

Dipl.-Ing. Thomas Blüm, Dipl.-Ing. Sven Hohenstern

Brettsperrholz

Leistungsbeschreibung der MicroFe-Module

M322.de Scheibenträgerwerke aus Brettsperrholz

M332.de Plattenträgerwerke aus Brettsperrholz

M342.de Schalenträgerwerke, Faltwerke aus Brettsperrholz

und des BauStatik-Moduls

S854.de Brettsperrholz-Querschnitte erzeugen und nachweisen

Brettsperrholz ist ein flächiges Holzbauelement, welches völlig neue Tragkonzepte und gestalterische Möglichkeiten zulässt. Die MicroFe- und BauStatik-Module für Brettsperrholz bieten die Möglichkeit, die orthotrop wirkenden Brettsperrholzelemente wirtschaftlich zu bemessen. So können beispielsweise auch Deckenaussparungen oder punktgestützte Platten sowie Aussteifungsscheiben zweiachsig und schubnachgiebig berechnet und nachgewiesen werden.

The screenshot displays the mbAEC software interface for CLT design. The main window shows a 3D model of a wall section with dimensions. Below it, a detailed table lists the material layers and their properties:

| Material | Größe | Beich | Name | Name |
|--|------------|-----------|--------------|------|
| LENO | TSO | Meik | LENO | LENO |
| Querschnittsschichten von außen nach innen | | | | |
| Richtung | Dicke [mm] | Werkstoff | Füllgrad [%] | |
| 1 | 34,0 | NH C24 | 100,0 | |
| 2 | 34,0 | NH C24 | 100,0 | |
| 3 | 34,0 | NH C24 | 100,0 | |

Additional panels show technical drawings, including a cross-section diagram and a table of material properties and calculation results.

Allgemein

Im Ingenieurholzbau sind in den letzten Jahren viele innovative Produkte auf den Markt gekommen. Hierzu zählt auch Brettsperrholz, das zunehmend an Bedeutung gewinnt. Es werden immer größere Bauvorhaben mit den massiven Holzelementen ausgeführt. So zum Beispiel ein Wohngebäude mit neun Geschossen in London, ein Schulgebäude in Frankfurt oder eine Kirche in Regensburg.

Die Vorteile des Produkts liegen auf der Hand. Die werkseitige und witterungsunabhängige Produktion von großflächigen Wand- und Deckenbauteilen ermöglicht einen sehr hohen Vorfertigungsgrad. Rohbauten können so in kürzester Zeit fertiggestellt werden. Durch die flächige Lastabtragung der massiven Elemente können, im Vergleich zu stabförmigen Tragsystemen, Systemaufbauten mit geringe-

rer Bauteilhöhe und niedrigem Eigengewicht realisiert werden. Die Oberfläche der Bauteile kann in Sichtqualität erstellt werden und bietet so direkt eine ansprechende Optik. Weiterhin bietet die flächige Bauweise mit dem Werkstoff Holz sehr gute bauphysikalische Eigenschaften in Bezug auf den Wärme-, Feuchte-, Brand- und Schallschutz. (vgl. [3])

Brettsperrholz ist ein massives Holzprodukt und wird als Platten- oder Scheibenelement eingesetzt. Es besteht aus mindestens drei, i.d.R. rechtwinklig zueinander verklebten Lagen aus Schnitthölzern, wobei die einzelnen Schnitthölzer längs ihrer Schmalseiten ohne oder mit planmäßigem seitlichem Abstand zueinander angeordnet sein können. Der Schichtaufbau ist im Allgemeinen symmetrisch zur Mittellage, wobei bis zu drei benachbarte Lagen faserparallel angeordnet werden dürfen. Brettsperrholz wird aus Nadelholz hergestellt. Die einzelnen Bretter sind 40 bis 300 mm breit und 6 bis 45 mm dick und werden in Längsrichtung mittels Keilzinkenverbindung zu einer Endloslamelle verbunden. Die Elemente werden bis zu 30 m lang und 4,8 m breit hergestellt (vgl. [3]).



Bild 1. Drei- und fünflagige Brettsperrholzbauteile [6]

Brettsperrholz wird seit 1995 produziert. Es ist aber bisher normativ nicht geregelt und bedarf bei der baurechtlichen Verwendung daher einer nationalen oder Europäischen Technischen Zulassung (ETA). Diese sieht unter anderem vor, dass Brettsperrholz nur in den Nutzungsklassen 1 und 2 verwendet werden darf.

Brettsperrholz ist auch unter den Produktnamen Dickholz, X-Lam oder Kreuzlagenholz bekannt.

Tragwirkung und Berechnungsgrundlagen

Brettsperrholz ist durch die kreuzweise miteinander verleimten Lamellen ein orthotropes Holzprodukt mit einer ausgeprägten Haupttragrichtung. Die Haupttragrichtung (0°) ist jene mit der höheren Steifigkeit und entspricht in der Regel der Richtung der Deckfurniere. Diese Richtungsabhängigkeit bei den Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften erfordert eine differenzierte statische Betrachtung. Im Gegensatz zu Brettschichtholz erfahren die Querlagen eine Schubbeanspruchung senkrecht zu ihrer Längsrichtung, den sogenannten Rollschub. Der Rollschubmodul ist deut-

lich geringer als der Schubmodul in Längsrichtung. In den Querlagen tritt eine Schubverformung auf, die bei 15 - 20 % der Biegeverformung liegt. Damit ist das Ebenbleiben des Querschnitts nach der Hypothese von Bernoulli nicht mehr gegeben.

Plattenbeanspruchung

Die meisten Berechnungsverfahren für Brettsperrholzplatten sehen einen Nachweis als einachsig tragenden Plattenstreifen vor. Um die Nachgiebigkeit der Querlagen zu berücksichtigen, werden neben dem transversal-schubnachgiebigen Balken nach Thimoschenko in den Zulassungen meist das (modifizierte) Gamma-Verfahren (vgl. [1], Anhang B) angegeben.

Um eine zweiachsige Tragwirkung von Brettsperrholzplatten zu berücksichtigen, kann die transversal-schubnachgiebige Plattentheorie nach Reissner-Mindlin herangezogen werden. Um die Schnittgrößen mit MicroFe zu berechnen, werden die Steifigkeiten des Brettsperrholzquerschnittes benötigt.

Die innere Struktur der Platte bestimmt die Zusammenhänge zwischen den fünf Plattenverzerrungen (Plattenverkrümmung κ_x und κ_y , Abscherung γ_x und γ_y sowie Verdrehung κ_{xy}) und den fünf Plattenschnittgrößen (m_x , m_y , m_{xy} , v_x , v_y). In Matrixschreibweise ergibt sich wie folgt:

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_x \\ v_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_x & B_v & 0 & 0 & 0 \\ B_v & B_y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \\ \gamma_x \\ \gamma_y \end{bmatrix}$$

Mit dem Eigenträgheitsanteil, dem Steiner-Anteil und dem E-Modul in Faserlängsrichtung (E_0) und Querrichtung (E_{90}) kann eine Biegesteifigkeit je Schicht ermittelt werden. Die Summen in x- bzw. y-Richtung ergeben die Biegesteifigkeiten B_x und B_y .

$$B_x = \sum_{i=1}^n E_{x,i} \cdot \left(\frac{t_i^3}{12} + t_i \cdot z_{s,i}^2 \right)$$

$$B_y = \sum_{i=1}^n E_{y,i} \cdot \left(\frac{t_i^3}{12} + t_i \cdot z_{s,i}^2 \right)$$

Weil jedoch in der Regel kein fugen- und rissfreies Kontinuum in Querrichtung der jeweiligen Lage vorliegt, wird in [3] empfohlen, sowohl die Steifigkeit B_v in der Matrix als auch den E-Modul quer zur Faser (E_{90}) mit 0 anzunehmen.

Mit dieser Annahme liefern nur die Schichten, deren Faserichtung in Haupttragrichtung verlaufen, einen Anteil für B_x und die Schichten senkrecht dazu einen Anteil für B_y . Diese Annahme erübrigt auch den Querspannungsnachweis.

Wie bereits erwähnt, muss die Schubverformung bei der Berechnung berücksichtigt werden. Um das Tragverhalten der schubweichen Querlagen angemessen berücksichtigen

zu können, wird mit Grundwerten der Schubsteifigkeiten S_x und S_y gearbeitet. Diese ermitteln sich wie folgt, wobei immer eine Abminderung durch Division mit sogenannten Schubkorrekturfaktoren κ_x und κ_y stattfindet:

$$S_x = \frac{\sum_{i=1}^n G_{x,i} \cdot t_i}{\kappa_x}$$

$$S_y = \frac{\sum_{i=1}^n G_{y,i} \cdot t_i}{\kappa_y}$$

Die Schubkorrekturfaktoren werden mit den im Querschnitt vorhandenen Schubspannungen, welche im Gleichgewicht mit den Biegespannungen sind, bestimmt (vgl. [3]). MicroFe und BauStatik ermitteln diese Werte mittels einem Doppelintegral für beliebige Schichtaufbauten. Bei gleichen Schichtdicken und einem Verhältnis von $G_{\text{mean}}/G_R = 10$ ergeben sich folgende Werte:

| Schichtanzahl | κ_x (Haupttragrichtung) | κ_y (Nebentragrichtung) |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 3 | 4,854 | 1,440 |
| 5 | 4,107 | 5,316 |
| 7 | 3,873 | 4,364 |

Tabelle 1: Schubkorrekturfaktoren für $G_{\text{mean}}/G_R = 10$

Aufgrund des orthotropen, elastischen Materialgesetzes von Holz gibt es keine Kopplung zwischen der Schub- und den Normalspannungsteifigkeiten. Das gleiche gilt auch für die über die Querschnittshöhe integrierten Plattensteifigkeiten. Die Drillsteifigkeit B_{xy} kann daher entkoppelt von den ausschließlich E-Modul gesteuerten Plattenbiegesteifigkeiten berechnet werden. Da die Schubsteifigkeit über die Bauteilhöhe nicht konstant ist, wird die Drillsteifigkeit B_{xy} mit dem Reduktionsfaktor κ_{xy} abgemindert.

$$B_{xy} = \kappa_{xy} \cdot \frac{G_{xy} \cdot t^3}{12}$$

Nach [4], 4.3.2 darf vereinfachend der Faktor κ_{xy} zu 0,65 angenommen werden.

Scheibenbeanspruchung

Da Holz senkrecht zur Faser eine deutlich kleinere Steifigkeit aufweist als in Faserrichtung und in Querrichtung Fugen und Risse nicht ausgeschlossen werden können, wird $E_{90} = 0$ gesetzt. So werden bei der Ermittlung der Steifigkeiten für die jeweilige Richtung auch nur die Lagen angesetzt, deren Faser in Längsrichtung verlaufen.

Die Beziehung zwischen Schnittgrößen, Steifigkeiten und Weggrößen lautet in Matrixschreibweise wie folgt:

$$\begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_x & 0 & 0 \\ 0 & D_y & 0 \\ 0 & 0 & D_{xy} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

Für eine Scheibenbeanspruchung können die Dehnsteifigkeiten D_x und D_y sowie die Schubsteifigkeit D_{xy} aus [2], NCI NA.5.6.2.3 entnommen werden.

$$D_x = \sum_{i=1}^n E_{x,i} \cdot t_i$$

$$D_y = \sum_{i=1}^n E_{y,i} \cdot t_i$$

$$D_{xy} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n G_{xy,i} \cdot t_i$$

S854.de Brettsperrholz-Querschnitte erzeugen und nachweisen

Material/Querschnitt

Im Modul S854.de können im Kapitel „Material/Querschnitt“ entweder vorhandene Querschnittsaufbauten aus den Stammdaten importiert oder neue Querschnitte definiert werden.

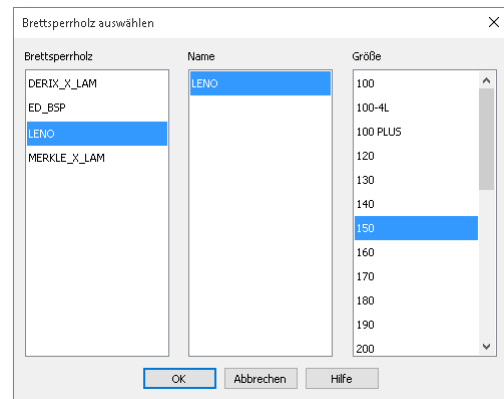


Bild 2. Auswahl des Brettsperrholzquerschnitts aus den Stammdaten

Zur Zeit stehen die Produkte folgender Hersteller bereits in den Stammdaten zur Auswahl und sind mit den jeweiligen Schichtaufbauten und zulassungsspezifischen Kennwerten hinterlegt:

| Hersteller | Produkt | Zulassung |
|----------------------|--------------|--------------------------|
| Züblin Timber (Merk) | Leno | Z-9.1-501 ETA-10/0241 |
| Eugen Decker | ED-BSP | Z-9.1-721 ETA-12/0327 |
| Derix | Derix X-LAM | ETA-11/0189 |
| Merkle | Merkle X-LAM | ETA-11/0210 |

Tabelle 2: BSP-Hersteller in Stammdaten

Bei einer neuen Definition eines Querschnitts wird zunächst ein bestehender Querschnitt geladen. Dieser kann dann bearbeitet und unter einem neuen Namen in die Stammdaten gespeichert werden. Somit können auch in weiteren Modulen (z.B. in MicroFe) zusätzliche benutzerdefinierte Querschnitte verwendet werden.

Bei manuell definierten Querschnitten muss zunächst neben dem Namen und der Nenngröße der Schichtaufbau beginnend mit der äußeren Schicht bis zur mittleren Schicht eingegeben werden. Dabei sind jeweils die Orientierung, die Dicke, das Material und der prozentuale Füllgrad anzugeben. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, den Rollschubmodul $G_{R,mean}$, die Rollschubfestigkeit $f_{R,k}$ sowie die Wichte abweichend zur Norm bzw. einer Zulassung manuell zu definieren.

Bild 3. Eingabekapitel „Material/Querschnitt“

Belastung

Um die Nachweise für ein Brettsperrholzelement zu führen können, müssen zunächst Schnittgrößen eingegeben werden. Es können sowohl charakteristische Schnittgrößen als auch Bemessungsschnittgrößen definiert werden. S854.de überlagert automatisch alle charakteristischen Einwirkungen nach DIN EN 1990. Bei der Eingabe wird unterschieden zwischen Plattenschnittgrößen und Scheibenschnittgrößen.

Eine Belastung auf eine Platte erzeugt die Momente m_x , m_y , m_{xy} und die Querkräfte v_x und v_y .

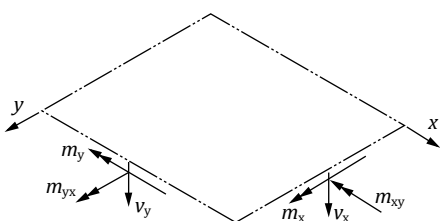


Bild 4. Plattenschnittgrößen

Eine Belastung auf eine Scheibe erzeugt die Normalkräfte n_x , n_y , sowie die Scheibenschubkraft n_{xy} .

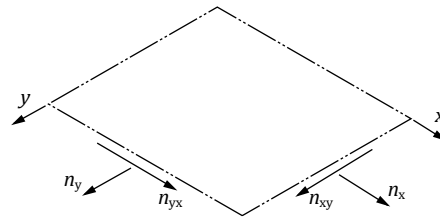


Bild 5. Scheibenschnittgrößen

Nachweise

Durch die Orthotropie des Materials und damit des Querschnitts erfolgt die Ausgabe der Nachweise getrennt für die Schichten in Längs- und Querrichtung. Die oben aufgeführten Schnittgrößen erzeugen in der Schicht i folgende Spannungen:

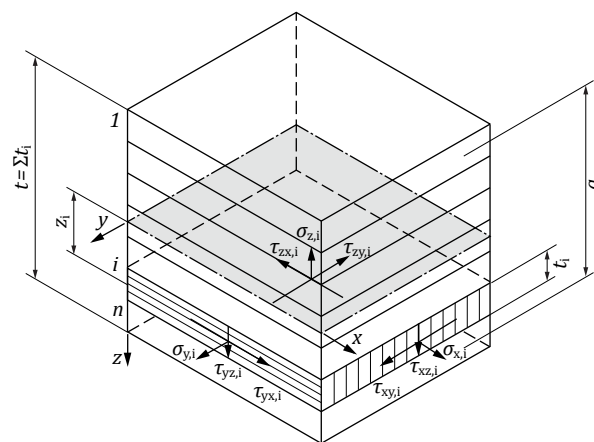


Bild 6. Spannungen in der Schicht i

Normalspannung aus Biegemomenten

$$\sigma_{x,i} = E_{x,i} \frac{m_x}{B_x} \cdot z$$

$$\sigma_{y,i} = E_{y,i} \frac{m_y}{B_y} \cdot z$$

Schubspannung aus Drillmoment

$$\tau_{xy,i} = G_{xy,i} \frac{m_{xy}}{B_{xy}} \cdot z$$

Schubspannung aus Querkräften

$$\tau_x = \frac{E \cdot S_x}{B_x} \cdot v_x$$

$$\tau_y = \frac{E \cdot S_y}{B_y} \cdot v_y$$

Normalspannung aus Membrankräften

$$\sigma_{x,i} = E_{x,i} \frac{n_x}{D_x}$$

$$\sigma_{y,i} = E_{y,i} \frac{n_y}{D_y}$$

Schubspannung aus Membranschubkraft

$$\tau_{xy,i} = G_{xy,i} \frac{n_{xy}}{D_{xy}}$$

Das Modul S854.de führt für das Brettsperrholzelement die Nachweise für Normal- und Biegespannung, Schubspannungen und Rollschubspannungen. Nach DIN EN 1995-1-1, NCI, NA.9.3.1 müssen folgende Bedingungen für die Beanspruchung in jeder Schicht erfüllt sein:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{xy,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1,0$$

$$\frac{T_{R,d}}{f_{R,d}} \leq 1,0$$

Zusätzlich oder alternativ zur ausführlichen Ausgabe der Nachweise hat man die Möglichkeit, sich die Ergebnisse in einer Zusammenfassung kompakt mit den maßgebenden Ausnutzungen für Biegung und Querkraft ausgeben zu lassen.

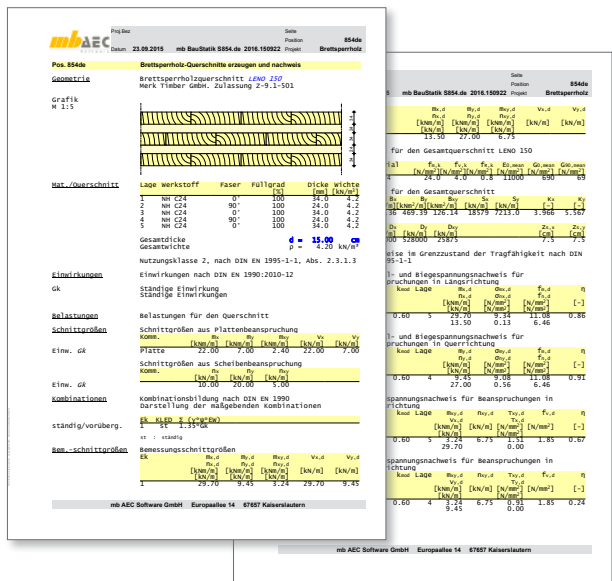


Bild 7. Beispielausgabe S854.de

M322.de Scheibentragwerke aus Brettsperrholz
 M332.de Plattentragwerke aus Brettsperrholz
 M342.de Falwerke aus Brettsperrholz

Neue Positionstypen

In MicroFe stehen mit den neuen Bauteil-Positionstypen Holz-Scheibe-/Platte-/Fläche flächenförmige Bauteile aus Brettsperrholz zur Verfügung. Sowohl bei der Generierung und Berechnung als auch bei der Nachweisführung wird der spezielle orthotrope Aufbau von Brettsperrholz sowie dessen geringe Schubsteifigkeit berücksichtigt.

Auch der Holz-Stab inkl. Nachweise wird mit der Brettsperrholz-Lizenz für Scheibe, Platte und/oder Falwerk freigeschaltet.

Zudem gibt es zwei neue Auflager-Positionstypen: das Holz-Stützenlager und das Holz-Wandlager. Mit diesen Auflagertypen lassen sich Lagerungen durch Stützen und Wände aus Holz simulieren, indem gleichwertige Punkt- bzw. Linienlager generiert werden, deren Federsteifigkeiten in Abhängigkeit von Werkstoff, Querschnitt, Bauteilhöhe und Kopfeinspannung automatisch ermittelt werden.

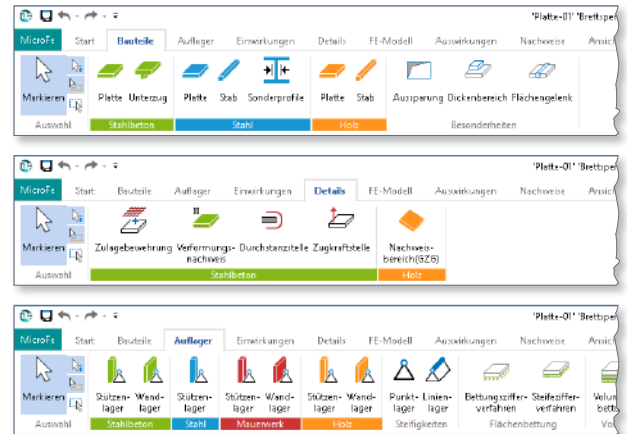


Bild 8. Neue Positionstypen in MicroFe

Eingabe

In den Positionseigenschaften der Holzflächen (siehe Bild 9) ist jeweils der Brettsperrholzquerschnitt durch direkten Zugriff auf die in den Stammdaten hinterlegten Produkte zu definieren. Wie bereits erwähnt werden mit den mb-Stammdaten Brettsperrholzsorten verschiedener Hersteller ausgeliefert. Zusätzlich können mit dem BauStatik-Modul S854.de weitere Brettsperrholzsorten manuell definiert und in den Stammdaten hinterlegt werden, so dass diese auch in MicroFe zur Verfügung stehen.

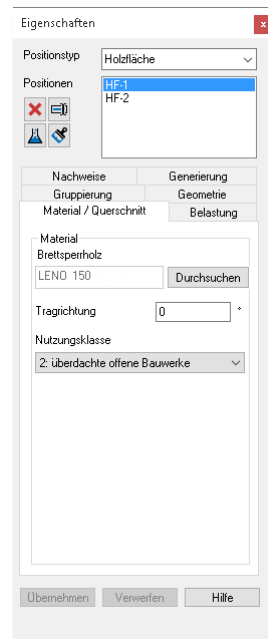


Bild 9. Wahl des Brettsperrholzquerschnitts

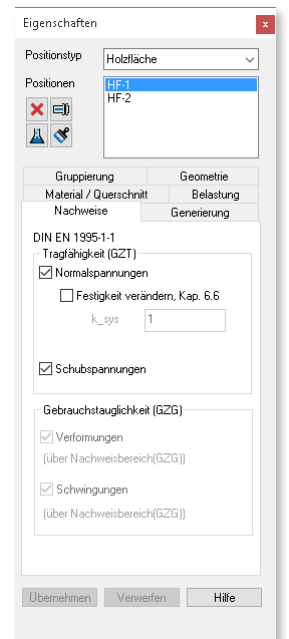


Bild 10. Wahl der zu führenden Nachweise

Nachweise

Die Spannungsnachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) und die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) zur Begrenzung der Verformungen und der Schwingungsanfälligkeit erfolgen nach DIN EN 1995-1-1 [1], [2]. Folgende Nachweise stehen zur Verfügung:

- Normalspannungen
- Schubspannungen
- Rollschubspannungen
- Verformungen
- Schwingungen

Die zu führenden GZT-Nachweise können getrennt je Position in den Positionseigenschaften einer Flächenposition aktiviert werden (siehe Bild 10). Die GZG-Nachweise sind nicht auf die Bauteilposition beschränkt, sondern die einzuhaltenden Grenzwerte (wie zulässige Verformung in Abhängigkeit der Spannweite oder Grenzeigenfrequenz) werden bauteilübergreifend mit dem neuen Nachweisbereich-Positionstyp definiert (siehe Bilder 11 und 12).

Ausgabe

Alle Nachweisergebnisse können wie gewohnt sowohl in der grafisch-interaktiven Ausgabe als auch mit Hilfe der positionsorientierten Nachweisausgaben dokumentiert werden.

Dipl.-Ing. Thomas Blüm
Dipl.-Ing. Sven Hohenstern
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

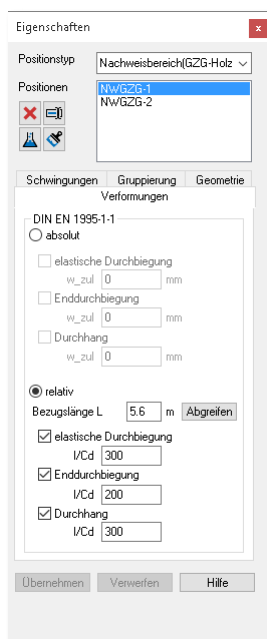


Bild 11.
Definition der
Grenzverformungen

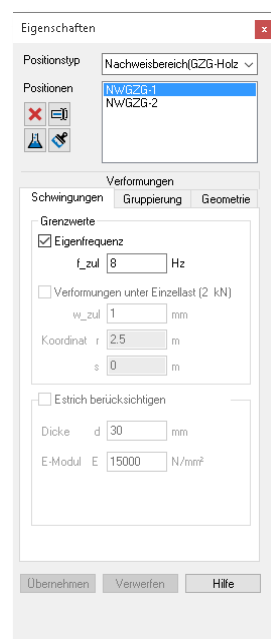


Bild 12.
Definition der Parameter für
Schwingungsnachweise

Literatur

- [1] DIN EN 1995-1-1:2010-12, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.
- [2] DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08, Eurocode 5: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [3] Bogensperger, Thomas, Silly, Gregor: Zweiachsige Lastabtragung von Brettsperrholzplatten - Bautechnik 91 (2014), Heft 10
- [4] Brettsperrholz Bemessung - Grundlagen für Statik und Konstruktion nach Eurocode, pro:Holz Austria (2013)
- [5] Winter, Stefan, Kreuzinger, Heinrich, Mestek, Peter: Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen
- [6] Cross laminated timber blocks: Oregon Department of Forestry, FlickR.com, CC BY 2.0, 23.09.2015



Aktuelle Angebote

Module und Paket nach DIN EN

S854.de **Brettsperrholz-Querschnitte erzeugen und nachweisen** **190,- EUR**

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

M322.de **Scheibentragwerke aus Brettsperrholz** **690,- EUR**

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

M332.de **Plattentragwerke aus Brettsperrholz** **690,- EUR**

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

M342.de **Schalentragwerke, Faltwerke aus Brettsperrholz** **690,- EUR**

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

Brettsperrholz-Paket **1.790,- EUR**

bestehend aus den MicroFe-Modulen
M322.de Scheibentragwerke aus Brettsperrholz
M332.de Plattentragwerke aus Brettsperrholz
M342.de Schalentragwerke, Faltwerke
aus Brettsperrholz

und dem BauStatik-Modul

S854.de Brettsperrholz-Querschnitte erzeugen und nachweisen

Module und Paket nach ÖNORM

S854.at **Brettsperrholz-Querschnitte erzeugen und nachweisen** **190,- EUR**

M322.at **Scheibentragwerke aus Brettsperrholz** **790,- EUR**

M332.at **Plattentragwerke aus Brettsperrholz** **790,- EUR**

M342.at **Schalentragwerke, Faltwerke aus Brettsperrholz** **790,- EUR**

Brettsperrholz-Paket **1.890,- EUR**

bestehend aus den MicroFe-Modulen
M322.at Scheibentragwerke aus Brettsperrholz
M332.at Plattentragwerke aus Brettsperrholz
M342.at Schalentragwerke, Faltwerke
aus Brettsperrholz

und dem BauStatik-Modul

S854.at Brettsperrholz-Querschnitte erzeugen und nachweisen

Aktionspreis befristet bis 15.12.2015

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenzen je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Oktober 2015

Unterstützte Betriebssysteme:
Windows 7 (64) / Windows 8 (64) / Windows 10 (64)

Preisliste: www.mbaec.de