Schwingungen

Schwingungskapitel im BSPhandbuch

Bei Brettsperrholz-Platten mit einer Spannweite über 4 m wird meist der Schwingungsnachweis maßgebend. Für diesen Nachweis existieren derzeit unterschiedliche Prozedere und Grenzwerte. Im Rahmen eines Projektes der holz.bau forschungs gmbh [1] wurden der Schwingungsnachweis nach Eurocode 5, die Empfehlungen von Hamm / Richter und eine modifizierte Form davon sowie der kanadische Vorschlag von Hu anhand einer Parameterstudie (Einfeldträger mit Stützweiten von 3 bis 7 m unter Eigengewicht, ständiger Last sowie Nutzlast der Kategorie A) untersucht, wesentliche Parameter herausgefiltert und die Ergebnisse verglichen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die einzelnen Nachweise deutlich unterschiedliche Ergebnisse liefern, da u.a. die Grenzwerte auf subjektiven Einschätzungen der jeweiligen Testperson beruhen. Welches der Verfahren am Besten geeignet ist, darüber kann keine Aussage getroffen werden. Daher ist es wichtig, dass in einem nächsten Schritt vorhandene Messergebnisse mit den einzelnen Verfahren und deren Grenzwerten untersucht werden. Ein weiterer, besonders wichtiger Punkt betrifft die Abklärung des Einflusses der Lagerungsbedingungen – gelenkig, teileingespannt, eingespannt sowie z.B. Lagerung der Decke auf einem Unterzug und Einfluss der Wandlasten auf den Einspanngrad. Derartige Untersuchungen sind zur Zeit am Kompetenzzentrum holz.bau forschungs gmbh am Laufen.

Im CLTdesigner sind derzeit folgenden Prozedere implementiert:

- Nachweis nach EN 1995-1-1 [2]
- Empfehlungen von Hamm / Richter im BSPhandbuch [3]
- Modifizierte Form von Hamm / Richter (siehe [1])

Bei diesen Methoden sind in erster Linie die Eigenfrequenz, das Steifigkeitskriterium und die Schwingbeschleunigung zu überprüfen. Im Eurocode [2] wird des weiteren noch die Überprüfung der Schwinggeschwindigkeit gefordert. Dieser Nachweis ist hauptsächlich bei sehr leichten Decken erforderlich und kann daher für Decken aus Brettsperrholz entfallen.

Eigenfrequenz

Die Eigenfrequenz eines Einfeldträgers $f_{1,beam}$ kann nach Glg. \eqref{eq:eqn_f1beam} berechnet werden.

\begin{equation} \label{eq:eqn_f1beam} {f_{1,beam}} = {{{k_m}} \over {2\pi \cdot {l^2}}}\sqrt {{{{{\left({EI} \right)}_{l,ef}}} \over {\bar m}}} {\rm{ }}\left[{Hz} \right] \end{equation}

$(EI)_{l,ef}$	effektive Längsbiegesteifigkeit

Die effektive Längsbiegesteifigkeit setzt sich aus der Biegesteifigkeit der BSP-Platte K_{CLT} und der Biegesteifigkeit eines eventuell vorhandenen Estrichs ohne Verbundwirkung (nur Anteil Eigenträgheitsmoment – d.h. ohne Steiner'sche Anteile) zusammen. Weiters kann hier auch die Schubnachgiebigkeit berücksichtigt werden, indem die scheinbare Biegesteifigkeit (basierend auf

Biege- und Schubverformung) statt K_{CLT} verwendet wird.

Der Faktor k_m berücksichtigt unterschiedliche Lagerungsbedingungen und Eigenformen. In [4] werden folgende Werte für die 1. Eigenform (m = 1) angegeben:

Tab. 1: Faktor k_m zur Berücksichtigung unterschiedlicher Lagerungsbedingungen für die 1. Eigenform (Quelle: [4])

Lagerbedingung	**k_m**
Beidseits ideal gelenkig gelagert	π^2 = 9,87
Beidseits eingespannt	22,4
Eingespannt / frei (Kragarm)	3,52

Für mehrfeldrige Decken kann die Durchlaufwirkung berücksichtigt werden. Dies kann z.B. durch den Faktor $k_{f,2}$ nach Glg. \eqref{eq:eqn_kf2} erfolgen. Je nach Stützweitenverhältnis l_{min} / l_{max} liegt dieser Faktor zwischen 1,0 und 1,5.

\begin{equation} \label{eq:eqn_kf2} \displaylines{ {k_{{f_2}}} = - 5,3828{\left({{{{l_{\min }}} \over {{l_{\max }}}}} \right)^6} + 16,6637{\left({{{{l_{\min }}} \over {{l_{\max }}}}} \right)^5} - 19,7305{\left({{{{l_{\min }}} \over {{l_{\max }}}}} \right)^4} + 10,3840{\left({{{{l_{\min }}} \over {{l_{\max }}}}} \right)^3} \cr - 1,9017{\left({{{{l_{\min }}} \over {{l_{\max }}}}} \right)^2} - 0,5879\left({{{{l_{\min }}} \over {{l_{\max }}}}} \right) + 1,5537 \cr} \end{equation}

Eine weitere Möglichkeit ist die Berechnung der Eigenfrequenz nach der Methode von Morleigh (siehe [5]) – mit der Eigengewichtsbiegelinie als Näherungsfunktion für die Grundschwingungsform. Mit diesem Verfahren können neben dem Biegemomenteneinfluss auch andere Einflüsse wie z.B. die Schubnachgiebigkeit oder eine elastische Einspannung in die Berechnung mit aufgenommen werden. Da die Schubnachgiebigkeit bei Brettsperrholz eine sehr große Rolle spielt, sollte sie unbedingt auch bei der Schwingungsberechnung mitberücksichtigt werden.

Wird die Platte umfangsgelagert, darf die Plattentragwirkung berücksichtigt werden und die Eigenfrequenz berechnet sich nach Glg. \eqref{eq:eqn_f1plate}. Dabei wird sowohl die Drillsteifigkeit nach Glg. (10) als auch die Querbiegesteifigkeit der BSP-Elemente berücksichtigt. Die Erhöhung der Eigenfrequenz ist dabei auch noch sehr stark vom Seitenverhältnis der Decke l / b abhängig.

\begin{equation} \label{eq:eqn_f1plate} {f_{1,plate}} = {f_{1,beam}} \cdot \sqrt {1 + {{2 \cdot D_{xy}^*} \over {{{\left({EI} \right)}_{l,ef}}}} \cdot {{{l^2}} \over {{b^2}}} + {{{{\left({EI} \right)}_{b,ef}}} \over {{{\left({EI} \right)}_{l,ef}}}} \cdot {{{l^4}} \over {{b^4}}}} {\text{ }}\left[{Hz} \right] \end{equation}

Die berechnete Eigenfrequenz muss über einer Grenzfrequenz f_{crit} liegen. Die Grenzwerte sind der Tab. 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Grenzfrequenz f_{crit} für hohe und normale Anforderungen

Verwendete Methode	**Hohe Anforderung**	**Normale Anforderung**
EN 1995-1-1	8 Hz	
Hamm / Richter	8 Hz	6 Hz
Hamm / Richter modifiziert	8 Hz	6 Hz

Steifigkeitskriterium

Bei der Überprüfung des Steifigkeitskriteriums ist die größte vertikale Durchbiegung infolge einer vertikal, an ungünstigster Stelle wirkenden, statischen Einzellast F = 1 kN unter Berücksichtigung der Lastverteilung zu ermitteln und einem Grenzwert gegenüberzustellen.

Bei der Berechnung der Durchbiegung sollte wieder die Schubnachgiebigkeit mitberücksichtigt werden. Für einen Einfeldträger kann die Durchbiegung $w(F,b_F)$ nach Glg. \eqref{eq:eqn_wf_bf} berechnet werden. Dabei wird die Lastverteilung über die mitwirkende Breite b_F nach Glg. \eqref{eq:eqn_bf} berücksichtigt.

\begin{equation} \label{eq:eqn_wf_bf} w(F,{b_F}) = {{F \cdot {l^3}} \over {48 \cdot {{\left({EI} \right)}_{l,ef}} \cdot {b_F}}} + {{F \cdot l} \over {4 \cdot {{\left({GA} \right)}_{ef}} \cdot {b_F}}} \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_bf} {b_F} = {l \over {1.1}} \cdot \root 4 \of {{{{{\left({EI} \right)}_{b,ef}}} \over {{{\left({EI} \right)}_{l,ef}}}}} \end{equation}

Tab. 3: Grenzwerte des Steifigkeitskriteriums w_{crit} für hohe und normale Anforderungen

Verwendete Methode	**Hohe Anforderung**	**Normale Anforderung**
EN 1995-1-1[1)]	1 mm	2 mm
Hamm / Richter	0,25 mm	0,5 mm
Hamm / Richter modifiziert		

Schwingbeschleunigung

Liegt die erste Eigenfrequenz unterhalb der zuvor angegebenen Grenzfrequenz f_{crit}, jedoch über einer Mindestfrequenz f_{min} = 4,5 Hz, muss zusätzlich noch die Schwingbeschleunigung überprüft werden. Sie muss unterhalb der kritischen Schwingbeschleunigung a_{crit} liegen. Die Grenzwerte der Schwingbeschleunigung a_{crit} sind Tab. 6 zu entnehmen.

Die Schwingbeschleunigung berechnet sich nach Glg. \eqref{eq:eqn_a} und ist abhängig von der mitschwingenden (modalen) Masse M_{gen} der Decke, der Anregungsfrequenz f_f, der Eigenfrequenz f_1, den Fourier-Koeffizienten $\alpha_{i,f1}$ der jeweiligen harmonischen Teilschwingung, der Eigengewichtskraft der anregenden Person F_0 = 700 N sowie vom modalen Dämpfungsfaktor ζ.

\begin{equation} \label{eq:eqn_a} a = {{0,4 \cdot \left({{{{F_0} \cdot {\alpha _{i,{f_1}}}} \over {{M_{gen}}}}} \right)} \over {\sqrt {{{\left({{{\left({{{{f_1}} \over {{f_f}}}} \right)}^2} - 1} \right)}^2} + {{\left({2 \cdot \zeta \cdot {{{f_1}} \over {{f_f}}}} \right)}^2}} }}{\text{ }}\left[{m/{s^2}} \right] \end{equation}

Für die Berechnung der modalen Masse M_{gen} sind in der Literatur unterschiedliche Angaben zu finden. Um den Einfluss der orthotropen Materialeigenschaften zu berücksichtigen, wird Glg. \eqref{eq:eqn_mgen} mit b_{jeff} nach Glg. \eqref{eq:eqn_bf} vorgeschlagen, jedoch besteht diesbezüglich noch Forschungsbedarf.

\begin{equation} \label{eq:eqn_mgen} {M_{gen}} = M \cdot {l \over 2} \cdot {b_{F}}{\text{ }}\left[{kg/{m^2}} \right] \end{equation}

Hinweis: $b_F \leq b/2$ (halbe Raumbreite)

Ebenso gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben zu den heranzuziehenden Fourier-Koeffizienten und Erregerfrequenzen. In Tab. 4 sind die Werte nach [6] angegeben.

Tab. 4: Fourier-Koeffizienten und Erregerfrequenzen nach [6]

Eigenfrequenz f_1 [Hz]	**Fourier-Koeffizient $\alpha_{i,f1}$**	**Erregerfrequenz f_f [Hz]**
$4,5 < f_1 \leq 5,1$	0,20	f_1
$5,1 < f_1 \leq 6,9$	0,06	f_1
$6,9 < f_1 \leq 8,0$	0,06	6,9

Der Dämpfungsfaktor ζ liegt für Brettsperrholz zwischen 2,5 % und 3,5 % abhängig von der Art des Fußbodenaufbaus und der Lagerung (siehe [7]).

Tab. 5: Richtwerte für den Dämpfungsfaktor ζ in Abhängigkeit der Art des Fußbodenaufbaus

Art des Fußbodenaufbaus	**Dämpfungsfaktor ζ**	
	2-seitige Lagerung	**4-seitige Lagerung**
BSP-Decken ohne bzw. mit leichtem Aufbau	2,5 %	2,0 %
BSP-Decken mit schwerem Aufbau	3,5 %	2,5 %

Tab. 6: Grenzwerte der Schwingbeschleunigung a_{crit} für hohe und normale Anforderungen

Verwendete Methode	**Hohe Anforderung**	**Normale Anforderung**
EN 1995-1-1	0,05 m/s^2	0,10 m/s^2
Hamm / Richter		
Hamm / Richter modifiziert		

Beispiele zum Schwingungsnachweis

siehe Beispiele

Referenzen

1)

EN 1995-1-1 sieht eigentlich variable Grenzwerte für das Steifigkeitskriterium vor, jedoch wird empfohlen, die hier angegebenen Grenzwerte einzuhalten

From:
https://wiki.ihbv.at/ - **IHBV Wiki**

Permanent link:
https://wiki.ihbv.at/doku.php?id=clt:design:plate_loaded_out_of_plane:vibration&rev=1446200909

Last update: **2019/02/21 10:22**
Printed on 2026/11/09 18:37