

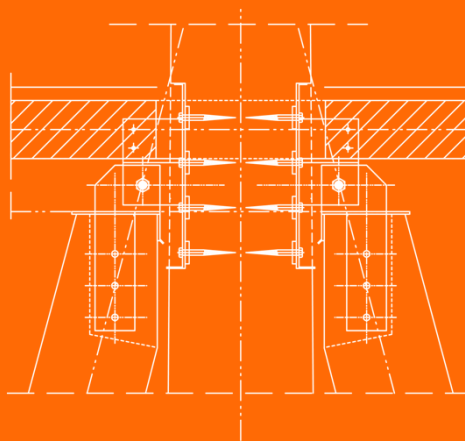
Holzbau II

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.

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



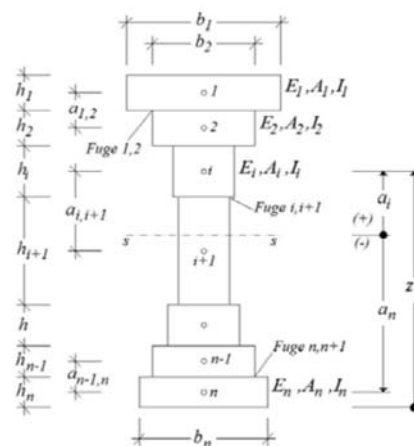
Nachgiebig verbundene Biegestäbe

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

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

mit:

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



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

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Bemessungsmethoden elastischer Verbund

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

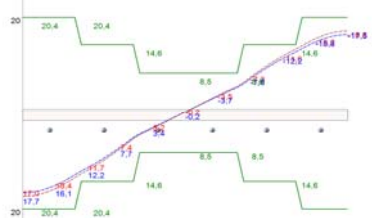
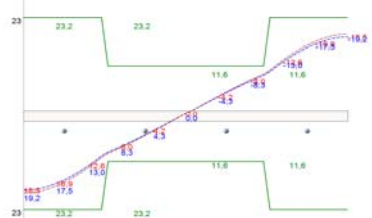
Differenzialgleichung elast. Verbund



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

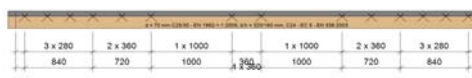
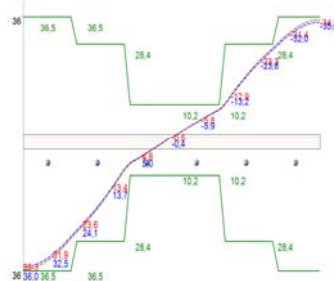
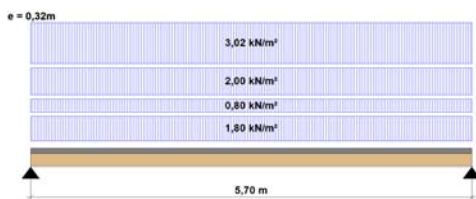
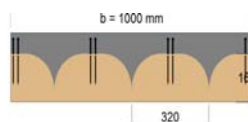
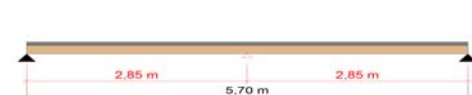


SFS-VB Verbundelement VB-48-7.5x100
Benötigte Stückzahl: 16



Quelle: Infos & Software unter www.anicon.at

Doppelbaumdecke mit Unterstellung



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

Quelle: Infos & Software unter www.anicon.at

Vereinfachte Berechnungsmethode (γ -Verfahren)

Für Einfeldträger unter gleichmässig verteilter Belastung oder unter mehreren Einzellasten mit zweiteiligem ein-fachsynchronem Verbundquerschnitt gemäss Bild 4

Bild 4
Spannungsverteilung für den zweiteiligen Verbundquerschnitt

Die wirksame Biegesteifigkeit darf wie folgt berechnet werden:

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

Mit

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

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

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 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

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 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

Bemessungsbeispiel

eine einachsig gespannte Brettstapel-Beton-Verbunddecke mit den Abmessungen $h_b/h_t = 10/18$ cm mit einer Spannweite von $l = 6,80$ m

Zur Herstellung des Schubverbundes wurden jeweils drei Schubverbundelemente je Auflager angeordnet, wobei es sich dabei entweder um Flachstahlschlösser nach Zulassung Z-9.1-473 oder Kerbverbindungen handeln sollte.

Der Verschiebungsmodul wurde aufgrund mangelnder Forschungsergebnisse mit $K_s = 539$ kN/mm angenommen.

Quelle: GROSSE, M., HARTNACK, R., LEHMANN, ST. Und RAUTENSTRAUCH, K.: Modellierung von diskontinuierlich verbundenen Holz-Beton-Verbunddecken. Teil 1: Kurzzeitverhalten. In: Bautechnik 80 (2003), Heft 8. Berlin: Ernst & Sohn Verlag.

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

Bemessungsbeispiel

— Schnittgröße nach Stabwerksmodell
— Schnittgröße nach γ -Verfahren
— prozentuale Abweichung

$$\text{Abweichung}(x) = \frac{F_{\text{Stab}}(x) - F_{\gamma}(x)}{F_{\gamma}(x)} \cdot 100 \%$$

a) Betrag der Normalkraft in den Teilquerschnitten

b) Moment im Beton

c) Moment im Brettstapel

Quelle: GROSSE, M., HARTNACK, R., LEHMANN, ST. Und RAUTENSTRAUCH, K.: Modellierung von diskontinuierlich verbundenen Holz-Beton-Verbunddecken. Teil 1: Kurzzeitverhalten. In: Bautechnik 80 (2003), Heft 8. Berlin: Ernst & Sohn Verlag.

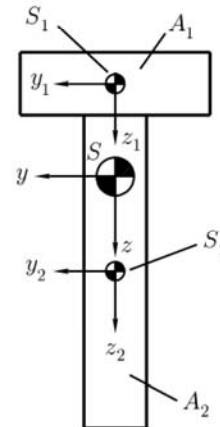
DI C. Radlherr, ITI/TU Wien Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

Nachgiebig verbundene Biegestäbe

9.1.3

Wie bestimmt man das Flächenträgheitsmoment eines zusammengesetzten Körpers?

1. Schwerpunktlage bestimmen: $\bar{z}_S = \frac{\sum \bar{z}_i A_i}{\sum A_i}$
2. (y,z)-Koordinatensystem in den Schwerpunkt legen
3. Flächenträgheitsmomente der einzelnen Teilflächen **bezogen auf den Gesamtschwerpunkt** bestimmen (Satz von STEINER)
4. Addieren



RWTH Aachen, Inst. f. allg. Mechanik: http://www4.lam.rwth-aachen.de/Lehre/SS-09/Mechanik-Prof-Schmidt/Festigkeitslehre_6.pdf

Dr. C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

Nachgiebig verbundene Biegestäbe

9.1.3

$$I_y = I_{y_i} + z_{S_i}^2 A_i$$

(Satz von STEINER)

■ Flächenträgheitsmoment der Teilfläche, Bezogen auf ihr lokales KOS

■ „STEINER-Anteil“

→ für den gesamten Querschnitt

$$I_y = \sum (I_{y_i} + z_{S_i}^2 A_i)$$

RWTH Aachen, Inst. f. allg. Mechanik: http://www4.lam.rwth-aachen.de/Lehre/SS-09/Mechanik-Prof-Schmidt/Festigkeitslehre_6.pdf

Dr. C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

Nachgiebig verbundene Biegestäbe

9.1.3

Vorgehensweise bei zusammengesetzten Querschnitten:

Bestimmung des **Schwerpunktkoordinatensystems** in einem Querschnitt aus Elementen, deren Schwerpunkte nicht in einem Punkt zusammenfallen:

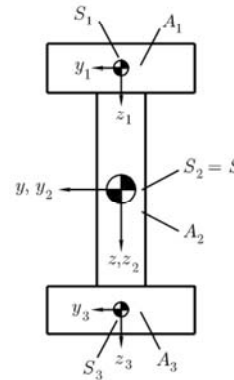
$$\text{Y-Richtung} \quad \bar{y}_S = \frac{\sum \bar{y}_i A_i}{\sum A_i}$$

$$\text{Z-Richtung} \quad \bar{z}_S = \frac{\sum \bar{z}_i A_i}{\sum A_i}$$

Bestimmung der **Flächenträgheitsmomente** aus dem Satz von STEINER:

$$\text{Y-Richtung} \quad I_y = \sum (I_{y_i} + z_{S_i}^2 A_i)$$

$$\text{Z-Richtung} \quad I_z = \sum (I_{z_i} + y_{S_i}^2 A_i)$$



RWTH Aachen; Inst. f. allg. Mechanik: http://www4.lam.rwth-aachen.de/Lehre/SS-09/Mechanik-Prof.Schmidt/Festigkeitslehre_6.pdf

Dr. C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Nachgiebig verbundene Biegestäbe

9.1.3

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)

Dr. C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Nachgiebig verbundene Biegestäbe

Spannungsverteilung über den QS für einen allgemeinen 3S- Querschnitt

Nachweis der Randspannung:

$$\sigma_{c,i,d} + \sigma_{i,m,d} \leq f_{m,d}$$

$$\sigma_{t,i,d} + \sigma_{i,m,d} \leq f_{m,d}$$

Nachweis der SP-Spannung:

$$\sigma_{c,i,d} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$$

$$\sigma_{t,i,d} \leq f_{t,0,d}$$

Abstand der Verbindungsmittel in der Verbundfuge:

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

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

9.1.3

GL. (9.1)

GL. (9.2)

GL. (9.3)

GL. (9.4)

9.1.3(3)

GL. (9.17)

EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

DI C. Radlherr, ITU/TU Wien Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen TU

Nachgiebig verbundene Biegestäbe: Anhang B

Effektive Biegesteifigkeit des nachgiebigen Querschnitts:

$$K_{eff} = (E \cdot J)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot J_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$

$$A_i = b_i \cdot h_i \quad J_i = \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} \quad \text{Für T-Querschnitt gilt: } h_3 = 0$$

γ-Ziffer: Reduktionsfaktor für den Steineranteil:

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot s_1}{K_1 \cdot I^2}} \quad \gamma_2 = 1 \quad \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot s_3}{K_3 \cdot I^2}}$$

$K_i = K_{ser,i}$ für Rechnungen im SLS
 $K_i = K_{u,i}$ für Rechnungen im ULS

EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

DI C. Radlherr, ITU/TU Wien Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen TU

Nachgiebig verbundene Biegestäbe

9.1.3

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, sondern 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.

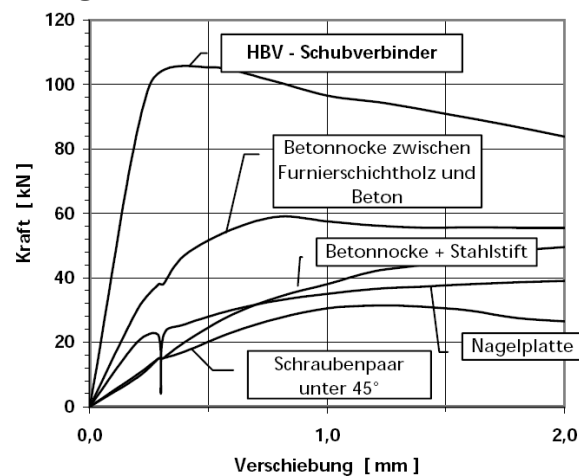
DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



HBV-Systeme

Die HBV-Systeme unterscheiden sich in der Steifigkeit und in den Herstellungskosten

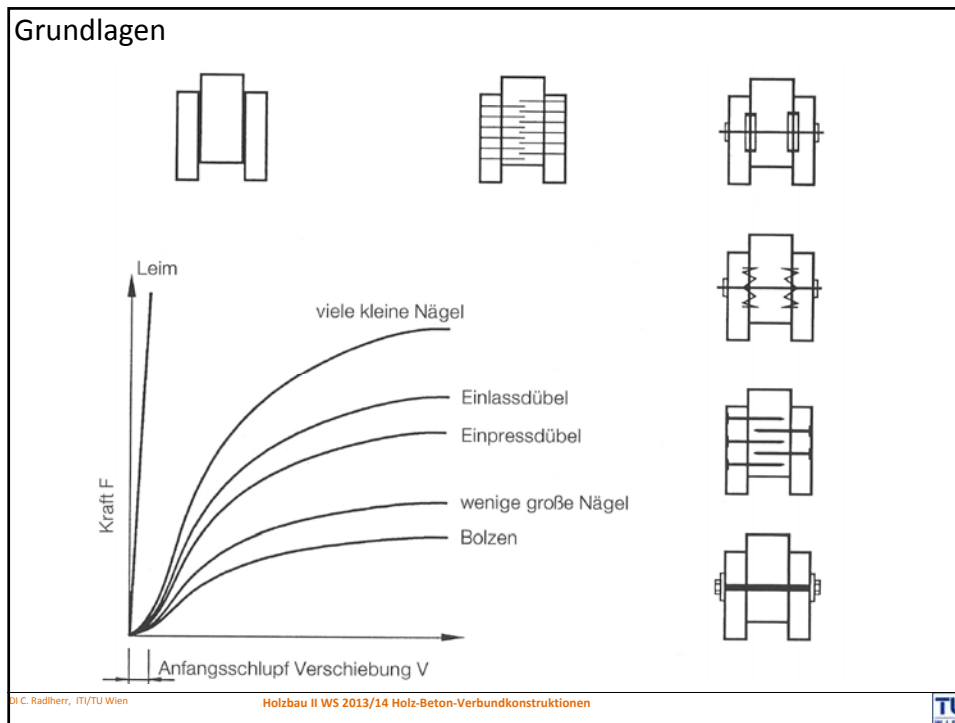


HBV-System TiComTec, DE- Haibach

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen





Grundlagen

Nachgiebige Verbindungen

Ursachen der Nachgiebigkeit

- Lastunabhängige Anfangsverformung (Schlupf) z. B. bei Bolzen
- Lastabhängigen Verformungen (elastische und plastische Verformungen im Holz und den Verbindungsmitteln)

Animation: F. Colling / K. Riedel

<http://www.holzbau-kompetenzzentren.de>

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen TU

Grenzzustand der Tragfähigkeit

(2) Der **Verschiebungsmodul** einer Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit, K_u , ist in der Regel anzunehmen mit:

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser}$$

2.2.2 (2)

Gl. (2.1)

K_{ser} = Anfangsverschiebungsmodul
 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

— Koordinatensystem für die Modellierung und Auswertung
 — Koordinatensystem im Versuch (reales Verhalten)

EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz
DI C. Radlherr, ITI/TU Wien Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

Nachgiebig verbundene Biegestäbe

Verschiebungsmodul

9.1.3

Dem höheren Bemessungsniveau im Grenzzustand der Tragfähigkeit entgegenkommend und zugunsten der Sicherheiten in den verbundenen Bauteilen, wird pauschal der Verschiebungsmodul um ein Drittel abgemindert.

F Kraft pro Scherfuge

u gegenseitige Verschiebung

K_{ser} Verschiebungsmodul für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

K_u Verschiebungsmodul für den Nachweis der Tragfähigkeit

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

$K_u = \tan \alpha_u = \frac{F_u}{u_u}$
 $K_{ser} = \tan \alpha_{ser} = \frac{F_{ser}}{u_{ser}}$

$u_u = F_u / K_u$

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

Verschiebungsmodul

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 | |
| Nägel und Holzschrauben in nicht vorgebohrten Löchern ⁴⁾ | $\rho_k^{1,5} \cdot d^{0,8} / 25$ |
| 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 | $0,45 \cdot d_c \cdot \rho_k$ |

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Nachgiebig verbundene Biegestäbe: Anhang B

Anhang B

Abstände der Einzelquerschnittsschwerpunkte zum Gesamtschwerpunkt:

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{2 \cdot \sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i} \quad a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2 \quad \text{GL. (B.6)}$$

$$a_3 = \frac{h_2 + h_3}{2} + a_2$$

Normalspannungen: $\sigma_{i,d} = \frac{\gamma_i \cdot E_i \cdot a_i}{(E \cdot J)_{ef}} \cdot M_d \quad \sigma_{m,i,d} = \frac{0,5 \cdot E_i \cdot h_i}{(E \cdot J)_{ef}} \cdot M_d \quad \text{GL. (B.7)}$

Schubspannungen: $\tau_{2,max} = \frac{\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot \left(\frac{h_2}{2} + a_2\right)^2}{b_2 \cdot (E \cdot J)_{ef}} \cdot V_d \quad \text{GL. (B.9)}$

Beanspruchung der Verbindungsmittel: $F_{i,d} = \frac{\gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i \cdot s_i}{(E \cdot J)_{ef}} \cdot V_d \quad i = 1 \text{ bzw. } 3 \quad \text{GL. (B.10)}$

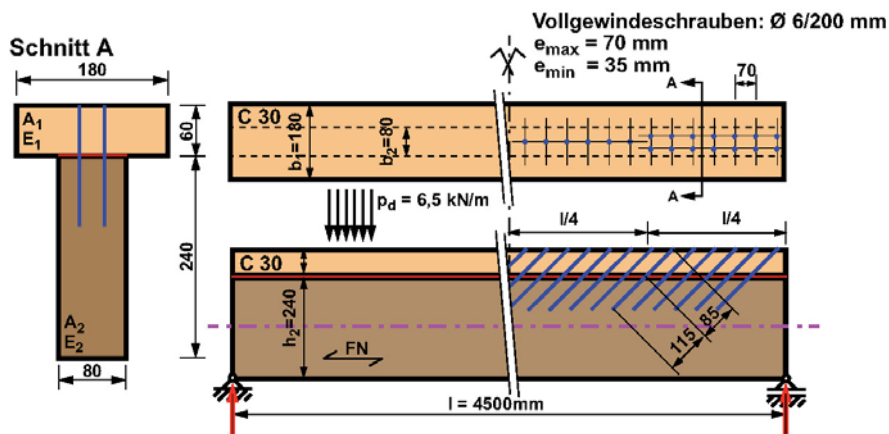
EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



1 Verbundbalken – Langzeitverhalten: Nachweise (ULS/SLS)



EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

Dr. C. Radlherr, ITU/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



| | | Nadelholz | | | | | | | | | | Laubholz | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | C14 | C16 | C18 | C20 | C22 | C24 | C27 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | D30 | D35 | D40 | D50 | D60 | D70 |
| Festigkeitseigenschaften (in N/mm ²) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Biegung | $f_{m,k}$ | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 27 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Zug parallel | $f_{t,0,k}$ | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 16 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 18 | 21 | 24 | 30 | 36 | 42 |
| Zug rechtwinklig | $f_{t,90,k}$ | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,9 |
| Druck parallel | $f_{c,0,k}$ | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 25 | 26 | 27 | 29 | 23 | 25 | 26 | 29 | 32 | 34 |
| Druck rechtwinklig | $f_{c,90,k}$ | 2,0 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,1 | 3,2 | 8,0 | 8,4 | 8,8 | 9,7 | 10,5 | 13,5 |
| Schub | $f_{v,k}$ | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,8 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 4,6 | 5,3 | 6,0 |
| Steifigkeitseigenschaften (in kN/mm ²) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert des Elastizitätsmoduls parallel | $E_{0,mean}$ | 7 | 8 | 9 | 9,5 | 10 | 11 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 10 | 10 | 11 | 14 | 17 | 20 |
| 5%-Quantil des Elastizitätsmoduls parallel | $E_{90,mean}$ | 4,7 | 5,4 | 6,0 | 6,4 | 6,7 | 7,4 | 8,0 | 8,0 | 8,7 | 9,4 | 10,0 | 10,7 | 8,0 | 8,7 | 9,4 | 11,8 | 14,3 | 16,8 |
| Mittelwert des Elastizitätsmoduls rechtwinklig | $E_{90,mean}$ | 0,23 | 0,27 | 0,30 | 0,32 | 0,33 | 0,37 | 0,38 | 0,40 | 0,43 | 0,47 | 0,50 | 0,53 | 0,64 | 0,69 | 0,75 | 0,93 | 1,13 | 1,33 |
| Mittelwert des Schubmoduls | $G_{90,mean}$ | 0,44 | 0,50 | 0,56 | 0,59 | 0,63 | 0,69 | 0,72 | 0,75 | 0,81 | 0,88 | 0,94 | 1,00 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,88 | 1,06 | 1,25 |
| Rohdichte (in kg/m ³) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rohdichte | ρ_k | 290 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 370 | 380 | 400 | 420 | 440 | 460 | 530 | 560 | 590 | 650 | 700 | 900 |
| Mittelwert der Rohdichte | $\rho_{k,mean}$ | 350 | 370 | 380 | 390 | 410 | 420 | 450 | 460 | 480 | 500 | 520 | 550 | 640 | 670 | 700 | 780 | 840 | 1080 |
| Anmerkungen: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Die oben angegebenen Werte für die Zug-, Druck- und Schubfestigkeit, das 5%-Quantil des Elastizitätsmoduls, der Mittelwert des Elastizitätsmoduls rechtwinklig zur Faserrichtung und der Mittelwert des Schubmoduls wurden mit den in Anhang A angegebenen Gleichungen berechnet. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Die tabellierten Eigenschaften gelten für Holz mit einem bei 20°C und 65% relativer Luftfeuchtigkeit üblichen Feuchtegehalt. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Es kann sein, dass Bauholz der Klasse C45 und C50 nicht immer zur Verfügung steht. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Dr. C. Radlherr, ITU/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



| Festigkeitsklasse | | | GL 24h | GL 28h | GL 32h | GL 36h |
|---------------------|-----------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| Biegefestigkeit | $f_{m,g,k}$ | [N/mm ²] | 24 | 28 | 32 | 36 |
| Zugfestigkeit | $f_{t,0,g,k}$ | [N/mm ²] | 16,5 | 19,5 | 22,5 | 26 |
| | $f_{t,90,g,k}$ | [N/mm ²] | 0,5 | | | |
| Druckfestigkeit | $f_{c,0,g,k}$ | [N/mm ²] | 24 | 26,5 | 29 | 31 |
| | $f_{c,90,g,k}$ | [N/mm ²] | 2,5 | | | |
| Schubfestigkeit | $f_{v,g,k}$ | [N/mm ²] | 3,0 | | | |
| Rollschubfestigkeit | $f_{r,g,k}$ | [N/mm ²] | 1,2 | | | |
| Elastizitätsmodul | $E_{0,g,mean}$ | [N/mm ²] | 11500 | 12500 | 13500 | 14500 |
| | $E_{90,g,mean}$ | [N/mm ²] | 300 | | | |
| Schubmodul | $G_{g,mean}$ | [N/mm ²] | 650 | | | |
| Rollschubmodul | $G_{r,g,mean}$ | [N/mm ²] | 65 | | | |
| Rohdichte | $\rho_{g,k}$ | [kg/m ³] | 380 | 410 | 430 | 450 |

EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, L13, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

9 Spannungsverläufe und Spannungsnachweise

Spannungsverläufe für $G_{0,mean}$ und $K_{U,mean}$: Anfangszustand

$\sigma_{f,c,max,d} \leq f_{m,d}$
 $\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{m,d}$
 $\sigma_{f,c,d} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$
 $\sigma_{f,t,d} \leq f_{t,0,d}$

Bestimmung k_c :

$$\lambda = \frac{l_i}{i_{Gurt}} = \frac{4500}{0,289 \cdot 180} = 86,51 \approx 87 \quad \rightarrow \quad k_c = 0,38$$

EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, L13, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

Nachweise für die Holzteile 1 und 2:

$$\frac{\sigma_{1,o,d}}{f_{m,d}} = \frac{7,58}{18,46} = 0,41 \leq 1,0$$

$$\frac{\sigma_{2,u,d}}{f_{m,d}} = \frac{13,47}{18,46} = 0,73 \leq 1,0$$

$$\frac{\sigma_{c,1,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{4,90}{0,39 \cdot 14,15} = 0,89 \leq 1,0$$

$$\frac{\sigma_{c,1,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{4,90}{14,15} = 0,35 \leq 1,0$$

$$\frac{\sigma_{t,2,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{2,75}{11,08} = 0,25 \leq 1,0$$

Anmerkung: Der Knicknachweis der Druckgurtzone wird als Ersatznachweise zur Gewährleistung der Kippstabilität geführt

Nachweis für die Schrauben in der Verbundfuge:

$$\frac{F_{1,d}}{R_{a,d}} = \frac{1643}{2197} = 0,75 \leq 1,0$$

Anmerkung: Die geforderten Mindestrandabstände sind eingehalten!

EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

Dr C. Radlherr, ITU/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

**10 Gegenüberstellung der einzelnen Modelle****10.1 Ergebnisse für die oben genannten Modelle 1-7**

| | M1 | M2 (a) | M2 (b) | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 |
|--|----------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|
| | Volllast | | | | | | Teillasten | |
| Beanspruchungen der Holzteile | | | | | | | | |
| T1: σ_o [N/mm ²] | -7,58 | -7,57 | -7,49 | -7,24 | -7,77 | -7,34 | -7,58 | -7,48 |
| T1: σ_{Sp} [N/mm ²] | -4,90 | -4,89 | -4,73 | -4,22 | -5,29 | -4,41 | -4,90 | -4,70 |
| T1: σ_u [N/mm ²] | -2,22 | -2,21 | -1,96 | -1,19 | -2,80 | -1,48 | -2,22 | -1,91 |
| T2: σ_o [N/mm ²] | -7,97 | -7,98 | -8,40 | -9,73 | -6,96 | -9,23 | -7,97 | -8,49 |
| T2: σ_{Sp} [N/mm ²] | 2,75 | 2,75 | -2,66 | 2,38 | 2,97 | 2,48 | 2,75 | 2,64 |
| T2: σ_u [N/mm ²] | 13,47 | 13,48 | 13,72 | 14,48 | 12,90 | 14,19 | 13,47 | 13,77 |
| T2: τ_{max} [N/mm ²] | 0,87 | 0,87 | 0,87 | 0,90 | 0,85 | 0,89 | 0,87 | 0,88 |
| Fuge | | | | | | | | |
| t _{Fuge} [N/mm] | 46,93 | 46,95 | 45,4 | 40,47 | 50,72 | 42,32 | 46,93 | 45,10 |
| T _{Fuge} [N] | 1642,7 | 1643,3 | 1589 | 1416,5 | 1775,2 | 1481,2 | 1642,7 | 1578,5 |

EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

Dr C. Radlherr, ITU/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



| | M1 | M2 (a) | M2 (b) | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 |
|---|---------|--------|--------|------|------|------|------------|------|
| | Vollast | | | | | | Teillasten | |
| Ausnutzung der Holzteile | | | | | | | | |
| T1: σ_o | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,39 | 0,42 | 0,4 | 0,41 | 0,41 |
| T1: σ_{Sp} : $k_c=0,39$ | 0,89 | 0,89 | 0,86 | 0,76 | 0,96 | 0,80 | 0,89 | 0,85 |
| T1: σ_{Sp} : $k_c=1$ | 0,35 | 0,35 | 0,33 | 0,30 | 0,37 | 0,31 | 0,35 | 0,33 |
| T2: σ_{Sp} | 0,25 | 0,25 | 0,24 | 0,21 | 0,27 | 0,22 | 0,25 | 0,24 |
| T2: σ_u | 0,73 | 0,73 | 0,74 | 0,78 | 0,70 | 0,77 | 0,73 | 0,75 |
| T2: τ_{max} | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,73 | 0,69 | 0,72 | 0,71 | 0,72 |
| Ausnutzung Holz | | | | | | | | |
| mit k_c (Kippen) | 0,89 | 0,89 | 0,86 | 0,78 | 0,96 | 0,80 | 0,89 | 0,85 |
| ohne k_c | 0,73 | 0,73 | 0,74 | 0,78 | 0,70 | 0,77 | 0,73 | 0,75 |
| Ausnutzung Schrauben | | | | | | | | |
| | 0,75 | 0,75 | 0,72 | 0,64 | 0,81 | 0,67 | 0,75 | 0,72 |
| Gesamte Ausnutzung: Summe Holz und Fuge mit und ohne k_c (Kippen) | | | | | | | | |
| mit k_c (Kippen) | 0,89 | 0,89 | 0,86 | 0,78 | 0,96 | 0,80 | 0,89 | 0,85 |
| ohne k_c | 0,75 | 0,75 | 0,74 | 0,78 | 0,81 | 0,77 | 0,75 | 0,75 |

EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

10.2 Resümee

Nach ÖNORM EN 1995-1-1 sind Systeme, bei denen die Schnittkraftverteilungen durch Veränderungen der Steifigkeiten beeinflusst werden, unter Berücksichtigung von Langzeiteffekten zu untersuchen. In ÖNORM B 1995-1-1 werden zusätzlich Grenzwertbetrachtungen für die minimalen/maximalen Steifigkeitseigenschaften gefordert.

Für den Anfangszustand ergibt sich unter Berücksichtigung der Steifigkeitsvariation ($E_{0,05}$ und K_{mean}) die maximale VM-Beanspruchung in der Fuge. Wird die Kippstabilität auf Basis eines Knicknachweises des druckbeanspruchten Obergurtes geführt, ergeben sich aufgrund der hohen Fugensteifigkeit erhöhte Normal-Spannungen im Schwerpunkt des Druckgurtes, wodurch sich der maßgebende Nachweis für den Holzquerschnitt ebenfalls für M4 ergibt.

EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Wird die Kippstabilität konstruktiv gelöst (Aussteifung), ergeben sich die maximalen Ausnutzungen der Holzquerschnitte im Bereich der Biegezugzone (Teil 2) für Modell (M3) (E_{mean} und $K_{0,05}$) unter Berücksichtigung der Langzeiteffekte für den Endzustand.

Werden die im EN 1995-1-1 unter Punkt 2.3.2.2 (3)(4) angeführten Anforderungen nicht zur Anwendung gebracht (Verdoppelung der Kriechzahlen), liegt für dieses System aufgrund der äquivalenten Kriecheigenschaften der Einzelbauteile keine Beeinflussung durch das Langzeitverhalten vor.

Neben der in EN 1995-1-1 vorgeschlagenen Berechnung der Langzeiteffekte in Form von Gesamtlastfällen unter Berücksichtigung einer wirksamen Langzeitsteifigkeit, kann eine Berechnung nach Teillastfällen mit zugeordneten Steifigkeitseigenschaften (vgl. Bauzustände) geführt werden.

EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



11 Durchbiegung

11.1 Durchbiegung zufolge Eigengewicht

$$w_g = \frac{5 \cdot g_k \cdot l^4}{384 \cdot (EJ)_{\text{ef}}} = \frac{5 \cdot 1,5 \cdot 4500^4}{384 \cdot 2,21 \cdot 10^{12}} = 3,62 \text{ mm}$$

11.2 Durchbiegung zufolge Nutzlast

$$w_p = \frac{5 \cdot p_k \cdot l^4}{384 \cdot (EJ)_{\text{ef}}} = \frac{5 \cdot 3,0 \cdot 4500^4}{384 \cdot 2,21 \cdot 10^{12}} = 7,25 \text{ mm}$$

11.3 Charakteristische Bemessungssituation: Anfangszustand

$$w_{Q, \text{inst}} \leq \frac{l}{300}$$

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

$$w_{Q, \text{inst}} = 7,25 \text{ mm} \leq \frac{4500}{300} = 15 \text{ mm}$$

EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



11.4 Charakteristische Bemessungssituation: Endzustand

$$w_{fin} - w_{G,inst} \leq \frac{l}{200}$$

$$w_{fin} - w_{G,inst} = w_{G,inst} + \sum_{i>1} w_{Q,i,inst} \cdot \psi_{0,i} + \left(w_{G,inst} + \psi_{2,1} \cdot w_{Q,1,inst} + \sum_{i>1} w_{Q,i,inst} \cdot \psi_{2,i} \right) \cdot k_{def}$$

$$w_{fin} - w_{G,inst} = 7,25 + 0 + (3,62 + 0,3 \cdot 7,25 + 0) \cdot 0,6 = 10,73 \leq \frac{4500}{200} = 22,5 \text{ mm}$$

11.5 Quasi-ständige Durchbiegung: Endzustand

$$w_{fin} - w_c \leq \frac{l}{250}$$

$$w_{fin} - w_c = (w_{G,inst} + \sum_{j \geq 1} \psi_{2,j} \cdot w_{Q,j,inst}) \cdot (1 + k_{def}) - w_c$$

$$w_{fin} - w_c = (3,62 + 0,3 \cdot 7,25) \cdot (1 + 0,6) - 0 = 9,27 \leq \frac{4500}{250} = 18 \text{ mm}$$

EUROCODE 5 Seminar, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten nach EN 1995-1-1, Beispiele, Linz, 13. & 14. Februar 2009, Technische Universität Graz

DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen

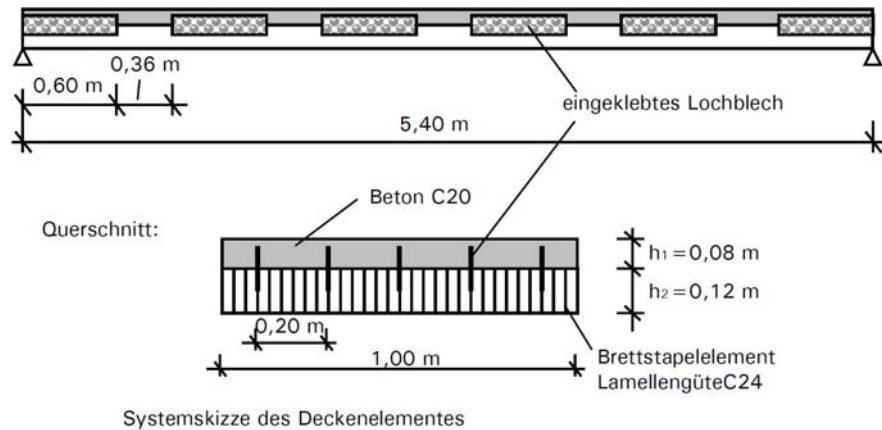


Bemessung einer Holz-Beton-Verbunddecke

Beispiel

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

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

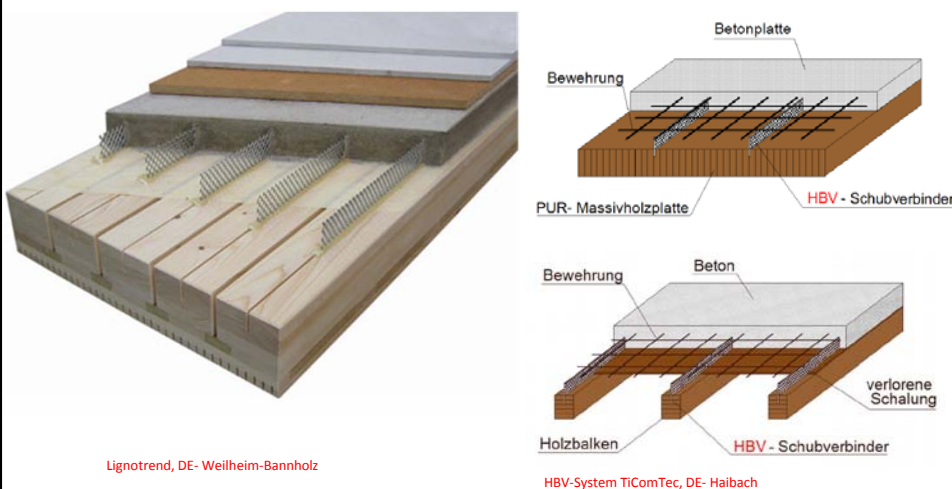
Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



HBV-Systeme - Geklebte Verbindung

HBV - Schubverbinder

HBV-Schubverbinder im Lignotrendelement



Lignotrend, DE- Weilheim-Bannholz

HBV-System TiComTec, DE- Haibach

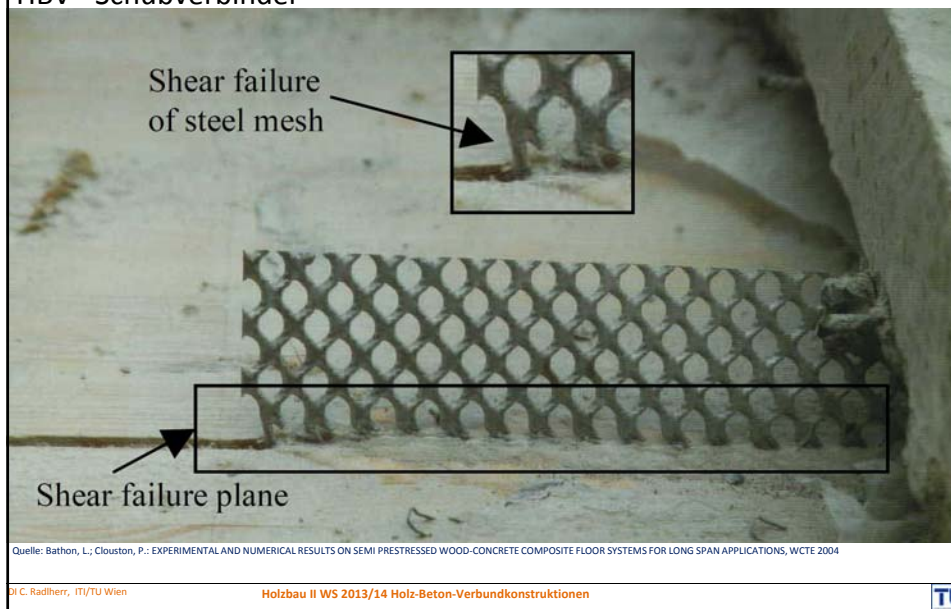
DI C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 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 2013/14 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 2013/14 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 2013/14 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

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

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 2013/14 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

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

Nachweis der Betonzugspannung:

Der Betonquerschnitt darf unbewehrt ausgeführt werden, wenn gilt:

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

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 2013/14 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

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

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

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

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

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 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Spannungsermittlung und Nachweisführung der Schubverbinder

- Schubfluss in der Fuge

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

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

- 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 2013/14 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

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

mit:

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

- 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, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Schnitt- und Verformungsgrößen aufgrund der Schwindverkürzung des Betons

- Festhaltekraft F_0

$$F_0 = \epsilon_{csh} \cdot EA_1 = \epsilon_{csh} \cdot EA_1 = 30 \cdot 10^{-5} \cdot 660 = 198 \text{ kN}$$

- 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:

$$M_S = F_0 \cdot a_1 = 198 \cdot 0,057 = 11,29 \text{ kNm}$$

$$\text{mit: } a_1 = a \cdot \frac{EA_2}{EA_1 + EA_2} = 0,1 \cdot \frac{880}{660 + 880} = 0,057 \text{ m}$$

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

$$M_{2,S} = M_S \cdot \frac{EI_2}{EI} = 11,29 \cdot \frac{1,05}{5,17} = 2,29 \text{ kNm}$$

Die Schnittgrößen aus Schwinden müssen im Gleichgewicht stehen.

$$\text{Kontrolle: } M_{1,S} + M_{2,S} = 0,76 + 2,29 = 3,05 \text{ kNm} \approx N_{1,S} \cdot a = 30,6 \cdot 0,1 = 3,06 \text{ kNm}$$

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, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 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

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

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

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

- Randspannung in der Fuge

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

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

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 2013/14 Holz-Beton-Verbundkonstruktionen



Spannungsermittlung und Nachweisführung am Holzquerschnitt

- Schwerpunktspannung

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

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

- Biegerandspannung

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

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

- Schubspannung

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

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

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

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

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.

Dr. C. Radlherr, ITI/TU Wien

Holzbau II WS 2013/14 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: $T_k = 0,16 \text{ kN je mm [75]}$

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 2013/14 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 2013/14 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

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

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 2013/14 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 2013/14 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

