Schub (Belastung in Scheibenebene)

Da nicht alle BSP-Produkte voll seitenflächenverklebt sind und selbst bei schmalseitenverklebten Produkten keine völlige Rissefreiheit garantiert werden kann, können die Schubspannungen nur in den Stirnholzflächen wirken, während die Schmalseiten spannungsfrei sind. Die Schubkräfte können daher nur indirekt über die Kreuzungsflächen mit den Brettern benachbarter Lagen übertragen werden. Aufgrund der in unterschiedlichen Ebenen wirkenden Querkräfte entstehen Torsionsspannungen in den Klebeflächen (siehe Abb. 1).

Abb. 1: Spannungen am RVSE: links: rissefreie und seitenverklebt, Mitte: Mechanismus I, rechts: Mechanismus II

Für beide Mechanismen (siehe Abb. 2, Mechanismus I – Querkraftschub, Mechanismus II – Torsion) sind getrennt Nachweise zu führen.

Abb. 2: Mechanismus I – Querkraftschub (links) und Mechanismus II – Torsion (rechts)

Das hier vorgestellte Nachweisverfahren nach [1][2] basiert auf der Verwendung von Repräsentativen Volumen-Elementen (RVE) bzw. Repräsentativen Volumen-Sub-Elementen (RVSE) und ist auf flächige BSP-Elemente mit Belastung in Scheibenebene anwendbar. Wird Brettsperrholz als stabförmigen Bauteil mit Belastung in Scheibenebene eingesetzt, sind davon abweichende Überlegungen zu treffen (siehe [3]). Ein RVSE hat die Abmessungen der Kreuzungsflächen zweier benachbarter Brettlagen mit der ideellen Ersatzdicke t_i^*. Die ideelle Ersatzdicke wird nach dem Schema in Tab. 1 bestimmt. Mit diesem Schema werden auch der Randeffekt einer endlichen Schichtanzahl sowie variable Schichtdicken berücksichtigt. Es stellt eine konservative Lösung dar, da bei stark unterschiedlichen Schichtstärken immer nur die kleinere der beiden angrenzenden Schichten in Rechnung gestellt wird.

Tab. 1: Schema zur Bestimmung der ideellen Ersatzdicken t_i^* einer n-schichtigen BSP-Scheibe

Knoten		
Knoten 1 (= Randknoten)	Schicht i = 1 außen Schicht i + 1 = 2 innen	$t_1^* = \min (2 \cdot t_1,t_2)$
Knoten i (1<i<n-1) (= Innenknoten)	Schicht i innen Schicht i + 1 innen	$t_i^* = \min (t_i,t_{i+1})$
Knoten n-1 (= Randknoten)	Schicht i = n-1 innen Schicht i + 1 = n außen	$t_{n-1}^* = \min (t_{n-1},2 \cdot t_n)$

Die ideelle Gesamtersatzdicke t^* ergibt sich aus der Summe der ideellen Ersatzdicken t_i^* und ist immer kleiner oder maximal gleich der geometrischen Gesamtdicke der BSP-Scheibe t_{CLT}.

\begin{equation} \label{eq:eqn_1} {t^*} = \sum\limits_{i = 1}^{n - 1} {t_i^*} \end{equation}

Die anteilige Schubkraft je Klebefläche berechnet sich nach Glg. \eqref{eq:eqn_2}.

\begin{equation} \label{eq:eqn_2} n_{xy,RVSE(i)}^* = {{{n_{xy}}} \over {{t^*}}} \cdot t_i^* \end{equation}

Die ideellen Schubspannungen $\tau^*_{0,RVSE(i)}$ der einzelnen Knoten berechnen sich nach Glg. \eqref{eq:eqn_3}. Es ist ersichtlich, dass die ideellen Schubspannungen aller Knoten gleich τ_0^* sind.

\begin{equation} \label{eq:eqn_3} \tau _{0,RVSE(i)}^* = {{n_{xy,RVSE(i)}^*} \over {t_i^*}} = {{{n_{xy}}} \over {{t^*}}} = \tau _0^* \end{equation}

Mechanismus I – Querkraftschub

Die Größe der tatsächlichen Schubspannungen beim Mechanismus I wird nach Glg. \eqref{eq:eqn_4} berechnet. Sie ist doppelt so groß wie die ideelle Schubspannung und für alle Knoten gleich.

\begin{equation} \label{eq:eqn_4} {\tau _v} = 2 \cdot \tau _0^* \end{equation}

Durch Erfüllen von Glg. \eqref{eq:eqn_5} wird nachgewiesen, dass die Bemessungsspannung kleiner oder maximal gleich dem Design-Wert auf der Widerstandsseite ist.

\begin{equation} \label{eq:eqn_5} \left| {{\tau _{v,d}}} \right| \le {f_{v,CLT,d}} = {{{k_{\bmod }} \cdot {f_{v,CLT,k}}} \over {{\gamma _M}}} \end{equation}

Anmerkung: Für die Ermittlung der Schubspannungen in den Lamellen wird nicht von einer quadratischen Verteilung der Schubspannungen über die Bretthöhe ausgegangen, (τ_{max} ist bekanntermaßen bei einem Rechteckquerschnitt um den Faktor 3/2 höher als eine konstant angesetzte Schubspannung), sondern von einer konstanten Verteilung der Schubspannungen. Dies kann deshalb angenommen werden, weil die Voraussetzungen der Stabtheorie nach ungestörten, konstanten Querkraftverläufen sowie Rändern mit freier Schubverwölbungsmöglichkeit hier nicht gegeben sind. Vielmehr ist davon auszugehen, dass die gegenseitigen Behinderungen durch die gesperrte Struktur bei der hier vorliegenden BSP-Scheibe eher zu konstanten Schubspannungsverteilungen führen werden.

Abweichend von der zuvor erwähnten Methode sind in einigen Zulassungen die Nachweise für den Mechanismus I in Bezug auf den Nettoquerschnitt zu finden. Für BSP-Elemente mit konstanten Schichtstärken sind die Ergebnisse idente, jedoch bei unterschiedlichen Schichtstärken können Differenzen auftreten.

Mechanismus II – Torsion

Der Nachweis für den Mechanismus II ist für jede Knotenfläche (Klebefläche) des RVE zu führen. Maßgebend ist jenes RVSE mit der größten Ersatzdicke t_i^*, da hier das größte Torsionsmoment $M_{T,i}$ (siehe Glg. (Fix Me!)) auftritt.

\begin{equation} \label{eq:eqn_6} {M_{T,i}} = \tau _0^* \cdot t_i^* \cdot {a^2} \end{equation}

Die Torsionsschubspannung $\tau_{T,i}$ berechnet sich nach Glg. \eqref{eq:eqn_7} aus dem jeweiligen Torsionsmoment in der Klebefläche $M_{T,i}$ und dem polaren Widerstandsmoment W_P nach Glg. \eqref{eq:eqn_8}.

\begin{equation} \label{eq:eqn_7} {\tau _{T,i}} = {{{M_{T,i}}} \over {{W_P}}} = {{\tau _0^* \cdot t_i^* \cdot {a^2}} \over {{{{a^3}} \over 3}}} = 3 \cdot \tau _0^* \cdot {{t_i^*} \over a} \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_8} {W_P} = {{{I_P}} \over {{a \over 2}}} = {{{a^3}} \over 3} \end{equation}

Das polare Widerstandsmoment W_P setzt sich aus dem polaren Trägheitsmoment der Klebefläche I_P nach Glg. \eqref{eq:eqn_9} und dem Randabstand a/2 zusammen.

\begin{equation} \label{eq:eqn_9} {I_P} = {I_y} + {I_z} = {{a \cdot {a^3}} \over {12}} + {{{a^3} \cdot a} \over {12}} = {{{a^4}} \over 6} \end{equation}

Mit Glg. \eqref{eq:eqn_10} wird überprüft, ob der Nachweis erfüllt ist oder nicht.

\begin{equation} \label{eq:eqn_10} \left| {{\tau _{T,d}}} \right| \le {f_{T,CLT,d}} = {{{k_{\bmod }} \cdot {f_{T,CLT,k}}} \over {{\gamma _M}}} \end{equation}

Wie beim Mechanismus I, wird auch der Mechanismus II in manchen Zulassungen geregelt. Jedoch sind die angegebenen Gleichungen oft nur für rechteckige BSP-Elemente mit konstanten Schichtstärken ohne Öffnungen und konstantem Schub gültig. Liegt dieser Fall vor, liefern die Methode mit den RVSE und die der Zulassung idente Ergebnisse. Bei stark unterschiedlichen Schichtstärken können jedoch deutliche Unterschiede auftreten.

Referenzen