lamellen;



proHolzBW GmbH

Forum Holzbau

Hellmuth-Hirth-Straße 7

73760 Ostfildern

Telefon: 0711 2399 668

Telefax: 0711 2399 660

info@proholz-bw.de

www.proholz-bw.de