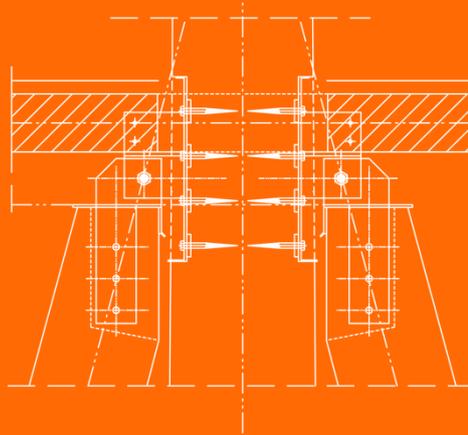


Holzbau II

259.383 Holzbau 2 WS15 | VU 3.0h, 4ECTS

Übung 2 - Holzbetonverbund
DI C.Radlherr

Darf nur zu Studienzwecken
verwendet werden;
© ITI / TU Wien, 2015



Institut für Architekturwissenschaften
Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau
o.Univ.Prof. DDI Wolfgang Winter

Eurocode 5 -1: Vorschläge zur Bemessung von nachgiebig verbundenen Querschnitten Das γ -Verfahren

Gemeinsam mit den Zulassungsunterlagen des Verbindungsmittelhersteller ist es möglich Aussagen zum Verhalten des Bauteils zum **Zeitpunkt $t=0$** und zum **Zeitpunkt $t=\infty$** zu machen.

Der Rechenwert des **E-Moduls des Holzes** zum Zeitpunkt $t = \infty$ darf in der Nutzungsklasse 1 zu **2/3** und in der Nutzungsklasse 2 zu **1/3** des Wertes bei $t = 0$ angenommen werden.

Der Rechenwert des **E-Moduls des Betons** zum Zeitpunkt $t = \infty$ darf mit **900 kN/cm²** angenommen werden.

Nachgiebig verbundene Biegestäbe

In der Holzbaubemessung wird zur Ermittlung der wirksamen Biegesteifigkeit das **γ -Nährungs-Verfahren** verwendet.

γ ist hierbei der Abminderungsbeiwert für den **steinerschen Biegesteifigkeitsanteil** und resultiert aus der geschlossenen Lösung eines das Tragverhalten beschreibenden Differentialgleichungssystems.

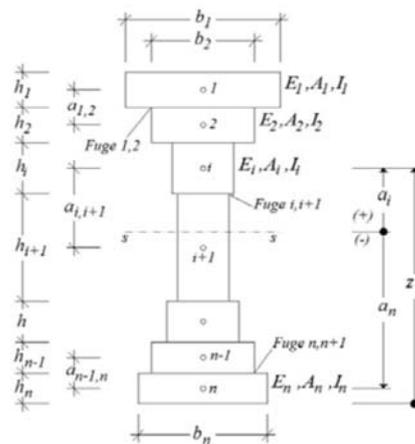
Nachgiebig verbundene Biegestäbe

$$\text{DGL I: } \frac{d^2(-E_i A_i \varepsilon_i(x))}{dx^2} = k_{i,i+1} \cdot (a_{i,i+1} \cdot w''(x) - \varepsilon_i(x) + \varepsilon_{i+1}(x)) - k_{i-1,i} \cdot (a_{i-1,i} \cdot w''(x) - \varepsilon_{i-1}(x) + \varepsilon_i(x))$$

$$\text{DGL II: } -M(x) = \sum_{i=1}^n EI_i \cdot w''(x) + \sum_{i=1}^n E_i A_i \cdot \varepsilon_i(x) \cdot a_i$$

- mit:
- k = K/s = Fugensteifigkeit
 - w = Durchbiegung
 - ε = Einzelquerschnittsdehnung
 - M = äußeres Moment

K ... Anfangsverschiebungsmodul
 s ... Abstand Verbindungsmittel in Spannrichtung



W. Schelling: Zur Berechnung nachgiebig zusammengesetzter Biegeträger aus beliebig vielen Einzelquerschnitten. In: Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis, Bruderverlag, Karlsruhe, 1982

Vereinfachte Berechnungsmethode (γ -Verfahren)

Für Einfeldträger unter gleichmässig verteilter Belastung oder unter mehreren Einzellasten mit zweiteiligem einfachsymmetrischem Verbundquerschnitt gemäss Bild 4 dürfen die Schnittgrössen mit der vereinfachten Berechnungsmethode (γ -Verfahren) ermittelt werden.

Bild 4
Spannungsverteilung für den zweiteiligen Verbundquerschnitt

Die wirksame Biegesteifigkeit darf wie folgt berechnet werden:

$$EI_{ef} = E_2 \cdot I_{ef} = E_2 \cdot \left(n \cdot I_1 + I_2 + \gamma \cdot \frac{n \cdot A_1 \cdot A_2}{n \cdot A_1 + A_2} \cdot e^2 \right) \quad (9)$$

Mit

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{n^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1}{K/s \cdot r^2 \cdot e}} \quad e = \frac{h_1}{2} + t + \frac{h_2}{2} \quad (10)$$

$$a_1 = \frac{A_2 \cdot e}{n \cdot A_1 + A_2} \quad a_2 = \frac{n \cdot A_1 \cdot e}{n \cdot A_1 + A_2} \quad (11)$$

Die Bemessungswerte der Normalspannungen gemäss Bild 4 werden folgendermassen berechnet:

$$\sigma_{1,N,d} = \frac{M_d}{I_{ef}} \cdot n \cdot \gamma \cdot a_1 \quad \sigma_{1,M,d} = \frac{M_d}{I_{ef}} \cdot n \cdot \frac{h_1}{2} \quad (12)$$

$$\sigma_{2,N,d} = \frac{M_d}{I_{ef}} \cdot \gamma \cdot a_2 \quad \sigma_{2,M,d} = \frac{M_d}{I_{ef}} \cdot \frac{h_2}{2} \quad (13)$$

Quelle: Merkblatt Brandschutz Deckensysteme Holz-Beton-Verbund mit 60 Minuten Feuerwiderstand © 2001 by Lignum Schweizerische Holzwirtschaftskonferenz, Zürich

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

Nachgiebig verbundene Biegestäbe

Die grössten Schubspannungen der Teilquerschnitte ergeben sich jeweils in der Spannungsnullebene. Der Bemessungswert der grössten Schubspannung im Holzquerschnitt ergibt sich zu:

$$\tau_{2,d,max} = \frac{V_d}{2 \cdot I_{ef}} \cdot \left(\gamma \cdot a_2 + \frac{h_2}{2} \right)^2 \quad (14)$$

Der Bemessungswert des Schubflusses t_d und der daraus resultierende Bemessungswert der Beanspruchung T_d des Verbindungsmittels lassen sich wie folgt berechnen:

$$t_d = V_d \cdot \frac{n \cdot \gamma \cdot a_1 \cdot A_1}{I_{ef}} \quad T_d = t_d \cdot s \quad (15)$$

Werden die Verbindungsmittelabstände entsprechend der Querkraftlinie zwischen s_{min} und s_{max} abgestuft, darf für die Berechnung der wirksamen Biegesteifigkeit der folgende effektive Verbindungsmittelabstand s_{ef} verwendet werden:

$$s_{ef} = 0.75 \cdot s_{min} + 0.25 \cdot s_{max} \quad \text{mit} \quad s_{max} \leq 4 \cdot s_{min} \quad (16)$$

Quelle: Merkblatt Brandschutz Deckensysteme Holz-Beton-Verbund mit 60 Minuten Feuerwiderstand © 2001 by Lignum Schweizerische Holzwirtschaftskonferenz, Zürich

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

9.1.3 Nachgiebig verbundene Biegestäbe

- (1) P Wenn der Querschnitt eines tragenden Bauteiles aus mehreren Teilen mit Hilfe von mechanischen Verbindungsmitteln zusammengesetzt ist, ist der Einfluss der Nachgiebigkeit in den Verbindungen zu berücksichtigen.
- (2) Für Berechnungen ist in der Regel eine geradlinige Beziehung zwischen Kräften und Verformungen anzunehmen.
- (3) Wenn der Verbindungsmittelabstand in Längsrichtung gemäß dem Schubkraftverlauf zwischen s_{\min} und s_{\max} ($\leq 4 s_{\min}$) abgestuft wird, darf ein effektiver Verbindungsmittelabstand s_{ef} wie folgt angesetzt werden:

$$s_{\text{ef}} = 0,75s_{\min} + 0,25s_{\max} \quad (9.17)$$

ANMERKUNG

Ein Verfahren zur Berechnung der Tragfähigkeit nachgiebig zusammengesetzter Biegestäbe enthält der Anhang B (informativ).

EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008 (D)

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Nachgiebig verbundene Biegestäbe

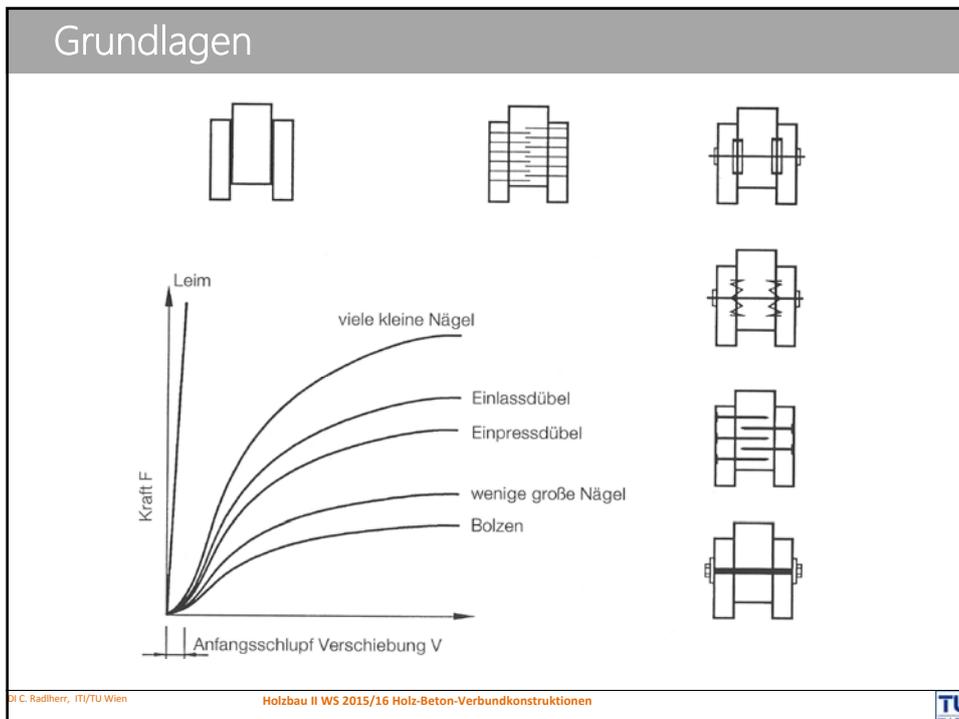
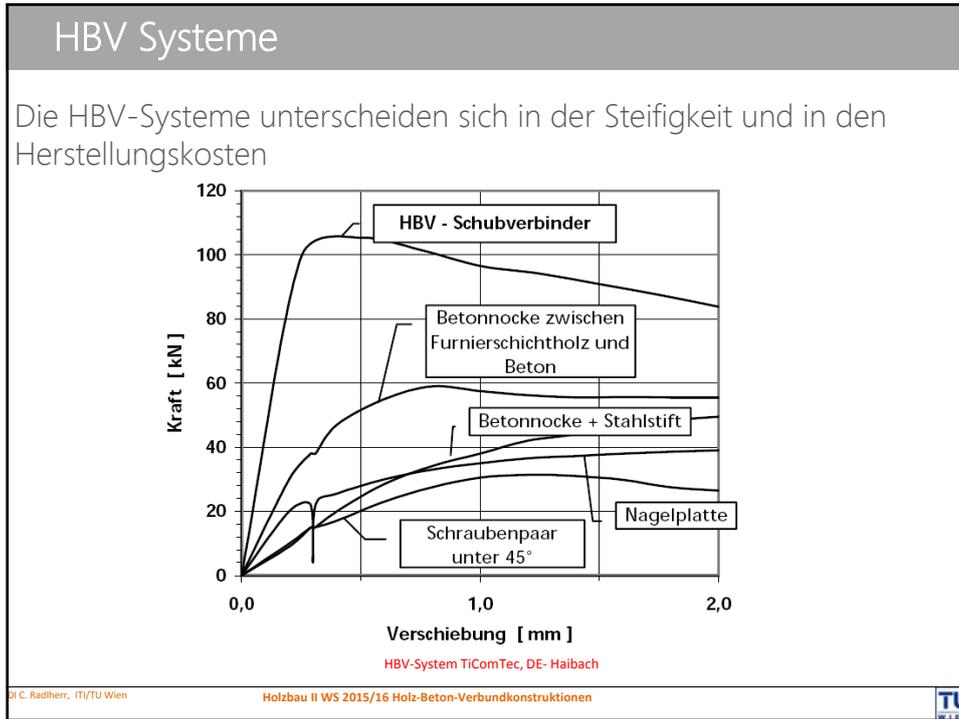
Bei der Berechnung von γ wird durch die konstante Fugensteifigkeit k eine elastische Schubkraftübertragung in der Verbindungsmittelfuge zugrunde gelegt.

Mechanische Verbindungsmittel sind aber in Realität **nicht ideal elastisch** und haben eine nichtlineare Kraft-Verformungs-Kurve. Für die Bemessung werden sie unter Verwendung der zum Gebrauchslastniveau gehörenden Verschiebung **linearisiert**. Diese werden nur für Verformungsprognosen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit den Bemessungen zugrunde gelegt.

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen





Verschiebungsmodul (GZG, GZT)

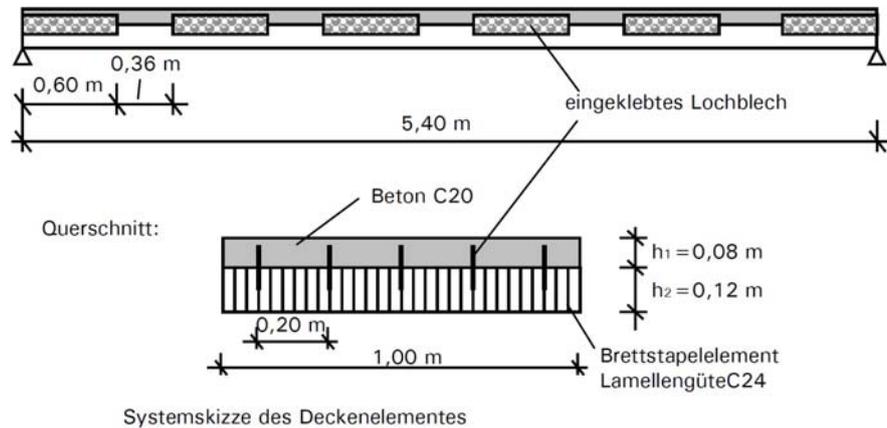
K_{ser} Verschiebungsmodul für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Verbindungsmittel	Verbindung Holz-Holz, Holz-Holzwerkstoff, Stahl-Holz
Stiftförmige metallische Verbindungsmittel	
Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, Gewindestangen ³⁾	$\rho_k^{1,5} \cdot d / 20$
Nägel und Holzschrauben in vorgebohrten Löchern	$\rho_k^{1,5} \cdot d^{0,8} / 25$
Nägel und Holzschrauben in nicht vorgebohrten Löchern ⁴⁾	$\rho_k^{1,5} \cdot d^{0,8} / 60$
Klammern ⁴⁾	$\rho_k^{1,5} \cdot d^{0,8} / 60$
Dübel besonderer Bauart	
Ringdübel Typ A1, Scheibendübel Typ B1	$0,6 \cdot d_c \cdot \rho_k$
Scheibendübel mit Zähnen Typ C1 bis C5	$0,3 \cdot d_c \cdot \rho_k$
Scheibendübel mit Dornen Typ C10, C11	$0,45 \cdot d_c \cdot \rho_k$

Bemessung einer Holz-Beton-Verbunddecke

Beispiel

Die Decken des Gebäudes sollen in Holz-Beton-Verbundbauweise ausgeführt werden. Die vorgefertigten Deckenelemente bestehen aus Brettstapelbauteilen, die über eingeklebte Lochbleche mit einer Betondeckschicht verbunden sind. Das System und die Abmessungen sind in nachfolgender Abbildung schematisch dargestellt.



Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapel, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



HBV-Systeme - Geklebte Verbindung

HBV - Schubverbinder

HBV-Schubverbinder im Lignotrendelement



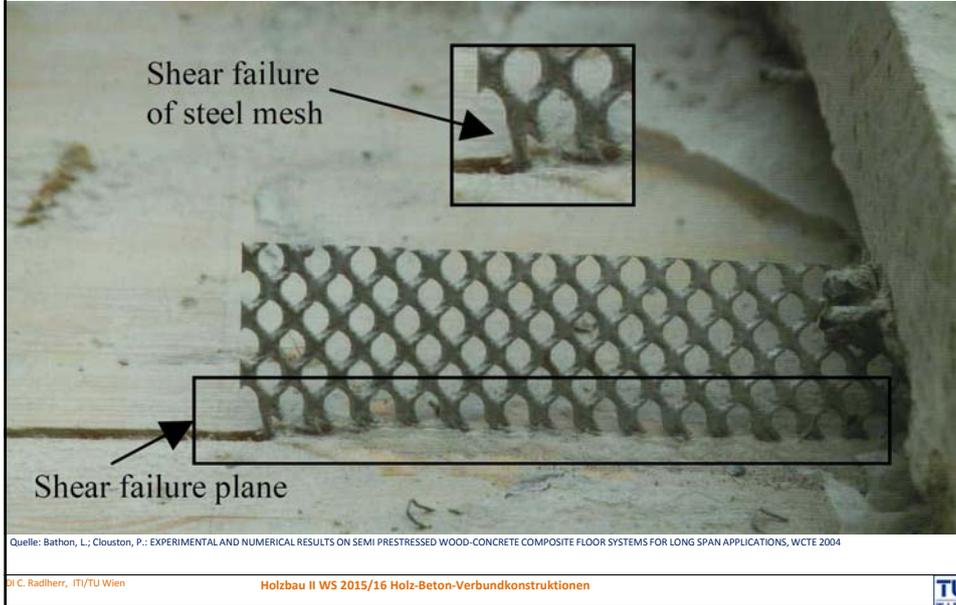
DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



HBV-Systeme - Geklebte Verbindung

HBV - Schubverbinder



Belastung und Schnittgrößenermittlung

Eigengewicht

Betonquerschnitt $0,08 \cdot 25,0 = 2,00 \text{ kN/m}^2$

Holzquerschnitt $0,12 \cdot 5,0 = 0,60 \text{ kN/m}^2$

Ausbau $1,50 \text{ kN/m}^2$

Trennwände $0,80 \text{ kN/m}^2$

$g_k = 4,90 \text{ kN/m}^2$

Nutzlasten (KLED: „kurz“)

Nutzungskategorie B1 $q_k = 2,00 \text{ kN/m}^2$

Schnittgrößen

$$M_d = (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) \cdot \frac{l^2}{8} = (1,35 \cdot 4,9 + 1,5 \cdot 2,0) \cdot \frac{5,4^2}{8} = 35,0 \text{ kNm}$$

$$V_d = (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) \cdot \frac{l}{2} = (1,35 \cdot 4,9 + 1,5 \cdot 2,0) \cdot \frac{5,4}{2} = 26,0 \text{ kN}$$

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Zusammenfassung der Materialkennwerte

		t = 0	t = ∞
E _{Beton} [MN/m ²]	GZG/GZT	28800	28800/3,5 = 8230
E _{Holz} [MN/m ²]	GZG/GZT	11000	2/3 · 11000 = 7333
K _{ser} [MN/m]	GZG	0,825 · 600 = 495	0,5 · 495 = 248
	GZT	2/3 · 495 = 330	0,5 · 330 = 165

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

Zeitpunkt t = 0

Steifigkeitsermittlung

- Betonquerschnitt

$$EA_1 = E_{cm} \cdot h_1 = 28800 \cdot 0,08 = 2300 \text{ MN}$$

$$EI_1 = E_{cm} \cdot h_1^3 / 12 = 28800 \cdot 0,08^3 / 12 = 1,23 \text{ MN} / \text{m}^2$$

- Holzquerschnitt

$$EA_2 = E_{0,mean} \cdot h_2 = 11000 \cdot 0,12 = 1320 \text{ MN}$$

$$EI_2 = E_{0,mean} \cdot h_2^3 / 12 = 11000 \cdot 0,12^3 / 12 = 1,58 \text{ MN} / \text{m}^2$$

- Nachgiebigkeit der Verbundfuge

$$k = n \cdot K / s_i = 5 \cdot 330 / 0,96 = 1720 \text{ MN} / \text{m}^2$$

mit:

Anzahl der Verbindungsmittelreihen je Elementbreite n = 5

Abstand der Schubverbinder in Spannrichtung s_i = 0,96 m

- effektive Steifigkeit

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + EA_1 \cdot \frac{\pi^2}{k \cdot l^2}} = \frac{1}{1 + 2300 \cdot \frac{\pi^2}{1720 \cdot 5,4^2}} = 0,69$$

$$efEI = EI_1 + EI_2 + a^2 \cdot \frac{EA_1 \cdot \gamma_1 \cdot EA_2}{EA_1 \cdot \gamma_1 + EA_2}$$

$$efEI = 1,23 + 1,58 + 0,1^2 \cdot \frac{2300 \cdot 0,69 \cdot 1320}{2300 \cdot 0,69 + 1320} = 10,0 \text{ MN} / \text{m}^2$$

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Schnittgrößen in den Teilquerschnitten

$$M_{1,d} = M_d \cdot \frac{EI_1}{efEI} = 36,0 \cdot \frac{1,23}{10,0} = 4,43 \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = M_d \cdot \frac{EI_2}{efEI} = 36,0 \cdot \frac{1,58}{10,0} = 5,69 \text{ kNm}$$

$$N_{1,d} = -N_{2,d} = -\frac{M_d - M_{1,d} - M_{2,d}}{a} = -\frac{36,0 - 4,43 - 5,69}{0,1} = -258,8 \text{ kN}$$

Spannungsermittlung und Nachweisführung am Betonquerschnitt

- maximale Randspannung

$$\sigma_{1,Ro,d} = \frac{N_{1,d}}{A_1} - \frac{M_{1,d}}{W_1} = \frac{-0,259}{0,08} - \frac{4,43 \cdot 10^{-3}}{0,08^2 / 6} = -3,24 - 4,15 = 7,39 \text{ MN} / \text{m}^2$$

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

Dr. C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



In Österreich gemäß EC 2, NAD
= 1,0 !!

Nachweis: $\frac{\sigma_{1,Ro,d}}{\alpha \cdot f_{c,k} / \gamma_M} = \frac{7,39}{0,85 \cdot 20 / 1,5} = 0,65 \leq 1,0$

- Randspannung in der Fuge

$$\sigma_{1,Ru,d} = \frac{N_{1,d}}{A_1} + \frac{M_{1,d}}{W_1} = \frac{-0,259}{0,08} + \frac{4,43 \cdot 10^{-3}}{0,08^2 / 6} = -3,24 + 4,15 = 0,91 \text{ MN} / \text{m}^2$$

Nachweis der Betonzugspannung:

Der Betonquerschnitt darf unbewehrt ausgeführt werden, wenn gilt:

$$\sigma_{1,Ru,d} = 0,91 \text{ MN} / \text{m}^2 \leq \frac{f_{c,t,k;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,5}{1,55} = 0,97 \text{ MN} / \text{m}^2$$

Zur Aufnahme von Zwangseinwirkungen und Eigenspannungen muss eine Mindestbewehrung entsprechend einer Betonstahlmatte Q188 angeordnet werden.

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

Dr. C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Spannungsermittlung und Nachweisführung am Holzquerschnitt

- Schwerpunktspannung

$$\sigma_{2,t,d} = \frac{N_{2,d}}{A_2} = \frac{0,259}{0,12} = 2,15 \text{ MN/m}^2$$

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{2,t,d}}{k_{\text{mod}} \cdot f_{t,o,k} / \gamma_M} = \frac{2,15}{0,9 \cdot 14 / 1,3} = 0,22 \leq 1,0$$

- Biegerandspannung

$$\sigma_{2,m,d} = \sigma_{2,t,d} + \frac{M_{2,d}}{W_2} = 2,15 + \frac{5,69 \cdot 10^{-3}}{0,12^2 / 6} = 4,52 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Nachweis: } \frac{\sigma_{2,m,d}}{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k} / \gamma_M} = \frac{4,52}{0,9 \cdot 24 / 1,3} = 0,27 \leq 1,0$$

- Schubspannung

$$a_2 = a \cdot \frac{\gamma_1 \cdot EA_1}{\gamma_1 \cdot EA_1 + EA_2} = 0,1 \cdot \frac{0,69 \cdot 2300}{0,69 \cdot 2300 + 1320} = 0,055 \text{ m}$$

$$h = a_2 + h_2 / 2 = 0,055 + 0,12 / 2 = 0,115 \text{ m}$$

$$\tau_{\text{max},d} = V_d \cdot \frac{0,5 \cdot E_2 \cdot h^2}{efEI} = 26,0 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,5 \cdot 11000 \cdot 0,115^2}{10,0} = 0,19 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Nachweis: } \frac{\tau_{\text{max},d}}{k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k} / \gamma_M} = \frac{0,19}{0,9 \cdot 2,0 / 1,3} = 0,14 \leq 1,0$$

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettspertholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

Dr. C. Radlherr, ITU/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Spannungsermittlung und Nachweisführung der Schubverbinder

- Schubfluss in der Fuge

$$a_1 = a \cdot \frac{EA_2}{\gamma_1 \cdot EA_1 + EA_2} = 0,1 \cdot \frac{1320}{0,69 \cdot 2300 + 1320} = 0,045 \text{ m}$$

$$t_d = V_d \cdot \frac{\gamma_1 \cdot EA_1 \cdot a_1}{efEI} = 26,0 \cdot \frac{0,69 \cdot 2300 \cdot 0,045}{10,0} = 186,0 \text{ kN/m}$$

- Beanspruchung eines Lochblechs

Vereinfacht wird die Beanspruchung F_d eines Verbinders unter der Annahme eines konstanten Schubflusses in der Fuge ermittelt. Der zuvor ermittelte maximale Schubfluss t_d verteilt sich auf die nebeneinander angeordneten Lochbleche ($n = 5$). Damit gilt:

$$F_d = t_d / n \cdot s_i = 186,0 / 5 \cdot 0,96 = 35,7 \text{ kN}$$

Die maximal aufnehmbare Längsschubkraft eines Verbinders beträgt:

$$T_d = k_{\text{mod}} \cdot T_k \cdot l_{VB} / \gamma_M = 0,9 \cdot 0,16 \cdot 600 / 1,3 = 66,5 \text{ kN}$$

mit: $T_k = 0,16 \text{ kN je mm [75]}$

$$\text{Nachweis: } \frac{F_d}{T_d} = \frac{35,7}{66,5} = 0,54 \leq 1,0$$

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettspertholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

Dr. C. Radlherr, ITU/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Zeitpunkt $t = \infty$

Steifigkeitsermittlung

- Betonquerschnitt**

$$EA_1 = E_{cm} \cdot h_1 = 8230 \cdot 0,08 = 660 \text{ MN}$$

$$EI_1 = E_{cm} \cdot h_1^3 / 12 = 8230 \cdot 0,08^3 / 12 = 0,35 \text{ MN} / \text{m}^2$$
- Holzquerschnitt**

$$EA_2 = E_{0,mean} \cdot h_2 = 7333 \cdot 0,12 = 880 \text{ MN}$$

$$EI_2 = E_{0,mean} \cdot h_2^3 / 12 = 7333 \cdot 0,12^3 / 12 = 1,05 \text{ MN} / \text{m}^2$$
- Nachgiebigkeit der Verbundfuge**

$$k = n \cdot K / s_j = 5 \cdot 165 / 0,96 = 860 \text{ MN} / \text{m}^2$$

mit:
Anzahl der Verbindungsmittelreihen je Elementbreite $n = 5$
Abstand der Schubverbinder in Spannrichtung $s_j = 0,96 \text{ m}$

- effektive Steifigkeit**

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + EA_1 \cdot \frac{\pi^2}{k \cdot l^2}} = \frac{1}{1 + 660 \cdot \frac{\pi^2}{860 \cdot 5,4^2}} = 0,79$$

$$efEI = EI_1 + EI_2 + a^2 \cdot \frac{EA_1 \cdot \gamma_1 \cdot EA_2}{EA_1 \cdot \gamma_1 + EA_2}$$

$$efEI = 0,35 + 1,05 + 0,1^2 \cdot \frac{660 \cdot 0,79 \cdot 880}{660 \cdot 0,79 + 880} = 4,67 \text{ MN} / \text{m}^2$$

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

DI C. Radlherr, ITU/TU Wien Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen 

Schnitt- und Verformungsgrößen aufgrund der Schwindverkürzung des Betons

- Festhaltekraft F_0**

$$F_0 = \epsilon_{shr} \cdot EA_1 = \epsilon_{shr} \cdot EA_1 = 30 \cdot 10^{-5} \cdot 660 = 198 \text{ kN}$$
Gesamtschwinddehnung
- Normalkräfte in den Teilquerschnitten**
Unter der Vereinfachung, dass die Mitwirkung des Holzquerschnittes direkt bei der Krafteinleitung beginnt, kann von starr verbundenen Querschnittsteilen ausgegangen werden. Es gelten folgende Steifigkeitswerte:

$$EI = EI_1 + EI_2 + a^2 \cdot \frac{EA_1 \cdot EA_2}{EA_1 + EA_2} = 0,35 + 1,05 + 0,1^2 \cdot \frac{660 \cdot 880}{660 + 880} = 5,17 \text{ MN} / \text{m}^2$$

$$EA = EA_1 + EA_2 = 660 + 880 = 1540 \text{ MN}$$
Die Normalkräfte in den Teilquerschnitten betragen:

$$N_{1,S} = F_0 - F_0 \cdot \left(1 + a^2 \cdot \frac{EA_2^2}{EA \cdot EI} \right) \cdot \frac{EA_1}{EA}$$

$$N_{1,S} = 198 - 198 \cdot \left(1 + 0,1^2 \cdot \frac{880^2}{1540 \cdot 5,17} \right) \cdot \frac{660}{1540} = 30,6 \text{ kN}$$

$$N_{2,S} = -N_{1,S} = -30,6 \text{ kN}$$
- Biegemomente in den Teilquerschnitten**
Für das Biegemoment gilt:

$$M_S = F_0 \cdot a_1 = 198 \cdot 0,057 = 11,29 \text{ kNm}$$
mit: $a_1 = a \cdot \frac{EA_2}{EA_1 + EA_2} = 0,1 \cdot \frac{880}{660 + 880} = 0,057 \text{ m}$

$$M_{1,S} = M_S \cdot \frac{EI_1}{EI} = 11,29 \cdot \frac{0,35}{5,17} = 0,76 \text{ kNm}$$

$$M_{2,S} = M_S \cdot \frac{EI_2}{EI} = 11,29 \cdot \frac{1,05}{5,17} = 2,29 \text{ kNm}$$
Die Schnittgrößen aus Schwinden müssen im Gleichgewicht stehen.
Kontrolle: $M_{1,S} + M_{2,S} = 0,76 + 2,29 = 3,05 \text{ kNm} \approx N_{1,S} \cdot a = 30,6 \cdot 0,1 = 3,06 \text{ kNm}$

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

DI C. Radlherr, ITU/TU Wien Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen 

• Durchbiegung infolge Schwindverkürzung des Betongurtes

$$w_{S,fin} = \frac{M_S \cdot l^2}{8 \cdot EI} = \frac{1129 \cdot 5,4^2}{8 \cdot 5,17} = 8,0 \text{ mm}$$

Resultierende Schnittgrößen in den Teilquerschnitten

$$M_{1,d} = M_d \cdot \frac{EI_1}{eEI} + M_{1,S} = 36,0 \cdot \frac{0,35}{4,67} + 0,76 = 3,46 \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = M_d \cdot \frac{EI_2}{eEI} + M_{2,S} = 36,0 \cdot \frac{1,05}{4,67} + 2,29 = 10,38 \text{ kNm}$$

$$N_{1,d} = -N_{2,d} = -\frac{M_d - M_{1,d} - M_{2,d}}{a} + N_{1,S} = -\frac{36,0 - 2,70 - 8,09}{0,1} + 30,6 = -2215 \text{ kN}$$

Spannungsermittlung und Nachweisführung am Betonquerschnitt

• maximale Randspannung

$$\sigma_{1,Ro,d} = \frac{N_{1,d}}{A_1} - \frac{M_{1,d}}{W_1} = \frac{-0,222}{0,08} - \frac{3,46 \cdot 10^{-3}}{0,08^2 / 6} = -2,78 - 3,24 = -6,02 \text{ MN/m}^2$$

Nachweis: $\frac{\sigma_{1,Ro,d}}{\alpha \cdot f_{c,k} / \gamma_M} = \frac{6,02}{0,85 \cdot 20 / 1,5} = 0,53 \leq 1,0$

• Randspannung in der Fuge

$$\sigma_{1,Ru,d} = \frac{N_{1,d}}{A_1} + \frac{M_{1,d}}{W_1} = \frac{-0,222}{0,08} + \frac{3,46 \cdot 10^{-3}}{0,08^2 / 6} = -2,78 + 3,24 = -0,46 \text{ MN/m}^2$$

Nachweis: $\frac{\sigma_{1,Ru,d}}{f_{c,t,k;0,05} / \gamma_c} = \frac{0,46}{1,5 / 1,55} = 0,48 \leq 1,0$

In Österreich gemäß EC 2, NAD = 1,0 !!

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen 

Spannungsermittlung und Nachweisführung am Holzquerschnitt

• Schwerpunktspannung

$$\sigma_{2,t,d} = \frac{N_{2,d}}{A_2} = \frac{0,222}{0,12} = 1,85 \text{ MN/m}^2$$

Nachweis: $\frac{\sigma_{2,t,d}}{k_{mod} \cdot f_{t,0,k} / \gamma_M} = \frac{1,85}{0,9 \cdot 14 / 1,3} = 0,19 \leq 1,0$

• Biegerandspannung

$$\sigma_{2,m,d} = \sigma_{2,t,d} + \frac{M_{2,d}}{W_2} = 1,85 + \frac{10,38 \cdot 10^{-3}}{0,12^2 / 6} = 6,18 \text{ MN/m}^2$$

Nachweis: $\frac{\sigma_{2,m,d}}{k_{mod} \cdot f_{m,k} / \gamma_M} = \frac{6,18}{0,9 \cdot 24 / 1,3} = 0,37 \leq 1,0$

• Schubspannung

$$a_2 = a \cdot \frac{\gamma_1 \cdot EA_1}{\gamma_1 \cdot EA_1 + EA_2} = 0,1 \cdot \frac{0,79 \cdot 660}{0,79 \cdot 660 + 880} = 0,037 \text{ m}$$

$$h = a_2 + h_2 / 2 = 0,037 + 0,12 / 2 = 0,097 \text{ m}$$

$$\tau_{max,d} = V_d \cdot \frac{0,5 \cdot E_2 \cdot h^2}{eEI} = 26,0 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,5 \cdot 7333 \cdot 0,097^2}{4,67} = 0,19 \text{ MN/m}^2$$

Nachweis: $\frac{\tau_{max,d}}{k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M} = \frac{0,19}{0,9 \cdot 2,0 / 1,3} = 0,14 \leq 1,0$

Spannungsermittlung und Nachweisführung der Schubverbinder

• Schubfluss in der Fuge

$$a_1 = a \cdot \frac{EA_2}{\gamma_1 \cdot EA_1 + EA_2} = 0,1 \cdot \frac{880}{0,79 \cdot 660 + 880} = 0,063 \text{ m}$$

$$t_d = V_d \cdot \frac{\gamma_1 \cdot EA_1 \cdot a_1}{eEI} = 26,0 \cdot \frac{0,79 \cdot 660 \cdot 0,063}{4,67} = 183,0 \text{ kN/m}$$

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen 

- Beanspruchung eines Lochblechs

Vereinfacht wird die Beanspruchung F_d eines Verbinders unter der Annahme eines konstanten Schubflusses in der Fuge ermittelt. Der zuvor ermittelte maximale Schubfluss t_d verteilt sich auf die nebeneinander angeordneten Lochbleche ($n = 5$). Damit gilt:

$$F_d = t_d / n \cdot s_i = 183,0 / 5 \cdot 0,96 = 35,1 \text{ kN}$$

Die maximal aufnehmbare Längsschubkraft eines Verbinders beträgt:

$$T_d = k_{\text{mod}} \cdot T_k \cdot l_{VB} / \gamma_M = 0,9 \cdot 0,16 \cdot 600 / 1,3 = 66,5 \text{ kN}$$

mit: $T_k = 0,16 \text{ kN je mm [75]}$

$$\text{Nachweis: } \frac{F_d}{T_d} = \frac{35,1}{66,5} = 0,53 \leq 1,0$$

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

Dr. C. Radlherr, ITU/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

Verformungsnachweise

Steifigkeitsermittlung zum Zeitpunkt $t = 0$

- Betonquerschnitt

$$EA_1 = 2300 \text{ MN} \quad EI_1 = 1,23 \text{ MN} / \text{m}^2$$

- Holzquerschnitt

$$EA_2 = 1320 \text{ MN} \quad EI_2 = 1,58 \text{ MN} / \text{m}^2$$

- Nachgiebigkeit der Verbundfuge

$$k = n \cdot K / s_i = 5 \cdot 495 / 0,96 = 2578 \text{ MN} / \text{m}^2$$

- effektive Steifigkeit

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + EA_1 \cdot \frac{\pi^2}{k \cdot l^2}} = \frac{1}{1 + 2300 \cdot \frac{\pi^2}{2578 \cdot 5,4^2}} = 0,76$$

$$efEI = EI_1 + EI_2 + a^2 \cdot \frac{EA_1 \cdot \gamma_1 \cdot EA_2}{EA_1 \cdot \gamma_1 + EA_2}$$

$$efEI = 1,23 + 1,58 + 0,1^2 \cdot \frac{2300 \cdot 0,76 \cdot 1320}{2300 \cdot 0,76 + 1320} = 10,33 \text{ MN} / \text{m}^2$$

- Verformungen im Anfangszustand

$$w_{G,inst} = \frac{5 \cdot g_k \cdot l^4}{384 \cdot efEI} = \frac{5 \cdot 4,9 \cdot 5,4^4}{384 \cdot 10,33} = 5,25 \text{ mm}$$

$$w_{Q,inst} = \frac{5 \cdot q_k \cdot l^4}{384 \cdot efEI} = \frac{5 \cdot 2,0 \cdot 5,4^4}{384 \cdot 10,33} = 2,14 \text{ mm}$$

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

Dr. C. Radlherr, ITU/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Steifigkeitsermittlung zum Zeitpunkt $t = \infty$

- Betonquerschnitt

$$EA_1 = 660 \text{ MN} \quad EI_1 = 0,35 \text{ MN} / \text{m}^2$$

- Holzquerschnitt

$$EA_2 = 880 \text{ MN} \quad EI_2 = 1,05 \text{ MN} / \text{m}^2$$

- Nachgiebigkeit der Verbundfuge

$$k = n \cdot K / s_f = 5 \cdot 248 / 0,96 = 1290 \text{ MN} / \text{m}^2$$

- effektive Steifigkeit

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + EA_1 \cdot \frac{\pi^2}{k \cdot I^2}} = \frac{1}{1 + 660 \cdot \frac{\pi^2}{1290 \cdot 5,4^2}} = 0,85$$

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

Dr. C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



$$efEI = EI_1 + EI_2 + a^2 \cdot \frac{EA_1 \cdot \gamma_1 \cdot EA_2}{EA_1 \cdot \gamma_1 + EA_2}$$

$$efEI = 0,35 + 1,05 + 0,1^2 \cdot \frac{660 \cdot 0,85 \cdot 880}{660 \cdot 0,85 + 880} = 4,83 \text{ MN} / \text{m}^2$$

Ermittlung des Deformationsbeiwertes k_{def} für den Verbundquerschnitt

$$k_{def} = \frac{efEI_{t=0}}{efEI_{t=\infty}} - 1 = \frac{10,33}{4,83} - 1 = 1,14$$

Quelle: WINTER, S., KREUZINGER, H. und MESTEK, P. (2008): Teilprojekt 15 - Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. München: Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktionen, TU München.

Dr. C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2015/16 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

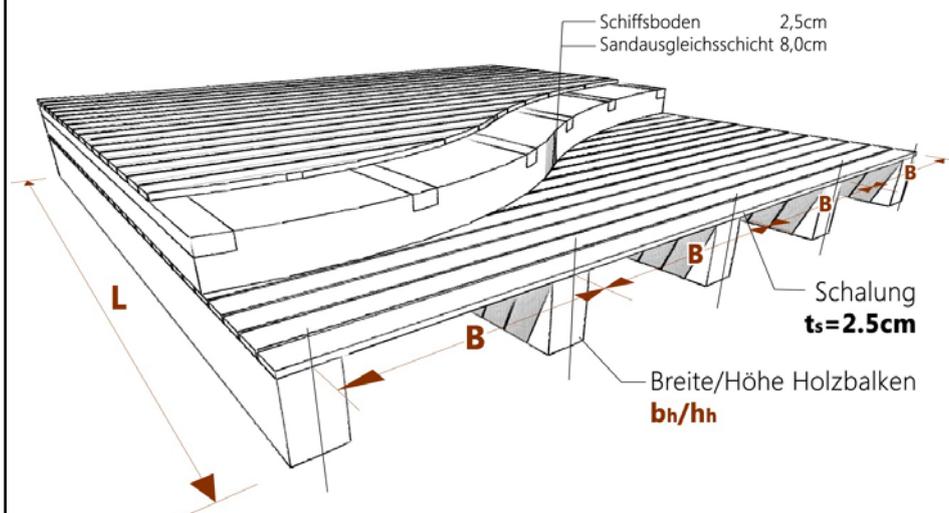


Bemessung einer Einfeld-Tramdecke

2. Aufgabe (bis 15.11.2015, 11:00 Uhr)

Institut für Architekturwissenschaften
Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau
o.Univ.Prof. DDI Wolfgang Winter

2. Aufgabe: Bemessung einer Einfeldtramdecke



2. Aufgabe: Bemessung einer Einfeldtramdecke

Stützweite L		Tabelle
Balkenachsabstand B		Tabelle
Nutzungsklasse		Tabelle
Holz, Festigkeitsklasse	C 24 (oder GL 24h bei Austausch)	
Balkenabmessungen $b_f \times h_f$		Tabelle
Beton, Festigkeitsklasse	C20/25	
Plattendicke	gewählt:	frei wählbar!
Lasten:		
Deckenaufbau g_2		frei wählbar!
Nutzlast q		Tabelle
Anzahl der Verbinderreihen		Tabelle

2. Aufgabe: Bemessung einer Einfeldtramdecke

1. Schritt - Handrechnung

Rechnen Sie für den ursprünglichen Deckenaufbau (siehe Skizze) nach, ob folgende Nachweise erfüllt sind:

- Nachweis auf Biegung
- Nachweis auf Schub aus Querkraft
- Gebrauchstauglichkeit (Gesamtdurchbiegung w_{fin})

2. Aufgabe: Bemessung einer Einfeldtramdecke

2. Schritt - Bemessungssoftware

Der gesamte Fußbodenaufbau wird schließlich abgetragen und soll durch einen HBV-Deckenaufbau ersetzt werden. Dabei bleibt die Tragkonstruktion der Tramdecke inklusive Schalung nach Möglichkeit erhalten. Die Dicke der Betonplatte, sowie der darüber liegende Aufbau sind frei zu wählen.

Mithilfe der **Software HBV 5.1.8** ist der HBV Deckenaufbau (nicht unterstützt) zu bemessen. Dabei gilt es die Verbinder dem Schubspannungsverlauf entsprechend sinnvoll anzupassen. Gegebenenfalls ist auch eine Aussage hinsichtlich einer möglichen Balkenoptimierung zu treffen. Im dringenden Bedarfsfall dürfen die bestehenden Träme auch gänzlich ausgetauscht und neu dimensioniert werden.

Downloadlink Software HBV 5.1.8

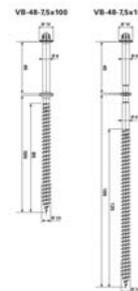
http://www.holzbau-software.de/sfs/hbv5_update/update.htm

2. Aufgabe: Bemessung einer Einfeldtramdecke

3. Schritt - Handberechnung

Bemessen Sie die Holzbetonverbundträgerdecke mittels **γ -Verfahren** zu den Zeitpunkten **$t=0$** und **$t=\infty$** . Als Verbindungsmittel kommen analog zur Bemessungssoftware SFS Verbundelemente (siehe Tabelle 2) zum Einsatz, wobei zwischen 2 Schraubentypen gewählt werden kann. Die paarweise Anordnung hat dabei stets $45^\circ/135^\circ$ zu betragen.

Anfangsverschiebungsmodul K pro Schraubepaar in N/mm				
Typ	VB-48-75 x 100		VB-48-75 x 165	
	45°/90°	45°/135°	45°/90°	45°/135°
Formel	$8\,000 - 100 t_x$	$25\,000 - 350 t_x$	$8\,000 - 100 t_x$	$25\,000 - 350 t_x$
bei t_x				
in mm				
0	8 000	25 000	8 000	25 000
5	7 500	23 250	7 500	23 250
10	7 000	21 500	7 000	21 500
15	6 500	19 750	6 500	19 750
20	6 000	18 000	6 000	18 000
25	5 500	16 250	5 500	16 250
30	--	--	5 000	14 500
35	--	--	4 500	12 750
40	--	--	4 000	11 000
45	--	--	3 500	9 250
50	--	--	3 000	7 500



2. Aufgabe: Bemessung einer Einfeldtramdecke

4. Schritt - Gegenüberstellung

Tabellarische Gegenüberstellung der relevanten Ergebnisse aus Punkt 2 und 3 (z.B. Verformungen usw.)

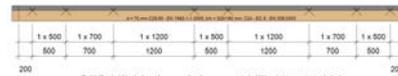
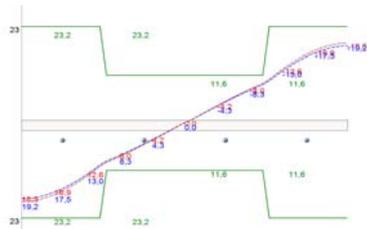
Bemessungsmethoden elastischer Verbund

Gamma Verfahren nach
Önorm EN 1995-1-1 Anhang B
Nachgiebig verbundene Biegestäbe

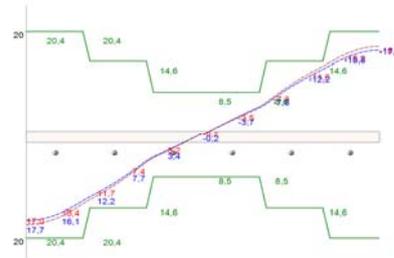
Differenzialgleichung elast. Verbund



SFS-VB Verbundelement VB-48-7.5x100
Benötigte Stückzahl: 28



SFS-VB Verbundelement VB-48-7.5x100
Benötigte Stückzahl: 16



Quelle: Infos & Software unter www.apicon.at

