Brettsperrholz, Produkt

Mechanische und Physikalische Eigenschaften

Tab. 1: Charakteristische Eigenschaften von BSP-Elementen mit dem Grundmaterial T14

<table>
<tr><th colspan="4">Charakteristische Eigenschaft</th><th>nach ÖNORM B 1995-1-1:2015 [1]</th><th>T14 CV 25%</th><th>T14 CV 35%</th></tr>
<tr><td>Elastizitätsmodul</td><td>parallel</td><td>$E_{0,lay,mean}$</td><td>N/mm^2</td><td>11.550</td><td colspan="2">11.600</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Elastizitätsmodul</td><td rowspan="2">rechtwinklig</td><td>$E_{90,lay,mean}$</td><td>N/mm^2</td><td rowspan="2">450 (0)</td><td colspan="2">300</td></tr>
<tr><td>$E_{c,90,lay,mean}$</td><td>N/mm^2</td><td colspan="2">450</td></tr>
<tr><td>Schubmodul</td><td>parallel</td><td>$G_{0,lay,mean}$</td><td>N/mm^2</td><td>690</td><td colspan="2">650</td></tr>
<tr><td>Rollschubmodul</td><td>(rechtwinklig)</td><td>$G_{r,lay,mean}$</td><td>N/mm^2</td><td>65</td><td colspan="2">65 ÷ 100 je nach w_ℓ/t_ℓ (siehe Glg. \eqref{eq:eqn_G_r_lay_mean})</td></tr>
<tr><td colspan="2">Biegefestigkeit Plattenwirkung</td><td>$f_{m,lay,k}$</td><td>N/mm^2</td><td>24,0</td><td>24,0</td><td>28,0</td></tr>
<tr><td colspan="2">Biegefestigkeit Scheibenwirkung</td><td>$f_{m,lay,k}$</td><td>N/mm^2</td><td>20,5[1)]</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Zugfestigkeit</td><td>parallel</td><td>$f_{t,0,lay,k}$</td><td>N/mm^2</td><td>14,0</td><td>16,0</td><td>18,0</td></tr>
<tr><td>Zugfestigkeit</td><td>rechtwinkelig</td><td>$f_{t,90,lay,k}$</td><td>N/mm^2</td><td>0,4</td><td colspan="2">0,5</td></tr>
<tr><td>Druckfestigkeit</td><td>parallel</td><td>$f_{c,0,lay,k}$</td><td>N/mm^2</td><td>24,0</td><td>24,0</td><td>28,0</td></tr>
<tr><td>Druckfestigkeit</td><td>rechtwinkelig</td><td>$f_{c,90,lay,k}$</td><td>N/mm^2</td><td>3,0</td><td colspan="2">3,0</td></tr>
<tr><td>Schubfestigkeit Scheibenwirkung</td><td>Bruttoschub</td><td>$f_{v,gross,k}$</td><td>N/mm^2</td><td>3,5</td><td colspan="2">3,5</td></tr>
<tr><td>Schubfestigkeit Scheibenwirkung</td><td>Nettoschub</td><td>$f_{v,net,k}$</td><td>N/mm^2</td><td>5,0</td><td colspan="2">5,5</td></tr>
<tr><td>Schubfestigkeit Scheibenwirkung</td><td>Torsion</td><td>$f_{T,node,k}$</td><td>N/mm^2</td><td>2,5</td><td colspan="2">2,5</td></tr>
<tr><td>Schubfestigkeit Plattenwirkung</td><td>Schub</td><td>$f_{v,lay,k}$</td><td>N/mm^2</td><td>2,3</td><td colspan="2">3,5</td></tr>
<tr><td>Schubfestigkeit Plattenwirkung</td><td>Rollschub</td><td>$f_{r,lay,k}$</td><td>N/mm^2</td><td>0,7 (1,0)</td><td colspan="2">0,8 ÷ 1,4 je nach w_ℓ/t_ℓ (siehe Glg. \eqref{eq:eqn_f_r_CLT_k})</td></tr>
</table>

Fix Me! Quell- und Schwindmaße, Rohdichte

Elastizitäts- und Schubmoduln

Die Angabe von Elastizitäts- und Schubmoduln von Brettsperrholz orientiert sich weitestgehend an den Kennwerten von Brettschichtholz nach EN 14080 (2013) [2]. Aufgrund der orthogonalen Schichtung in Brettsperrholz kommt es zu einer Verstärkung der Längslagen, wodurch bei Druck rechtwinklig zur Faserrichtung ein höherer E-Modul bei BSP als bei BSH zu erwarten ist (Halili 2008) [3].

Elastizitätsmodul

nach EN 14080 [2]

\begin{equation} \label{eq:eqn_E_0_CLT_mean} {E_\text{0,CLT,mean}} = 1,05 \cdot {E_{0,\ell \text{,mean}}} \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_E_90_CLT_mean} {E_\text{90,CLT,mean}} = 300 \text{ N/mm}^2 \end{equation}

nach Unterwieser & Schickhofer (2013) [4]

\begin{equation} \label{eq:eqn_E_c_90_CLT_mean} {E_\text{c,90,CLT,mean}} = 450 \text{ N/mm}^2 \end{equation}

Schubmodul

Plattenbeanspruchung

nach EN 14080 [2]

\begin{equation} \label{eq:eqn_G_0_lay_mean} {G_\text{0,lay,mean}} = 650 \text{ N/mm}^2 \end{equation}

Scheibenbeanspruchung

nach Brandner et al. (2015) [5]

\begin{equation} \label{eq:eqn_G_CLT_mean} {G_\text{CLT,mean}} = \left\{ {\matrix{ {450 \text{ N/mm}^2} & {{\text{Näherungslösung für BSP ohne Seitenverklebung}}} \cr {650 \text{ N/mm}^2} & {{\text{BSP mit Seitenverklebung}}} \cr } } \right. \end{equation}

nach Bogensperger et al. (2010) [6] (siehe auch Effektiver Schubmodul für BSP ohne Seitenverklebung in Abhängigkeit der Schichtanzahl und dem Seitenverhältnis der Bretter)

Tab. 2: Schubmodul bei Belastung in Scheibenebene $G_{CLT,mean}$

t/a	$G_{CLT,mean}$	
	3-schichtig	**5- und 7-schichtig**
1:6	475	501
1:5	449	475
1:4	410	436
1:3	351	384
1:2	273	306

nach Working Draft EC 5 (Stand April 2018) [7]

\begin{equation} \label{eq:eqn_G_CLT_mean_EC5_working_draft_2018_04} {G_\text{CLT,mean}} =

\min \left\{ {\matrix{ {{{650} \over {1 + 2,6 \cdot {{\left({{{{t_\ell }} \over {{w_\ell }}}} \right)}^{1,2}}}}} \cr {450} \cr } } \right. \end{equation}

Rollschubmodul

Neuere Untersuchungen von Ehrhart et al. (2015) [8] zeigten einen höheren Rollschubmodul als derzeit in ÖNORM B 1995-1-1 [1] festgelegt. Nach Görlacher (2002) [9], Jakobs (2005) [10] sowie Ehrhart et al. (2015) [8] weist der Rollschubmodul des Einzelbretts eine signifikante Abhängigkeit vom Jahrringverlauf auf. Je näher die Bretter am Mark liegen, desto höher der Rollschubmodul. Gegenwärtig erfolgt die Produktion von BSP mit einem größeren Anteil an Brettware aus Marknähe. Weiters ist der Rollschubmodul auch vom Brettverhältnis w_ℓ/t_ℓ abhängig.

\begin{equation} \label{eq:eqn_G_r_lay_mean} {G_\text{r,lay,mean}} = \min \left\{ {\matrix{ {30 + 17,5 \cdot {{{w_\ell }} \over {{t_\ell }}}} \cr {100} \cr } } \right. \end{equation}

5%-Quantile der Elastizitäts- und Schubmoduln

\begin{equation} \label{eq:eqn_E_05} {E_{05}} = {5 \over 6} \cdot {E_\text{mean}} \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_G_05} {G_{05}} = {5 \over 6} \cdot {G_\text{mean}} \end{equation}

Festigkeiten

Zugfestigkeit (Belastung in Scheibenebene)

Für die Zugfestigkeit in Faserrichtung stehen aktuell keine detaillierten theoretischen und / oder experimentellen Untersuchungen zur Verfügung. Somit wurde in Anlehnung an das Modell für BSH ein Vorschlag auf Basis der Zugfestigkeit des Grundmaterials in Längsrichtung, multipliziert mit dem Systemfaktor $k_{sys,t,0}$ nach Untersuchungen von Brandner und Schickhofer (2006) [11] und Jeitler und Brandner (2008) [12] festgelegt. Im Systemfaktor $k_{sys,t,0}$ werden des Weiteren die Streuung des Grundmaterials $CV[f_{t,0,\ell}]$ sowie die Anzahl der parallel wirkenden Lamellen N im BSP-Querschnitt berücksichtigt.

nach Unterwieser & Schickhofer (2013) [4]

\begin{equation} \label{eq:eqn_f_t_0_CLT_net_k} {f_\text{t,0,CLT,net,k}} = {k_\text{sys,t,0}} \cdot {f_{\text{t,0,}\ell \text{,k}}} \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_k_sys_t_0} {k_\text{sys,t,0}} = \left\{ {\matrix{ {\min \left\{ {\matrix{ {0,075 \cdot \ln (N) + 1} \cr {1,20} \cr } {\text{ für T14 und COV_t}} = 0,25} \right.} \cr {\min \left\{ {\matrix{ {0,130 \cdot \ln (N) + 1} \cr {1,35} \cr } {\text{ für T14 und COV_t}} = 0,35} \right.} \cr } } \right. \end{equation}

$f_\text{t,0,CLT,net,k}$	charakteristische Zugfestigkeit in Faserrichtung

$k_\text{sys,t,0}$	Systemeffekt aus parallel interagierender Lamellen in Längsrichtung
$f_{\text{t,0,}\ell\text{,k}}$	charakteristische Zugfestigkeit eines Brettes in Faserrichtung
N	Anzahl der parallel wirkenden Lamellen

Zugfestigkeit (Belastung normal zur Plattenebene)

Die Zugfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung wurde gemäß BSH nach EN 14080 (2013) [2] festgelegt.

\begin{equation} \label{eq:eqn_f_t_90_CLT_k} {f_\text{t,90,CLT,k}} = 0,5 \text{ N/mm}^2 \end{equation}

Druckfestigkeit (Belastung in Scheibenebene)

Für die Druckfestigkeit in Faserrichtung für BSP wird ebenfalls die Festlegung nach EN 14080 (2013) [2], die Angabe der Biegefestigkeit der entsprechenden BSP-Festigkeitsklasse, vorgeschlagen, da aktuell auch hier keine Untersuchungen vorliegen.

\begin{equation} \label{eq:eqn_f_c_0_CLT_net_k} {f_\text{c,0,CLT,net,k}} = {f_\text{m,CLT,k}} \end{equation}

Druckfestigkeit (Belastung normal zur Plattenebene)

Verschiedene Forschungsarbeiten wurden im Hinblick auf die Angabe von Kennwerten für die Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung von BSP durchgeführt (z. B. Halili 2008 [3], Salzmann 2010 [13], Serrano und Enquist 2010 [14], Bogensperger et al. 2011 [15], Ciampitti 2013 [16] und Brandner und Schickhofer 2014) [17]. Alle diese Forschungsergebnisse basieren auf dem Grundmaterial Fichte der Sortier- bzw. Festigkeitsklasse C24 und T14.

\begin{equation} \label{eq:eqn_f_c_90_CLT_k} {f_\text{c,90,CLT,k}} = 3,0 \text{ N/mm}^2 \end{equation}

Biegefestigkeit (Belastung in Scheibenebene)

Fix Me!

Biegefestigkeit (Belastung normal zur Plattenebene)

Die charakteristische Biegefestigkeit von Brettsperrholz wird auf Basis von Zugkennwerten des Grundmaterials nach Glg. \eqref{eq:eqn_f_m_CLT_k} (siehe Tragmodell für Biegung von Jöbstl et al. [18]) berechnet.

\begin{equation} \label{eq:eqn_f_m_CLT_k} {f_\text{m,CLT,k}} = {k_\text{m,CLT}} \cdot f_{\text{t,0,}\ell \text{,k}}^{0,8} \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_k_m_CLT} {k_\text{m,CLT}} = {k_\text{sys,m}} \cdot {k_\text{CLT/GLT}} \cdot {k_\text{h,CLT}} \cdot {k_\text{CV_t}} \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_k_sys_m} {k_\text{sys,m}} = 1,1 \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_k_CLT_GLT} {k_\text{CLT/GLT}} = 0,94 \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_k_h_CLT} {k_\text{h,CLT}} = 1,15 \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_k_CV_t} {k_\text{CV_t}} = \left\{ {\matrix{ {2,54} & {\text{für COV}_\text{t} = 0,25} \cr {2,97} & {\text{für COV}_\text{t} = 0,35} \cr } } \right. \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_k_m_CLT_COV} {k_\text{m,CLT}} = \left\{ {\matrix{ {3,0} & {\text{für COV}_\text{t} = 0,25} \cr {3,5} & {\text{für COV}_\text{t} = 0,35} \cr } } \right. \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_f_m_CLT_k_COV} {f_\text{m,CLT,k}} = \left\{ {\matrix{ {25,0\text{ }(24,0)} & {\text{für T14 und COV}_\text{t} = 0,25} \cr {29,0\text{ }(28,0)} & {\text{für T14 und COV}_\text{t} = 0,35} \cr } } \right. \end{equation}

Die charakteristische Biegefestigkeit von Brettsperrholz wird teilweise auf Basis von Zugkennwerten des Grundmaterials (nach Glg. \eqref{eq:eqn_3_Alt}, siehe [27][5]), aber auch vielfach auf Basis der Kennwerte von homogenen BSH-Festigkeitsklassen (nach Glg. \eqref{eq:eqn_4_Alt}, [5][16][17][18]) angegeben.

\begin{equation} \label{eq:eqn_3_Alt} {f_\text{m,CLT,k}} = {k_\text{m,CLT}} \cdot {f_\text{t,0,l,k}}^{0,8} \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_4_Alt} {f_\text{m,CLT,k}} = {k_\text{l}} \cdot {f_\text{m,GLT,k}} \end{equation}

Der Systemfaktor k_l berücksichtigt dabei das parallele Wirken von Einzelkomponenten. Abhängig von der Anzahl der in der Zugzone parallel liegenden Bretter ergibt er sich zu:

\begin{equation} \label{eq:eqn_5} {k_\text{l}} = \min \left({1,1;1 + 0,025 \cdot n} \right){\text{ für n}} > 1 \end{equation}

Die Anzahl der Bretter kann über die in den Zulassungen der Hersteller angegebenen Grenzwerte für die Einzelbrettbreiten ermittelt werden. Die Brettbreiten liegen zwischen 80 mm und 250 mm. Bei Berücksichtigung dieser Grenzwerte kann für ein BSP-Element ab einer Breite von 1 m gesichert von einer Brettanzahl n ≥ 4 ausgegangen werden und somit darf der Systemfaktor k_l = 1,1 in Rechnung gestellt werden.

Die angegebenen Festigkeiten beziehen sich auf eine Referenzhöhe $t_{CLT,ref}$ = 150 mm. Eine Korrektur mit dem Höhenfaktor k_h wird aufgrund fehlender systematischer Untersuchungen derzeit nicht in Rechnung gestellt.

Der Bemessungswert der Biegefestigkeit ergibt sich damit unter Berücksichtigung des Modifikationsbeiwertes k_{mod} und des Teilsicherheitsbeiwertes γ_M zu:

\begin{equation} \label{eq:eqn_6} {f_\text{m,CLT,d}} = {{{k_\text{mod}} \cdot {f_\text{m,CLT,k}}} \over {{\gamma _\text{M}}}} \end{equation}

Schubfestigkeit (Belastung in Scheibenebene)

In Bezug auf die Schubfestigkeit in Scheibenebene können auf Basis der Untersuchungen von Bogensperger et al. (2007 [19]; 2010 [6]), Flaig und Blaß (2013) [20] und Brandner et al. (2013) [21] drei unterschiedliche Versagensmechanismen von BSP mit und ohne Schmalseitenverklebung angegeben werden:

- Brutto-Schubversagen des schmalseitenverklebten BSP-Elements durch Längsschubversagen aller Lagen;
- Netto-Schubversagen der Querlagen (schwächere Richtung) durch Überschreitung der Schubfestigkeit in der Ebene bei nicht schmalseitenverklebtem BSP sowie bei Brettsperrholz mit Schwindrissen und Entlastungsnuten (Prüfung am Einzelknoten von Wallner (2004) [22]; Jöbstl et al (2008) [23], Hirschmann (2011) [24]; Prüfung am BSP-Element von Bosl (2002) [25]; Bogensperger et al. (2007) [19]; Andreolli et al. (2014) [26]) sowie
- Torsionsversagen in den Klebeflächen zwischen den orthogonalen Schichten (Blaß und Görlacher (2002) [27]; Jeitler (2004) [28]; Jöbstl et al. (2004) [29]).

Jüngste Untersuchungen in Brandner et al. (2015) [5] auf Basis der Prüfkonfiguration nach Kreuzinger und Sieder (2013) [30] erlauben zuverlässige Angaben zu den Brutto- und Netto-Schubeigenschaften von BSP-Elementen.

Nettoschub

nach Brandner et al. (2015) [5]

\begin{equation} \label{eq:eqn_f_v_net_k_ref} {f_\text{v,net,k,ref}} = 5,5 \text{ N/mm}^2 \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_f_v_net_k} {f_\text{v,net,k}} = {f_\text{v,net,k,ref}} \cdot \min \left\{ {\matrix{ {{{\left({40/{t_{\ell \text{,fail}}}} \right)}^{0,3}}} \cr {1,20} \cr } } \right. \end{equation}

$t_{\ell \text{,fail}}$ als Lagenstärke in Richtung der schwächeren Scheibenebene, mit 20 mm ≤ $t_{\ell \text{,fail}}$ ≤ 40 mm

Bruttoschub

nach Brandner et al. (2015) [5]

\begin{equation} \label{eq:eqn_f_v_gross_k} {f_\text{v,gross,k}} = 3,5 \text{ N/mm}^2 \end{equation}

Torsion

nach Unterwieser & Schickhofer (2013) [4]

\begin{equation} \label{eq:eqn_f_T_node_k} {f_\text{T,node,k}} = 2,5 \text{ N/mm}^2

\end{equation}

Schubfestigkeit (Belastung normal zur Plattenebene)

Schubfestigkeit

Die Definition der Schubfestigkeit aus der Plattenebene wird gleich dem BSH nach EN 14080 (2013) [2] vorgeschlagen.

\begin{equation} \label{eq:eqn_f_v_CLT_k} {f_\text{v,CLT,k}} = 3,5 \text{ N/mm}^2 \end{equation}

Rollschubfestigkeit

Aufgrund der orthogonalen Schichtung der Einzellagen kann in den Querlagen ein Rollschubversagen eintreten, wobei die Rollschubfestigkeit stark abhängig vom Verhältnis der Brettbreite zur Brettdicke w_ℓ / t_ℓ ist. Untersuchungen zur Rollschubfestigkeit finden sich in Blaß und Görlacher (2002) [27], Wallner (2004) [22], Jakobs (2005) [10] und Mestek (2011) [31]. Der Vorschlag hier basiert auf dem bi-linearen Ansatz von Ehrhart et al. (2015) [8].

\begin{equation} \label{eq:eqn_f_r_CLT_k} {f_\text{r,CLT,k}} = {f_\text{r,lay,k}} = \min \left\{ {\matrix{ {0,2 + 0,3 \cdot {{{w_\ell }} \over {{t_\ell }}}} \cr {1,40} \cr } } \right. \end{equation}

Rohdichte

Der Mittelwert der Rohdichte $\rho_{CLT,mean}$ ist gleich dem Mittelwert der Rohdichte vom Grundmaterial $\rho_{\ell,mean}$. Dies gilt für Schichtdicken über 10 mm. Darunter kann die signifikant größere Rohdichte des verwendeten Klebers einen geringen Einfluss haben.

\begin{equation} \label{eq:eqn_rho_CLT_mean} {\rho _\text{CLT,mean}} = {\rho _{\ell \text{,mean}}} \end{equation}

Aufgrund des Homogenisierungseffekts ist die Streuung der Rohdichte im BSP-Element sehr viel geringer als im Grundmaterial. Daher kann der charakteristische Wert der Rohdichte nach Glg. \eqref{eq:eqn_rho_CLT_k} berechnet werden.

\begin{equation} \label{eq:eqn_rho_CLT_k} {\rho _\text{CLT,k}} = {{1 - 1,645{\text{ }}CV[{\rho _\ell }]/\sqrt N } \over {1 - 1,645{\text{ }}CV[{\rho _\ell }]}} \cdot {\rho _{\ell ,\text{k}}}\mathop \to \limits^{N \ge 10} 1,10 \cdot {\rho _{\ell ,\text{k}}} \end{equation}

Diese Regelung entspricht der von Brettschichtholz.

1) nicht angegeben; Fix Me!