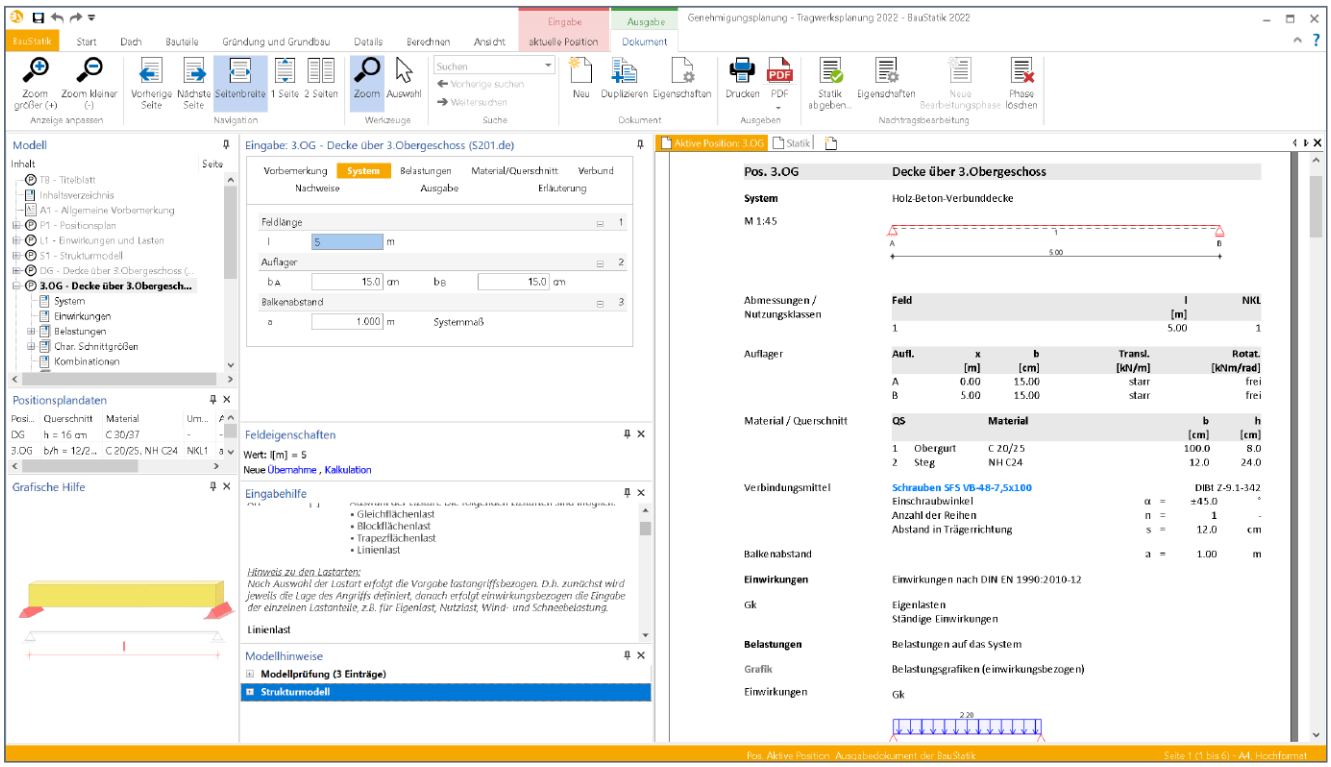
Dipl.-Ing. David Hübel

Sanierung von Holzbalkendecken

Leistungsbeschreibung des BauStatik-Moduls S201.de Holz-Beton-Verbunddecke

Im Rahmen einer Altbausanierung verändern sich häufig die Anforderungen an bestehende Deckenkonstruktionen. Um im Rahmen einer Altbausanierung eine bestehende Holzbalkendecke zu sanieren oder zu ertüchtigen, kann eine Holz-Beton-Verbunddecke ausgeführt werden. Hierbei wird die vorhandene Holzbalkendecke nicht vollständig abgebrochen. Bausubstanz bleibt somit erhalten. Das Modul S201.de dient zur Berechnung und Bemessung von Holz-Beton-Verbunddecken. Es werden alle notwendigen Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit geführt.



Allgemeines

Eine Holz-Beton-Verbunddecke besteht aus einem Holzträger und einer dünnen Betonplatte. Bei der Verbundbauweise „Holz-Beton“ wird der Beton auf Druck und Holz auf Zug belastet. Die Längsschubkräfte werden in der Fuge durch Verbindungsmittel aufgenommen.

Bei der Holz-Beton-Verbundbauweise werden die Vorteile des Holzbaus mit den Vorteilen des Stahlbetonbaus verbunden.

Der Verbund führt zu einer höheren Steifigkeit und Tragfähigkeit sowie zu einer Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften der Deckenkonstruktion.

Holz-Beton-Verbunddecken verfügen über eine hohe Traglast und Biegesteifigkeit bei verhältnismäßig geringem Eigengewicht und einer relativ niedrigen Gesamthöhe. Holz-Beton-Verbunddecken können daher für große Spannweiten eingesetzt werden.

Durch den Beton und die somit eingebrachte Masse wird der Schallschutz erhöht und durch seine Nichtbrennbarkeit ein sehr gutes Brandschutzverhalten erzielt.

Holz-Beton-Verbundkonstruktionen werden aufgrund der Konstruktion häufig zur Sanierung und zur Erhöhung der Tragfähigkeit von vorhandenen Holzbalkendecken eingesetzt. Aber auch in Neubauten werden Holz-Beton-Verbunddecken eingesetzt.

System

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

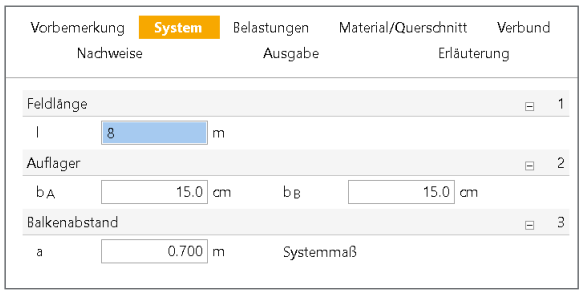


Bild 1. Eingabe „System“

Im Modul S201.de wird hier die Feldlänge des Einfeldträgers und der Achsabstand der Holzbalken in der Balkenlage festgelegt. Die eingegebene Feldlänge entspricht der Stützweite im statischen System.

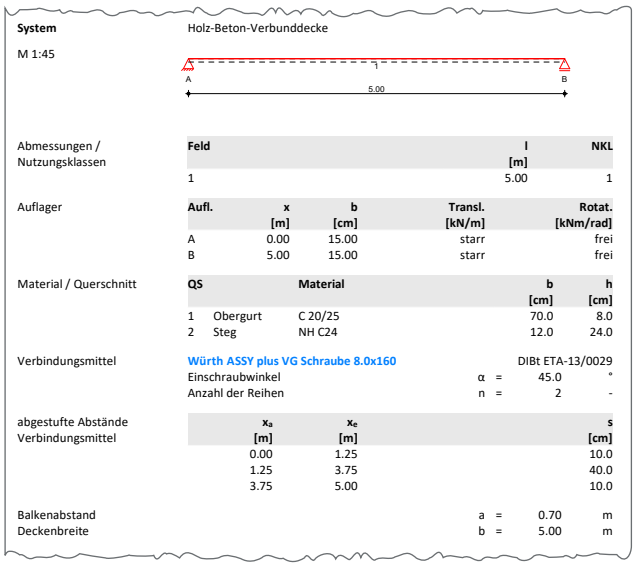


Bild 2. Ausgabe „System“

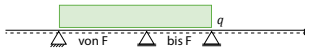
Die Definition der Auflagerbreite ist für den Nachweis der Auflagerpressung und die maßgebende Stelle der Bemessungsquerkraft notwendig.

Belastung

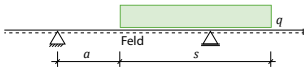
Neben dem Eigengewicht der Holz-Beton-Verbunddecke können als Belastungen verschiedene Flächenlasten und eine Linienlast vorgegeben werden.

Zur Auswahl stehen folgende Lastarten:

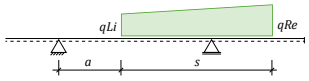
Gleichflächenlasten



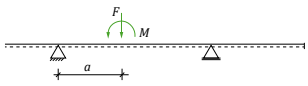
Blockflächenlasten



Trapezflächenlasten



Linienlasten



Material/Querschnitt

Der Verbundquerschnitt besteht aus einem Betongurt auf der Querschnittsoberseite und einem Holzbalken an der Querschnittsunterseite.

Für den Betongurt wird eine Festigkeitsklasse für Normal- oder Leichtbeton gewählt und eine Höhe der Betonschicht vorgegeben. Wahlweise kann die Breite des Betongurtes anhand des Balkenabstands oder einer manuellen Vorgabe gewählt werden.

Der Steg aus Holz kann aus den Materialien Nadelholz, Brettschichtholz oder Furnierschichtholz ausgeführt werden.

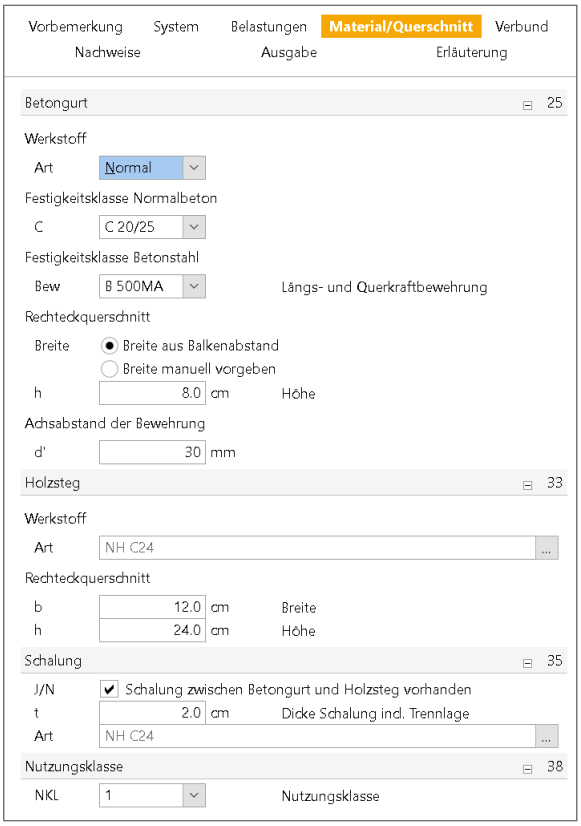


Bild 3. Eingabe „Material/Querschnitt“

Üblicherweise wird als Trennung zwischen Gurt und Steg eine Schalung verwendet. Diese Schalung bleibt auch im Endzustand bestehen und wirkt als Zwischenschicht, durch die die Verbindungsmittel geschraubt werden müssen. Die Dicke der Schalung und das Material hat Einfluss auf die Tragfähigkeit und auf das Verschiebungsmodul der Verbindungsmittel.

Holz-Beton-Verbunddecken ohne Schalung können mit dem Modul S201.de ebenfalls nachgewiesen werden. Die Schalung kann hierzu optional deaktiviert werden.

Als Material der Schalung stehen unterschiedliche Holz-Materialien zur Auswahl:

- Nadel- und Laubholz
- Brettsperrholz
- Laubholz
- Konstruktionsvollholz / Duo- und Trio-Balken (KVH)
- Furnierschichtholz

Verbund

Die positiven statischen Eigenschaften einer Holz-Beton-Verbunddecke entstehen durch den Verbund der beiden Bauteile Holz und Beton. Der Verbund ist abhängig von der Anzahl der Reihen und dem Abstand der Holz-Beton-Verbundanker in Spannrichtung.

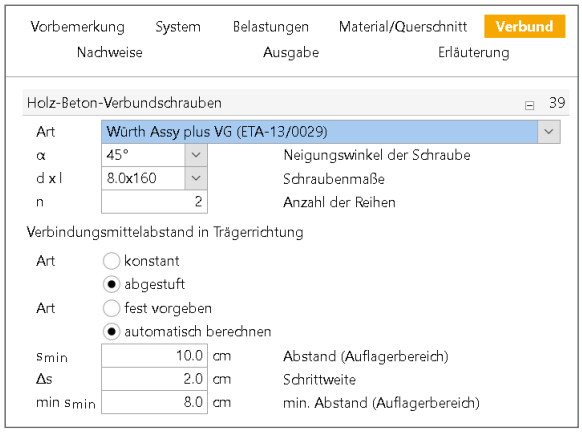
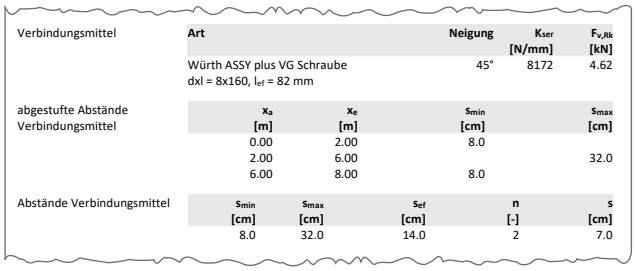


Bild 4. Eingabe „Verbund“

Die jeweiligen Verbundanker verbinden dabei die beiden Materialien kraftschlüssig und übertragen die Schubkräfte zwischen der Betonplatte und dem Holzträger.

Holz-Beton-Verbundschrauben von folgenden Herstellern werden im Modul S201.de angeboten:

- SFS Verbundschrauben VB (Z-9.1-342)
- TCC Schrauben (Z-9.1-603)
- Timco II Schrauben (Z-9.1-445)
- Würth Assy Plus VG (ETA-13/0029)
- BiFRi Verbund-Anker (Z-9.1-851)
- SDix-3 Schubfix-Schraube (Z-9.1-857)



Verbindungsmittel	Art	Neigung	K_{ser} [N/mm]	$F_{v,Rk}$ [kN]
	Würth ASSY plus VG Schraube dxl = 8x160, l_{ef} = 82 mm	45°	8172	4.62

abgestufte Abstände Verbindungsmittel	x_a [m]	x_e [m]	s_{min} [cm]	s_{max} [cm]
	0.00	2.00	8.0	
	2.00	6.00		32.0
	6.00	8.00	8.0	

Abstände Verbindungsmittel	s_{min} [cm]	s_{max} [cm]	s_{ef} [cm]	n [-]	s [cm]
	8.0	32.0	14.0	2	7.0

Bild 5. Ausgabe „Verbindungsmittel“

Die Konstruktionsregeln, Verschiebungsmoduln und Tragfähigkeiten für die Verbindungsmittel sind der jeweiligen Zulassung entnommen und werden vom Modul berücksichtigt.

Ausgehend von einem Startwert für den Verbindungsmittelabstand kann das Modul im Rahmen einer Bemessung den Abstand optimieren. Dabei kann gewählt werden, ob die Verbindungsmittel konstant oder entsprechend dem Querkraftverlauf abgestuft angeordnet werden sollen.

Bei gewählter automatischer Abstufung, erfolgt diese bei ¼ und ¾ der Stützweite.

Folgende Beziehungen zum Verbindungsmittelabstand werden bei der Optimierung der Verbindungsmittelanordnung beachtet:

$s_{max} \leq 4 \cdot s_{min}$

und

$s_{ef} = 0{,}75 \cdot s_{min} + 0{,}25 \cdot s_{max}$

mit

s_{ef}	effektiver Verbindungsmittelabstand
s_{min}	kleinster Verbindungsmittelabstand
s_{max}	größter Verbindungsmittelabstand

Berechnungsgrundlagen

Bei Verbundquerschnitten, deren Teilquerschnitte unterschiedliches Verformungsverhalten während der Nutzungsdauer aufweisen, ergeben sich unterschiedliche „effektive Steifigkeiten“ und „Spannungsverteilungen“ im Anfangs- und Endzustand.

Aufgrund der unterschiedlichen Materialeigenschaften und des unterschiedlichen Langzeitverhaltens von Holz und Beton (Kriechen, Schwinden und Quellen) müssen sowohl für den Tragfähigkeits- als auch für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis die Betrachtungen für den Anfangszustand und einen zukünftigen Zeitpunkt durchgeführt werden.

Verbundwerte GZT (Anfangszustand)

$$E_{inst} = \frac{E_{0,mean}}{\gamma_M} \quad \text{für Holz}$$

$$E_{inst} = \frac{E_{cm}}{\gamma_M} \quad \text{für Beton}$$

$$K_{inst} = \frac{K_{u,mean}}{\gamma_M} = \frac{2}{3}\frac{K_{ser}}{\gamma_M}$$

Verbundwerte GZT (Endzustand)

$$E_{fin} = \frac{E_{0,mean}}{\gamma_M \times (1 + k_{def})} \quad \text{für Holz}$$

$$E_{fin} = \frac{E_{cm}}{\gamma_M}/3{,}5 \quad \text{für Beton}$$

$$K_{fin} = \frac{K_{u,mean}}{\gamma_M \times (1 + k_{def})} = \frac{2}{3}\frac{K_{ser}}{\gamma_M \times (1 + k_{def})}$$

mit

E_{mean}	Mittelwert des Elastizitätsmoduls
$K_{u,mean}$	Mittelwert des Verschiebungsmoduls des Verbindungsmittels
K_{ser}	Verschiebungsmodul
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für Holz $\gamma_M = 1{,}3$ für Beton $\gamma_M = 1{,}5$
k_{def}	Beiwert für Lasteinwirkungsdauer

Beim Nachweis im Endzustand werden für das Holz die Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmodulen durch „$(1+k_{def})$“ dividiert. Wobei die jeweiligen Beiwerte k_{def} für die Klasse der Lasteinwirkungsdauer „ständig“ zugrunde gelegt werden.

Für Teilquerschnitte aus Beton darf das Elastizitätsmodul E_{cm} nach DIN EN 1992-1-1 angesetzt werden. Beim Nachweis im Endzustand wird vereinfachend das Kriechen durch Division des E-Moduls mit dem Faktor 3,5 berücksichtigt.

	QS	k_{def} [-]	E_{inst} [N/mm²]	k_{def} [-]	K_{inst} [N/mm]	γ [-]	a [cm]
Verbundwerte GZT (Anfangszustand)	1		20000		4191	0.257	8.25
	2		8462			1.000	-9.75
	wirksame Biegesteifigkeit				$(EI)_{ef}$ =	6046	kNm²
Verbundwerte GZT (Endzustand)	QS	k_{def} [-]	E_{fin} [N/mm²]	k_{def} [-]	K_{fin} [N/mm]	γ [-]	a [cm]
	1	2.50	5714	0.60	2619	0.431	9.44
	2	0.60	5288			1.000	-8.56
	wirksame Biegesteifigkeit				$(EI)_{ef}$ =	3247	kNm²
Verbundwerte GZG (Anfangszustand)	QS		E_{inst} [N/mm²]		K_{inst} [N/mm]	γ [-]	a [cm]
	1		30000		8172	0.311	6.80
	2		11000			1.000	-11.20
	wirksame Biegesteifigkeit				$(EI)_{ef}$ =	8804	kNm²
Verbundwerte GZG (Endzustand)	QS	k_{def} [-]	E_{fin} [N/mm²]	k_{def} [-]	K_{fin} [N/mm]	γ [-]	a [cm]
	1	2.50	8571	0.60	5107	0.496	8.17
	2	0.60	6875			1.000	-9.83
	wirksame Biegesteifigkeit				$(EI)_{ef}$ =	4710	kNm²
Verbundwerte GZT Brand (Endzustand)	QS	k_{def} $k_{mod,fi}$ [-]	E_{fin} [N/mm²]	k_{def} $k_{mod,fi}$ [-]	K_{fin} [N/mm]	γ [-]	a [cm]
	1	2.50 1.00	6593	0.60 0.82	3219	0.447	5.54
	2	0.60 0.90	5219			1.000	-11.26
	wirksame Biegesteifigkeit				$(EI)_{ef}$ =	2048	kNm²

Bild 6. Ausgabe „Verbundwerte"

Effektive Steifigkeit

Die Ermittlung der effektiven Steifigkeit „$(EI)_{ef}$" erfolgt im Modul S201.de unter Verwendung des vereinfachten Berechnungsverfahrens, dem sogenannten „γ – Verfahren" nach [1].

Bei diesem Verfahren wird über einen Faktor „γ" die Nachgiebigkeit des Verbindungsmittels (K_{ser} bzw. $K_{u,mean}$) sowie die Dehnsteifigkeit der nachgiebig angeschlossenen Bauteile berücksichtigt.

Ermittlung der effektiven Steifigkeit

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

und

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot s_{1,ef}}{K_1 \cdot l^2}}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 + t$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2 + 2 \cdot t)}{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 + \gamma_2 \cdot E_2 \cdot A_2}$$

mit

$E_1 \cdot A_1$	Dehnsteifigkeit des Betongurtes
K_1/s_1	Fugensteifigkeit
$s_{1,ef}$	effektiver Abstand der in eine Reihe geschoben gedachten Verbindungsmittel der Fuge
t	Dicke der Schalung

Querschnittswerte der Decke

Bei der Ermittlung der Biegesteifigkeiten in Längs- und Querrichtung darf zusätzlich zur Steifigkeit des Balkens auch die Steifigkeit des Estrichs und der Beplankung berücksichtigt werden. Dabei wird (auf der sicheren Seite liegend) angenommen, dass die einzelnen Teile nicht miteinander verbunden sind. Deshalb werden nur die einzelnen Steifigkeiten aufsummiert. Die Steiner-Anteile entfallen.

Querschnittswerte der Decke

$$EI_l = \sum EI_l$$

$$EI_q = \sum EI_q$$

$$\alpha = \frac{b}{l} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_l}{EI_q}}$$ Beiwert α zur Berücksichtigung der zweiachsigen Tragwirkung

$$b_{ef} = \frac{l}{1{,}1} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_b}{EI_l}} \leq b$$ effektive Balkenbreite

mit

EI_l	effektive Biegesteifigkeit in Längsrichtung je m Breite
EI_q	effektive Biegesteifigkeit in Querrichtung je m Breite
l	Feldlänge
b	Deckenbreite

	QS	Beton	f_{ck}	$f_{ck,cube}$	f_{ctm} [N/mm²]	E_{cm}
Mat./Querschnitt: nach DIN EN 1995-1-1, DIN EN 1992-1-1 und Europäische Techn. Zulassung ETA-13/0029						
Materialien	1	C 20/25	20.0	25.0	2.2	30000
	QS	Holz	$f_{m,k}$	f_{t0k}	f_{c0k}	f_{c90k}
	2	NH C24	24.0	14.5	21.0	2.5

	QS	f_{vk}	E_{0mean}	k_{fi} [-]
	2	4.0	11000	1.25

	QS	b [cm]	h [cm]	A [cm²]	I_y [cm⁴]
Querschnittswerte	1	70.0	8.0	560.0	2986.7
	2	12.0	24.0	288.0	13824.0

Dicke Schalung incl. Trennlage	t_S =	2.00	cm
Material Schalung			Nadelholz C24

	EI_l [kNm²/m]	EI_q [kNm²/m]	α [-]	b_{ef} [m]
Querschnittswerte Decke	12577	1280	1.107	4.11

Bild 7. Ausgabe „Querschnittswerte"

Die Biegesteifigkeit in Querrichtung EI_b wird bei einer Holz-Beton-Verbunddecke mit der Biegesteifigkeit des Betons in Querrichtung ermittelt.

Nachweise

Es werden alle notwendigen Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit geführt.

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) werden folgende Nachweise geführt:

- Nachweis der Biegetragfähigkeit
- Nachweis der Zugtragfähigkeit
- Nachweis der Querkrafttragfähigkeit
- Nachweis der Verbindungsmittel je Scherfuge
- Nachweis der Auflagerpressung
- Biegebemessung des Betongurtes und Ermittlung der erforderlichen Bewehrung
- Nachweis der Lagesicherheit

Mit Ausnahme des Nachweises der Auflagerpressung und gegebenenfalls des Brandfalls werden die Nachweise für den Anfangs- und Endzustand geführt.

Vorbemerkung System Belastungen Material/Querschnitt Verbund
Nachweise Ausgabe Erläuterung

Kombinatorik 60
Art: (●) automatische Kombination der Einwirkungen; ( ) manuelle Kombination der Einwirkungen

Grenzzustand der Tragfähigkeit 65
J/N [✓] Nachweise führen

Bemessungsquerkraft 66
Art: ( ) in rechnerischer Auflagerlinie; (●) im Abstand h vom Auflagerrand

Auflagernahe Einzellasten 67
Art: ( ) keine Abminderung; (●) Abmindern

Brandfall 68
J/N [✓] Nachweis führen
t_{req} 30 min Feuerwiderstandsdauer

Auflagerpressung 73
J/N [✓] Nachweis führen
J/N [✓] Erhöhung der wirksamen Querdruckfläche
J/N [✓] Erhöhung der Querdruckfestigkeit

Lagesicherheit 76
J/N [✓] Nachweise führen

Bild 8. Eingabe „Nachweise"- Grenzzustand der Tragfähigkeit

Nachweise (GZT) Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1995-1-1

Endzustand(t→∞)

Biegung, Abs. 6.1.6 — Nachweis der Biegetragfähigkeit

	x [m]	Ek	M_{yd} [kNm]	k_{mod} [-]	σ_{myd} [N/mm²]	f_{myd} [N/mm²]	η [-]
Feld 1	2.50	1	6.66	0.60	2.61	11.08	0.24 *

Zug, Abs. 6.1.2 — Nachweis der Zugtragfähigkeit

	x [m]	Ek	M_{yd} [kNm]	k_{mod} [-]	σ_{t0d} [N/mm²]	f_{t0d} [N/mm²]	η [-]
Feld 1	2.50	1	6.66	0.60	0.79	6.69	0.12 *

Querkraft, Abs. 6.1.7 — Nachweis der Querkrafttragfähigkeit

	x [m]	Ek	V_{zd} [kN]	k_{mod} [-]	τ_{zd} [N/mm²]	f_{vzd} [N/mm²]	η [-]
Feld 1	0.39	1	4.50	0.60	0.30	1.85	0.16
	4.61	1	-4.50	0.60	0.30	1.85	0.16 *

Verbindungsmittel, Abs. 8.2 — Nachweis der Verbindungsmittel je Scherfuge

	x [m]	Ek	V_{zd} [kN]	k_{mod} [-]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]	η [-]
Feld 1	5.00	1	-5.33	0.60	1.58	2.13	0.74 *

Druck, DIN EN 1992-1-1 — Nachweis Druck Betongurt

	x [m]	Ek	M_{yd} [kNm]	σ_{cd} [N/mm²]	f_{cd} [N/mm²]	η [-]
Feld 1	2.50	1	6.66	1.06	11.33	0.09 *

Bemessung Betongurt, DIN EN 1992-1-1 — erforderliche Bewehrung

	x [m]	Ek	M_{yd} [kNm]	$M_{1,yd}$ [kNm]	$N_{1,xd}$ [kN]	a_{su} [cm²/m]	$a_{su,k}$ [cm²/m]	$a_{su,erf}$ [cm²/m]
	0.00	1	0.00	0.00	-0.00	0.00	1.31	1.31 *
	2.50	2	4.94	0.36	-16.76	0.00	1.31	1.31

Bild 9. Ausgabe „Nachweise GZT - Endzustand (t->8)"

Bemessungsquerkraft

Für Biegeträger mit Auflagerung am unteren Trägerrand und Lastangriff am oberen Trägerrand darf der Nachweis der Schubspannungen im Bereich von Endauflagern mit der maßgebenden Querkraft geführt werden. Als maßgebend darf gemäß [2] die Querkraft im Abstand h (h = Trägerhöhe über Auflagermitte) vom Auflagerrand angenommen werden.

Bei der Ermittlung der Bemessungsquerkraft kann diese im Modul S201.de wahlweise in der rechnerischen Auflagerlinie oder im Abstand h vom Auflagerrand ermittelt werden. Je nach Auswahl wird die Querkraft für den Schubnachweis in der rechnerischen Auflagerlinie oder im Abstand der Trägerhöhe über der Auflagermitte vom Auflagerrand bestimmt.

Bemessung im Brandfall

Im Rahmen der Brandnachweise wird der Holzquerschnitt aufgrund des Abbrandes verkleinert, so dass sich eine reduzierte Steifigkeit und Festigkeit ergibt.

Der Brand wirkt sich auch auf die Tragfähigkeit und den Verschiebungsmodul der Verbindungsmittel aus. Nach [1] sind diese Werte in Abhängigkeit der Branddauer und der Holzüberdeckung abzumindern. Im Brandfall werden folgende Nachweise geführt:

- Nachweis der Biegetragfähigkeit
- Nachweis der Zugtragfähigkeit
- Nachweis der Querkrafttragfähigkeit
- Nachweis der Verbindungsmittel je Scherfuge
- Biegebemessung des Betongurtes und Ermittlung der erforderlichen Bewehrung

Nachweise (Brand) nach DIN EN 1995-1-2, 4.2.3
dreiseitige Brandbeanspruchung (unten/links/rechts)
Feuerwiderstandsdauer t_{req} = 30 min
Abbrandrate β_n = 0.80 mm/min

Querschnittswerte Restquerschnitt

QS	$d_{char,n}$ [cm]	b_r [cm]	h_r [cm]	p [cm]	A_r [cm²]	$I_{y,r}$ [cm⁴]
2	2.4	7.2	21.6	50.4	155.5	6046.6

Schnitt M 1:10 — Holz-Beton-Verbundquerschn., im Brandfall

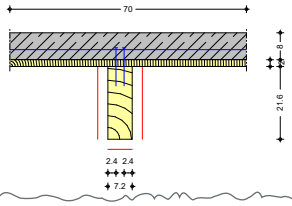


Bild 10. Ausgabe „Nachweise im Brandfall"

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG) sind die Zustände, bei deren Überschreitung Verformungen das Erscheinungsbild oder die planmäßige Nutzung des Tragwerks beeinträchtigen. Schwingende Konstruktionen können Unbehagen bei Nutzern verursachen oder zu Schäden am Bauwerk führen.

Vorbemerkung System Belastungen Material/Querschnitt Verbund
Nachweise Ausgabe Erläuterung

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 77
J/N [✓] Nachweise führen

Verformungsnachweis 78
J/N [✓] Anfangsdurchbiegung
Art: (●) empfohlene Grenzwerte; ( ) Grenzwerte vorgeben
J/N [✓] Enddurchbiegung
Art: (●) empfohlene Grenzwerte; ( ) Grenzwerte vorgeben
J/N [✓] gesamte Enddurchbiegung
Art: (●) empfohlene Grenzwerte; ( ) Grenzwerte vorgeben
J/N [ ] nur positive Durchbiegungen für Nachweis berücksichtigen

Schwingungsnachweis 88
J/N [✓] Nachweis führen
J/N [✓] Teilnachweis Frequenz
J/N [✓] Teilnachweis Steifigkeit
Art: (●) empfohlene Grenzwerte; ( ) Grenzwerte vorgeben
Lage: Decke innerhalb einer Nutzungseinheit
b_{Decke} 5.00 m Deckenbreite
ζ: ( ) Holz-Beton-Verbunddecke ohne Nassestrich; (●) Holz-Beton-Verbunddecke mit Nassestrich

Bild 11. Eingabe „Nachweise"- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Das Modul S201.de führt folgende Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit:
- Verformungsnachweis
- Schwingungsnachweis

Im Modul kann der Umfang der Nachweise sowie die zu beachtenden Grenzwerte festgelegt werden, welche dann in der Nachweisführung berücksichtigt werden.

Nachweis der Verformungen

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.

Im Modul S201.de können für die Haupttragrichtung bis zu drei Nachweise gewählt 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" werden alle Verformungen mit der „quasi-ständigen" Kombination gebildet.

Elastische Anfangsdurchbiegung

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

Enddurchbiegung

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

Gesamte Enddurchbiegung

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

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

Für die Berechnung der Verformung wird gemäß [8] mit der erhöhten Längssteifigkeit $EI_{\text{l,ef}}$ gerechnet.

Erhöhte Längssteifigkeit $EI_{\text{l,ef}}$

$$EI_{\text{l,ef}} = EI_{\text{l}} \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha^4}\right) = EI_{\text{l}} \cdot \left(1 + \frac{l^4}{b^4} \cdot \frac{EI_{\text{q}}}{EI_{\text{l}}}\right) = EI_{\text{l}} + \frac{l^4}{b^4} \cdot EI_{\text{q}}$$

mit

EI_{l}	effektive Biegesteifigkeit in Längsrichtung je m Breite
EI_{q}	effektive Biegesteifigkeit in Querrichtung je m Breite
l	Feldlänge
b	Deckenbreite
α	Beiwert zur Berücksichtigung der zweiachsigen Tragwirkung (siehe „Querschnittswerte der Decke")

Nachweis „Schwingungen bei Holzdecken"

Häufig auftretende Einwirkungen dürfen nach [1], 7.3 keine Schwingungen verursachen, die die Funktion des Bauwerks beeinträchtigen oder bei den Nutzern Unbehagen verursachen.

Bei dem Nachweis der Schwingung einer Holz-Beton-Verbunddecke werden folgende Kriterien überprüft:
- Frequenzkriterium und Beschleunigungskriterium
- Steifigkeitskriterium

Die einzuhaltenden empfohlenen Grenzwerte sind in folgender Tabelle aufgeführt:

Grenzwert	Decke innerhalb einer Nutzungseinheit	Decke zwischen fremden Nutzungseinheiten
f_{grenz}	6 Hz	8 Hz
w_{grenz}	1,0 mm	0,5 mm
a_{grenz}	0,1 m/s²	0,05 m/s²

Tabelle 1. Empfohlene Grenzwerte für die Schwingungsnachweise

Nachweis des Beschleunigungskriteriums

Wenn das Frequenzkriterium nicht eingehalten ist, die Eigenfrequenz f jedoch $\geq$ 4,5 Hz ist, wird das Schwingungsbeschleunigungskriterium untersucht.

Nachweis der Beschleunigung

$$a \leq a_{\text{grenz}}$$

Ermittlung der Beschleunigung

$$a \approx \frac{56}{m \cdot b \cdot l \cdot \gamma} \cdot \frac{1}{\xi}$$

a [m/s²]	Beschleunigung
$m \cdot b \cdot l$	mitschwingende Masse
γ	Beiwert zur Berücksichtigung der Masse im Nachbarfeld
ξ	Lehrsches Dämpfungsmaß in Abhängigkeit des Estrichs

Nachweis des Frequenzkriteriums

Das Frequenzkriterium ist abhängig von der Eigenfrequenz f der gesamten Deckenkonstruktion. Die Eigenfrequenz f der Deckenkonstruktion ergibt sich bei einer Holz-Beton-Verbunddecke aus der Eigenfrequenz des Balkens und dem Beiwert α zur Berücksichtigung der zweiachsigen Tragwirkung.

Nachweis der Eigenfrequenz f

$$f_{\text{grenz}} \leq f$$

Ermittlung der Eigenfrequenz

$$f = f_{\text{Platten}} = f_{\text{Balken}} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\alpha^4}}$$

$$f_{\text{Balken}} = \frac{5}{\sqrt{0{,}8 \cdot w}}$$

mit

w [cm]	Durchbiegung aus ständiger Einwirkung
α	Beiwert zur Berücksichtigung der zweiachsigen Tragwirkung (siehe „Querschnittswerte der Decke")

Ermittlung des Steifigkeitskriteriums

Beim Nachweis des Steifigkeitskriteriums wird nachgewiesen, dass die Durchbiegung unter einer Einzellast von 2 kN kleiner ist als der Grenzwert w_{grenz} nach Tabelle 1.

Die Ermittlung der Durchbiegung erfolgt unter Berücksichtigung der Querverteilung der Schwingung (b_{ef}) und einem Einfeldträger als statisches System. Die Ermittlung der Gesamtbiegesteifigkeit der Decke in Längs- bzw. Querrichtung wird ohne Steineranteile durchgeführt. D.h. es werden lediglich die einzelnen Steifigkeiten aufsummiert.

Ermittlung der Durchbiegung unter einer Einzellast

$$w_{2\text{kN}} = \frac{2 \cdot l^3}{48 \cdot EI_{\text{ef}}}$$

$$EI_{\text{ef}} = \left(\sum EI_{\text{l}}\right) \cdot b_{\text{ef}}$$

mit

EI_{ef}	wirksame Biegesteifigkeit für einen Plattenstreifen der Breite b_{ef}
b_{ef}	wirksame Breite
EI_{l}	Biegesteifigkeit der Decke in Längsrichtung pro m Breite

Nachweise (GZG)

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach DIN EN 1995-1-1

- Decke innerhalb einer Nutzungseinheit

Verformungen
Abs. 7.2

Nachweise der Verformungen

x [m]	Ek	Norm	w_{vorh} [mm]		w_{zul} [mm]	η [-]
Feld 1	*(L= 8.00 m, NKL 1, k_{def} = 0.60)*					
4.00	4	w_{inst}	9.6	l/300=	26.7	0.36
4.00	4	w_{fin}	17.9	l/200=	40.0	0.45
4.00	5	$w_{net,fin}$	17.9	l/300=	26.7	0.67

Schwingungen

Nachweis nach F. Colling, 'Holzbau', 07/2012 und P. Hamm, 'Schwingungen bei Holzdecken', 2012

Decke innerhalb einer Nutzungseinheit

Frequenzkriterium

f_1 [Hz]	f_{grenz} [Hz]	η [-]
5.7	6.0	1.05

Schwingbeschleunigungskriterium

m [kg/m²]	ζ [-]	a [m/s²]	a_{grenz} [m/s²]	η [-]
225.68	0.035	0.09	0.10	0.89

Steifigkeitskriterium

w_{2kN} [mm]	w_{grenz} [mm]	η [-]
0.41	1.00	0.41

Schubverformungen wurden nicht berücksichtigt.

Die Konstruktion ist bis zum Erreichen einer ausreichenden Betonfestigkeit zu unterstützen.

Bild 12. Ausgabe „Nachweise (GZG)“

Ausgabe

Es wird eine vollständige, übersichtliche und prüffähige Ausgabe der Nachweise zur Verfügung gestellt. Der Anwender kann den Ausgabeumfang in der gewohnten Weise steuern.

Die Steifigkeiten und Querschnittswerte werden detailliert für den Grundzustand der Tragfähigkeit sowie für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit dokumentiert. Die Nachweise werden nachvollziehbar für den Anfangs- sowie für den Endzustand dokumentiert.

Dipl.-Ing. David Hübel
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/NA: Nationaler Anhang Eurocode 5 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Ausgabe Dezember 2010. Beuth Verlag.

[3] DIN EN 1995-1-2: Eurocode 5 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Ausgabe Dezember 2010. Beuth Verlag.

[4] DIN EN 1990: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe Dezember 2010, Beuth Verlag.

[5] DIN EN 1991-1-1: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke. Ausgabe Dezember 2010. Beuth Verlag

[6] DIN EN 199211: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010

[7] DIN EN 199211/NA:201101, Eurocode 2: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

[8] Hamm, P.: Schwingungen bei Holzdecken – Konstruktionsregeln für die Praxis. In: 2. Internationales Forum Holzbau Beaune 2012. 8./9. März 2012. Beaune, Frankreich. Hrsg.: Forum-Holzbau, CH-Biel.

[9] Colling, F.: Holzbau - Grundlagen und Bemessung nach EC 5. 3. Auflage, Juli 2012. Springer Vieweg.

Preise und Angebote

S201.de Holz-Beton-Verbunddecke – EC 5, DIN EN 1995-1-1:2010-12
Weitere Informationen unter
https://www.mbaec.de/modul/S201de

BauStatik 5er-Paket
bestehend aus **5 BauStatik-Modulen deutscher Norm** nach Wahl

BauStatik 10er-Paket
bestehend aus **10 BauStatik-Modulen deutscher Norm** nach Wahl

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: Juli 2022

Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)

Preisliste: www.mbaec.de