



ETA-Danmark A/S  
Göteborg Plads 1  
DK-2150 Nordhavn  
Tel. +45 72 24 59 00  
Fax +45 72 24 59 04  
Internet [www.etadanmark.dk](http://www.etadanmark.dk)

Ermächtigt und notifiziert gemäß  
Artikel 29 der Verordnung  
Nr. 305/2011 der Europäischen  
Parlaments und des Rates vom  
9. März 2011

MEMBER OF EOTA



## Europäische Technische Bewertung ETA-18/1002 vom 2019-01-07

### I Allgemeiner Teil

**Technische Bewertungsstelle, welche die ETA ausstellt und nach Artikel 29 der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 bezeichnet ist: ETA-Danmark A/S**

**Handelsbezeichnung des Bauprodukts:**

Merkle X-Lam mit XL-Connect ®

**Produktfamilie, zu welcher das vorstehende Bauprodukt gehört:**

Massives plattenförmiges Holzbauelement zur Verwendung als tragendes Bauteil in Bauwerken

**Hersteller:**

Merkle Holz GmbH  
Straßer Weg 24  
D-89278 Nersingen  
Tel. +49 (07308) 9646 0  
Fax +49 (07308) 9646 46  
Internet [www.merkleholz.de](http://www.merkleholz.de)

**Herstellwerk:**

Merkle Holz GmbH  
Straßer Weg 24  
D-89278 Nersingen

**Diese Europäische Technische Bewertung umfasst:**

23 Seiten, davon 6 Anhänge, die fester Bestandteil dieser Bewertung sind.

**Diese Europäische Technische Bewertung wurde ausgestellt gemäß der Verordnung (EU) Nr. 305/2011, auf der Grundlage von:**

Europäisches Bewertungsdokument (EAD)  
EAD 130005-00-0304 "Solid wood slab element to be used as a structural element in buildings"

**Diese Version ersetzt:**

Übersetzungen dieser ETA in andere Sprachen müssen vollständig dem Originaldokument entsprechen und als Übersetzung gekennzeichnet sein.

Diese ETA darf auch bei elektronischer Übermittlung nur ungekürzt wiedergegeben werden. Die teilweise Wiedergabe ist nach schriftlicher Genehmigung der Bewertungsstelle jedoch zulässig. Jede teilweise Wiedergabe ist als solche zu kennzeichnen.

## **II BESONDERER TEIL DER EUROPÄISCHEN TECHNISCHEN BEWERTUNG**

### **1 Beschreibung des Produkts und des Verwendungszwecks**

#### **Technische Beschreibung des Produkts**

"Merkle X-Lam" ist ein kreuzweise verklebtes Holzelement, das aus einer ungeraden Zahl von 3 bis 9 rechtwinklig geklebten Lagen aus Nadelholz besteht. Der Querschnitt des Brettsperrholzes ist symmetrisch bezogen auf die Mittellage. Die Elemente sind eben.

Die einzelnen Lagen bestehen aus nach Festigkeit sortierten, faserparallelen Brettern. In Elementen mit mindestens fünf Lagen dürfen bis zu zwei benachbarte Lagen faserparallel verklebt sein.

Der grundsätzliche Aufbau des Produktes ist in Anhang 1, Bild 1 und Bild 2 dargestellt.

Die Anwendung chemischer Substanzen (Holzschutzmittel und Brandschutzmittel) ist nicht Gegenstand dieser europäischen technischen Bewertung.

Als Holzarten sind Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche und Douglasie vorgesehen.

#### **Herstellung**

Die Brettsperrholzelemente werden nach den Bestimmungen dieser Europäischen Technischen Bewertung unter Verwendung eines automatisierten Herstellungsprozesses gemäß der Technischen Dokumentation hergestellt.

Die einzelnen Lagen sind bis zur geforderten Dicke des Brettsperrholzes zu verkleben.

Angaben zu den verwendenden Brettern sind im Anhang 2 angegeben. Die Bretter werden visuell oder maschinell sortiert. Nur technisch getrocknetes Holz ist zu verwenden.

Die einzelnen Bretter dürfen in Längsrichtung mittels Keilzinkenverbindung gemäß EN 14080 verbunden werden. Stumpfstöße sind nicht zulässig.

Die Brettsperrholzplatten und ihre Lagen entsprechen den Festlegungen in den Anhängen 1 bis 3 dieser europäischen technischen Bewertung. Materialeigenschaften, Abmessungen und Toleranzen des Brettsperrholzes, die nicht in den Anhängen

angegeben sind, sind in der technischen Dokumentation der europäischen technischen Bewertung enthalten.

### **2 Beschreibung der bestimmungsgemäßen Verwendung laut geltendem EAD**

Das Holzbauteil ist für eine Verwendung als tragendes und/oder aussteifendes Element in Gebäuden oder Holzbauwerken vorgesehen. Die Anwendung des Brettsperrholzes darf nur in Bauwerken mit vorwiegend ruhenden Verkehrslasten erfolgen. Dies schließt Erdbebeneinwirkungen nach EN 1998-1 ein.

Die Elemente sind für eine Verwendung in den Nutzungsklassen 1 und 2 nach EN 1995-1-1 vorgesehen. Bauteile, die direkt dem Wetter ausgesetzt sind, müssen im Bauwerk einen wirksamen Schutz der massiven plattenförmigen Holzbauelemente aufweisen.

Von den Leistungen in Abschnitt 3 kann nur ausgegangen werden, wenn das Brettsperrholz entsprechend den Angaben und unter den Randbedingungen nach den Anhängen 1 bis 6 verwendet wird.

Die Prüf- und Bewertungsmethoden, die dieser ETA zu Grunde liegen, führen zur Annahme einer Nutzungsdauer des Brettsperrholzes von mindestens 50 Jahren. Die Angaben zur Nutzungsdauer können nicht als Garantie des Herstellers ausgelegt werden, sondern sind lediglich ein Hilfsmittel zur Auswahl der richtigen Produkte im Hinblick auf die erwartete wirtschaftlich angemessene Nutzungsdauer des Bauwerks.

#### **Bemessung**

Diese europäische technische Bewertung gilt nur für die Herstellung und Nutzung des hier geregelten Brettsperrholzes. Der Nachweis der Standsicherheit von Gebäuden unter Verwendung dieser Brettsperrholzelemente ist nicht Gegenstand dieser europäischen technischen Bewertung.

Die Eignung des Brettsperrholzes für den vorgesehenen Verwendungszweck ist unter folgenden Voraussetzungen gegeben:

- Die Bemessung der Brettsperrholzelemente wird von einem in der Bemessung solcher Bauteile erfahrenen Ingenieur ausgeführt.
- Der Entwurf sieht einen ausreichenden Schutz des Brettsperrholzes vor.
- Die Brettsperrholzelemente sind korrekt eingebaut.

Die Bemessung der Brettsperrholzelemente kann nach EN 1995-1-1 und EN 1998-1 unter Beachtung der Anhänge 2 bis 6 dieser europäischen technischen Bewertung erfolgen. Am Verwendungsort geltende Normen und Bestimmungen sind zu berücksichtigen.

## **Verpackung, Transport, Lagerung, Wartung und Reparatur**

Die Brettsperrholzelemente sind während des Transports und der Lagerung vor Schädigung und vor unzuträglicher Feuchtebeanspruchung zu schützen. Die Anweisungen des Herstellers hinsichtlich Verpackung, Transport und Lagerung sind zu beachten.

Die Bewertung der Eignung für den Verwendungszweck wurde unter der Annahme getroffen, dass eine Wartung während der Nutzung nicht erforderlich ist. Im Falle schwerwiegender Beschädigung des Brettsperrholzes sind umgehend Maßnahmen zur Erhaltung der Tragfähigkeit vorzunehmen. Gegebenenfalls kann ein Austausch der Bauteile erforderlich sein.

## **Einbau**

Der Hersteller muss eine Anleitung zum Einbau der Produkte vorsehen, in der die spezifischen Eigenschaften und für den Einbau relevante Details der Konstruktion berücksichtigt sind. Die Anleitungen zum Einbau müssen an jedem Verwendungsort vorliegen.

Der Einbau der Brettsperrholzelemente nach dieser europäischen technischen Bewertung soll durch qualifiziertes Personal erfolgen.

Die Brettsperrholzelemente sind vor unzuträglichen Feuchteänderungen zu schützen. Die Bestimmungen zur Arbeitssicherheit und zum Gesundheitsschutz sind zu beachten.

### 3 Leistung des Produkts und Angabe der Methoden ihrer Bewertung

#### 3.1 Mechanische Festigkeit und Standsicherheit <sup>1)</sup> (BWR 1)

Wesentliches Merkmal	Leistung
Biegung <sup>2)</sup>	Anhang 3
Zug und Druck <sup>2)</sup>	Anhang 3
Schub <sup>2)</sup>	Anhang 3
Lochleibungsfestigkeit	Anhang 3
Kriechen und Lasteinwirkungsdauer	Anhang 3
Maßbeständigkeit	Anhang 3
Umgebungsbedingungen	Anhang 3
Verklebungsgüte	Anhang 3
<sup>1)</sup> Dieses Merkmal betrifft auch BWR 4 <sup>2)</sup> Tragfähigkeit und Steifigkeit bei Beanspruchungen rechtwinklig zur Scheibenebene und in Scheibenebene der Brettsperreholzelemente.	

Für die Verklebung der Brettlagen wird ein Klebstoff Typ 1 nach EN 301 verwendet. Für die Keilzinkung der Einzelbretter wird ein PU-Klebstoff, der die Anforderungen an EN 15425 und EN 14080, Anhang C erfüllt, verwendet. Die Angaben zu den Klebstoffen sind bei ETA Danmark hinterlegt.

#### 3.2 Brandschutz (BWR 2)

Wesentliches Merkmal	Leistung
Brandverhalten	Anhang 3
Feuerwiderstand	Anhang 3

#### 3.3 Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz (BWR 3)

Wesentliches Merkmal	Leistung
Gehalt gefährlicher Stoffe	Der Hersteller hat bei der technischen Bewertungsstelle (ETA Danmark) eine schriftliche Erklärung eingereicht, dass die Holzbauteile nach dieser europäisch technischen Bewertung keine gefährlichen Stoffe > 0,1 Gew. % enthalten. Die eingesetzten Holzwerkstoffe entsprechen nach EN 13986 der Formaldehyd-Klasse E1. Die Verwendung von Holzschutzmitteln und Brandschutzmitteln wird ausgeschlossen. Die chemische Zusammensetzung des Klebstoffs für die Verklebung der Brettlagen untereinander sowie der Holzwerkstofflagen und für die Keilzinkung der Einzelbretter muss mit der bei ETA Danmark hinterlegten Rezeptur übereinstimmen.
Freisetzungsszenarien hinsichtlich BWR3	IA 1, IA 2
Wasserdampfdurchlässigkeit - Wasserdampfdiffusionswiderstand	Anhang 3

#### 3.4 Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung (BWR 4)

Wesentliches Merkmal	Leistung
Stoßfestigkeit	Anhang 3

### 3.5 Schallschutz (BWR 5)

<b>Wesentliches Merkmal</b>	<b>Leistung</b>
Luftschalldämmung	Anhang 3
Trittschalldämmung	Anhang 3
Schallabsorption	Anhang 3

### 3.6 Energieeinsparung und Wärmeschutz (BWR 6)

<b>Wesentliches Merkmal</b>	<b>Leistung</b>
Wärmeleitfähigkeit	Anhang 3
Luftdichtigkeit	Anhang 3
Thermische Trägheit	Anhang 3

### 3.7 Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen (BWR 7)

Für die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen wurde für dieses Produkt keine Leistung erbracht.

#### **4 Angewandtes System zur Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit mit der Angabe der Rechtsgrundlage**

Gemäß dem Europäischen Bewertungsdokument EAD Nr. 130005-00-0304 gilt folgende Rechtsgrundlage: 1997/176/EC, ergänzt durch 2001/596/EC.

Folgendes System ist anzuwenden: 1

#### **5 Für die Durchführung des Systems zur Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit erforderliche technische Einzelheiten gemäß anwendbarem Europäischen Bewertungsdokument**

Technische Einzelheiten, die für die Durchführung des Systems zur Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit notwendig sind, sind Bestandteil des Kontrollplans, der bei ETA Danmark hinterlegt ist.

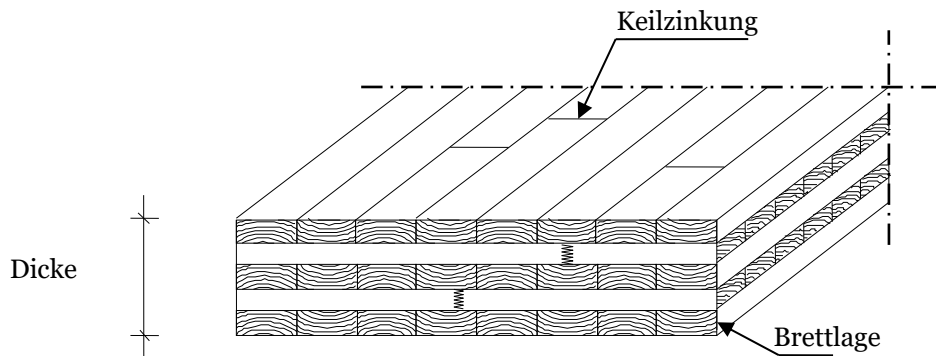
Ausgestellt in Kopenhagen 2019-01-07 von



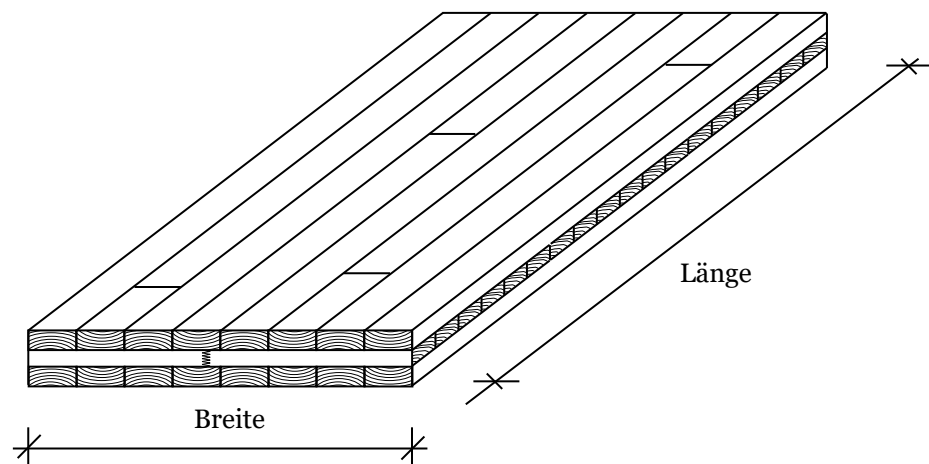
Thomas Bruun  
Managing Director, ETA-Danmark

## Anhang 1 Aufbau des Brettsperrholzes

### Aufbau eines Brettsperrholelements "Merkle X-Lam" (Beispiel)



**Bild 1: Grundsätzlicher Aufbau eines Brettsperrholzelements (fünf Lagen)**



**Bild 2: Brettsperrholzelement (drei Lagen)**

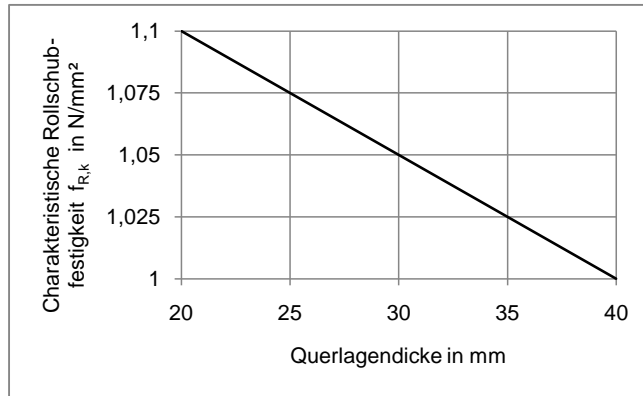


**Anhang 2 Abmessungen und Aufbau der Brettsperrholzelemente****Tabelle 1: Abmessungen und Aufbau der Brettsperrholzbauteile**

<b>Eigenschaft</b>	<b>Maße und Aufbau</b>
<b>Brettsperrholzelement</b>	
Dicke	60 bis 300 mm
Dickentoleranz	$\pm 1$ mm
Breite	$\leq 3,00$ m
Breitentoleranz	$\pm 3$ mm
Länge	$\leq 18,00$ m
Längentoleranz	$\pm 3$ mm
Anzahl Lagen	$3 \leq n \leq 9$
Maximale Anzahl faserparalleler benachbarter Lagen	$\leq 2$ für $n \geq 5$
maximale Fugenbreite zwischen den Brettern der Längslagen der Querlagen	3 mm 6 mm
<b>Bretter</b>	
Material	Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche und Douglasie
Holzgüte nach EN 338 bzw. EN 14081-1	$\geq C16$ oder $\geq T10$
Dicke der Längslagen der Querlagen	20 bis 80 mm 20 bis 40 mm
Breite	80 bis 240 mm
Verhältnis Breite zu Dicke für die Bretter der Querlagen	$\geq 4:1$
Holzfeuchte nach EN 13183-2 oder EN 13183-3	Beim Verkleben muss der Feuchtegehalt aller Bretter zwischen 6% und 15% liegen. Der Feuchtegehalt von zwei Brettern, die miteinander verklebt werden sollen, darf sich nicht mehr als 5 % unterscheiden.
Keilzinkenverbindung	EN 14080
Die Bretter müssen in mindestens 90 % der Gesamtbreite der Lage der angegebenen Sortierklasse entsprechen. In bis zu 10 % der Gesamtbreite der Lage dürfen die Bretter von angegebenen Festigkeiten parallel zur Faser um bis zu 35 % abweichen.	

**Anhang 3 Wesentliche Eigenschaften der Brettsperrelemente****Tabelle 2: Wesentliche Eigenschaften der Brettsperrelemente**

ER	Eigenschaft	Nachweismethode	Klasse / Nutzungskategorie / Wert	
<b>1</b>	<b>Mechanische Festigkeit und Standsicherheit</b>			
	Bei der Bemessung sind die charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte für Nadelholz nach EN 338 unter Beachtung von Anhang 2 anzusetzen. Zusätzlich gelten folgende Werte:			
	Scheibentragwirkung	Schubfestigkeit für die Bemessung mit dem Bruttoquerschnitt (5%-Fraktilwert)	$f_{v,k}$	siehe Tabelle 3
	Plattentragwirkung	Rollschubfestigkeit (5%-Fraktilwert)	$f_{R,k}$	Siehe Bild 3
		Rollschubmodul (Mittelwert)	$G_{R,mean}$	50 N/mm <sup>2</sup>
	Für Hinweise zur Bemessung siehe Anhänge 4 bis 5. Nationale Bestimmungen sind ggf. zu beachten.			
	Verwendung von Verbindungsmitteln	nach EN 1995-1-1, weitere Hinweise siehe Anhang 5		
	Kriechverhalten und Dauerhaftigkeit	nach EN 1995-1-1		
	Maßbeständigkeit	Der Feuchtegehalt während der Nutzung darf nicht so stark schwanken, dass ungünstige Formänderungen auftreten.		
	Dauerhaftigkeit	EN 1995-1-1	Nutzungsklassen 1 und 2	
Verklebungsgüte	EAD 130005-00-0304	Bestanden		
<b>2</b>	<b>Brandschutz</b>			
	<b>Brandverhalten</b>			
	Brettsperreholz außer für Fußböden	Entscheidung der Kommission 2005/610/EC	Euroklasse D-s2,d0	
	für Fußböden		Euroklasse D <sub>fl</sub> -s1	
	<b>Feuerwiderstand</b>			
Abbrandrate	EN 1995-1-2	$\beta_0 = 0,65$ mm/min $\beta_n = 0,7$ mm/min		
<b>3</b>	<b>Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz</b>			
	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl $\mu$	Keine Leistung festgestellt		
	Gehalt gefährlicher Substanzen	EAD 130005-00-0340	Siehe Abschnitt 3	
<b>4</b>	<b>Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung</b>			
	Stoßfestigkeit	Die Stoßfestigkeit mit einem weichen Körper gilt als erfüllt für Wände mit mindestens 3 Lagen und einer Mindestdicke von 60 mm.		
<b>5</b>	<b>Schallschutz</b>			
	Luftschalldämmung	Keine Leistung festgestellt		
	Trittschalldämmung	Keine Leistung festgestellt		
	Schallabsorption	Keine Leistung festgestellt		
<b>6</b>	<b>Energieeinsparung und Wärmeschutz</b>			
	Wärmeleitfähigkeit	Keine Leistung festgestellt		
	Luftdichtigkeit	Keine Leistung festgestellt		
	Thermische Trägheit	Keine Leistung festgestellt		



**Bild 3:** Charakteristische Rollschubfestigkeit  $f_{R,k}$

**Tabelle 3: Charakteristische Schubfestigkeit  $f_{v,k}$  für die Bemessung mit dem Bruttoquerschnitt (für Beanspruchungen in Scheibenebene)**

Element- dicke in mm	Anzahl der Lagen	Dicke der Einzellagen in mm (Längslagen <b>fett</b> gedruckt)									$f_{v,k}$ in N/mm <sup>2</sup>
80	3	<b>30</b>	20	<b>30</b>							1,8
85	3	<b>30</b>	25	<b>30</b>							2,0
90	3	<b>30</b>	30	<b>30</b>							2,2
100	3	<b>30</b>	40	<b>30</b>							2,1
100	3	<b>40</b>	20	<b>40</b>							1,6
105	3	<b>40</b>	25	<b>40</b>							1,8
110	3	<b>40</b>	30	<b>40</b>							1,9
120	3	<b>40</b>	40	<b>40</b>							2,2
120	3	<b>50</b>	20	<b>50</b>							1,3
125	3	<b>50</b>	25	<b>50</b>							1,6
130	3	<b>50</b>	30	<b>50</b>							1,7
140	3	<b>50</b>	40	<b>50</b>							2,0
140	3	<b>60</b>	20	<b>60</b>							1,1
145	3	<b>60</b>	25	<b>60</b>							1,4
150	3	<b>60</b>	30	<b>60</b>							1,6
160	3	<b>60</b>	40	<b>60</b>							1,8
160	3	<b>70</b>	20	<b>70</b>							1,0
165	3	<b>70</b>	25	<b>70</b>							1,2
170	3	<b>70</b>	30	<b>70</b>							1,4
180	3	<b>70</b>	40	<b>70</b>							1,7
180	3	<b>80</b>	20	<b>80</b>							0,9
185	3	<b>80</b>	25	<b>80</b>							1,1
190	3	<b>80</b>	30	<b>80</b>							1,3
200	3	<b>80</b>	40	<b>80</b>							1,6
130	5	<b>30</b>	20	<b>30</b>	20	<b>30</b>					2,2
140	5	<b>30</b>	25	<b>30</b>	25	<b>30</b>					2,4
150	5	<b>30</b>	30	<b>30</b>	30	<b>30</b>					2,7
160	5	<b>40</b>	20	<b>40</b>	20	<b>40</b>					2,0
170	5	<b>40</b>	25	<b>40</b>	25	<b>40</b>					2,2
180	5	<b>40</b>	30	<b>40</b>	30	<b>40</b>					2,3
190	5	<b>40</b>	35	<b>40</b>	35	<b>40</b>					2,5
200	5	<b>40</b>	40	<b>40</b>	40	<b>40</b>					2,7
220	7	<b>40</b>	20	<b>40</b>	20	<b>40</b>	20	<b>40</b>			2,2
235	7	<b>40</b>	25	<b>40</b>	25	<b>40</b>	25	<b>40</b>			2,4
240	7	<b>40</b>	<b>40</b>	20	<b>40</b>	20	<b>40</b>	<b>40</b>			2,2
250	7	<b>40</b>	30	<b>40</b>	30	<b>40</b>	30	<b>40</b>			2,5
280	7	<b>40</b>	40	<b>40</b>	40	<b>40</b>	40	<b>40</b>			2,9
280	9	<b>40</b>	20	<b>40</b>	20	<b>40</b>	20	<b>40</b>	20	<b>40</b>	2,3
300	9	<b>40</b>	25	<b>40</b>	25	<b>40</b>	25	<b>40</b>	25	<b>40</b>	2,5
300	9	<b>40</b>	<b>40</b>	20	<b>40</b>	20	<b>40</b>	20	<b>40</b>	<b>40</b>	2,7

## Anhang 4 Bemessung des Brettsperrholzes

### 1 Beanspruchung rechtwinklig zur Bauteilebene

Die Spannungsverteilung der Elemente muss unter Berücksichtigung von Schubverformungen der Querlagen ermittelt werden.

Für gelenkig gelagerte Brettsperrholzelemente mit bis zu 5 Lagen darf die Spannungsverteilung nach EN 1995-1-1, Anhang B wie bei einem nachgiebig verbundenen Biegestab berechnet werden, bei dem der Wert  $s_i/K_i$  durch  $d_i/(G b)$  ersetzt wird.

Mit  $d_i$  = Dicke der Querlage,  
 $G = 50 \text{ N/mm}^2$  Rollschubmodul der Querlage,  
 $b$  = Breite der Querlage.

Für Brettsperrholz mit mehr als 5 Lagen ist es erforderlich, numerische Lösungen mit Unterstützung von Rechenprogrammen zu nutzen, die die Schubverformungen der Querlagen berücksichtigen.

Für die Bemessung des Brettsperrholzes sind die charakteristischen Werte der Festigkeiten und Steifigkeiten dem Anhang 3 zu entnehmen.

Für den Biegenachweis sind die Spannungen in den Randfasern der Lagen ausschlaggebend, Normalspannungen in den Teilquerschnitten brauchen nicht nachgewiesen zu werden.

Beim Biegenachweis darf der Bemessungswert der Biegefestigkeit von Brettlagen mit einem Systembeiwert  $k_\ell$  multipliziert werden:

$$k_\ell = \min \begin{cases} 1 + 0,025 \cdot n \\ 1,2 \end{cases}$$

mit  $n$  = Anzahl der nebeneinander liegenden Bretter einer Lage  
Zugbeanspruchungen rechtwinklig zur Bauteilebene sind zu vermeiden.

### 2 Beanspruchung in Bauteilebene

Für die Ermittlung der Spannungsverteilung des Elementes dürfen nur diejenigen Lagen in Rechnung gestellt werden, die in Richtung der Beanspruchung verlaufen.

Die Schubspannungen dürfen mit der gesamten Dicke des Elementes berechnet werden.

Für die Bemessung der Brettsperrholzelemente aus Brettlagen aus Nadelholz sind die charakteristischen Werte der Festigkeiten und Steifigkeiten der Brettlagen aus Nadelholz dem Anhang 3 zu entnehmen.

Beim Biegenachweis darf der Bemessungswert der Biegefestigkeit von Brettlagen mit einem Systembeiwert  $k_\ell$  multipliziert werden:

$$k_\ell = \min \begin{cases} 1 + 0,025 \cdot n \\ 1,2 \end{cases}$$

mit  $n$  = Anzahl der Längslagen.

## Anhang 5 Bemessung von Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln

### Allgemeines

Die in diesem Abschnitt angegebenen Bemessungsvorschriften ergänzen die in EN 1995-1-1 angegebenen Regeln für Verbindungen. Seitenflächen sind die Oberflächen des Bauteils parallel zur Plattenebene, Schmalflächen sind die Flächen rechtwinklig zu den Seitenflächen des Bauteils.

### 1.1 Rechtwinklig zur Stiftachse beanspruchte stiftförmige Verbindungsmittel

#### 1.1.1 Verbindungen in den Seitenflächen des Brettsperrholzes

##### Lochleibungsfestigkeit:

Für Nägel, selbstbohrende Schrauben, Stabdübel und Bolzen in der Seitenfläche des Brettsperrholzes darf die Lochleibungsfestigkeit von Vollholz unter Berücksichtigung der charakteristischen Rohdichte der Schichten des Brettsperrholzes und dem Winkel zwischen der Beanspruchungs- und der Faserrichtung der äußeren Lage verwendet werden.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Nageldurchmesser  $d \geq 4$  mm
- Gewindeaußendurchmesser der selbstbohrenden Schrauben  $d \geq 6$  mm

##### Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel:

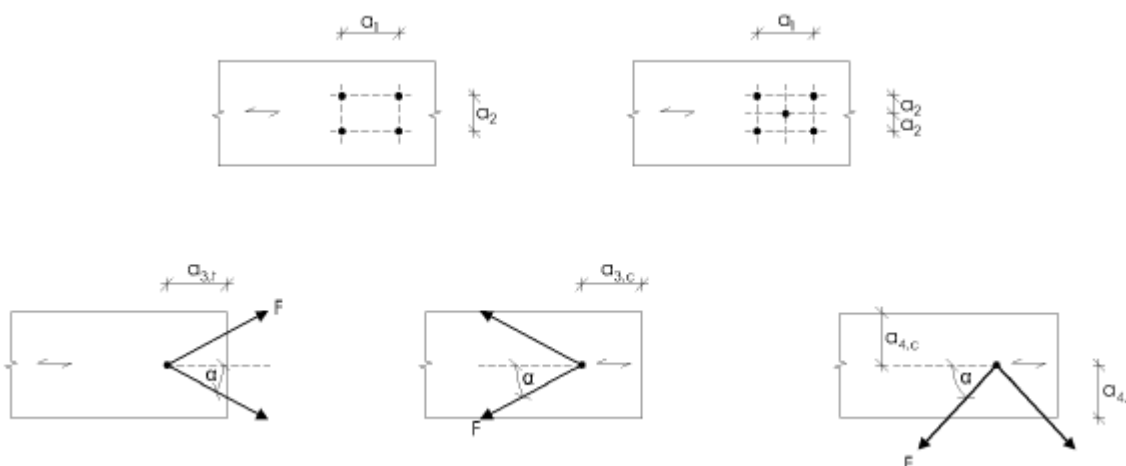
Die wirksame Anzahl der Verbindungsmittel  $n_{ef}$  für äußere Lagen mit einer Dicke  $\leq 40$  mm darf aus Gleichung (1) entnommen werden.

$$n_{ef} = n \quad (1) \quad \text{Für}$$

äußere Lagen mit einer Dicke  $t_{lay} > 40$  mm ist die wirksame Anzahl  $n_{ef}$  der Verbindungsmittel nach EC 5 (8.3.1.1) zu verwenden.

##### Mindestabstände untereinander sowie zu den Rändern und Enden:

Die Mindestabstände untereinander sowie zu den Rändern und Enden und der Winkel  $\alpha$  zwischen der Beanspruchungs- und der Faserrichtung der äußeren Lage sind in Bild 4 dargestellt und in Tabelle 4 angegeben.



**Bild 4:** Definitionen der Mindestabstände der stiftförmigen Verbindungsmittel untereinander sowie zu den Rändern und Enden bei seitlicher Beanspruchung in den Seitenflächen des Brettsperrholzes

**Tabelle 4:** Werte der Mindestabstände untereinander sowie zu den Rändern und Enden in den Seitenflächen der Merkle X-Lam Brettsperrholzelemente

	$a_1$	$a_{3,t}$	$a_{3,c}$	$a_2$	$a_{4,t}$	$a_{4,c}$
Nägeln	$(3+3 \cos \alpha) d$	$(7+3 \cos \alpha) d$	$6 d$	$3 d$	$(3+4 \sin \alpha) d$	$3 d$
Schrauben	$4 d$	$6 d$	$6 d$	$2,5 d$	$6 d$	$2,5 d$
Stabdübel	$(3+2 \cos \alpha) d$	$5 d$	$\max \begin{cases} 4 d \cdot \sin \alpha \\ 3 d \end{cases}$	$3 d$	$3 d$	$3 d$
Bolzen	$\max \begin{cases} (3+2 \cos \alpha) d \\ 4 d \end{cases}$	$5 d$	$4 d$	$4 d$	$3 d$	$3 d$

### 1.1.2 Verbindungen in den Schmalseiten des Brettsperrholzes

#### Lochleibungsfestigkeit:

Die charakteristische Lochleibungsfestigkeit für selbstbohrende Schrauben mit einem Durchmesser  $d \geq 8$  mm darf bei Verbindungen in der Schmalseite des Brettsperrholzes nach Gleichung (2) berechnet werden.

$$f_{h,k} = 20 d^{0,5} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (2)$$

Mit

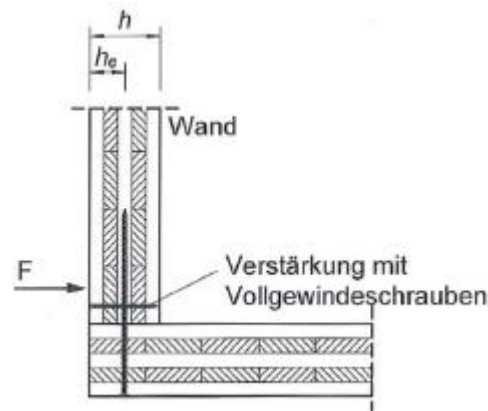
$d$  = Nenndurchmesser der selbstbohrenden Schrauben in mm

Bei Beanspruchung rechtwinklig zur Ebene des Brettsperrholzes ist die Möglichkeit des Aufspaltens verursacht durch Querkzugkräfte zu berücksichtigen. Verbindungen mit einem Verhältnis  $h_e/h < 0,7$  sind mit Vollgewindeschrauben zu verstärken (siehe Beispiel Bild 5).

Mit

$h_e$  = Abstand des entferntesten Verbindungsmittels vom belasteten Rand

$h$  = Dicke des Brettsperrholzelementes



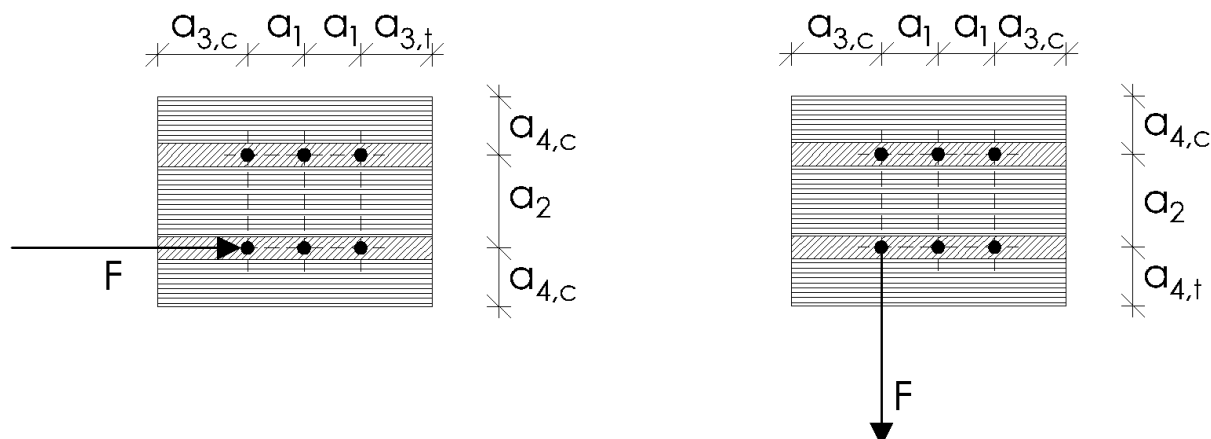
**Bild 5:** Verstärkung einer Brettsperrholzwand mit Vollgewindeschrauben

#### Wirksame Anzahl der Verbindungsmittel:

Es ist die wirksame Anzahl  $n_{ef}$  der Verbindungsmittel nach EC 5 (8.3.1.1) anzusetzen.

*Mindestabstände untereinander sowie zu den Rändern und Enden:*

Die Mindestabstände untereinander sowie zu den Rändern und Enden sind in Bild 6 dargestellt und zusammen mit weiteren Anforderungen für Verbindungen mit selbstbohrenden Schrauben in den Schmalseiten des Brettspertholzes in den Tabellen 5 und 6 angegeben..



**Bild 6:** Definitionen der Mindestabstände der selbstbohrenden Schrauben untereinander sowie zu den Rändern und Enden bei seitlicher Beanspruchung in den Schmalflächen des Brettspertholzes

**Tabelle 5:** Werte der Mindestabstände untereinander sowie zu den Rändern und Enden in den Schmalflächen des Brettspertholzelements

	$a_1$	$a_{3,t}$	$a_{3,c}$	$a_2$	$a_{4,t}$	$a_{4,c}$
Schrauben	$10 d$	$12 d$	$7 d$	$3 d$	$6 d$	$3 d$

**Tabelle 6:** Anforderungen für Verbindungsmittel in den Schmalflächen des Brettspertholzes

	Mindestdicke der betroffenen Lage $t_{lay}$ in mm	Mindestdicke des Brettspertholzes $t_x$ in mm	Mindestdringtiefe der Verbindungsmittel $t_1$ oder $t_2$ in mm <sup>a)</sup>
Schrauben	$d > 8 \text{ mm}: 3 \cdot d$ $d \leq 8 \text{ mm}: 2 \cdot d$	$10 \cdot d$	$10 \cdot d$

<sup>a)</sup>  $t_1$  Mindestdringtiefe der Verbinder in seitliche Bauteile  
 $t_2$  Mindestdringtiefe der Verbinder in mittlere Bauteile

## 1.2 In Achsrichtung beanspruchte stiftförmige Verbindungsmittel

### 1.2.1 Profilierte Nägel

Der charakteristische Wert des Ausziehstandes von profilierten Nägeln in den Seitenflächen des Brettspertholzes darf nach Gleichung (3) berechnet werden.

$$F_{ax,Rk} = 14 d^{0,6} \cdot \ell_{ef} \quad \text{in N} \quad (3)$$

Mit

$d$  = Außendurchmesser des profilierten Schaftteils in mm

$\ell_{ef}$  = Eindringtiefe des profilierten Schaftteils in mm

Die folgenden Bedingungen müssen erfüllt sein:

- mindestens zwei Nägel in einer Verbindung
- Durchmesser des profilierten Schaftteils  $d \geq 4 \text{ mm}$
- Eindringtiefe des profilierten Schaftteils  $\ell_{ef} \geq 8 d$
- Charakteristischer Wert für den Ausziehparameter  $f_{ax,k} \geq 4,5 \text{ N/mm}^2$



## 1.2.2 Schrauben

*Auszieh Widerstand:*

Der charakteristische Wert des Auszieh Widerstandes für selbstbohrende Schrauben in den Seitenflächen oder in den Schmalflächen des Brettspertholzes darf nach Gleichung (4) berechnet werden.

$$F_{ax,Rk} = \sum_{i=1}^n f_{ax,i,k} \cdot \ell_{ef,i} \cdot d \quad \text{in N} \quad (4)$$

Mit

$d$  = Gewindeaußendurchmesser, mit  $d \geq 6$  mm für Schrauben in den Seitenflächen des Brettspertholzes und  $d \geq 8$  mm für Schrauben in den Schmalflächen des Brettspertholzes

$f_{ax,i,k}$  = Charakteristischer Wert des Ausziehparameters der Lage  $i$  in Abhängigkeit von der charakteristischen Rohdichte  $\rho_{k,i}$  und dem Winkel  $\alpha_i$  Schraubenachse und der Faserrichtung der Lage  $i$

$\ell_{ef,i}$  = Eindringtiefe des Gewindes in Lage  $i$

$n$  = Anzahl der durchdrungenen Lagen

Die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

- Eindringtiefe des Gewindes  $\ell_{ef,i} \geq 4 d$

Für die Bemessung von in Achsrichtung beanspruchten Schrauben in Brettspertholz dürfen nur die Gewindelängen mit einem Winkel  $\alpha \geq 30^\circ$  zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung in Rechnung gestellt werden.

Parallel zur Seitenfläche des Brettspertholzes ausgerichtete Schrauben sollten vollständig in einer Lage angeordnet sein. Der Außendurchmesser des Gewindes darf nicht größer als die Dicke der Lage sein, in der die Schraube angeordnet ist.

Für die charakteristische Kopfdurchziehfestigkeit des Schraubenkopfes darf in Abhängigkeit von der charakteristischen Rohdichte  $\rho_k$  der Lage an der Kopfseite der Wert für Vollholz angenommen werden.

*Eindrückwiderstand:*

Der charakteristische Wert des Eindrückwiderstands von auf Druck beanspruchten Schrauben darf nach Gleichung (5) berechnet werden.

$$R_{ki,k} = \kappa_c \cdot N_{pl,k} \quad \text{in N} \quad (5)$$

Mit

$$\kappa_c = \begin{cases} 1 & \text{für } \bar{\lambda}_k \leq 0,2 \\ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_k^2}} & \text{für } \bar{\lambda}_k > 0,2 \end{cases}$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (\bar{\lambda}_k - 0,2) + \bar{\lambda}_k^2]$$

$$\bar{\lambda}_k = \sqrt{\frac{N_{pl,k}}{N_{ki,k}}}$$

$$N_{pl,k} = \pi \cdot \frac{d_k^2}{4} \cdot f_{y,k} \quad \text{in N}$$

$d_k$  = Gewindeinnendurchmesser der Schraube in mm

$f_{y,k}$  = Streckgrenze in N/mm<sup>2</sup>

$$N_{ki,k} = \sqrt{G_h \cdot E_S \cdot I_S} = \text{Knicklast der Schraube in N}$$

$$c_h = (0,19 + 0,012 \cdot d) \cdot \rho_k \cdot \left( \frac{90^\circ + \alpha}{180^\circ} \right) = \text{Bettungszahl in N/mm}^2,$$

die ungünstigste Kombination aus  $\alpha$  und  $\rho_k$  ist maßgebend

$\rho_k$  = Charakteristische Rohdichte der Brettlage

$\alpha$  = Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung einer Brettlage

$$E_S \cdot I_S = \frac{210000 \cdot \pi \cdot d_k^4}{64} = \text{Biegesteifigkeit des Querschnitts des Gewindeinnendurchmessers in N/mm}^2$$

### 1.3 Verbindungen mit Einlassdübeln und Einpressdübeln

Die charakteristischen Werte der Tragfähigkeiten der Einlassdübel und Einpressdübel in den Seitenflächen des Brettschichtholzes dürfen nach EN 1995-1-1 bestimmt werden.

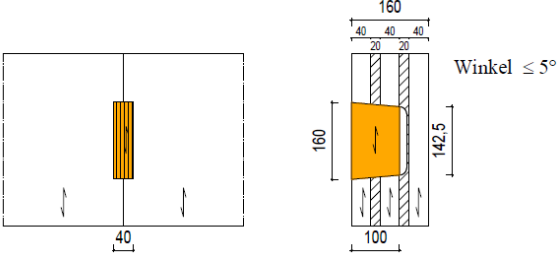
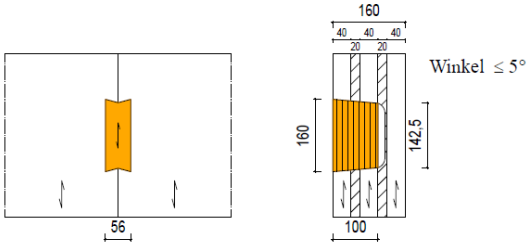
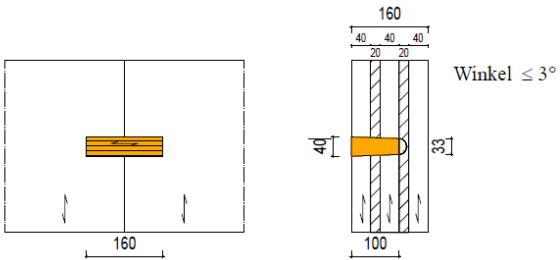
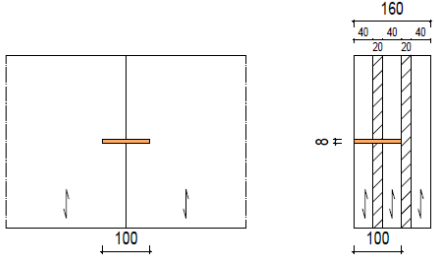
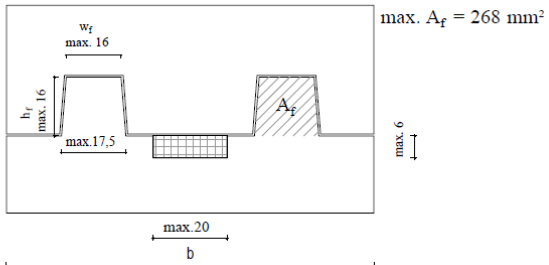
Für Einlassdübel in den Schmalflächen des Brettschichtholzes gelten die Bestimmungen für Verbindungen mit Einlassdübeln im Hirnholz.

Einpressdübel in den Schmalflächen des Brettspertholzes dürfen nicht als tragend angesetzt werden.

### 1.4 Verbindungen mit Merkle XL-Connect ®

Die charakteristischen Werte der Tragfähigkeit von Schmalflächenverbindungen mit Merkle XL-Connect ® werden nach den folgenden Abschnitten bestimmt. Die Verbinder aus Buchenfurnierschichtholz besitzen eine charakteristische Rohdichte  $\rho_k \geq 730 \text{ kg/m}^3$ . Die Schmalflächen des Brettspertholzes sind entweder stumpf gestoßen oder profiliert..

**Tabelle 7:** Typen der Merkle XL-Connect ®, hier Typ 100 in Merkle X-Lam 160 mm

<p>Merkle XL-Connect ® L-100</p> <p>Schubverbinder aus 40 mm dickem Buchenfurnierschichtholz ohne Querlagen nach EN 14374 mit Funierebene rechtwinklig zur Seitenfläche des Brettspertholzes</p>	
<p>Merkle XL-Connect ® X-100</p> <p>Schubverbinder aus Buchenfurnierschichtholz mit Querlagen nach EN 14374 mit Funierebene parallel zur Seitenfläche des Brettspertholzes</p>	
<p>Merkle XL-Connect ® Q-100</p> <p>Schubverbinder aus 25 mm bis 40 mm dickem Buchenfurnierschichtholz ohne Querlagen nach EN 14374 mit Funierebene rechtwinklig zur Seitenfläche des Brettspertholzes</p>	
<p>Merkle XL-Connect ® S-100</p> <p>Schubverbinder aus 8 mm dickem S235JR oder S355JR Stahlblech</p>	
<p>Form der profilierten Schmalfläche für Bauteildicke 100 mm</p>	

## Merkle XL-Connect ® L oder X

Merkle XL-Connect ® L sind Schubverbinder aus 40 mm dickem Buchenfurnierschichtholz ohne Querlagen nach EN 14374 mit einer charakteristischen Rohdichte  $\rho_k \geq 730 \text{ kg/m}^3$ . Die Furnierebenen sind rechtwinklig zur Seitenfläche des Brettspertholzes angeordnet. Die Hirnholzenden der Verbinder sind entweder parallel oder konisch mit einem Anschnittwinkel bis  $5^\circ$ .

Merkle XL-Connect ® X sind Schubverbinder mit doppelten Schwalbenschwänzen aus 56 mm dickem Buchenfurnierschichtholz mit Querlagen nach EN 14374 mit einer charakteristischen Rohdichte  $\rho_k \geq 730 \text{ kg/m}^3$ . Die Furnierebenen sind parallel zur Seitenfläche des Brettspertholzes angeordnet. Die schwalbenschwanzförmigen Hirnholzenden sind entweder parallel oder konisch mit einem Anschnittwinkel bis  $5^\circ$ .

*Charakteristische Tragfähigkeit:*

Die charakteristische Tragfähigkeit pro Merkle XL-Connect ® L oder X Schubverbinder in den Schmalflächen des Brettspertholzes beträgt:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} d \cdot \ell_c \cdot f_{v,k,LVL} \\ d \cdot \left( \min \{ a_1 - \ell_c; a_{3,t} - 0,5 \cdot \ell_c \} \right) \cdot f_{v,k,CLT} \\ (0,5 \cdot \sum d_0 \cdot t - n \cdot A_f) \cdot f_{c,0,k} \end{array} \right. \quad (6)$$

Wegen der Ausmitte der auf den Verbinder Merkle XL-Connect ® L parallel zur Scherfuge wirkenden Druckkräfte entsteht eine Zugkraft  $F_{t,90,k}$  rechtwinklig zur Scherfuge, die durch zusätzliche Verbindungsmittel aufzunehmen ist:

$$F_{t,90,k} = \frac{3 \cdot F_{v,Ed} \cdot t}{4 \cdot \ell_c} \quad (7)$$

Mit

- d Dicke des Merkle XL-Connect ® L oder X Verbinders rechtwinklig zur Seitenfläche;
- $\ell_c$  Länge des Merkle XL-Connect ® L oder X Verbinders,  
 $\ell_c \geq 160 \text{ mm}$  für Merkle XL-Connect ® L,  $\ell_c \geq 140 \text{ mm}$  für Merkle XL-Connect ® X;
- $a_1$  Achsabstand der Merkle XL-Connect ® L oder X Verbinder parallel zur Scherfuge;
- $a_{3,t}$  Beanspruchtes Hirnholzende parallel zur Scherfuge;
- $\sum d_0$  Summe der Längslagedicken parallel zur Scherfuge der Elemente innerhalb der Dicke d;
- t Verbinderbreite rechtwinklig zur Scherfuge,  
 $t = 40 \text{ mm}$  für Merkle XL-Connect ® L,  $t = 56 \text{ mm}$  für Merkle XL-Connect ® X;
- $A_f$  Querschnitt einer Feder in profilierten Schmalseiten. Stumpfstöße:  $A_f = 0$ ,  
profilierte Schmalseiten siehe schraffierte Fläche in Tabelle 7:  $\max A_f = 268 \text{ mm}^2$
- $w_f$  Federbreite in profilierten Schmalseiten. Stumpfstöße:  $w_f = 0$ , für profilierte Schmalseiten nach Tabelle 7:  
 $w_f = 16 \text{ mm}$ ;
- $f_{v,k,LVL}$  Schubfestigkeit des Buchenfurnierschichtholzes parallel zur Scherfuge;
- $f_{v,k,CLT}$  Schubfestigkeit des Brettspertholzes für Scheibenbeanspruchung, siehe Anhang 3 Tabelle 3;
- $f_{c,0,k}$  Druckfestigkeit der Brettspertholzlagen parallel zur Faser und parallel zur Scherfuge. In Nutzungsklasse 1 darf  $f_{c,0,k}$  um 1/3 erhöht werden;
- $F_{v,Ed}$  Schubkraft pro Merkle XL-Connect ® L.
- n Anzahl der Befestigungen im Bereich der Merkle XL-Connect® L oder X

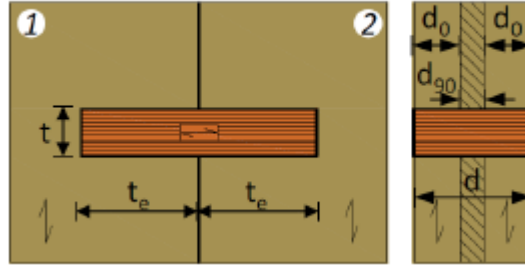
*Verschiebungsmodul:*

Der Verschiebungsmodul  $K_{ser}$  für Merkle XL-Connect ® L oder X in den Schmalseiten von Brettspertholz beträgt:

$$K_{ser} = \frac{F_{v,Rk}}{1 \text{ mm}} \quad (8)$$

## 1.4.1 Merkle XL-Connect ® Q

Merkle XL-Connect ® Q sind Schubverbinder aus 25 mm bis 40 mm dickem Buchenfurnierschichtholz ohne Querlagen nach EN 14374 mit einer charakteristischen Rohdichte  $\rho_k \geq 730 \text{ kg/m}^3$ . Die Furnierebenen sind rechtwinklig zur Seitenfläche des Brettspertholzes angeordnet. Die Längsseiten der Schubverbinder Merkle XL-Connect ® Q sind rechtwinklig zur Scherfuge zwischen den Brettspertholzbauteilen angeordnet. Die Hirnholzenden sind parallel.



**Bild 7:** Merkle XL-Connect ® Q in den Schmalseiten von Brettspertholzbauteilen

*Charakteristische Tragfähigkeit:*

Die charakteristische Tragfähigkeit pro Merkle XL-Connect ® Q Schubverbinder mit einer Mindesteindringtiefe  $t_e = 2 \cdot t$  in den Schmalfächern des Brettspertholzes beträgt:

$$F_{v,Rk} = 1,7 \cdot \sum d_0 \cdot t \cdot f_{c,90,k} \quad (9)$$

Mit

- $t_e$  Eindringtiefe des Merkle XL-Connect ® Q Verbinders in beiden Brettspertholzbauteilen;
- $\sum d_0$  Summe der Längslagendicken parallel zur Scherfuge der Elemente innerhalb der Dicke d;
- t Mittlere Verbinderdicke rechtwinklig zur Scherfuge,  $25 \text{ mm} \leq t \leq 40 \text{ mm}$ ;
- d Breite des Merkle XL-Connect ® Q Verbinder rechtwinklig zur Seitenfläche;
- $a_{1,t}$  Achsabstand der Merkle XL-Connect ® Q Verbinder parallel zur Scherfuge,  $a_{1,t} \geq 10 \cdot t$ ;
- $a_{3,t}$  Beanspruchtes Hirnholzende parallel zur Scherfuge,  $a_{3,t} \geq 10 \cdot t$ ;
- $f_{c,90,k}$  Querdruckfestigkeit des Buchenfurnierschichtholzes rechtwinklig zur Plattenebene.

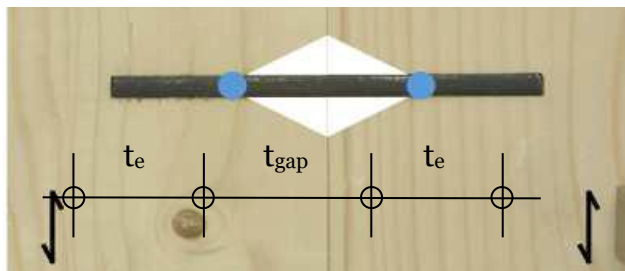
*Verschiebungsmodul:*

Der Verschiebungsmodul  $K_{ser}$  für Merkle XL-Connect ® Q in den Schmalseiten von Brettspertholz beträgt:

$$K_{ser} = \frac{F_{v,Rk}}{2,5 \text{ mm}} \quad (10)$$

## 1.4.2 Merkle XL-Connect ® S

Merkle XL-Connect ® S Verbinder bestehen aus rechtwinkligen, 6 bis 10 mm dicken Stahlblechen S235JR oder S355JR mit oder ohne Spalten in den Schmalseiten der Brettsperrholzbauteile. Die Stahlblechverbinder sind rechtwinklig zur Scherfuge zwischen den Schmalseiten der Brettsperrholzbauteile angeordnet. Das Verhältnis  $t_{\text{gap}}/t$  beträgt höchstens 10.



**Bild 8:** Merkle XL-Connect ® S mit Spalten in den Schmalseiten der Brettsperrholzbauteile

*Charakteristische Tragfähigkeit:*

Die charakteristische Tragfähigkeit eines Merkle XL-Connect ® S Verbinders mit der Mindesteindringtiefe  $t_{e,\text{min}}$  in beiden Schmalseiten beträgt:

$$F_{v,Rk} = \sum d_0 \cdot f_{c,0,k} \cdot \left( \sqrt{\frac{t_{\text{gap}}^2}{4} + \frac{2 \cdot M_{u,k}}{\sum d_0 \cdot f_{c,0,k}}} - \frac{t_{\text{gap}}}{2} \right) \quad (11)$$

Mit

Mindesteindringtiefe  $t_{e,\text{min}}$  des Merkle XL-Connect ® S in beiden Schmalseiten (siehe Bild 8):

$$t_e \geq \sqrt{\frac{4 \cdot M_{u,k}}{\sum d_0 \cdot f_{c,0,k}}} + \sqrt{4 \cdot t_{\text{gap}}^2 + \frac{2 \cdot M_{u,k}}{\sum d_0 \cdot f_{c,0,k}}} \quad (12)$$

$\Sigma d_0$  Summe der Längslagendicken parallel zur Scherfuge der Elemente innerhalb der Dicke  $d$ ;

$t$  Stahlblechdicke,  $6 \text{ mm} \leq t \leq 10 \text{ mm}$ ;

$t_e$  Eindringtiefe des Stahlblechs;

$d$  Stahlblechbreite des Merkle XL-Connect ® S Verbinder rechtwinklig zur Seitenfläche;

$a_1$  Achsabstand der Merkle XL-Connect ® S Verbinder parallel zur Scherfuge,  $a_1 \geq 40 \cdot t$ ;

$a_{3,t}$  Beanspruchtes Hirnholzende parallel zur Scherfuge,  $a_{3,t} \geq 40 \cdot t$ ;

$f_{c,0,k}$  Druckfestigkeit der Brettsperrholzlagen parallel zur Faser und parallel zur Scherfuge. In Nutzungsklasse 1 darf  $f_{c,0,k}$  um 1/3 erhöht werden;

$M_{u,k}$  Plastisches Grenzbiegemoment des Stahlblechs,  $M_{u,k} = 0,25 \cdot f_{u,k} \cdot d \cdot t^2$

$f_{u,k}$  Charakteristische Zugfestigkeit des Stahlblechs.

*Verschiebungsmodul:*

Der Verschiebungsmodul  $K_{\text{ser}}$  für Merkle XL-Connect ® S in den Schmalseiten von Brettsperrholz beträgt:

$$K_{\text{ser}} = \frac{F_{v,Rk}}{(1,3 + 0,3 \cdot t_{\text{gap}} / t) \text{ mm}} \quad (13)$$

*Statisches Zähigkeitsverhältnis:*

Das statische Zähigkeitsverhältnis der Merkle XL-Connect ® S Verbinder in Schmalseitenverbindungen von Brettsperrholzwänden ist größer als 6. Bei der Bemessung solcher Bauwerke unter Erdbebenweeinwirkung darf daher die Duktilitätsklasse DCH angenommen werden.

## Anhang 6

### Bemessung nach der Theorie nachgiebig verbundener Biegeträger

Die Bemessung von Elementen mit bis zu 5 Lagen kann nach EN 1995-1-1 gemäß der Theorie der nachgiebig verbundenen Biegeträger erfolgen.

Hierbei ist zur Berücksichtigung der Schubverformung der Faktor  $s_i/K_i$  nach Norm durch den Faktor zu ersetzen.

$$\bar{h}_i / (G_R \cdot b).$$

Das wirksame Flächenträgheitsmoment errechnet sich dann zu:

$$I_{ef} = \sum_{i=1}^3 (I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2) \quad \text{with} \quad A_i = b_i \cdot h_i; \quad I_i = \frac{b_i \cdot h_i^3}{12}$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_0 \cdot A_1 \cdot \bar{h}_1}{G_R \cdot b \cdot l^2}}; \quad \gamma_2 = 1; \quad \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_0 \cdot A_3 \cdot \bar{h}_2}{G_R \cdot b \cdot l^2}}$$

$$a_1 = \left( \frac{h_1}{2} + \bar{h}_1 + \frac{h_2}{2} \right) - a_2; \quad a_3 = \left( \frac{h_2}{2} + \bar{h}_2 + \frac{h_3}{2} \right) + a_2$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot A_1 \cdot \left( \frac{h_1}{2} + \bar{h}_1 + \frac{h_2}{2} \right) - \gamma_3 \cdot A_3 \cdot \left( \frac{h_2}{2} + \bar{h}_2 + \frac{h_3}{2} \right)}{\sum_{i=1}^3 (\gamma_i \cdot A_i)}$$

Der Nachweis der Biegebeanspruchbarkeit erfolgt durch Überprüfung der Biegerandspannung der Bretter. Der Nachweis der Schwerpunktspannung darf unberücksichtigt bleiben:

$$\sigma_{m,r,i,d} = \pm \frac{M_d}{I_{ef}} \cdot \left( \gamma_i \cdot a_i + \frac{h_i}{2} \right) \leq f_{m,d}$$

Der Schubspannungsnachweis erfolgt durch Überprüfung der Schubspannung in der maßgebenden Querschnittsebene:

$$\tau_{v,d} = \frac{V_d \cdot \gamma_i \cdot S_i}{I_{ef} \cdot b} \leq f_{R,d}$$

Legend:

- $h_{tot}$  = Elementdicke gesamt [mm]
- $h_i$  = Dicke der einzelnen Lagen parallel zur Richtung des Lastabtrags [mm]
- $\bar{h}_i$  = Dicke der einzelnen Lagen rechtwinklig zur Richtung des Lastabtrags [mm]
- $b$  = Elementbreite [mm]
- $n$  = Anzahl der Lagen
- $l$  = Spannweite [mm]
- $I_{ef}$  = wirksames Flächenträgheitsmoment [Nmm<sup>2</sup>]
- $G_R$  = Rollschubmodul [N/mm<sup>2</sup>]
- $E_0$  = E-Modul parallel zur Faserrichtung der Bretter [N/mm<sup>2</sup>]