# Plattenbiegung (transversale Schubbeanspruchung)

## Grundlagen der Bemessung

In den letzten Jahren sind für die Berechnung von Brettsperrholzelementen zahlreiche Verfahren entwickelt worden. Die genaue Erfassung der Schichtstruktur, besonders die Einflüsse aus den schubweichen Querlagen (Schichtorientierung orthogonal zur Richtung der Lastabtragung), ist dabei von zentraler Bedeutung. Viele der neu entwickelten Berechnungsverfahren stellen dabei Näherungslösungen dar, einige sind in Abb. 1 der exakten Lösung des schubnachgiebigen mehrschichtigen Verbundbalkens gegenübergestellt.

Orthogonal alternierend geschichtete Strukturen mit sehr schubweichen Querlagen (wie z. B. Brettsperrholz) zeigen im Vergleich zu unidirektional geschichteten Strukturen deutlich erhöhte Schubverformungsanteile an der Gesamtverformung. Für L/H-Verhältnisse von rund 20 kann dieser Anteil mit rund 10 Prozent, siehe Abb. 1 für Strukturen mit konstanter Einzelschichtdicke und drei Einzellagen, angeführt werden.

Heute produzierte Brettsperrholzplatten werden aufgrund ihrer geometrischen Abmessungen sowie den geometrischen Randbedingungen der Bauwerke weitgehend in Form von Bauteilen mit nur einer ausgeprägten Richtung zur Lastabtragung eingesetzt. Somit reichen Berechnungsmodelle basierend auf 1D-Balkentheorien für die Bemessung von BSP-Elementen weitgehend aus.

Eine verallgemeinerte Berechnungstheorie (z. B. exakte Lösung für den geschichteten Balken, siehe [1] Fix Me!) ist für die Bemessung eines Brettsperrholzelementes mit baupraktischen Geometrieverhältnissen von L/H > 15 gewöhnlich nicht erforderlich. Auf die in den letzten Jahren entwickelten approximativen Berechnungsverfahren wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen, da diese einerseits für den baupraktischen Bereich keine wesentliche Verbesserung der Ergebnisse liefern und andererseits für geringe L/H-Verhältnisse (L/H < 5) deutliche Abweichungen von exakten Lösungen zeigen.

Vergleichsberechnungen in Form von Parameterstudien zeigen, dass die an dieser Stelle in Abhängigkeit der Balkengeometrie empfohlenen klassischen linear elastischen Balkentheorien ausreichende Ergebnisgenauigkeiten für eine Bemessung liefern:

| | |
|---|---|
| $L/H > 30$ | Euler-Bernoulli-Balken: (ULS und SLS) |
| $15 < L/H \le 30$ | Timoshenko-Balken: (ULS und SLS) |
| $L/H \le 15$ | schubnachgiebiger mehrschichtiger Balken, siehe [1] Fix Me!: (ULS und SLS) |

Der als bekannt vorausgesetzte Euler-Bernoulli-Balken wird an dieser Stelle nicht behandelt. Für den baupraktischen Bereich wird an dieser Stelle die Berechnung auf Basis des klassischen Timoshenko-Balkens (transversal-schubnachgiebiger Balken) gezeigt.

**Anmerkung:** Die Verbundfugen zwischen benachbarten Einzelschichten werden bei verklebten Brettsperrholzelementen in der Berechnung als starr wirkend angenommen. Mit mechanischen Verbindungsmitteln verbundene Brettsperrholzplatten sind nicht Teil dieses Beitrages, diese

nehmen im Bereich der Holz-Massivbauweise eine nur untergeordnete Rolle ein.

## Nutzungsklassen für Brettsperrholz

Derzeit beschränkt sich die Verwendung von BSP-Elementen auf die Nutzungsklassen 1 und 2. Aufgrund der orthogonalen Verklebung der Einzelbretter ergeben sich für BSP-Elemente deutlich homogenisierte Schwind- und Quelleigenschaften. Um die dabei entstehenden inneren Zwänge gering zu halten, ist auf eine entsprechend geringe Feuchtigkeitsschwankung gegenüber der Herstellungsfeuchte zu achten. In der Nutzungsklasse 3 kann diesen Umständen nicht Rechnung getragen werden.

## Grundlagen für die Verformungsberechnungen für Brettsperrholz

### Verformungsberechnung für den Anfangszustand (t = 0):

Die Berechnung der Verformungen für den Anfangszustand erfolgt auf Basis der Mittelwerte der Elastizitätskonstanten (E-Modul und G-Modul). Die Mittelwerte der Elastizitätskonstanten (E-Modul und G-Modul für die Richtungen parallel und senkrecht) sind dabei entsprechend dem sortierklassenkonform zugeordneten Brettschichtholz nach ON EN 1194:1999 anzusetzen. Bei der Berechnung der Systemverformungen für Balkengeometrien mit 15 < L/H < 30 wird die Berücksichtigung der Anteile aus der Schubverformung empfohlen. Für diesen baupraktischen Bereich kann mit ausreichender Genauigkeit eine Verformungsberechnung auf Basis des klassischen Timoshenko-Balkens mit den entsprechenden linear elastischen Steifigkeitseigenschaften (Biegung und Schub) erfolgen. Bei der Berechnung der Verformung wird zusätzlich zum Hauptanteil aus dem Biegemoment auch der Anteil aus der Querkraft auf Basis einer mittleren, korrigierten Schubverzerrung über den Querschnitt berücksichtigt. Die Abweichungen im Vergleich zur exakten Lösung des schubnachgiebigen mehrschichtigen Balkens liegen für übliche BSP-Querschnitte im Falle des Einfeldträgers mit einem L/H > 10 im Bereich von rund 4 %.

**Anmerkung:** BSP-Querschnitte mit einem L/H-Verhältnis von 10 stellen bereits gedrungene Querschnitte dar und kommen in der praktischen Anwendung als 1D-Element selten zur Anwendung.

Abb. 1: Vergleich der Durchbiegung für einen Einfeldträger in Feldmitte unter Gleichlast: verschiedene Berechnungsmethoden in Bezug auf die exakte Mehrschichtbalkenlösung für ein 3-schichtiges BSP-Element mit konstanten Schichtdicken

**Anmerkung:** Für die in Abb. 1 gezeigte Geometrie mit konstanten Schichtstärken ergibt sich das Verhältnis der Längslagen zur gesamten Plattenstärke mit: $t_{längs}/t_{ges}=2/3=0,67$. Für handelsübliche BSP-Querschnitte liegen geringfügige Abweichungen zu den in Abb. 1 dargestellten Ergebnissen vor, für BSP-Elemente mit einem L/H > 10 werden diese jedoch nicht

bemessungsrelevant.

### Grundlagen für die Verformungsberechnung für den Endzustand (t → ∞) unter Berücksichtigung der Langzeitverformung (Kriechen)

Die Berechnung der Verformung für den Endzustand hat unter Berücksichtigung der Mittelwerte der Elastizitätskonstanten sowie des Langzeitverhaltens (Kriechen, Deformationsbeiwert $k_{def}$) für die langzeitrelevanten Lastanteile ($\psi_2$ ... Beiwert für den quasi-ständigen Anteil einer veränderlichen Einwirkung) nach den in ON EN 1995-1-1:2009 [4] Fix Me! definierten Beziehungen zu erfolgen.

Gegenüber den 1D-geschichteten Holzwerkstoffen ohne Sperrwirkung, z. B. Brettschichthölzer, sind aufgrund der Querlagen und einer damit verbundenen Schubbeanspruchung einzelner Querschnittsteile senkrecht zur Faser, erhöhte Verformungsbeiwerte zur Berücksichtigung der Kriechverformung anzusetzen. Für den Verformungsbeiwert $k_{def}$ sollte demnach gegenüber geschichteten Produkten ein erhöhter Wert in Rechnung gestellt werden. Für die Nutzungsklasse 1 gilt somit nach ON EN 1995-1-1:2009 [4] Fix Me! ein Verformungsbeiwert von 0,80, für die Nutzungsklasse 2 gilt für den Verformungsbeiwert $k_{def}$ = 1,0. Detaillierte Erkenntnisse zu den Deformationsbeiwerten für BSP mit konstanten Einzelschichtdicken können Jöbstl [2] Fix Me! entnommen werden.

**Anmerkung:** Für Plattengeometrien mit hoch beanspruchten, im Verhältnis zur Plattenbreite, dicken Querlagen erscheint eine Erhöhung des $k_{def}$-Wertes um rund 10 - 20 % sinnvoll, d. h.: Für die Nutzungsklasse 1 gilt $k_{def}$ » 0,85, für die Nutzungsklasse 2 gilt $k_{def}$ » 1,10. Gerade für 3-schichtige BSP-Platten ist dies von Bedeutung. Für ein 5-schichtiges BSP-Element liegen umfassende Ergebnisse vor, siehe Jöbstl [2] Fix Me!. Für davon abweichende Aufbauten ist weiterer Forschungsbedarf gegeben.

Da Steifigkeitseigenschaften bekanntlicherweise in allen Bereichen der Bemessung (Nachweise im ULS und SLS) Eingang finden, werden diese für geschichtete Strukturen im Folgenden näher erläutert.

### Drillsteifigkeit für einen geschichteten Querschnitt

Aufgrund der 1D-Plattenstreifen-Berechnung, die Drillsteifigkeit wird für den Fall der 1D-Lastabtragung nicht aktiviert, kann unabhängig von der Art der Einzellagenausbildung (fugenlose Einzelbrettanordnung mit oder ohne Schmalseitenverklebung) in der Berechnung von homogenen Einzelschichten ausgegangen werden.

### Biegesteifigkeit für einen geschichteten Querschnitt

Aufgrund des charakteristischen symmetrischen Querschnittsaufbaus von Brettsperrholz, abwechselnde Längs- und Querlagenorientierung mit unterschiedlichen Materialeigenschaften über den Querschnitt, ist die Berücksichtigung der Materialparameter der Einzelschichten ($E_0$, $E_{90}$) für die Bestimmung der Biegesteifigkeit zwingend erforderlich. Für den oben erwähnten Timoshenko-Balken ergibt sich die Biegesteifigkeit $K_{clt}$ nach der elastischen Verbundtheorie wie folgt:

$$\begin{equation} \label{eq:eqn_1} {K_{clt}} = \sum {\left( {{I_i} \cdot {E_i}} \right)} + \sum {\left( {{A_i} \cdot {e_i}^2 \cdot {E_i}} \right)} \end{equation}$$

| | |
|---|---|
| $K_{clt}$ | Biegesteifigkeit des geschichteten Querschnitts [Nmm²] |
| $I_i$ | Eigenträgheitsmoment der Einzelschichte [mm$^4$] |
| $E_i$ | $E_{mean}$-Modul der Einzelschichte [N/mm²] |
| $A_i$ | Querschnittsfläche der Einzelschichte [mm²] |
| $e_i$ | Abstand zwischen Teilflächen- und Gesamtschwerpunkt [mm] |
| $z$ | Dickenkoordinate bezogen auf den Schwerpunkt des Querschnitts |

Abb. 2: Definitionen für den geschichteten Querschnitt: Einzelschichtnummer (ES), Schichtorientierung $\alpha$, Einzelschichtdicken $t_i$, Schwerpunktabstände $e_i$

Die Querlagen tragen zur gesamten Biegesteifigkeit aufgrund des großen Verhältnisses, $E_0/E_{90}$ von ca. 30, mit einem verschwindend geringen Anteil bei, deshalb kann in guter Näherung $E_{90}$ = 0 angenommen werden.

Durch die Annahme $E_{90}$ = 0 werden die Querlagen bei der Berechnung der Biegesteifigkeit nicht wirksam. Bei BSP-Elementen mit unterschiedlichen Materialeigenschaften der Längslagen (z. B. bei Verwendung von Holzwerkstoffplatten als Decklagen, etc.) sind die Steifigkeitsanteile der Einzellagen entsprechend Glg. \eqref{eq:eqn_1} zu addieren.

**Schubsteifigkeit für einen geschichteten Querschnitt**

Die Schubsteifigkeit des geschichteten Querschnitts errechnet sich wie folgt:

$$\begin{equation} \label{eq:eqn_2} {S_{ges}} = \sum {\left( {{G_i} \cdot {b_i} \cdot {t_i}} \right) = \sum {\left( {{G_i} \cdot {A_i}} \right)} } \end{equation}$$

| | |
|---|---|
| $S_{ges}$ | Schubsteifigkeit des wölbfreien Querschnittes [N] |
| $G_i$ | Schubmodul der $i$-ten Einzelschichte [N/mm²] |
| $t_i$ | Schichtdicke der Einzelschichte [mm] |
| $b_i$ | Breite der Einzelschichte $i$, i. A. konstant in Dickenrichtung [mm] |
| $A_i$ | Fläche der $i$-ten Einzelschichte [mm²] |

Die Materialkenngröße $G_{90}$ ist für die Berechnung der Schubsteifigkeit nicht mit Null anzusetzen. Baustatisch sind die Querlagen aus Gleichgewichtsgründen für die Schubspannungsübertragung notwendig und daher im Bemessungsverfahren auch zu beachten.

$$\begin{equation} \label{eq:eqn_3} S_{clt}=S_{ges} \cdot \kappa \end{equation}$$

| | |
|---|---|
| $S_{clt}$ | Schubsteifigkeit des geschichteten Querschnittes [N] |
| $\kappa$ | Schubkorrekturfaktor für die geschichtete Gesamtstruktur [-] |

Der Schubkorrekturfaktor $\kappa$ ist für den geschichteten Querschnitt unter Berücksichtigung der Materialkennwerte und der Geometrie nach Glg. \eqref{eq:eqn_4} für den allgemeinen Fall nach Bogensperger/Moosbrugger [9] Fix Me! zu ermitteln.

$$\begin{equation} \label{eq:eqn_4} \kappa = 1/\left( {{S_{ges}} \cdot {1 \over {{K_{clt}}^2}} \cdot \int\limits_h {{{{S^2}(z,E(z))} \over {G(z) \cdot b(z)}}dz} } \right) \end{equation}$$

| | |
|---|---|
| $S(z)$ | statisches Moment in Abhängigkeit der $z$-Koordinate [Nmm] |
| $G(z)$ | Schubmodul in Abhängigkeit der $z$-Koordinate [N/mm²] |
| $b(z)$ | Querschnittsbreite in Abhängigkeit der $z$-Koordinate [mm] |

**Anmerkung:** Die Querschnittsbreite ist für BSP-Strukturen i. A. konstant in Dickenrichtung.

Für Querschnittsaufbauten mit unterschiedlicher Anzahl an Einzelschichten konstanter/variabler Stärke sind die Werte für die Schubkorrekturfaktoren in Abb. 3.a und 3.b angegeben. Die Materialkennwerte der Einzelschichten wurden dabei konsistent zu EN 1194:1999 [6] Fix Me! angenommen. Es ist deutlich erkennbar, dass durch die Einflüsse der schubweichen Querlagen die Schubsteifigkeit des gesamten Querschnitts auf ca. 1/4 (siehe Abb. 3.a) reduziert wird. Für 3-schichtige BSP-Platten ergeben sich aus den genannten Gründen geometriebedingt die niedrigsten Schubkorrekturfaktoren.

Abb. 3: a) Schubkorrekturfaktor für geschichtete Querschnitte mit konstanten Einzelschichtstärken; b) Schubkorrekturfaktor für 3- und 5-schichtige Querschnitte mit variablen Einzelschichtstärken

Für die in Abb. 1 dargestellten Bereiche für das Verhältnis $t_{längs}/t_{ges}$, kann mit ausreichender Genauigkeit schichtanzahlabhängig nahezu mit einem konstanten Wert, laut Abb. 3.a, für die Schubkorrekturfaktoren gerechnet werden, da die Anteile aus der Schubverformung an der Gesamtverformung in Abhängigkeit des L/H-Verhältnisses nur rund 10 bis 20 % erreichen. Die nahezu konstanten Werte für die Schubkorrekturfaktoren sind in Abb. 3.b ersichtlich.

**Anmerkung:** Übliche BSP-Querschnitte weisen einen Längslagenanteil am Gesamtquerschnitt von rund 45 bis 85 % auf.

Abb. 4: Überblick über Plattenstärken verschiedener Hersteller in Zusammenhang mit der Einzelschichtanzahl (3-, 5- und 7-schichtig) und dem zugehörigen Verhältnis $t_{längs}/t_{ges}$

**Anmerkung:** Die Schubkorrekturfaktoren für den 3-schichtiges BSP-Querschnitt in Abhängigkeit des Verhältnisses $t_{längs}/t_{ges}$ stellen Extremwerte dar, für Strukturen mit mehreren orthogonalen Einzelschichten treten stets geringere Abminderungen der Schubsteifigkeiten $S_{ges}=\sum (G_i \cdot A_i)$ auf.

**Anmerkung:** Sind die Decklagen des BSP-Elementes nicht in Richtung der Lastabtragung orientiert, ist die Schubsteifigkeit für ein ($n$-2)-schichtiges BSP-Element, $n$ bezeichnet dabei die Gesamtanzahl der Einzelschichten des BSP-Elementes, zu bestimmen.

Jöbstl [2] Fix Me! gibt für geschichtete Querschnitte mit konstanten Einzelschichtstärken und für

die Bedingung $E_{90}$ = 0 folgende vereinfachte Beziehungen für die Schubkorrekturfaktoren für 3-, 5- und 7-schichtige Querschnitte an:

\begin{equation} \label{eq:eqn_5} {\kappa _{3s}} = {5 \over 6} \cdot {1 \over {{1 \over {{{26}^2}}} \cdot \left( {2 + {{{G_{90}}} \over {{G_0}}}} \right) \cdot \left( {120 \cdot {{{G_0}} \over {{G_{90}}}} + 102} \right)}} \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_6} {\kappa _{5s}} = {5 \over 6} \cdot {1 \over {{1 \over {{{99}^2}}} \cdot \left( {3 + 2 \cdot {{{G_{90}}} \over {{G_0}}}} \right) \cdot \left( {960 \cdot {{{G_0}} \over {{G_{90}}}} + 883} \right)}} \end{equation}

\begin{equation} \label{eq:eqn_7} {\kappa _{7s}} = {5 \over 6} \cdot {1 \over {{1 \over {{{244}^2}}} \cdot \left( {4 + 3 \cdot {{{G_{90}}} \over {{G_0}}}} \right) \cdot \left( {4080 \cdot {{{G_0}} \over {{G_{90}}}} + 3884} \right)}} \end{equation}

**Anmerkung:** Die Gleichungen \eqref{eq:eqn_5} bis \eqref{eq:eqn_7} für die verschiedenen Plattenaufbauten ergeben sich durch Auswertung und Vereinfachung der in Glg. \eqref{eq:eqn_4} dargestellten Formulierung des Schubkorrekturfaktors. Für ein Verhältnis $G_0/G_{90}$ = 10 ergeben sich die in Abb. 3.a angegebenen Werte für die Schubkorrekturfaktoren.

## Spannungsverteilung im Querschnitt: Berechnung auf Basis des schubnachgiebigen Balkens

Für die Spannungsberechnung unter Annahme des unverformt ebenen Querschnitts wird die im Holzbau unter dem Namen „elastische Verbundtheorie“ bekannte Berechnungsmethode verwendet, wobei für die Querlagen die Annahme $E_{90}$ = 0 bestehen bleibt. Eine Normalspannungsübertragung in den Querlagen (Zug und Druck senkrecht zur Faser) ist aufgrund des Vorhandenseins von Trocknungsrissen und planmäßigen Fugen zwischen den Einzelbrettern nicht möglich, dies rechtfertigt die oben getroffene Annahme ($E_{90}$ = 0). Diese Annahme erfüllt ebenfalls den Grundsatz der auf der „sicheren Seite“ liegenden Bemessung, da eine Gewährleistung der Rissefreiheit eines Brettsperrholzelementes, unabhängig der Herstellungstechnologie, aufgrund der Schwind- und Quelleigenschaften über die Bauwerkslebenszyklus nicht möglich erscheint.

Vergleiche für die maximalen Normal- und Schubspannungen im Querschnitt mit den Ergebnissen aus der exakten Verbundbalkenlösung sind an dieser Stelle nicht angeführt, da die Effekte aus den schubweichen Querlagen für Systeme mit einem Geometrieparameter L/H > 15 nur minimale Auswirkungen ergeben. Für L/H-Verhältnisse von 10, liegen für einen 5-schichtigen Balken bei den Schubspannungen Abweichungen von der exakten Lösung von rund 4 %, bei den Normalspannungen von rund 8 % vor.

### Berechnung der Normalspannungsverteilung in Dickenrichtung

Die Normalspannungsverteilung in Abhängigkeit der Dickenkoordinate ist für den ebenen Querschnitt

wie folgt definiert:

$$\sigma (z) = {M \over {{K_{clt}}}} \cdot z \cdot E(z)$$

| | |
|---|---|
| $M$ | Biegemoment [Nmm] |
| $z$ | Dickenkoordinate, siehe Abb. 2 [mm] |

**Anmerkung:** Geometrieabhängig können dabei Restquerschnitte, nach dem Entfernen von dünnen Randlagen, geringere Ausnutzungsgrade als mit den dünnen Randlagen aufweisen. Dieses Phänomen ist vor allem bei der Bemessung von Restquerschnitten im Brandfall zu beachten. Die Gründe für die Zunahme des Widerstandsmomentes trotz Verringerung der Restquerschnittshöhe sind auf die nur gering normalkrafttragfähigen Querlagen zurückzuführen.

### Berechnung der Schubspannungsverteilung in Dickenrichtung

Die Schubspannungsverteilung in Abhängigkeit der Dickenkoordinate ist für den ebenen Querschnitt wie folgt definiert:

$$\tau ({z_0}) = {{V \cdot \int\limits_{{A_0}} {E(z) \cdot z \cdot dA} } \over {{K_{clt}} \cdot b({z_0})}}$$

| | |
|---|---|
| $V$ | transversale Querkraft [N] |
| $z_0$ | Abstand der betrachteten Schubspannungsfuge vom SP [mm] |
| $A_0$ | Fläche zwischen $z_0$ und dem betrachteten Rand [mm²] |

### Berechnung der Querdruckspannungen

Für die Bestimmung der Querdruckspannungen für Lasteinleitungen in Brettsperrholzelemente sind grundsätzlich die Regeln nach ON EN 1995-1-1 [4] Fix Me! anzuwenden.

Für linienförmige Querlasteinleitungen in Brettsperrholzplatten (Detail: Wand-Decke) ist die Querdruckspannung nach den Definitionen in ON EN 1995-1-1 [4] Fix Me! mit der Bruttoaufstandsfläche des Brettsperrholz-Wandelementes zu berechnen.

$$\sigma _{c,clt,90,d} = {{{F_d}} \over {{t_{ef}} \cdot b}}$$

| | |
|---|---|
| $F_d$ | Bemessungswert Lastkomponente senkrecht zur Plattenfläche |
| $t_{clt}$ | Plattenstärke des Wandelementes |
| $t'_{clt}$ | modifizierte Plattenstärke des Wandelementes |
| $t_{ef}$ | rechnerisch effektiv nutzbare Dicke zur Berechnung der Aufstandsfläche |

**Anmerkung:** Die Dicke $t'_{clt}$ ergibt sich als Außenabstand der in Lastrichtung statisch wirksamen Einzellagen. Für ein 5-schichtiges Wandelement mit horizontal verlaufenden Decklagen ist $t_{ef}$ durch die Summe der drei Innenlagen definiert.

Die Ermittlung der effektiven Autstandsdicke ist in Abb. 5 gezeigt. Für Aufstandsflächen mit einseitigem Vorholz gelten die Definitionen nach ON EN 1995-1-1 [4] Fix Me! sinngemäß.

Abb. 5: Auflagerdetail Wand-Decke (Mittelauflager): effektive Aufstandsfläche

## Festigkeitskenngrößen nach dem Modell „BSP-Graz“

Die Bemessung von Brettsperrholzplatten setzt die Kenntnis der charakteristischen Festigkeitskenngrößen für die verschiedenen Beanspruchungsarten voraus. Grundsätzlich orientieren sich die Kenngrößen des Brettsperrholzes an jenen des Brettschichtholzes, welche mit den entsprechenden Sortierklassen des Ausgangsmaterials korrespondieren (S10 → GL 24h). Ergänzend dazu werden beim Modell „BSP-Graz“ sämtliche Festigkeitskenngrößen auf Basis von Versuchen ermittelt, wobei derzeit Kenntnisse zur charakteristischen Biege- und Schubfestigkeit vorliegend sind.

Die **Biegefestigkeit** $f_{m,clt,k}$ von Brettsperrholz kann, in Anlehnung an die Modellüberlegungen für BSH „BSH-Graz“, durch folgende Beziehung, wie von Jöbstl [2] Fix Me! dargestellt, in Abhängigkeit der verwendeten Ausgangsprodukte beschrieben werden:

$$\begin{equation} \label{eq:eqn_11} {f_{m,clt,k}} = (1,76 + 5,0 \cdot CO{V_t}) \cdot f_{t,0,l,k}^{0,8} = {a_{clt}} \cdot f_{t,0,l,k}^{0,8} \end{equation}$$

| | |
|---|---|
| $a_{clt}$ | 3,5 für visuelle Sortierung; 3,0 für maschinelle Sortierung |
| $f_{t,0,l,k}$ | Zugfestigkeit des Ausgangsproduktes „Brett“ [N/mm²] |
| $COV_t$ | Variationskoeffizient des Ausgangsproduktes „Brett“ |

Die **Schubfestigkeit** $f_{v,clt,k}$ für die Schubspannungsnachweise in den Längslagen wird im Modell „BSP-GRAZ“ mit 3,0 N/mm² definiert.

Die **Rollschubfestigkeit** $f_{r,clt,k}$ für die Schubspannungsnachweise in den Querlagen wird gegenüber den Kenngrößen des „Brettschichtholzes“ um 25 % erhöht in Rechnung gestellt. Diese erhöhte Kenngröße lässt sich auf Basis von Versuchsergebnissen begründen und beruht auf dem Systemeffekt.

### Querdruckfestigkeit und Querdruckbeiwerte für orthogonal geschichtete Strukturen

Die charakteristische Schichtstruktur einer Brettsperrholzstruktur führt bei punktförmigen Lasteinleitungen zu einer Erhöhung der Querdruckfestigkeit von ca. 15-20 %, siehe [10] Fix Me!. Für die Querdruckbeiwerte, für lokale (punktgestützte Platten) bzw. globale (Linienlagerungen entlang von Wand-Deckenanschlüssen) Lasteinleitungen senkrecht zu Faser, liegen derzeit nur unzureichende Forschungsergebnisse für Brettsperrholz vor, deshalb wird die Verwendung der sortierklassenkonformen Festigkeitskenngrößen für Brettschichtholz sowie den dazugehörigen Querduckbeiwerten $k_{c,90}$-Werte nach ON EN 1995-1-1:2009 [4] Fix Me! empfohlen.

**Anmerkung:** Für punktuelle Lasteinleitungen kann tendenziell von einer leichten Erhöhung der Querdruckfestigkeiten gegenüber den Querdruckfestigkeiten von Brettschichtholz ausgegangen werden. Für linienartige Lasteinleitungen liegen derzeit keine ausreichenden Forschungsergebnisse vor, nach Meinung der Verfasser sollten sich etwas geringere Werte

ergeben.

### Teilsicherheitsbeiwerte für Brettsperrholz

Aufgrund des Homogenisierungsprozesses im Zuge der Herstellung (Zerlegungen des Stammes zum Einzelbrett mit anschließender Verklebung zu Plattenprodukten) wird der Teilsicherheitsbeiwert für Brettsperrholz für das Modell „BSP-Graz“ in Analogie zum Teilsicherheitsbeiwert für Brettschichtholz mit 1,25 angegeben. Aktuelle Normenwerke (EN 1995-1-1:2009 [4] Fix Me!, DIN 1052:2008 [7] Fix Me!), die für eine Bemessung Verwendung finden können, legen den Teilsicherheitsbeiwert mit 1,3 fest.

### Derzeit im Rahmen des Modelles „BSP-Graz“ nicht definierte Festigkeitskenngrößen

Die fehlenden Festigkeitskennwerte zur Vervollständigung des Modells „BSP-Graz“ werden derzeit ermittelt, zur Bemessung werden derzeit die Kennwerte der sortierklassenkonformen Brettschichtholzklasse empfohlen.

Sind die in Glg. \eqref{eq:eqn_11} erforderlichen Kennwerte nicht bekannt, lässt sich die Biegefestigkeit $f_{m,clt,k}$ für Brettsperrholz alternativ auf Basis der Kennwerte der sortierklassenkonformen Brettschichtholzklasse wie folgt definieren:

\begin{equation} \label{eq:eqn_12} {f_{m,clt,k}} = {k_l} \cdot {f_{m,glt,k}} \end{equation}

| | |
|---|---|
| $k_l$ | Systembeiwert |
| $f_{m,glt,k}$ | Biegefestigkeit der entsprechenden Brettschichtholzklasse, Referenzhöhe: 600 mm |

**Anmerkung:** Eine Erhöhung der Biegefestigkeit mit dem Höhenfaktor ($k_h$) wird nicht in Rechnung gestellt.

Für Brettsperrholzplatten mit mehreren parallel im Verbund wirkenden Brettern in den normalspannungsbeanspruchten Zonen – gilt speziell für den zugbeanspruchten Bereich – dürfen bei der Nachweisführung um den Systembeiwert $k_l$ erhöhte Biegefestigkeitskenngrößen in Rechnung gestellt werden. Dieses „soziale“ Verhalten von parallel wirkenden Einzelkomponenten mit entsprechender kontinuierlicher Lastverteilung (starre Quer- und Längslagenverklebung) ist aus einschlägigen Normenwerken bekannt.

In Abhängigkeit der in der Zugzone parallel liegenden Bretter ergibt sich der Systembeiwert $k_l$ zu:

\begin{equation} \label{eq:eqn_13} {k_l} = \min \left\{ \matrix{ 1,1 \hfill \cr 1 + 0,025 \cdot n \hfill \cr} \right. für n > 1 \end{equation}

| | |
|---|---|
| $k_l$ | Systembeiwert |
| $n$ | Anzahl der parallel beanspruchten Einzelbretter |

Die Anzahl der Bretter kann dabei über die in den Zulassungen der Hersteller angegeben Grenzwerte für die Einzelbrettbreiten (80 < b < 250 mm) berechnet werden. Diese Brettgeometrien stehen auch im Einklang mit den in der DIN 4074:2008 [8] Fix Me! geforderten Abmessungen für Bretter.

Bei Berücksichtigung der oben erwähnten Grenzwerte für die Bretter kann für ein BSP-Element ab einer Breite von rund einem Meter gesichert von einer Brettanzahl ≥ 4 ausgegangen werden, womit der Systembeiwert mit 1,1 in Rechnung gestellt werden darf.

**Anmerkung:** Es wird ausdrücklich drauf hingewiesen, dass bei Verwendung der Festigkeitskenngrößen für Brettschichtholz als Basis für eine Brettsperrholzbemessung für die Beanspruchungsarten Zug und Druck in Faserrichtung kein Systembeiwert $k_l$ in Rechnung gestellt werden darf.

Die Ermittlung der Bemessungswerte der Festigkeitskenngrößen nach ON EN 1990:2004 [3] Fix Me! ist unter Punkt 4.2.2 Fix Me! gezeigt.

## Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) – Durchbiegung

Die Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind für die Durchbiegungen entsprechend ON EN 1995-1-1:2009 [4] Fix Me! zu führen. Die oben erwähnten Einflussgrößen sind dabei zu berücksichtigen.

Tab. 1: Grenzwerte der Durchbiegungen von Biegestäben nach ON EN 1995-1-1:2009 [4] Fix Me!

| **Verformungsanteil** | **Grenzwerte** | |
|---|---|---|
| | **beidseitige aufgelagerte Biegestäbe** | **auskragende Biegestäbe** |
| **$w_{inst}$** | L/**300** bis L/500 | L/**150** bis L/250 |
| **$w_{net,fin}$** | L/**250** bis L/350 | L/**125** bis L/175 |
| **$w_{fin}$** | L/**150** bis L/300 | L/**75** bis L/150 |

| | |
|---|---|
| $w_{inst}$ | Anfangsdurchbiegung |
| $w_{fin}$ | Enddurchbiegung |
| $w_{net,fin}$ | Enddurchbiegung abzüglich der Überhöhung, i. A. Null |

**Anmerkung:** Die oben genannten Verformungsanteile $w_{inst}$, $w_{net,fin}$ und $w_{fin}$ sind mit den definierten Einwirkungskombinationen entsprechend ON EN 1995-1-1:2009 [4] Fix Me! zu ermitteln. Eventuell national zusätzlich zu Tab. 1 festgelegte Durchbiegungsanforderungen sind ebenfalls einzuhalten.

## Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) – Schwingungen

Dieses Thema wird unter Schwingungen von Brettsperrholzplatten ausführlich behandelt!

## Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) – Spannungsnachweise

**Anmerkung:** Die angeführten Nachweisbedingungen gelten für den Fall des 1D-Balkens!

Die in ON EN 1995-1-1:2009 [4] Fix Me! angeführten Querschnittsnachweise sowie Stabilitätsnachweise sind auch für Bauteile aus BSP-Elementen zu erfüllen. Aufgrund des geschichteten Querschnittsaufbaues sind folgende Besonderheiten bei der Nachweisführung zusätzlich zu den definierten Nachweisen zu beachten:

**Für Normalspannungsnachweise unter reiner Biegung gilt:**

Eine Zerlegung der Normalspannungen, wie in der DIN 1052:2008 verankert, in die Spannungsanteile aus „Moment“ und „Normalkraft“ ist nicht erforderlich. Die maximale Rand-Normalspannung ist entsprechend dem Grazer „BSP-Modell“ der – um einen Systemfaktor $k_l$ erhöhten – Biegefestigkeitskenngröße gegenüberzustellen.

Sind die Decklagen des zu bemessenden BSP-Elementes nicht in Richtung der Lastabtragung (1D) orientiert, sind die Rand-Normalspannungsnachweise für die äußersten, in Spannrichtung des Systems orientierten Einzelschichten zu führen, siehe Abb. 6. Dies tritt z. B. bei Plattenbalken- und Rippenplattenquerschnitten auf, bei denen zusätzlich zu Haupttragwirkung in Längsrichtung eine Lastverteilung in Querrichtung des BSP-Elementes nachzuweisen ist. Eine Interaktion der beiden Richtungen kann nach derzeitigem Wissensstand nicht erfasst werden.

Abb. 6: Spannungsnachweise für quer orientierte BSP-Elemente

Somit ist abweichend von Passagen aus bekannten Normenwerken ausschließlich ein Randspannungsnachweis unter Berücksichtigung des Systembeiwertes zu führen.

$$\label{eq:eqn_14} {{\sigma _{m,Rand,d}} \over {f_{m,clt,d}}} \le 1,0$$

Die Randspannungen sind nach Glg. \eqref{eq:eqn_8} unter Verwendung der Querschnittsrandabstände zum Schwerpunkt zu bestimmen.

**Für Normalspannungsnachweise für kombinierte Normalkraft- und Momentenbeanspruchung gilt:**

Für kombinierte Beanspruchungen werden die in ON EN 1995-1-1:2009 [4] Fix Me! vorgeschlagenen linearen bzw. quadratischen Interaktionsgleichungen empfohlen. Der Interaktionsnachweis ist dabei für das gesamte Schichtenpaket als Randspannungsnachweis zu führen.

**Anmerkung:** Dieses Nachweiskonzept wird auch für kombinierte Querschnitte, z. B. Plattenbalkenquerschnitte aus BSH und BSP, für die exzentrisch normalkraftbeanspruchten BSP-Gurte empfohlen.

**Für Schubspannungsnachweise unter reiner Biegung gilt:**

Zusätzlich zu den klassischen Schubspannungsnachweisen sind für die Querlagen Schubspannungsnachweise gegenüber der Rollschubfestigkeit zu führen. Die Schubspannungen sind nach Glg. \eqref{eq:eqn_9} für die erforderlichen Querschnittsteile zu bestimmen.

\begin{equation} \label{eq:eqn_15} {{{\tau _d}} \over {{f_{r,clt,d}}}} \le 1,0 \end{equation}

# Referenzen

[1] Guggenberger, W., Moosbrugger, T., „Mechanics of Cross-Laminated Timber Plates under Uniaxial Bending“, WCTE 2006, 9th World Conference on Timber Engineering, 2006. [2] Jöbstl, R., „Praxisgerechte Bemessung von Brettsperrholz “, Ingenieurholzbau – Karlsruher Tage 2007, Karlsruhe: Bruderverlag, 2007, Seiten: 50-61. [3] ON EN 1990:2003, „Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung“, 2003. [4] ON EN 1995-1-1:2009, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Deutsche Fassung, 2009. [5] ON B 1995-1-1:2009, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Deutsche Fassung, 2009. [6] ÖNORM EN 1194:1999, „Timber structures – Glued laminated timber – Strength classes and determination of characteristic values“, Austrian Standards Institute, Austria, 1999. [7] DIN 1052:2008 „Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau“, DIN, 2008. [8] ON DIN 4074-1:2009, „Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 1 Nadelschnittholz“, 2009. [9] Bogensperger, T., Moosbrugger, T., „Schubkorrekturfaktoren für geschichtete Querschnitte“, TU Graz, interner Bericht, 2005. [10] Halili, Y., „Versuchstechnische Ermittlung von Querdruckkenngrößen für Brettsperrholz“, Diplomarbeit, TU Graz, Graz, 2008.

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

Permanent link:
**https://wiki.ihbv.at/doku.php?id=bsphandbuch:design:plate_loaded_out_of_plane&rev=1423585354**

Last update: **2019/02/21 10:18**
Printed on 2026/11/09 19:12