


Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine 

Tagungsband

KARLSRUHER TAGE 2018

HOLZBAU

Forschung für die Praxis

04. – 05. Oktober 2018

Eurocode 5:2022 – Einführung in die neuen Abschnitte Brettsperrholz und Verstärkungen

Philipp Dietsch, Gerhard Schickhofer, Alfons Brunauer, Roberto Tomasi, Ulrich Hübner, Harald Krenn,
Peter Mestek, Thomas Moosbrugger und Tobias Wiegand

In freundschaftlicher Verbundenheit gewidmet Alfons Brunauer (1963-2018)

Zusammenfassung

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 zu den für die nächste Generation des Eurocode 5 entworfenen Abschnitten *Brettsperrholz* und *Verstärkungen* dar und erläutert Weiterentwicklungen gegenüber der bisherigen Bemessungspraxis.

1 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, bei Schul- und Gewerbebauten. Auch der im internationalen Umfeld zunehmende Bau von Hochhäusern aus Holz ist eng mit der Entwicklung von Brettsperrholz verknüpft.

Im Bereich der Verbindungstechnik bieten auf Zug (axial) beanspruchbare Vollgewindeschrauben oder Gewindestangen mit Holzschraubengewinde ebenfalls ein weites Anwendungsfeld. Diese sind schnell (i.d.R. ohne Vorbohren) einzubauen und besitzen beträchtliche Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften. Sie finden Anwendung bei Verbindungen wie z. B. Zugstößen, Haupt-Nebenträger-Verbindungen, Pfosten-Riegel-Verbindungen, Koppelpfetten und im Holz-Beton-Verbund. Ein weiterer großer Anwendungsbereich sind Verstärkungen (Auflager, Ausklinkungen, Durchbrüche, Queranschlüsse, gekrümmte Träger) [2], wo Vollgewindeschrauben einen großen Marktanteil der vor ihrer Entwicklung häufig angewendeten, eingeklebten Gewindestangen übernommen haben.

Die europäische Bemessungsnorm für Holzbauten, Eurocode 5, enthält in ihrer aktuellen Fassung [3] weder spezifische Angaben zur Bemessung von Brettsperrholz, noch zur Bemessung von Verstärkungen. Die normgerechte Anwendung von Brettsperrholz und Verstärkungselementen ist bisher nur in wenigen europäischen Ländern über nicht widerspre-

chende Regeln zum Eurocode 5 (NCCI) in den nationalen Anhängen (NA) ermöglicht [4], [5]. Um die offensichtliche Lücke im Eurocode 5 zu schließen wurden die Themen *Brettsperrholz* und *Verstärkungen* auf der Liste der Arbeitspakete zur Überarbeitung desselben als vorrangig eingestuft [6].

2 Herangehensweise

Normung markiert einen wichtigen Schritt erfolgreicher Forschung und Entwicklung, welche positive Anwendung und Akzeptanz in der Praxis gefunden hat, siehe Abb. 1. 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 [7].

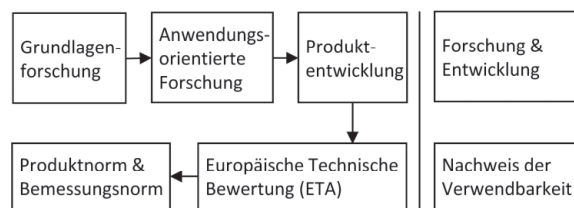


Abb. 1 Entwicklung von Produkten und der Weg zur Anwendbarkeit

Die Entwicklung von Bemessungsansätzen für Bauprodukte setzt voraus, dass für diese genormte Prüfverfahren sowie eine Produktnorm oder eine abZ / ETA zur Verfügung stehen. Die Arbeit an den europäischen Bemessungsnormen ist wie folgt strukturiert, siehe auch Abb. 2 und [8]: 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; WG 1 ist verantwortlich für Brettsperrholz, WG 7 für Verstärkungen. Die nationalen Spiegelausschüsse entsenden Experten in die Arbeitsgruppen. Die Arbeitsgruppen sind verantwortlich für ihr spezifisches Arbeitsprogramm. In ihnen werden technische Diskussionen geführt, welche in Vorschlägen für die Normung münden.

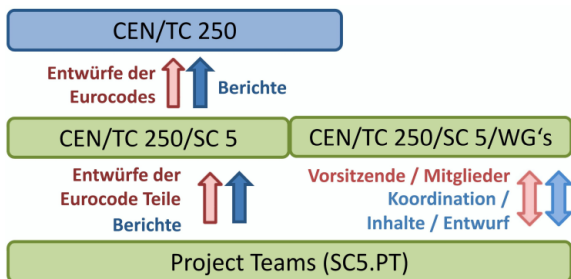


Abb. 2 Struktur der Normungsarbeit

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“ [7] 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 Normenausschüsse. Das Project Team SC5.T1 hat Ende April 2018 seine finalen Entwürfe 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 der beiden Schlussskizzen des PT SC5.T1 zum Thema Brettsperrholz und Verstärkungen (nachfolgend auch Entwurf *Brettsperrholz* bzw. Entwurf *Verstärkungen* genannt) vorgestellt und die Weiterentwicklungen gegenüber der bisherigen Bemessungspraxis erläutert.

3 Brettsperrholz

3.1 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.

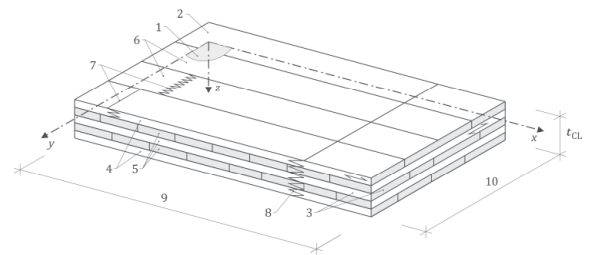


Abb. 3 Brettsperrholz

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.

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 werden 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.

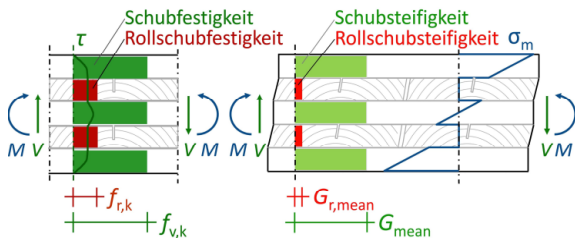


Abb. 4 Brettsperrholz: Verlauf der Schub- und Biegespannungen, Verformungsfigur sowie Schubfestigkeiten und Schubsteifigkeiten in Abhängigkeit der Lagenrichtung.

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.

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 Nadelholzlammellen, 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 [9]) haben vergleichbare Abmessungen und eine ähnliche Anzahl von Lamellen mit Fasern parallel zur Tragrichtung. Dieser Äquivalenzgrad begründet [10], warum für Brettschichtholz und Brettsperrholz der gleiche Teilsicherheitsbeiwert empfohlen wird:

$$\gamma_M = 1,25 \tag{1}$$

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

Tab. 1 Werte für k_{mod} für Brettsperrholz

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

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 [11]. 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 [4] ab.

Tab. 2 Werte für k_{def} für Brettsperrholz

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

Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften

Brettsperrholz ist nach EN 16351 [12] (bisher noch nicht über das offizielle Amtsblatt der EU eingeführt) oder einer ETA auf Basis des EAD [13] 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 werden. Die aus den abZ / ETAs oder [3] bekannten Systemeffekte dürfen nicht angesetzt werden, sie sind im zugrundeliegenden Festigkeitsmodell bereits integriert. Ebenso bereits abgedeckt sind die geringen Querschnittschwächungen aus Fugen und Entlastungsnuten. Bei der Bemessung von Verbindungen sind diese jedoch zu berücksichtigen.

Tab. 3 Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften in N/mm^2 sowie Rohdichten in kg/m^3 für Brettsperrholz mit Brettlagen aus Vollholz, abgeleitet aus den Eigenschaften der Vollholzlammellen ¹⁾

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
Schubfestigkeit 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 ⁵⁾
Schubfestigkeit 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 $G_{xy,mean}$ $G_{yx,mean}$ $G_{tor,mean}$	$\min \left\{ \begin{array}{l} \frac{650}{1 + 2,6(t_l/b_l)^{1,2}} \\ 450 \end{array} \right.$ 5), 7), 8)	450 ^{6), 7), 8)}
Schubmodul	Rollschub $G_{r,mean}$	$\min \left\{ \begin{array}{l} 30 + 17,5b_l/t_l \\ 100 \end{array} \right.$ 5), 7)	65,0 ^{6), 7)}
Rohdichte	ρ_k	$1,1 \cdot \rho_{l,k}$ ⁹⁾	385 ⁹⁾
	ρ_{mean}	$\rho_{l,mean}$	420

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 $\rho_{l,k} = 350 \text{ kg/m}^3$ (T14 nach EN 338).

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

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_l/t_l kann der Leistungserklärung (DoP) entnommen werden.

⁶⁾ Für Verhältnisse $b_l/t_l \geq 2$.

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 $\rho_{l,k}$ anzuwenden.

Den in Tab. 3 angegebenen Werten liegen viele und umfangreiche Untersuchungen zugrunde, der interessierte Leser wird auf [14] sowie die die Informationen und Literaturangaben in [15] 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 $t_{CL} \leq b_{CL} \leq 600 \text{ mm}$ sind die Biege-, Zug- und Druckfestigkeiten in Faserrichtung mit $k_{cor,b}$ abzumindern:

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

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 Plattenebene 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 [16].

3.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit

Allgemeines

Der Entwurf *Brettsperrholz* macht keine Angaben zur Anwendung bestimmter Verfahren zur Berechnung von Brettsperrholzelementen unter Plattenbeanspruchung, da die Wahl mechanischer Berechnungsansätze (z. B. γ -Verfahren [3], Schubanalogieverfahren [4], Timoshenko) dem Tragwerksplaner überlassen sein sollte. Eine vergleichende Übersicht zu anwendbaren Verfahren kann [17] und [18] 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 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.

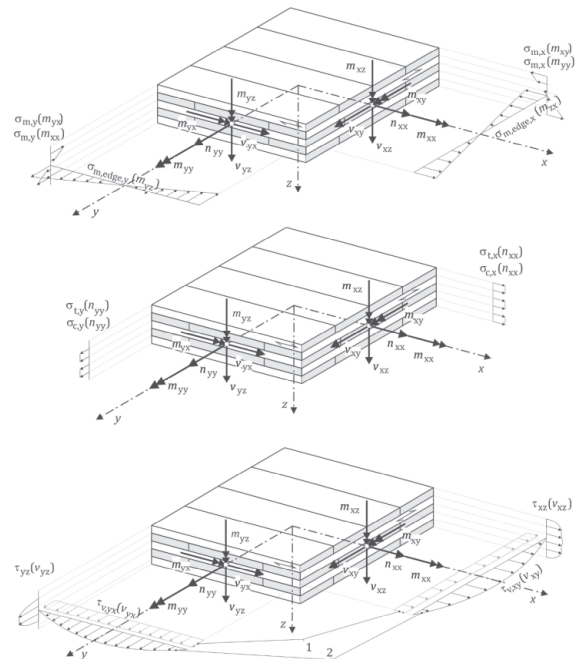


Abb. 5 Bezeichnungen der Spannungen, Kräfte und Momente für eine beispielhafte Spannungsverteilung in einem Brettsperrholzelement

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, 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 Kreuzungsflächen bei Beanspruchung in Scheibenebene, siehe Abb. 6.

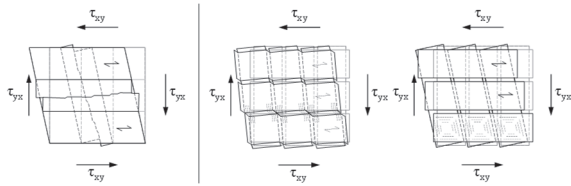


Abb. 6 Versagensmechanismen Bruttoschub, Nettoschub und Torsion, aus [20]

Im Vergleich zu den Angaben in den abZ / ETAs wurden die Nachweisverfahren und anzusetzenden Festigkeitskennwerte im Entwurf *Brettsperrholz* harmonisiert. Bei Beanspruchung in Plattenebene wird zumeist die Rollschubbeanspruchung maßgebend. Die Rollschubfestigkeit wird vor allem durch das Verhältnis zwischen Lamellenbreite bzw. Abstand der Fugen/Entlastungsnuten zur Lagen- bzw. Lamellenstärke, b/t_l , bestimmt, siehe Tab. 3 [19]. 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_l der äußeren Lagen um 20 % abzumindern, siehe auch [20]. 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 $b/t_l \leq 4$ beträgt [21]. In diesen Fällen gilt:

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

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* [22] 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.

3.3 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 [3] 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 ($g_k \geq 50 \text{ kg/m}^3$) gemacht, welche sich eng an die Angaben von *Hamm* [23] 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.

Tab. 4 Werte für den modalen Dämpfungsgrad ζ für Brettsperrholzdecken

Deckenaufbau	Modaler Dämpfungsgrad ζ
BSP-Decke mit schwimmendem Estrich und schwerer Schüttung ($> 60 \text{ kg/m}^3$)	0,04
BSP-Decke mit schwimmendem Estrich und leichter Schüttung ($> 30 \text{ kg/m}^3$)	0,025
BSP-Decke mit oder ohne leichter Schüttung	0,025

3.4 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 Brettsperrholzwänden 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:

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

Druck rechtwinklig zur Faser

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

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

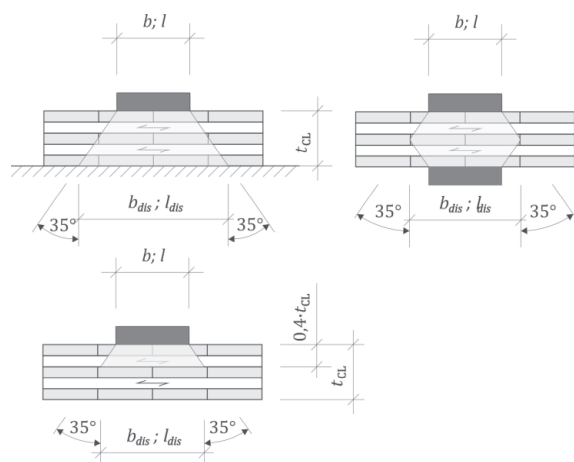


Abb. 7 Lastausbreitung und Verteilungsbreite bei Druck rechtwinklig zur Faser

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 [24].

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 [25] darf für Brettsperrholz ausschließlich aus Brettlagen aus Vollholz eine 60 % höhere Rollschubfestigkeit angesetzt werden [26]. 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 [25].

Der Nachweis ist dann wie folgt zu führen:

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

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

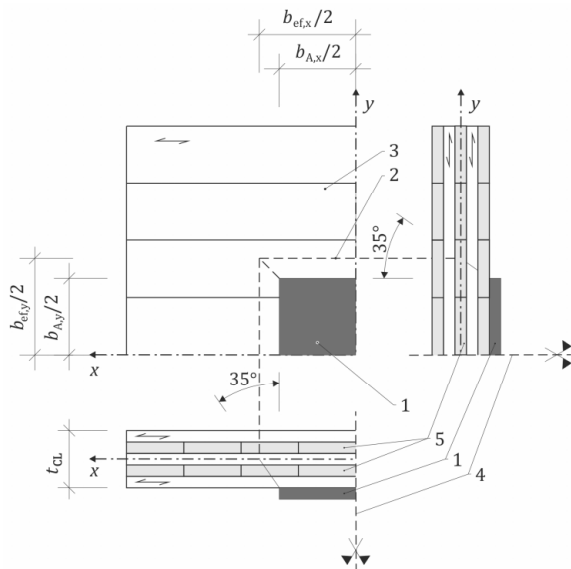


Abb. 8 BSP unter Einzellast (1 – Lasteinleitungsfläche; 2 – maßgebender Schnitt; 3 – BSP; 4 – Bauteilrand oder Symmetrieachse; 5 – maßgebende Lage)

Auch Verstärkungen für den Fall hoher Auflagerlasten bzw. hoher Einzellasten werden im Entwurf *Brettsperrholz* behandelt. Der Bemessungsansatz ist eng an die Angaben von *Mestek* [25] angelehnt.

Rippenplatten

Der Entwurf *Brettsperrholz* enthält auch Angaben zur Bemessung von Rippenplatten aus Brettsperrholzplatten, verklebt mit z. B. einem Brettschichtholzquerschnitt.

3.5 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 [27] und [28]. 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.

4 Verstärkungen

4.1 Allgemeines

Die Verstärkung von Holzbauteilen in Richtung von Beanspruchungen, gegenüber denen Holz nur geringe Festigkeitseigenschaften und spröde Versagensmechanismen aufweist (Querzug), ist im deutschsprachigen Raum bereits normativ geregelt [4], [5]. Bei der Erarbeitung des Entwurfes *Verstärkungen* wurden diese eingeführten und seit langem angewendeten Regeln zu Grunde gelegt und um neuere Erkenntnisse erweitert. Im Hinblick auf die Einfachheit der Anwendung („ease-of-use“) wurde die Struktur und Abfolge der Abschnitte jedoch geändert. Anstelle eines separaten Abschnittes *Verstärkungen* wurden die zugehörigen Angaben in den bereits bestehenden Hauptteil eingegliedert, um den typischen Ablauf einer Bemessungsaufgabe zu spiegeln: Allgemeines – Bemessung des unverstärkten Bauteils (z. B. gekrümmter Träger) – Bemessung von Verstärkungen für dieses Bauteil (z. B. Gewindestangen).

Im Folgenden werden nur die Teile des Entwurfs *Verstärkungen* dargestellt, die eine Änderung oder Erweiterung zu den bereits in [4] und [5] eingeführten Regeln darstellen. Nicht oder nur marginal angepasste Regeln werden über einen Abschnitts- oder Gleichungsverweis auf den deutschen NA zum Eurocode 5 [4] eingeführt. Für eine umfangreiche Darstellung des kompletten Entwurfs *Verstärkungen* inkl. Hintergrundinformationen wird auf den zugehörigen Beitrag in [28] verwiesen.

Im Entwurf abgedeckt wird die Verstärkung von:

- Gekrümmten Trägern und Satteldachträgern
- Rechtwinkligen Ausklinkungen
- Durchbrüchen
- Queranschlüssen
- Stabdübelverbindungen
- Bereiche hoher Querdruckspannungen

Grundvoraussetzungen für Verstärkungselemente sind zum einen ein kontinuierlicher Verbund zwischen Verstärkungselement und Holz, zum anderen

eine ausreichende Steifigkeit des Verstärkungselementes, um große Rissbildungen zu vermeiden. Die folgenden stiftförmigen Verstärkungselemente dürfen verwendet werden:

- Vollgewindeschrauben nach EN 14592 oder ETA
- Gewindestangen mit Holzschraubengewinde nach ETA
- Eingeklebte Gewindebolzen oder eingeklebte gerippte Betonstabstähle.

Die folgenden flächenförmigen Verstärkungselemente dürfen verwendet werden:

- Aufgeklebtes Sperrholz oder Massivholzplatten nach EN 13986
- Aufgeklebtes Furnierschichtholz nach EN 14374
- Aufgeklebte Lamellen aus Vollholz nach EN 14081-1 oder Sperrholz nach EN 13986 oder Furnierschichtholz nach EN 14374.
- Eingepresste Nagelplatten

Die Verstärkungselemente müssen für die Anwendung im zu verstärkenden Holzprodukt und die vorliegende Nutzungsklasse zugelassen sein. Für alle Verstärkungselemente gilt, dass diese so nah wie möglich an den Ort der Querspannungen und/oder Schubspannungen, d. h. unter Verwendung der minimal möglichen Abstände angeordnet werden sollten. Die Abstandsregelungen entsprechen [4] NA.6.8.1 (NA.5), für Vollgewindeschrauben und Gewindestangen mit Holzschraubengewinde gelten die Angaben der zugehörigen ETA. Für geneigt (d. h. unter einem Winkel $< 90^\circ$) eingebrachte, stiftförmige Verstärkungselemente dürfen die Abstände vom Schwerpunkt des Schraubengewindes im Bauteil aus bestimmt werden, siehe Abb. 9. Aufgrund des beschränkten Einflussbereichs von Verstärkungselementen sollte in blockverklebten Querschnitten jeder Teilquerschnitt für sich verstärkt werden. Querschnittsschwächungen sind zu berücksichtigen.

4.2 Bemessung von Querkzugverstärkungen

Querkzugverstärkungen in Holz sind vergleichbar mit einer schlaffen Bewehrung bei Betonbauteilen. Da Holz auf Zug quer zur Faser eine geringe Festigkeit und ein sprödes Versagen aufweist, wird die Querkzugfestigkeit des Holzes in der Bemessung von verstärkten Bauteilen nicht berücksichtigt, d. h. es wird mit gerissener Querkzugzone gerechnet.

Die Bemessung der Verstärkungselemente für Querkzugverstärkungen wurde überarbeitet mit dem Ziel der Harmonisierung, der Unabhängigkeit vom zu verstärkenden Bauteil/Detail und einer übersichtlichen Darstellung an einem Ort („ease-of-use“):

$$\frac{F_{t,90,Ed}}{F_{t,90,Rd}} \leq 1,0 \quad (7)$$

Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit von stiftförmigen oder flächenförmigen Verstärkungselementen, $F_{t90,Rd}$, entspricht dem kleinsten Wert aus den folgenden Formeln (8) - (10):

Für Vollgewindeschrauben oder Gewindestangen mit Holzschraubengewinde (siehe auch [3], 8.7.2):

$$F_{t,90,Rd} = n_r \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,d} \cdot d \cdot \ell_{ad} \\ f_{tens,d} \end{array} \right. \quad (8)$$

Für eingeklebte Gewindebolzen oder eingeklebte gerippte Betonstabstähle:

$$F_{t,90,Rd} = n_r \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} f_{b1,d} \cdot \pi \cdot d \cdot \ell_{ad} \\ f_{yb,d} \cdot A \\ 0,9 \cdot f_{ub,d} \cdot A_s \end{array} \right. \quad (9)$$

Für aufgeklebte flächenförmige Verstärkungselemente:

$$F_{t,90,Rd} = n_r \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} f_{b2,d} \cdot \ell_{ad} \cdot b_r \\ \frac{f_{t,d}}{k_k} \cdot b_r \cdot t_r \end{array} \right. \quad (10)$$

mit:

$$\ell_{ad} = \min \left\{ \begin{array}{l} \ell_{ad,t} \\ \ell_{ad,c} \end{array} \right. \quad (\text{siehe Abb. 9 - 12}) \quad (11)$$

Eine Erläuterung der einzelnen Symbole kann dem Anhang entnommen werden. Festigkeitskennwerte für Klebfugen dürfen Tab. 5 entnommen werden.

Mit dem Beiwert k_k wird die ungleichförmige Spannungsverteilung in flächenförmigen Verstärkungselementen berücksichtigt. Ohne weiteren Nachweis darf der Wert k_k angenommen werden zu:

$k_k =$	1,0	für gekrümmte Träger und Satteldachträger
	2,0	für rechtwinklige Ausklinkungen an Biegestäben mit Rechteckquerschnitt (12)
	2,0	für Durchbrüche bei Biegestäben mit Rechteckquerschnitt
	1,5	für Queranschlüsse

Tab. 5 Mindestwerte für charakteristische Festigkeitskennwerte in N/mm^2 für Klebfugen bei Verstärkungen^a

	Wirksame Einkleblänge ℓ_{ad} des Stahlstabes, in mm		
	≤ 250	$250 < \ell_{ad} \leq 500$	$500 < \ell_{ad} \leq 1000^c$
Klebfuge zwischen Stahlstab und Bohrlochwandung, $f_{b1,k}$ in N/mm^2 ^{b,c}	4,0	5,25 – $0,005 \cdot \ell_{ad}$	3,5 – $0,0015 \cdot \ell_{ad}$
Klebfuge zwischen Trägeroberfläche und Verstärkungsplatte / Lamelle für eine annähernd dreiecksförmige Spannungsverteilung, $f_{b2,k}$ in N/mm^2 ^b	0,75		

^a Für die Ausführung von eingeklebten oder aufgeklebten Verstärkungen oder Verbindungen können nationale Bestimmungen gelten.

^b Die Informationen in dieser Tabelle sollten nur angewendet werden, wenn die Werte für das verwendete Klebstoffsystem nachgewiesen wurden.

^c Für Anwendungen, in denen $\ell_{ad} > \min \{40 \cdot d; 1000\}$ in mm, sollte die für $\ell_{ad} = \min \{40 \cdot d; 1000\}$ ermittelte Tragfähigkeit angenommen werden.

Hinweis: an europäischen Regelungen zur Bemessung und Herstellung von eingeklebten Gewindestangen wird momentan in CEN/TC 250/SC 5/WG 5 „Verbindungen“ gearbeitet.

4.3 Effekte von Holzfeuchteänderungen

Steife Verstärkungselemente, z. B. in Form von rechtwinklig zur Faser eingebrachten Schrauben oder Gewindestangen, verhindern das freie Schwinden bzw. Quellen des Holzes in ihrem Wirkungsbereich. Diese

Sperrwirkung führt zu feuchteinduzierten Spannungen quer zur Faser, die im Fall von Schwindspannungen zu tiefen Schwindrissen und einer damit verbundenen Reduzierung der Tragfähigkeit führen können. Normativ wird die Sperrwirkung rechtwinklig oder geneigt zur Faser eingebrachter Verstärkungen derzeit nicht berücksichtigt. Eine rechnerische Erfassung der Sperrwirkung von Verstärkungsmaßnahmen bei Klimawechseln wie auch die Angabe eines zugehörigen Nachweisformats ist komplex. Es existieren aber langjährige Erfahrungen mit querzugbewehrten Bauteilen und Anschlüssen. Auf diese wurde bei der Formulierung entsprechender Konstruktionsregeln zurückgegriffen. Zusätzlich zu den üblichen Maßnahmen (Herstellung mit erwarteter Ausgleichsfeuchte, Schutz vor Feuchteaufnahme während Transport, Lagerung und Einbau) werden weitere Maßnahmen zur Reduzierung der Sperrwirkung von Verstärkungen angegeben [29]:

- größere Abstände zwischen den Verstärkungselementen
- Verringerung der Höhe der verstärkten Bereiche im Holzbauteil
- Verringerung des Winkels zwischen stiftförmigen Verstärkungselementen und der Faserrichtung des verstärkten Holzbauteils

Sollen Holzbauteile in dauerhaft trockenem oder häufig wechselndem Klima eingesetzt werden, so empfiehlt es sich, außen vollflächig aufgeklebte Verstärkungselemente einzusetzen. Diese dämpfen zum einen die Austrocknung des Holzquerschnitts, zum anderen resultiert das kleinere Steifigkeitsverhältnis zwischen Verstärkungselement und Holzbauteil in geringeren feuchteinduzierten Querspannungen. Für trockene Umgebungsbedingungen sollten zudem Maßnahmen für eine kontrollierte Trocknung der Bauteile auf die Ausgleichsfeuchte vorgesehen werden. Es werden Angaben gemacht, welche Ausgleichsfeuchten in welchen Umgebungsbedingungen zu erwarten sind (z. B. Nadelholz in gedämmten und geheizten Gebäuden: 7 % - 10 % mit jährlichen Amplituden von ± 3 %; Nadelholz in überdachten, ungedämmten und ungeheizten Gebäuden: 12 % - 16 %). Die Informationen sind eng an die Angaben von *Gamper et al.* [30] angelehnt.

4.4 Verstärkung von Satteldachträgern mit geradem Untergurt, gekrümmten Trägern und Satteldachträgern mit gekrümmtem Untergurt

Für Satteldachträger und gekrümmte Träger werden Angaben zur Verstärkung für die vollständige Aufnahme der Querspannungen gemacht. Die Formeln zur Bestimmung der Beanspruchung in den Verstärkungselementen, $F_{t,90,Ed}$, entsprechen den Formeln (NA.101) und (NA.102) in [4]. Die aus [4] bekannten Angaben zu Verstärkungen für die Aufnahme zusätzlicher klimabedingter Querspannungen (Teilbewehrung) wurden nicht übernommen. Neuere Untersuchungen [29] deuten an, dass bereits eine Abnahme der Holzfeuchte von 1 - 2 % im Umfeld der Verstärkung zur Neutralisierung des Verstärkungseffektes, d. h. der anteiligen Abtragung der geometrie-/lastbedingten Querspannungen durch das Verstärkungselement im ungerissenen Holzbauteil führen kann. Bei trockenen Umgebungsbedingungen könnte eine mögliche Spannungsfreisetzung in Form von tiefen Schwindrissen aufgrund des Sperr-effektes der Teilbewehrung gegenüber dem freien Schwinden des Holzbauteils Fragen nach der Resttragfähigkeit aufwerfen.

In Erweiterung der Angaben in [4] und [5] werden auch Angaben zur Bemessung von Satteldachträgern mit nachgiebig verbundener Firstspitze und hochgesetzter Trockenfuge gemacht. Bei diesen ist die Abstufung der Querszugverstärkung vom First nach außen hin abnehmend nicht mehr zutreffend. Vielmehr sollte eine Verteilung der Querszugverstärkung in Abhängigkeit der Querszugspannungen im gekrümmten Bereich und in den Nebenfirsten angestrebt werden. Die Querszugbeanspruchungen im Nebenfirst können nach [31] bestimmt werden. Es wird empfohlen, die für den Nebenfirst ermittelte Verstärkung, ausgehend von einem Verstärkungselement direkt im Nebenfirst, zum First hin über eine Länge von mindestens $2 \cdot h_{ap}$, vom Nebenfirst in Richtung Auflager über eine Länge von mindestens h_{ap} anzuordnen. Danach sollten die für den gekrümmten Bereich ermittelten Querszugverstärkungen über den verbleibenden gekrümmten Bereich zwischen den Nebenfirsten sowie ggfs. über die verbleibenden gekrümmten Bereiche außerhalb der Nebenfirste angeordnet werden.

Eine Anpassung der Abstände zwischen den Verstärkungselementen, a_1 , entsprechend der Verteilung der Querzugspannungen über die Länge des querzugbeanspruchten Bereichs ist zulässig. Die weiteren Angaben zu Mindest- und Maximalabständen ($250 \text{ mm} \leq a_1 \leq 0,75 \cdot h_{ap}$) und Einbindelängen entsprechen den Angaben in [4] NCI NA.6.8.6.

4.5 Verstärkung von rechtwinkligen Ausklinkungen an den Enden von Biegestäben mit Rechteckquerschnitt

Die Angaben zur Verstärkung von rechtwinkligen Ausklinkungen lehnen sich eng an die Angaben in [4] an. Dazu gehört die Formel zur Bestimmung der Beanspruchung in den Verstärkungselementen, $F_{t,90,Ed}$, welche (NA.77) in [4] gleicht, sowie die wirksame Fläche von aufgeklebten flächenförmigen Verstärkungselementen, welche (NA.84) in [4] entspricht. Erweitert wurden diese Regelungen um die Begrenzung der Tragfähigkeit von Ausklinkungen mit rechtwinklig zur Faser angeordneten stiftförmigen Verstärkungselementen auf das Zweifache der Tragfähigkeit der unverstärkten Ausklinkung. Diese Begrenzung basiert auf der maximal aufnehmbaren Bruchenergie bei Schubbeanspruchung [32]. Im Sinne einer robusten Konstruktion wird eine Mindestlänge der Verstärkung über der Ausklinkung angegeben, siehe Abb. 9. Geneigte, stiftförmige Verstärkungselemente können näher an den Ort der Spannungsspitzen herangeführt werden. Zusätzlich besitzen geneigte, stiftförmige Verstärkungselemente das Potential, sowohl Querzug- als auch Schubspannungen abzutragen. Entsprechende Bemessungsgleichungen werden derzeit in CEN/TC 250/SC 5/ WG 7 erarbeitet. Die Tragfähigkeit der verstärkten Ausklinkung darf mit dem Beiwert $k_v = 1,0$ ermittelt werden, d. h. es ist ein Schubspannungsnachweis für den Restquerschnitt mit der Höhe h_{ef} zu führen.

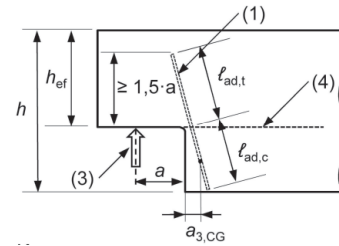


Abb. 9 Verstärkte Ausklinkung (1 – geneigtes stiftförmiges Verstärkungselement; 4 – mögliche Risslinie)

4.6 Verstärkung für Durchbrüche bei Biegestäben mit Rechteckquerschnitt

Die Angaben zur Verstärkung von Durchbrüchen lehnen sich eng an die Angaben in [4] an. Dazu gehören die geometrischen Grenzen für Durchbrüche, welche den Angaben in [4] NCI NA.6.8.4 (NA.1) entsprechen, die Formel zur Bestimmung der Beanspruchung in den Verstärkungselementen, $F_{t,90,Ed}$, welche (NA.66) in [4] gleicht sowie die wirksame Fläche von aufgeklebten flächenförmigen Verstärkungselementen, welche (NA.91) und (NA.92) in [4] entspricht. Erweitert wurden diese Regelungen um die Formeln zur Bestimmung der erhöhten Schubspannungen an den Ecken von mit stiftförmigen Verstärkungselementen verstärkten Durchbrüchen [32]:

$$\tau_{\max} = 1,84 \cdot \left[1 + \frac{a}{h} \right] \cdot \left(\frac{h_d}{h} \right)^{0,2} \cdot \frac{1,5 \cdot V_d}{b_{ef} \cdot (h - h_d)} \quad (13)$$

Eine Erläuterung der einzelnen Symbole kann dem Anhang entnommen werden. Im Fall von runden Durchbrüchen darf anstelle von h_d der Wert $0,7 \cdot h_d$ eingesetzt werden. Ist die Formel (13) nicht erfüllt, sollten keine rechtwinklig zur Faser angeordneten, stiftförmigen Verstärkungselemente eingesetzt werden. Grund ist der in Abs. 4.3 diskutierte Sperreffekt, die im Fall von tiefen Schwindrissen frei werdenden Schubspannungen können von rechtwinklig zur Faser angeordneten, stiftförmigen Verstärkungselementen nur in sehr geringem Maße aufgenommen werden. Abhilfe bieten geneigte Verstärkungselemente. Neuere Untersuchungen belegen, dass eine geneigte Anordnung von Verstärkungselementen im auflagernahen Bereich zu einer deutlichen Steigerung der Tragfähigkeit im Vergleich zur Anordnung rechtwink-

lig zur Faser führt [34], [35]. Aktuell werden Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Bemessungsgleichungen ((NA.66) in [4]) auf geneigte Verstärkungselemente durchgeführt.

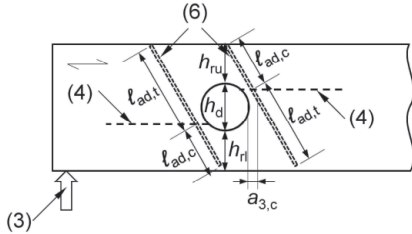


Abb. 10 Verstärkter Träger mit Durchbruch (4 – mögliche Risslinie; 6 – geneigte Verstärkung im Fall von z. B. hohen Schubbeanspruchungen)

4.7 Querkzugverstärkung für Queranschlüsse

Die Angaben zur Querkzugverstärkung für Queranschlüsse lehnen sich eng an die Angaben in [4] an. Dazu gehört die Formel zur Bestimmung der Beanspruchung in den Verstärkungselementen, $F_{t,90,Ed}$, welche (NA.69) in [4] gleicht sowie die wirksame Fläche von aufgeklebten flächenförmigen Verstärkungselementen, welche (NA.76) in [4] entspricht. Erweitert wurden diese Regelungen um die Anforderung, dass die Verstärkungselemente eine effektive Höhe von $0,7 \cdot h$ abdecken sollten, um ein Querkzugversagen an der Spitze bzw. am oberen Rand der Verstärkungselemente zu vermeiden, siehe Abb. 11. Sollte diese Grenze nicht eingehalten sein, so ist ein Nachweis des Queranschlusses auf der Höhe der Spitze bzw. des oberen Randes der Verstärkungselemente zu führen.

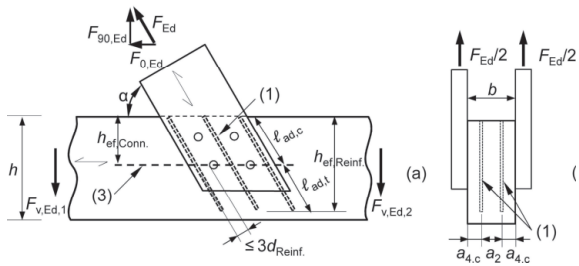


Abb. 11 Verstärkter Queranschluss (1 – stiftförmiges Verstärkungselement; 3 – mögliche Risslinie)

4.8 Verstärkung von Stabdübelverbindungen

Die aus [4] bekannten Angaben zur Verstärkung von Stabdübel- bzw. Bolzenverbindungen mit dem Ziel, die volle Anzahl der stiftförmigen Verbindungsmittel im Nachweis der Verbindung ($n_{ef} = n$) ansetzen zu können, wurden übernommen und um konstruktive Angaben erweitert, siehe Abb. 12. Die Zugkraft in der Verstärkung darf unter Ansatz der Beanspruchung auf einen Bolzen/Stabdübel und eine Scherfuge bestimmt werden [36]:

$$F_{t,90,Ek} = 0,3 \cdot F_{v,Rk} \quad (14)$$

Der Nachweis gegen Blockscherversagen gemäß [3], Anhang A, ist auch für verstärkte Stabdübelverbindungen zu führen.

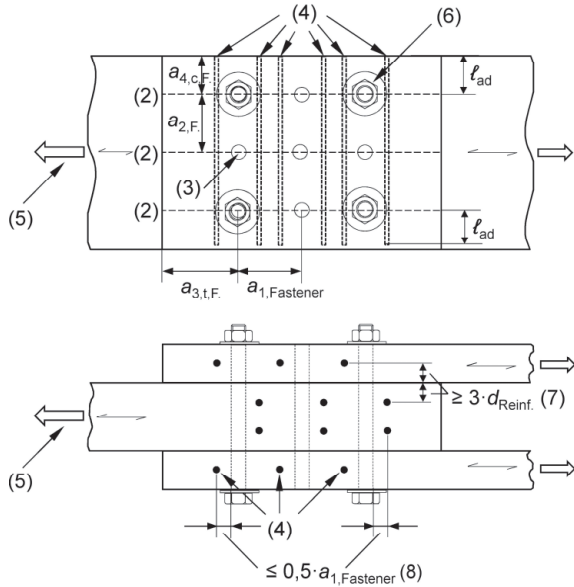


Abb. 12 Verstärkte Stabdübelverbindung (2 – mögliche Risslinien; 3 – Stabdübel/ Bolzen; 4 – stiftförmiges Verstärkungselement; 5 – Richtung der äußeren Last; 6 – Bolzen zur Reduktion des Exzentrizitätsmomentes; 7 – empfohlen: $3 \cdot d$ Verstärkung; 8 – empfohlen: $2 \cdot d$ Verstärkung)

4.9 Querdruckverstärkungen

Nicht nur querzugbeanspruchte Bauteile, sondern auch Bereiche konzentrierter Querdruckbeanspruchung, z. B. Auflagerbereiche, müssen aufgrund der geringen Beanspruchbarkeiten rechtwinklig zur Faser häufig verstärkt werden. Im Unterschied zum Nachweis von Querzugverstärkungen darf der Nachweis von Querdruckverstärkungen unter der Annahme eines additiven Zusammenwirkens zwischen dem querdruckbeanspruchten Holzquerschnitt und der druckbeanspruchten Vollgewindeschrauben geführt werden. Diese Annahme trifft zu, wenn eine gewisse plastische Verformung des Holzquerschnitts unter Querdruck akzeptiert wird. Bislang waren zugehörige Bemessungs- und Konstruktionsregeln nur in bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ, ETAs) enthalten. Da diese allesamt auf einer Forschungsarbeit [36] beruhen, variieren die Regeln nur geringfügig. Die im Entwurf *Verstärkungen* gegebenen Formeln orientieren sich eng an den Angaben in den bauaufsichtlichen Zulassungen. Der Nachweis der Vollgewindeschrauben auf Druck ergibt sich aus dem Kleinstwert der Beanspruchbarkeit auf Hineindrücken und gegen Knicken der Schraube. Die Tragfähigkeit einer Vollgewindeschraube auf Hineindrücken entspricht der Tragfähigkeit auf Herausziehen, d. h. diese darf mit dem Ausziehparameter $f_{ax,k}$ ermittelt werden. Des Weiteren ist nachzuweisen, dass die Querdruckbeanspruchbarkeit des unverstärkten Holzes im Bereich der Schraubenspitze ausreichend ist. Für diesen Nachweis ist die aufgrund der Wirkungsweise der Vollgewindeschrauben erweiterte wirksame querdruckbeanspruchte Fläche, $l_{ef,2} \cdot b$ zu ermitteln, siehe Abb. 13. Aufgrund des im Vergleich zum Holzquerschnitt in der Auflagerfläche unterschiedlichen Versagens an der Schraubenspitze in Form einer seitlichen Querdehnung des Holzes rechtwinklig zur Faserrichtung (d. h. Querzug), darf beim Nachweis im Bereich der Schraubenspitzen der Erhöhungsbeiwert $k_{c,90}$ nicht in Ansatz gebracht werden.

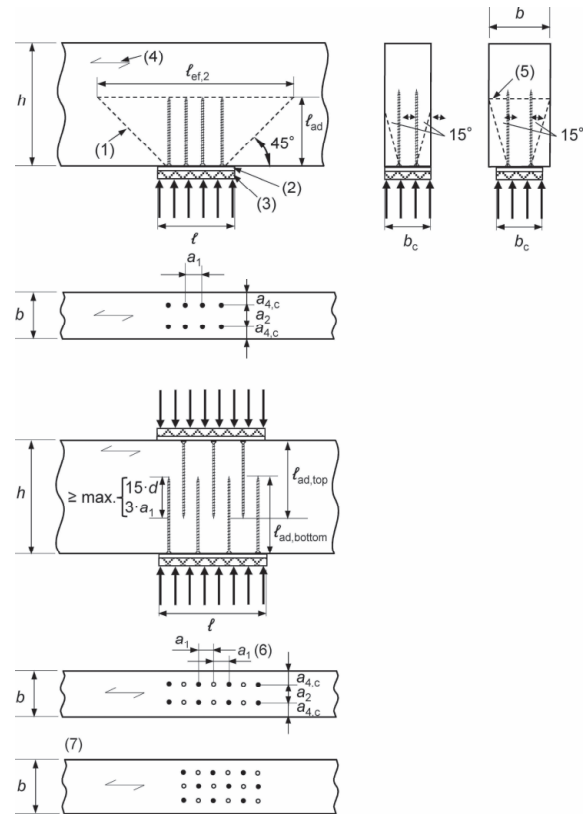


Abb. 13 Querdruckverstärkung mit Vollgewindeschrauben (1 – Lastausbreitung; 2 – steifes Auflagermaterial, z. B. Stahlplatte; 3 – z. B. Elastomer; 5 – Ebene der voll aktivierten Bauteilbreite; 6 – empfohlener Abstand $a_{1,max} = 5 \cdot d$; 7 – alternative Anordnung).

Die Tragfähigkeit einer verstärkten Auflagerung kann wie folgt berechnet werden:

$$F_{c,90,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} k_{c,90} \cdot b_c \cdot l_{ef,1} \cdot f_{c,90,k} + n \cdot \min \{ F_{ax,\alpha,Rk}; F_{b,Rk} \} \\ b \cdot l_{ef,2} \cdot f_{c,90,k} \end{array} \right. \quad (15)$$

Eine Erläuterung der einzelnen Symbole ist dem Anhang zu entnehmen.

Die Bestimmung der Tragfähigkeit einer Vollgewindeschraube gegenüber Knicken, $F_{b,Rk}$, wurde gegenüber den Angaben in den abZ / ETAs auf der sicheren Seite vereinfacht [37]:

$$F_{b,Rk} = 1,18 \cdot k_c \cdot N_{pl,k} \quad (16)$$

mit:

$$N_{pl,k} = \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} \cdot f_{y,k} \quad (17)$$

Tab. 6 Abminderungsbeiwert k_c zur Bestimmung der Tragfähigkeit auf Knicken ($\rho_k \geq 350 \text{ kg/m}^3$)

Charakteristische Streckgrenze des Stahls	Winkel α zwischen Schraubenachse und Faserrichtung	
	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 0^\circ$
$f_{y,k} = 1000 \text{ N/mm}^2$	$k_c = 0,60$	$k_c = 0,50$
$f_{y,k} = 800 \text{ N/mm}^2$ (z. B. feuerverzinkter Stahl)	$k_c = 0,65$	$k_c = 0,55$
$f_{y,k} = 500 \text{ N/mm}^2$ (z. B. nichtrostender Stahl)	$k_c = 0,75$	$k_c = 0,65$

Zwischenwerte (Winkel α sowie charakteristische Streckgrenzen) dürfen linear interpoliert werden

Die Vollgewindeschrauben sind senkrecht zur Kontaktfläche einzubringen, es sind Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ erlaubt. Um das Zusammenwirken der Vollgewindeschrauben und des Holzes sicherzustellen muss gewährleistet sein, dass die Druckkraft gleichmäßig auf alle Vollgewindeschrauben verteilt wird und die Pressung aus den Schraubenköpfen vom Auflagermaterial aufgenommen werden kann. Diese beiden Anforderungen können nur durch ein steifes, ebenes Auflagermaterial erfüllt werden, zumeist realisiert über eine Stahlplatte mit ausreichender Dicke. Die Dicke der Stahlplatte [in mm] kann überschlägig bestimmt werden zu:

$$t \geq \max \left(5,0; 1,45 \cdot \sqrt{\frac{F_{c,\alpha,Ed}}{f_{y,d}}} \right) \quad (18)$$

Bei Trägerauflagern wird zudem oft ein Elastomer unter der Stahlplatte angeordnet, um die Verdrehbarkeit des Auflagers und damit die gleichmäßige Lasteinleitung zu gewährleisten.

Die Vollgewindeschrauben müssen gleichmäßig über die Auflagerfläche verteilt sein. Die Achse der Schrauben muss rechtwinklig zur Kontaktfläche sein. Die Schraubenköpfe sind so einzudrehen, dass die Oberkante der Schraubenköpfe bündig mit der Holzoberfläche ist. Die Abstandsregelungen entsprechen denen für zugbeanspruchte Vollgewindeschrauben. Eine Abminderung auf eine effektiv wirksame Anzahl an Vollgewindeschrauben, n_{ef} , ist nicht notwendig.

Neu hinzugekommen ist die Möglichkeit einer beidseitigen Verstärkung zum Zwecke der Lastdurchleitung [38]. Im Nachweis darf dann die zweite Zeile in Gl. (15) unberücksichtigt bleiben. Zwischen den gegenüberliegenden Vollgewindeschrauben sind die Mindestabstände einzuhalten. Auf beiden Seiten sind die Vollgewindeschrauben symmetrisch zur Lasteinleitung einzubringen, siehe Abb. 13.

4.10 Ausblick

Das Project Team SC5.T1 *CLT and Reinforcement* hatte nicht den Auftrag, das Thema *Verbindungen mit eingeklebten Stahlstäben* zu behandeln. Dies wird im SC5.T5 *Connections* behandelt. Bis zur Zusammenführung der einzelnen Entwürfe der PTs wird sich CEN/TC 250/SC 5/WG 7 *Reinforcement* mit Bemessungsansätzen für die unverstärkten Bauteile/Details (Satteldachträger, Ausklinkungen, Durchbrüche), für geneigt angeordnete, stiftförmige Verstärkungselemente sowie mit der Verstärkung von größeren Durchbrüchen ($d > 0,4 \cdot h$) in kleineren Bauteilen befassen.

5 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] Dietsch, P.; Brandner, R. (2015): Self-tapping screws and threaded rods as reinforcement for structural timber elements – A state-of-the-art report. *Construction and Building Materials* Vol. 97, S. 78-89.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] CEN/TC 250 N1239 (2014): Position paper on enhancing ease of use of the Structural Eurocodes. CEN/TC 250 Document N1239, Brüssel, Belgien.
- [8] 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.
- [9] DIN EN 14080:2013-09: Holzbauwerke – Brett-schichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen. DIN, Berlin.
- [10] Fink, G., Köhler, J., Brandner, R. (2018): Application of European design principles to cross laminated timber. *Engineering Structures*, in press. DOI: 10.1016/j.engstruct. 2018.02.081.
- [11] 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.
- [12] DIN EN 16351:2015-12: Holzbauwerke – Brettsperrholz – Anforderungen. DIN, Berlin.
- [13] EAD 130005-00-0304:2015: Solid wood slab element to be used as structural element in buildings. EOTA, Brüssel, Belgien.
- [14] Unterwieser, H.; Schickhofer, G. (2013): Characteristic Values and Test Configurations of CLT with Focus on selected Properties, in: Harris, R., Ringhofer, A., Schickhofer, G.: *Proceedings 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.
- [15] 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.
- [16] Moosbrugger, T., Guggenberger, T., Neumüller, F., Neumüller, A. (2018): *Schwinden und Quellen von orthogonal verklebten Holzprodukten*. *Holztechnologie* Vol. 59, H. 1, S. 5-16.
- [17] 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.
- [18] 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.

- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Hamm, P.; Richter, A. (2009): Personeninduzierte Schwingungen bei Holzdecken – neue Erkenntnisse führen zu neuen Bewertungsverfahren. *Ingenieurholzbau Karlsruher Tage – Forschung für die Praxis*, Bruderverlag, Köln.
- [24] 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*, in press. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.02.076.
- [25] 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.
- [26] Bogensperger, T.; Jöbstl, R. (2015): Concentrated load introduction in CLT, in: *Proceedings of the 2nd INTER Meeting*, Paper 48-12-1, Šibenik, Kroatien.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Dietsch, P. (2017): Effect of reinforcement on shrinkage stresses in timber members. *Construction and Building Materials* Vol 150, S. 903–915.
- [30] Gamper, A.; Dietsch, P.; Merk, M.; Winter, S. (2014): Gebäudeklima – Auswirkungen auf Konstruktion und Dauerhaftigkeit von Holzbauwerken, in: Görlacher, R. (Hrsg.): *Karlsruher Tage: Holzbau – Forschung für die Praxis*, KIT Scientific Publishing, ISBN 978-3-7315-0267-8.
- [31] BVPI (2013): Spannungsnachweise bei Satteldachträgern aus Brettschichtholz. *Technische Mitteilung 06 / 011 der Bundesvereinigung der Prüfeningenieure für Bautechnik e.V.*, Berlin.
- [32] Jockwer, R. (2014): Structural behaviour of glued laminated timber beams with unreinforced and reinforced notches. *Dissertation*, IBK Bericht Nr. 365, ETH Zürich.
- [33] Blaß, H.-J.; Ehlbeck, J.; Kreuzinger, H.; Steck, G. (2004): *Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08*, Bruderverlag, Karlsruhe.
- [34] Danzer, M.; Dietsch, P.; Winter, S. (2016): Einfluss exzentrisch positionierter runder Einzeldurchbrüche und Gruppen von Durchbrüchen auf die Tragfähigkeit von Brettschichtholzträgern. *Schlussbericht zu IGF-Vorhaben 18048 N*, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München.
- [35] Dröscher, J.; Schickhofer, G.; Augustin, M. (2016): *Durchbrüche in Tragstrukturen aus BSH und BSP*. Forschungsbericht, holz.bau Forschungs GmbH, Graz.

- [36] Bejtka, I. (2005): Verstärkung von Bauteilen aus Holz mit Vollgewindeschrauben. Dissertation, Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau 2, Universitätsverlag Karlsruhe.
- [37] Jockwer, R. (2016): Simplification of the design approach for buckling failure of reinforcement in compression, Kurzbericht, ETH Zurich.
- [38] Watson, C.P.; van Berschoten, W.; Smith, T.; Pampanin, S.; Buchanan, A.H. (2013): Stiffness of screw reinforced LVL in compression perpendicular to the grain, in: Proceedings of the 46th Meeting of CIB W18, Paper 46-12-4, Vancouver, Canada.

6 Autoren

Die Anzahl der Autoren ergibt sich aus der Tatsache, dass die Erstellung der beiden Entwürfe *Brettsperrholz* und *Verstärkungen* 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 der beiden Entwürfe mitgearbeitet.

Korrespondierender Autor:

Dr.-Ing. Philipp Dietsch

Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München
Arcisstr. 21
80333 München

Kontakt:
dietsch@tum.de

7 Anhang – Symbole

a	Abstand, Länge eines Durchbruchs
b_c	Kontaktbreite, siehe Abb. 13
b_{CL}	Breite eines Brettsperrholzelementes
b_{dis}	Verteilungsbreite
b_r	Breite des flächenförmigen Verstärkungselements
d	Durchmesser; Außendurchmesser der Vollgewindeschraube oder Gewindestange/Gewindebolzen/Betonstabstahl ($d \leq 20$ mm)
d_1	Innendurchmesser des Gewindes
$f_{ax,d}$	Bemessungswert der Ausziehfestigkeit der Vollgewindeschraube/Gewindestange mit Holzschraubengewinde
$f_{b1,d}$, $f_{b2,d}$	Bemessungswert der Festigkeitskennwerte für Klebfugen
$f_{t,d}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit der flächenförmigen Verstärkung in Richtung der Zugkraft $F_{t,90,Ed}$
$f_{tens,d}$	Bemessungswiderstand auf Zug der Vollgewindeschraube/Gewindestange mit Holzschraubengewinde
$f_{tor,node,d}$	Bemessungswert der Schubfestigkeit der Klebefläche rechtwinklig verklebter Lamellen
$f_{ub,d}$	Bemessungswert der Bruchfestigkeit des Gewindebolzens/Betonstabstahls (mit γ_{M2} nach EN 1993-1-8 beziehungsweise γ_s nach EN 1992-1-1)
$f_{yb,d}$	Bemessungswert der Streckgrenze des Gewindebolzens/Betonstabstahls (mit γ_{M2} nach EN 1993-1-8 beziehungsweise γ_s nach EN 1992-1-1)
$f_{y,k}$	charakteristische Streckgrenze der Vollgewindeschraube
$f_{y,d}$	Bemessungswert der Streckgrenze der Stahlplatte, in N/mm^2 (ermittelt mit γ_{M0} nach EN 1993-1-1, 6.1)
h_{ap}	Höhe des Firstbereichs
h_{CL}	Höhe eines Brettsperrholzelementes

h_d	Durchbruchshöhe	$t_{lay,max}$	Maximale Dicke einer Lage in einem Aufbau eines Brettsperrholzelementes
h_{ef}	wirksame Höhe	$t_{x(y)}$	Summe der Dicken der Lagen mit Ausrichtung in $x(y)$ -Richtung
$h_{rl(ru)}$	Abstand zwischen unterem (oberen) Durchbruchrand und unterem (oberen) Trägerrand	A	Bruttoquerschnittsfläche der Gewindebolzen oder Betonstabstähle (siehe EN 1993-1-8)
$k_{cor,b}$	Beiwert für eine reduzierte Elementbreite	A_s	Spannungsquerschnittsfläche der Gewindebolzen oder Betonstabstähle (siehe EN 1993-1-8)
$k_{r,pu}$	Beiwert zur Berücksichtigung nichtlinearen Verhaltens und der Spannungskombination	$F_{ax,\alpha,Rk}$	charakteristische Tragfähigkeit auf Herausziehen einer Vollgewindeschraube unter einem Winkel α zur Faserrichtung nach [3] [8.7.2] oder ETA
l_{ad}	wirksame Verankerungslänge; eingeklebte Länge; wirksame Höhe der aufgeklebten flächenförmigen Verstärkung	$F_{b,Rk}$	charakteristische Tragfähigkeit einer Vollgewindeschraube gegen Knicken
$l_{ad,t/c}$	wirksame Verankerungslänge oberhalb oder unterhalb der Bruchlinie	$F_{c,\alpha,Ed}$	Bemessungswert der Druckkraft in einer Vollgewindeschraube oder Gewindestange, in N
l_{dis}	Verteilungslänge	$F_{t,90,Rd}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit des stiftförmigen oder flächenförmigen Verstärkungselements
$l_{ef,1}$	wirksame Kontaktlänge in Faserrichtung, siehe [3] [6.1.5.1(1)], siehe Abb. 13	β_c	Imperfektionsbeiwert
$l_{ef,2}$	wirksame Verteilungslänge in Faserrichtung in der Ebene der Schraubenspitze, siehe Abb. 13	ζ	Modaler Dämpfungsbeiwert
n	$n_0 \cdot n_{90}$, Anzahl der Verstärkungselemente (Vollgewindeschrauben oder Gewindestangen), siehe Abb. 13	$\tau_{r,d}$	Bemessungswert der Rollschubspannung
n_r	Anzahl der Verstärkungselemente	$\tau_{tor,node,d}$	Bemessungswert der Schubspannung in der Klebefläche rechtwinklig verklebter Lamellen
t	Dicke (der Stahlplatte, in mm)	K_{max}	Beiwert zur Berücksichtigung nicht gleichmäßiger Schubspannungen
t_{CL}	Dicke eines Brettsperrholzelementes		
t_r	Dicke des flächenförmigen Verstärkungselements		
$t_{l,max}$	Maximale Dicke einer Lamelle in einem Aufbau eines Brettsperrholzelemente		

2018^W

KARLSRUHER TAGE 2018

2018 finden die Karlsruher Tage wieder mit dem Schwerpunkt Holzbau statt, dies ermöglicht einen intensiven Erfahrungsaustausch zwischen Forschung und Praxis. Folgende Themenschwerpunkte werden behandelt:

Zurzeit wird der Eurocode 5, die Bemessungsnorm für den Holzbau überarbeitet. Erste Entwürfe über die Bemessung von Brettsperrholz, Verstärkungen und Holz-Beton-Verbunddecken werden vorgestellt. Daneben gibt es einen neuen Lösungsansatz zur verformungsbasierten Bemessung bei Querdruck und einen erweiterten Ansatz für die Berechnung von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln. Auch für die Bemessung von aussteifenden Decken in Holztafelbauart gibt es neue Empfehlungen, die ebenfalls Eingang in den Eurocode 5 finden könnten.

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen entlasten die Umwelt, indem sie Ressourcen schonen, und leisten einen bedeutenden Beitrag zur Minderung von CO₂-Emissionen. Über die Forschungsergebnisse, die eine Anwendbarkeit dieser Produkte ermöglichen sollen, wird berichtet.

Die letzten Jahre zeigen, dass der Holzbau auch in die Höhe gehen kann: dies zeigen Aussichtstürme aus Holz, aber auch 15 Jahre Erfahrung mit Brettsperrholzbauten führen zu immer höheren Bauwerken aus Holz.



Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier