

Dipl.-Ing. Yvonne Steige

# Sanierung von Holzsparren

Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls

S113.de Holz-Sparren mit Aufdopplung, DIN EN 1995-1-1

Aufgrund von Umbaumaßnahmen kann es zu einer kritischen Überlastung der Holzsparren eines Pfettendaches kommen. Durch eine oberseitige angebrachte nachgiebig verbundene Holzverstärkung kann der Holzsparren ertüchtigt werden. Das Modul S113.de dient zur Berechnung und Bemessung von nachgiebig verbundenen aufgedoppelten Holzsparren mit auf Abscheren oder axial beanspruchten Verbindungsmitteln.

The screenshot displays the BauStatik software interface for the 'S113.de Holz-Sparren mit Aufdopplung' module. The main window shows a 3D model of a rafter system with a reinforcement beam. The right-hand side contains a detailed data table for the system.

Abmessungen / Nutzungsklassen		Feld	l	NKL
			[m]	
1			3,00	1

Auflager		x	z	$K_{r,z}$	$K_{r,x}$
		[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]
A		0,00	0,00	fest	fest
B		3,00	1,09	fest	frei

Mat./Querschnitt		Bezeichnung	Material	b	h
				[cm]	[cm]
1		Verstärkung	NH C24	8,00	8,00
2		Sparren	NH C24	8,00	16,00

Verbindungsmittel		senkrecht zur Faser	Abmessung	$\alpha$
		Art	[mm]	[°]
		Holzschraube Würth ASSY plus (Vollgewinde, Senkkopf)	8,0x300	0

Dachneigung		Dachneigungswinkel	$\delta$	=	20,0	°
Sparrenabstand		Abstand	a	=	0,70	m

Einwirkungen		Einwirkungen nach DIN EN 1990:2010-12

## Allgemein

Das Modul S113.de dient zur Berechnung und Bemessung eines oberseitig verstärkten Holzsparrens eines Pfettendachs. Durch den nachgiebigen Verbund mittels senkrechter oder gekreuzter Verbindungsmittel wird die Biegesteifigkeit des neu entstandenen Verbundträgers gesteigert, und die erhöhten Lasten aufgrund von z. B. Umbaumaßnahmen können aufgenommen werden.

Bei Sanierung kann es vorkommen, dass die miteinander verbundenen Bauteile unterschiedliche Kriecheinflüsse vorweisen, dies kann in der Bemessung berücksichtigt werden.

Das Modul führt alle notwendigen Nachweise für den aufgedoppelten Sparren und die Verbindungsmittel in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit nach DIN EN 1995-1-1.

## System

Im Kapitel „System“ werden alle erforderlichen Eingaben getroffen, um das statische System des aufgedoppelten Holzsparrens zu definieren.

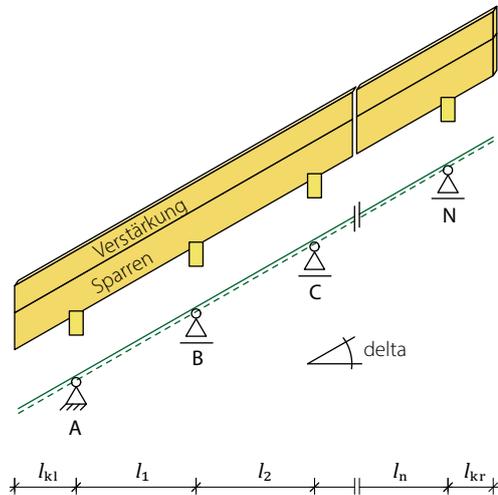


Bild 1. Systemgrafik

Im Modul S113.de können Einfeld- oder Mehrfeldträger mit und ohne Kragarme festgelegt werden. Zusätzlich werden der Winkel der Dachneigung und die Auflagerbedingungen definiert. Zum Schluss ist der Abstand der Sparren untereinander anzugeben.

Vorbemerkung	System	Wind/Schnee	Belastungen
Material/Querschnitt	Verbindungsmittel	Nachweise	Ausgabe
Erläuterung			
Feldlängen [m]			
l <sub>1</sub> 3,000		l <sub>2</sub>	
Kragarme			
J/N <input type="checkbox"/> vorgeben			
Dachneigungswinkel			
δ 20 °			
Auflagerdefinitionen			
	Lager	Trans.X	
1	ALLE	fest	
2	Lager B	frei	
Sparrenabstand			
a 0,700 m		Systemmaß	

Bild 2. Eingabe „System“

## Wind/Schnee

Die Wind- und Schneebeanspruchungen können programmseitig auf Grundlage der Gebäudeabmessungen und der geografischen Lage ermittelt werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, den Geschwindigkeitsdruck  $q_p$  und die charakteristische Schneelast  $s_k$  manuell vorzugeben.

Eine weitere Option besteht darin, die Wind- und Schneelasten für den Sparren und evtl. weitere Dachbauteile übergeordnet mit dem Modul „S031.de Wind- und Schneelasten“ komfortabel zu ermitteln und diese per Übernahme in die Position einzubinden.

## Belastung

Das Eigengewicht des aufgedoppelten Holzsparrens wird automatisch berechnet und kann als Belastung angesetzt werden. Zusätzlich können Lasten aus Eindeckung und Ausbau jeweils separat definiert werden.

Aus vorhandenen Positionen können Punktlasten (Punktlasten und Punktlasten aus Streckenlasten) übernommen werden. Zusätzlich können beliebige Flächenlasten in vertikaler, horizontaler und lokaler Richtung definiert werden.

Vorbemerkung	System	Wind/Schnee	Belastungen
Material/Querschnitt	Verbindungsmittel	Nachweise	Ausgabe
Erläuterung			
Eigengewicht			
J/N	<input checked="" type="checkbox"/> ansetzen		
EW	Gk - Eigenla	zugehörige Einwirkung	
Last aus Eindeckung (DF)			
J/N	<input type="checkbox"/> ansetzen		
Ausbaulasten (DF)			
J/N	<input checked="" type="checkbox"/> ansetzen		
Lastabtrag aus vorhandenen Positionen 01			
Art			
Lasteingabe 01			
Art			

Bild 4. Eingabe „Belastung“

## Material/Querschnitt

Mit S113.de kann ein nachgiebiger verbundener Träger bestehend aus einem Holzsparren und einer oberseitig angeordneten Holzverstärkung berechnet werden. Der nachgiebige Verbund erfolgt durch mechanische Verbindungsmittel.

Für beide Querschnitte können die Materialien Nadelholz, Brettschichtholz oder Furnierschichtholz ausgeführt werden.

Eine bauseitig vorhandene Querschnittsschwächung an den Auflagern kann durch die Eingabe der Einschnitttiefe am Sparren berücksichtigt werden.

Um dem Einfluss des Umgebungsklimas während der vorgesehenen Nutzungsdauer Rechnung zu tragen, wird eine Nutzungsklasse (NKL) je Feld vorgegeben.

## Verbindungsmittel

Der nachgiebige Verbund entsteht durch die beiden Holzquerschnitte und die Verbindungsmittel. Folgende Verbindungsmittel können im S113.de ausgewählt werden:

- Nägel
- Dübel
- Passbolzen
- Bolzen
- Holzschrauben
- Gewindebolzen

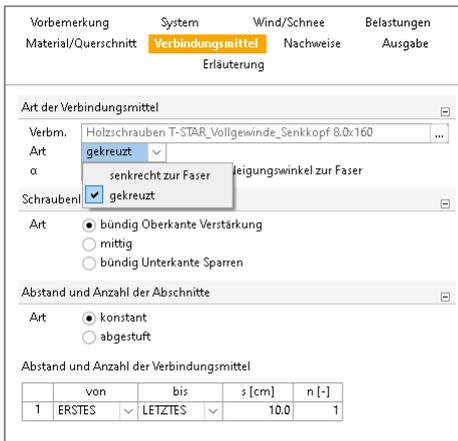
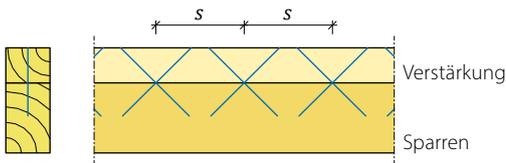


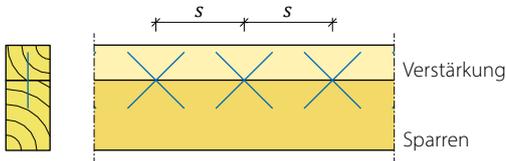
Bild 5. Eingabe „Verbindungsmitel“

Für die Verbindungsmitel „Holzschrauben“ des Typs „ASSY plus (Würth)“ und „T-Star (Spax)“ mit Vollgewinde besteht die Option einer „gekreuzten“ Anordnung. Für diese Verbindungsmitelart muss der Neigungswinkel zur Faser und die Schraubenlage vorgegeben werden.

bündig Oberkante Verstärkung



mittig



bündig Unterkante Sparren

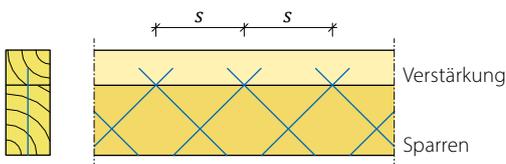


Bild 6. Mögliche Schraubenlagen bei gekreuzten Schraubenpaaren

Der Verbund ist abhängig von der Anzahl der Reihen und dem Abstand der Verbindungsmitel in Spannrichtung. Es besteht die Möglichkeit, dass die Verbindungsmitel konstant oder abgestuft angeordnet werden.

Für eine abgestufte Anordnung wird im ersten Schritt die Anzahl der Abschnitte pro Feld definiert. Im nächsten Schritt kann der Anwender pro Abschnitt einen Abstand und eine Anzahl eingeben. Die Längen der Abschnitte ermitteln sich entsprechend dem Quotienten aus Feldlänge und Abschnittszahl. Somit wird eine wirtschaftliche Verbindungsmitelanordnung entsprechend des Querkraftverlaufs möglich.

### Berechnungsgrundlage

Die Berechnungsgrundlage für das S113.de ist das sogenannte  $\gamma$ -Verfahren für nachgiebig verbundene Querschnitte nach [1], Anhang B und Anhang C.

Mit dem vereinfachten Verfahren wird eine wirksame Biegesteifigkeit  $(EI)_{ef}$  durch die Multiplikation des Abminderungsfaktors  $\gamma$  ( $0 < \gamma < 1,0$ ) und der Steiner-Anteile ermittelt. Der Abminderungsfaktor ist abhängig von der Dehnsteifigkeit der Einzelquerschnitte Sparren und Verstärkung sowie der Fugensteifigkeit.

#### Ermittlung der effektiven Steifigkeit

$$(E \cdot I)_{ef} = \sum_{i=1}^2 (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2) \quad (1)$$

und

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot s_1}{K_1 \cdot l^2}} \quad (2)$$

$$\gamma_2 = 1,0 \quad (3)$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 \quad (4)$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2)}{2 \cdot (\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 + \gamma_2 \cdot E_2 \cdot A_2)} \quad (5)$$

mit

- $E_1 \cdot A_1$  Dehnsteifigkeit der Holzverstärkung
- $E_2 \cdot A_2$  Dehnsteifigkeit des Holzsparrens
- $K_1/s_1$  Fugensteifigkeit
- $s_1 = s/n$  Abstand der Verbindungsmitel bei  $n$  Reihen, für eine abgestufte Anordnung ist  $s = s_{ef}$

Für eine abgestufte Verbindungsmitelanordnung wird ein effektiver Verbindungsmitelabstand berechnet, und die nachfolgende Bedingung muss eingehalten sein:

$$s_{max} \leq 4 \cdot s_{min} \quad (6)$$

und

$$s_{ef} = 0,75 \cdot s_{min} + 0,25 \cdot s_{max} \quad (7)$$

mit

- $s_{ef}$  effektiver Verbindungsmitelabstand
- $s_{min}$  kleinster Verbindungsmitelabstand
- $s_{max}$  größter Verbindungsmitelabstand

Verbundwerte GZT (Anfangszustand)	QS	$E_{inst}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$K_{inst}$ [N/mm]	$\gamma$	$a$ [cm]		
Feld 1	(( $E_{1,ef} = 354 \text{ kNm}^2$ , ( $E_{1,ef} = 87 \text{ kNm}^2$ , ( $EA)_{tot} = 162 \text{ MN}$ ))						
	1	8462	1535	0.128	-11.28		
	2	8462		1.000	0.72		
Verbundwerte GZT (Endzustand)	QS	$k_{def}$	$E_{fin}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_{def}$	$K_{fin}$ [N/mm]	$\gamma$	$a$ [cm]
Feld 1	(( $E_{1,ef} = 221 \text{ kNm}^2$ , ( $E_{1,ef} = 54 \text{ kNm}^2$ , ( $EA)_{tot} = 102 \text{ MN}$ ))						
	1	0.60	5288	0.60	960	0.128	-11.28
	2	0.60	5288	0.60	1.000	0.72	
Verbundwerte GZG (Anfangszustand)	QS	$E_{inst}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$K_{inst}$ [N/mm]	$\gamma$	$a$ [cm]		
Feld 1	(( $E_{1,ef} = 505 \text{ kNm}^2$ , ( $E_{1,ef} = 113 \text{ kNm}^2$ , ( $EA)_{tot} = 211 \text{ MN}$ ))						
	1	11000	2994	0.180	-11.01		
	2	11000		1.000	0.99		
Verbundwerte GZG (Endzustand)	QS	$k_{def}$	$E_{fin}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_{def}$	$K_{fin}$ [N/mm]	$\gamma$	$a$ [cm]
Feld 1	(( $E_{1,ef} = 316 \text{ kNm}^2$ , ( $E_{1,ef} = 70 \text{ kNm}^2$ , ( $EA)_{tot} = 132 \text{ MN}$ ))						
	1	0.60	6875	0.60	1871	0.180	-11.01
	2	0.60	6875	0.60	1.000	0.99	

Bild 7. Ausgabe „Verbundwerte“

Bei unterschiedlichem Kriechverhalten des Sparrens und der Verstärkung ergeben sich unterschiedliche effektive Steifigkeiten und somit unterschiedliche Spannungsverteilungen. Für diesen Fall ist der Nachweis im Anfangszustand ( $t = 0$ ) und Endzustand ( $t = \infty$ ) zu führen (siehe Bild 7).

Die Fugensteifigkeit ermittelt sich aus dem Verschiebungsmodul  $K_{ser}$  der Verbindungsmittel.

Für auf Abscheren beanspruchte Verbindungsmittel ist der  $K_{ser}$ -Wert in [1] enthalten. Für axial beanspruchte Verbindungsmittel ist der Wert in der jeweiligen herstellerspezifischen Zulassung/Bewertung geregelt. Der axiale Verschiebungsmodul ist die Steifigkeit in axialer Richtung des Gewindeteils für je ein Schnittufer der Verbindung.

Die Umrechnung in die Fugensteifigkeit basiert auf [5] und [6].

$$K_{ser} = \frac{2 \cdot \cos^2 \alpha}{\frac{1}{K_{ax,1}} + \frac{1}{K_{ax,2}}} \quad (8)$$

mit

- $K_{ser}$  Verschiebungsmodul in Fugenrichtung
- $\alpha$  Neigungswinkel zur Faser
- $K_{ax,1}$  axialer Verschiebungsmodul in der Verstärkung
- $K_{ax,2}$  axialer Verschiebungsmodul im Sparren

Querschnittschwächungen im Sparren an den Auflagern werden durch die Vereinfachung nach [4], Abs. 10.5.2 (4) berücksichtigt. Die Schwerpunktspannungen werden durch Multiplikation mit dem Verhältnis ungeschwächter zu geschwächter Querschnittsfläche ( $A_i/A_{i,n}$ ) und die Biegespannungen mit dem Verhältnis ungeschwächtes zu geschwächtem Flächenträgheitsmoment 2. Grades der Querschnittsfläche ( $I_i/I_{i,n}$ ) erhöht.

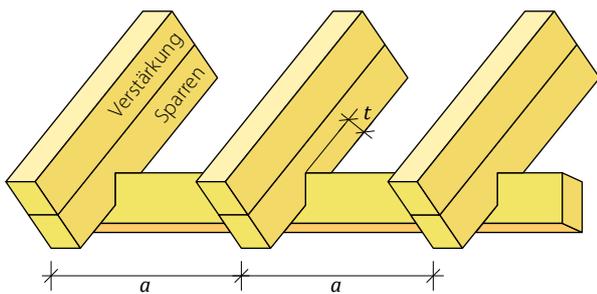


Bild 8. Querschnittsschwächung an den Auflagern

## Nachweise

### Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) werden für den nachgiebigen Verbund im Anfangs- und Endzustand folgende Nachweise geführt:

- Normaltragfähigkeit der Einzelquerschnitte
- Biege- und Normaltragfähigkeit des Gesamtquerschnitts
- Querkrafttragfähigkeit
- Biegeknicktragfähigkeit für den Gesamtquerschnitt
- Biegedrillknicktragfähigkeit für den Gesamtquerschnitt
- Verbindungsmittel
- Lagesicherheit

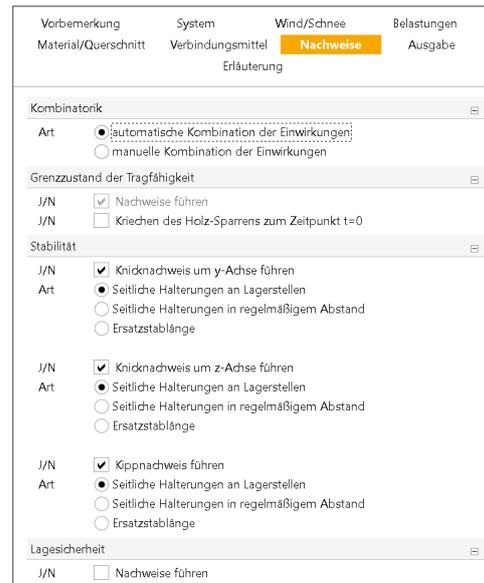


Bild 9. Eingabe „Nachweise“ – Grenzzustand der Tragfähigkeit

Für Knicken um y- und z-Achse sowie den Kippnachweis können die Ersatzlängen separat definiert werden.

Ersatzstablängen				
	l	$l_{ef,y}$	$l_{ef,z}$	$l_{kip}$
	[m]	[m]	[m]	[m]
Feld 1	3.19	3.19	3.19	3.19
Effektive Knickbeiwerte				
	Achse	$\lambda_{ef}$	$\lambda_{ef,z}$	$k_{cef}$
		[-]	[-]	[-]
Feld 1	y	138.24	2.34	0.17
	z	138.24	2.34	0.17

Bild 10. Ausgabe „Ersatzlängen“ und „effektive Knickbeiwerte“

Für die Stabilitätsnachweise wird der wirksame Schlankheitsgrad nach [1], Anhang C ermittelt.

### Ausknicken um die y-Achse (nachgiebiger Verbund)

$$\lambda_{ef,y} = l_{ef,y} \cdot \sqrt{\frac{(EA)_{tot}}{(EI)_{ef,y}}} \quad (9)$$

### Ausknicken um die z-Achse

$$\lambda_{ef,z} = l_{ef,z} \cdot \sqrt{\frac{(EA)_{tot}}{(EI)_z}} \quad (10)$$

mit

- $l_{ef}$  effektive Knicklänge
- $(EA)_{tot}$  Dehnsteifigkeit des Gesamtquerschnitts
- $(EI)_{ef,y}$  wirksame Biegesteifigkeit
- $(EI)_z$  Summe der Biegesteifigkeit der Einzelquerschnitte

Mit den wirksamen Schlankheitsgraden werden die entsprechenden Knickbeiwerte nach [1], Abs. 6.3.2 bestimmt. Bei einem aktivierten Stabilitätsnachweis muss für den Nachweis der Verbindungsmittel eine zusätzliche Querkraft berücksichtigt werden.

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120 \cdot k_{c,y,ef}} & \text{i' u } \lambda_{ef,y} < 30 \\ \frac{F_{c,d} \cdot \lambda_{ef,y}}{3600 \cdot k_{c,y,ef}} & \text{i' u } 30 \leq \lambda_{ef,y} < 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60 \cdot k_{c,y,ef}} & \text{i' u } 60 \leq \lambda_{ef,y} \end{cases} \quad (11)$$

Der Biegeknicknachweis nach [1], Abs. 6.3.2 ist wie folgt nachzuweisen:

#### Knicken um die y-Achse + Biegung

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y,ef} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (12)$$

#### Knicken um die z-Achse + Biegung

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z,ef} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (13)$$

Für den Biegedrillknicknachweis nach [2], NA.7 wird vereinfacht für den Kippanteil der Knicknachweis um die z-Achse mit der Schwerpunktspannung aus der Biegebeanspruchung des gedrückten Querschnittsteils geführt:

#### Knicken um die y-Achse + Kippen

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y,ef} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{c,0,i,d}}{k_{c,z,i} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (14)$$

#### Knicken um die z-Achse + Kippen

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z,ef} \cdot f_{c,0,d}} + \left( \frac{\sigma_{c,0,i,d}}{k_{c,z,i} \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (15)$$

### Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

Die Verformungen einer Konstruktion sind so zu begrenzen, dass keine Schäden an nachgeordneten Bauteilen auftreten, die Benutzbarkeit nicht eingeschränkt wird und das Erscheinungsbild gewahrt bleibt.

Die Berechnung der Verformungen dürfen unter Verwendung der Mittelwerte der Elastizitätsmoduln und den Teilsicherheitsbeiwerten für Einwirkung und Material mit  $\gamma = 1,0$  berechnet werden. Bei Verbundteilen mit Teilquerschnitten aus Baustoffen mit unterschiedlichem Verhalten über die Zeit sind die Verformungen im Anfangs- und Endzustand am System mit den jeweiligen Steifigkeiten zu ermitteln.

#### Elastische Anfangsdurchbiegung (16)

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot w_{inst,Q,i} \leq w_{grenz}$$

#### Enddurchbiegung (17)

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q,1} \cdot \psi_{2,1} + w_{inst,Q,1} \cdot (1 - \psi_{2,1}) + \sum_{i>1} w_{fin,Q,i} \cdot \psi_{2,i} + w_{inst,Q,i} \cdot (\psi_{0,i} - \psi_{2,i}) \leq w_{grenz}$$

#### Gesamte Enddurchbiegung (18)

$$w_{net,fin} = w_{fin,G} + \sum_{i \geq 1} w_{fin,Q,i} \cdot \psi_{2,i} \leq w_{grenz}$$

$w_{inst}$	elastische Durchbiegung, die sich unmittelbar nach Aufbringen der Last einstellt
$w_{creep}$	Kriechverformung ( $k_{def} \cdot w_{inst}$ )
$w_{fin}$	Enddurchbiegung inkl. Kriechen ( $w_{inst} + w_{creep}$ )

Im S113.de können bis zu drei Nachweise angewählt werden. Der Nachweis der „elastischen Anfangsdurchbiegung“ erfolgt mit Anfangsdurchbiegungen in der charakteristischen Kombination. Die Kriechanteile im Nachweis der „Enddurchbiegung“ werden mit der quasi-ständigen Kombination gebildet. Für den Nachweis der „gesamten Enddurchbiegung“ (oder auch „Netto“-Enddurchbiegung, siehe [3]) werden alle Verformungen mit der quasi-ständigen Kombination gebildet.

### Ausgabe

Es wird eine vollständige, übersichtliche und prüffähige Ausgabe der Nachweise zur Verfügung gestellt. Der Ausgabeumfang kann in gewohnter Weise gesteuert werden. Neben der grafischen Darstellung des Systems in Haupttragrichtung werden die Belastungen, Schnittgrößen und Nachweise unter Berücksichtigung der Einstellungen des Anwenders sowohl grafisch als auch tabellarisch ausgegeben.

Dipl.-Ing. Yvonne Steige  
mb AEC Software GmbH  
mb-news@mbaec.de

### Literatur

- [1] DIN EN 1995-1-1: Eurocode 5 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Ausgabe Dezember 2010. Beuth Verlag.
- [2] DIN EN 1995-1-1/MA: Nationaler Anhang Eurocode 5 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Ausgabe Dezember 2010. Beuth Verlag.
- [3] Neuhaus, H.: Ingenieurholzbau: Grundlagen - Bemessung - Nachweise - Beispiele. 4. Auflage, 2017. Springer Vieweg.
- [4] DIN 1052: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzwerken, Ausgabe Dezember 2008. Beuth Verlag.
- [5] Blaß, H.J. und Sandhaas, C.: Ingenieurholzbau - Grundlagen der Bemessung, 2016, KIT Scientific Publishing.
- [6] Colling, F.: Holzbau-Grundlagen und Bemessung nach EC 5, 6.Auflage, 2019, Springer Vieweg.

### Preise und Angebote

#### S113.de Holz-Sparren mit Aufdopplung

– EC 5, DIN EN 1995-1-1

Weitere Informationen unter

<https://www.mbaec.de/modul/S113de>

#### Pakete

##### BauStatik 5er-Paket

bestehend aus 5 BauStatik-Modulen deutscher Norm nach Wahl

999,- EUR

##### BauStatik 10er-Paket

bestehend aus 10 BauStatik-Modulen deutscher Norm nach Wahl

1.699,- EUR

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Oktober 2023

Betriebssysteme: Windows 10 (22H2, 64-Bit), Windows 11 (22H2, 64-Bit), Windows Server 2022 (21H2) mit Windows Terminalserver

Preisliste: [www.mbaec.de](http://www.mbaec.de)