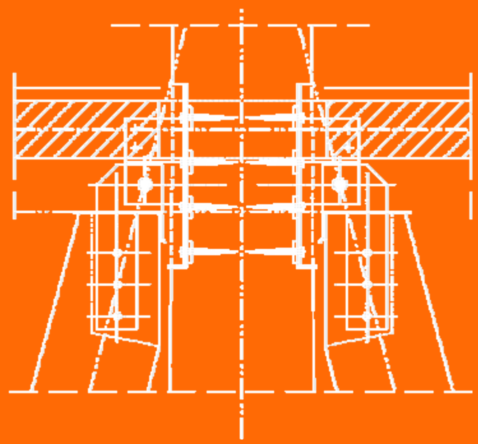
Holzbau II

259.383 Holzbau 2 WS14 | VU 3.0h, 4ECTS

Übung 1 - Verbundbauteile
DI M. Rinnhofer



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

1	07.10.	**Einführung, Tall Buildings**	**Winter**
2	14.10.	**Verbundbauteile**	**Rinnhofer**
3	21.10.	**Die Rolle des Architekten bei der Einfamilienhausplanung**	**Abendroth**
4	28.10.	**Vorgefertigter Holzbau aus der Sicht des Holzbaumeisters**	**Klaura**
5 + UE	04.11.	**Verbundbauteile Übung 1**	**Rinnhofer**
optional (SR 1/3 Operngasse)	06.11.	Vorfertigung im Holzbau, Maschinen und Prozesse	Lumplecker
6	11.11.	**Planungs- und Herstellungsabläufe in der Fertigbauindustrie**	**Weiss**
7	18.11.	**Brücken**	**Winter**
optional (SR 1/3 Operngasse)	20.11.	Holzarchitektur: Gestaltung und Innovation ohne „Mehraufwand“	Troy
8	25.11.	**Brandschutz**	**Teibinger**
optional (SR 1/3 Operngasse)	27.11.	Wenn sich Architektur auf Holzbau spezialisiert	holz.architekten
9	02.12.	**CLT – Wieso, weshalb, warum?**	**Weiß**
10	09.12.	**Fassaden aus Holz**	**Schober**
11 + UE	16.12.	**Brücken Übung 2**	**Rinnhofer**
12	13.01.	**Erdbeben und Schwingungen**	**Fadai**
optional (ZS15)	14.01.	Der Bauingenieur als Architektenversteher?	Petraschka
13 + UE	20.01.	**Erdbeben und Schwingungen Übung 3**	**Fadai / Panova**
optional (ZS15)	21.01.	Herstellung, Montage, Logistik, Kosten	Woschitz
14	27.01.	**Sommerliche Überwärmung**	**Nackler**

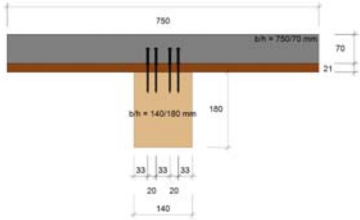
DI M. Rinnhofer
ITI TU Wien

Holzbau II WS 14/15 Übung 1 - Verbundbauteile

Verbundbauteile

Brettsperrholz / CLT

Verbund 2er Werkstoffe

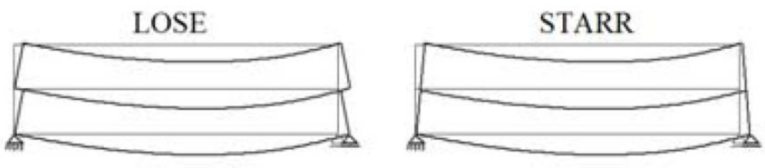


DI M. Rinnhofer
ITI TU Wien

Holzbau II WS 14/15 Übung 1 - Verbundbauteile

Nachgiebig verbundene Biegestäbe

Zwischen dem **lose** übereinander gelagerten und dem **starr** verleimten mehrteiligen Biegeträger herrscht hinsichtlich des Tragverhaltens ein extremer Unterschied. Sind die Einzelquerschnitte vernagelt oder durch andere mechanische Verbindungsmittel **schubweich** verbunden, nennt man bei entsprechender Beanspruchung das Gesamtsystem einen **<u>nachgiebig verbundenen Biegeträger</u>**. Sein Tragverhalten liegt zwischen den dargelegten Extremen.

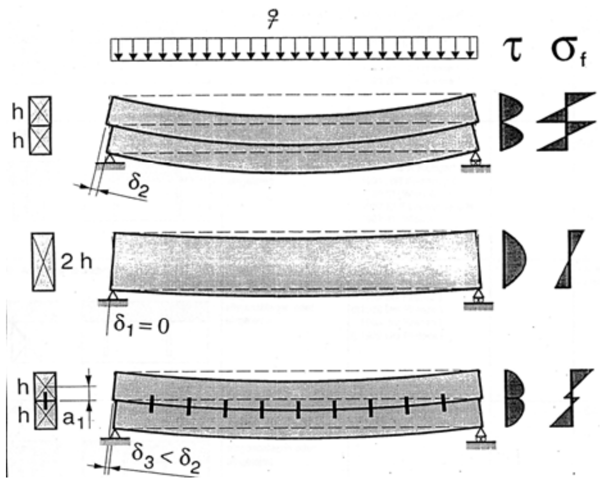


$$EI_{ef} = \sum EI_i \qquad EI_{ef} = \sum EI_i + \sum Steiner_i$$

DI M. Rinnhofer
ITI TU Wien

Holzbau II WS 14/15 Übung 1 - Verbundbauteile

Nachgiebig verbundene Biegestäbe



kein Verbund

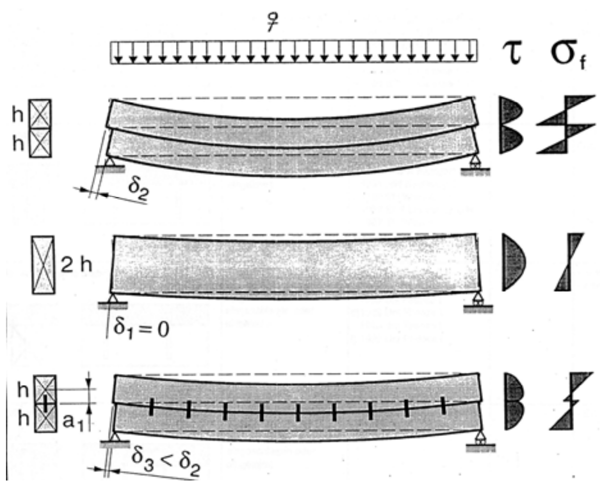
starrer Verbund

nachgiebiger Verbund

Kuhlmann U., Schänzlin J. (2004): Berechnung von Holz-Beton-Verbunddecken - Neuere Entwicklungen

DI M. Rinnhofer
ITI TU Wien
Holzbau II WS 14/15 Übung 1 - Verbundbauteile

γ-Verfahren



$\gamma = 0$ $\quad I_{eff} = \frac{b\,h^3}{6}$

$\gamma = 1$ $\quad I = 4\,\frac{b\,h^3}{6}$

$0 < \gamma < 1$ $\quad I_{eff} = \Sigma I_i + \gamma\,\Sigma\,a_i^2\,A_i$

DI M. Rinnhofer
ITI TU Wien
Holzbau II WS 14/15 Übung 1 - Verbundbauteile

γ-Verfahren

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

Zur Ermittlung des Tragverhaltens wird in diesem Näherungsverfahren, ausgehend von der ideellen Steifigkeit des starren Verbundes, eine wirksame Steifigkeit des elastischen Verbundes durch Abminderung des Steineranteiles des Trägheitsmomentes mit dem Nachgiebigkeitsfaktor γ zugrunde gelegt.

Der Faktor γ beinhaltet das Verhältnis der Biegesteifigkeit des anzuschließenden Bauteils und die Federsteifigkeit des Verbindungsmittels.

γ-Verfahren

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 geschlossen Lösung eines das Tragverhalten beschreibenden Differentialgleichungssystems.

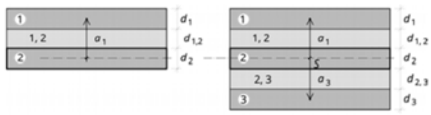
γ-Verfahren

Voraussetzungen:

- Statisch bestimmter Einfeldträger
- Sinusförmige Belastung
- Konstante Querschnitte (max. 3 Teilquerschnitte)
- Gültigkeit der Bernoulli-Hypothese in den Teilquerschnitten
- Kontinuierlicher, konstanter Verbund
- Vernachlässigung der Schubverformung der Teilquerschnitte

Für den baupraktisch relevanten Fall der Gleichlast bildet das γ-Verfahren eine gute Näherung. Auch Schnitt- und Verformungsgrößen an Durchlaufträgern und Kragarmen können unter Berücksichtigung der Momentennullpunkte näherungsweise ermittelt werden.

γ-Verfahren



$$\gamma_i = \frac{1}{(1 + \frac{\pi^2 * E_i * A_i}{l^2 * c})}$$

Mit $c = \frac{b * G_R}{d}$ für flächigen Verbund

Oder $c = \frac{K_i}{s_i}$ für Verbund mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

$$\gamma_2 = 1$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 * E_1 A_1 * \left(\frac{d_1}{2} + d_{1,2} + \frac{d_2}{2}\right) - \gamma_3 * E_3 A_3 * \left(\frac{d_2}{2} + d_{2,3} + \frac{d_3}{2}\right)}{\sum_{i=1}^{3} \gamma_i * E_i A_i}$$

$$a_1 = \left(\frac{d_1}{2} + d_{1,2} + \frac{d_2}{2}\right) - a_2$$

$$a_3 = \left(\frac{d_2}{2} + d_{2,3} + \frac{d_3}{2}\right) + a_2$$

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^{3} (E_i I_i + \gamma_i * E_i A_i * a_i^2)$$

γ-Verfahren

Nachlaufrechnungen:

$$N_{i,d} = \frac{M_d}{(EI)_{ef}} * \gamma_i * a_i * E_i A_i$$

$$M_{i,d} = \frac{M_d}{(EI)_{ef}} * E_i I_i$$

$$\tau_{2,max,d} = \frac{V_{max,d} * (\gamma_3 * E_3 A_3 * a_3 + 0{,}5 * E_2 * b_2 * h^2)}{(EI)_{ef} * b_2}$$

Mit $h = a_2 + \frac{h_2}{2}$

$$t_{1(3),d} = \frac{V_{max,d} * \gamma_{1(3)} * E_{1(3)} A_{1(3)} * a_{1(3)}}{(EI)_{ef}}$$

Schubanalogieverfahren

Mit Hilfe des im Anhang D3 der DIN 1052 verankerten Verfahrens der Schubanalogie können die Spannungen in den einzelnen Schichten, unter Berücksichtigung der Schubverformung sowie des nachgiebigen Verbundes, in den jeweiligen Tragrichtungen bestimmt werden.

Um Spannungen aus Plattenbeanspruchungen zu ermitteln, muss zunächst der Verbundquerschnitt in den ideellen Rechenquerschnitt transformiert werden. Grundlage für die Transformation bilden die einzelnen Steifigkeitswerte des Verbundquerschnitts.

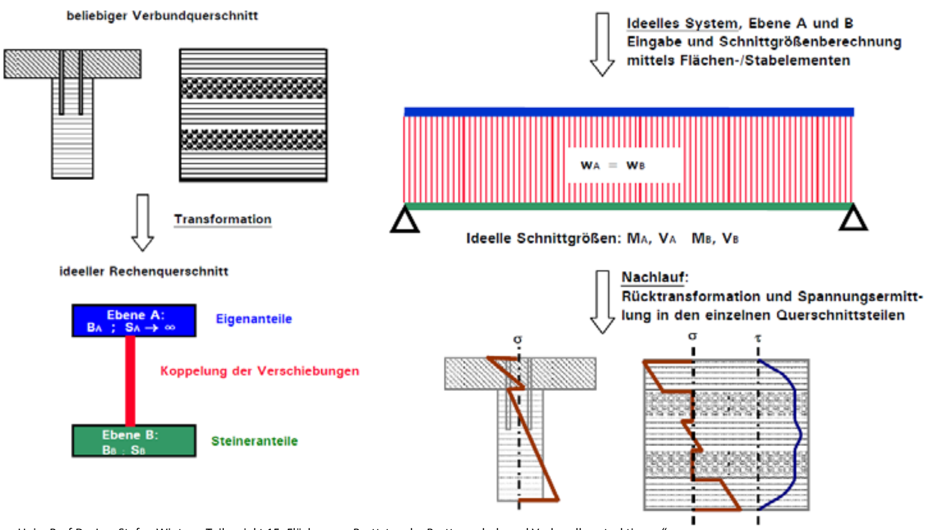
Schubanalogieverfahren

Die Anteile an der gesamten Biege- und Schubsteifigkeit des Verbundträgers wird auf zwei *Ersatzträger* – die Summe der beiden Einzelträger einerseits und die Verbundwirkung andererseits – *A* und *B* aufgeteilt. Die beiden Ersatzträger sind über dehnstarre Pendelstäbe gekoppelt. Damit weisen die Träger unter Belastung die gleiche Biegelinie auf.

Die Steifigkeit des Trägers A EI_A errechnet sich also aus der Summe der Steifigkeiten der Einzelquerschnitte und Träger B erhält eine *Ersatzschubsteifigkeit* GA_B, die sich aus der Fugensteifigkeit *c* und den Schubsteifigkeiten der Einzelquerschnitte ergibt, und eine Biegesteifigkeit EI_B aus der Summe der Steiner-Glieder.

DI M. Rinnhofer
ITI TU Wien
Holzbau II WS 14/15 Übung 1 - Verbundbauteile

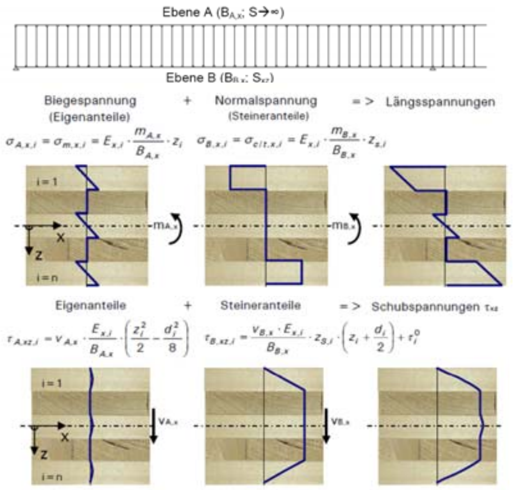
Schubanalogieverfahren



Univ.-Prof.Dr.-Ing. Stefan Winter, „Teilprojekt 15, Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen“

DI M. Rinnhofer
ITI TU Wien
Holzbau II WS 14/15 Übung 1 - Verbundbauteile

Schubanalogieverfahren



$$B_A = \sum E_i I_i$$

$$S_A \rightarrow \infty$$

$$B_B = \sum E_i A_i * z_{s,i}^2$$

$$S_B = \frac{1}{a_x^2}\left[\sum_1^{n-1} \frac{1}{k_{x,i}} + \frac{d_1}{2 * G_{xz,1}} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{d_i}{G_{xz,i}} + \frac{d_n}{2 * G_{xz,n}}\right]^{-1}$$

Schubanalogieverfahren

Nachlaufrechnungen:

$$M_{i,d} = M_{A,d} \frac{E_i I_i}{B_A}$$

$$N_{i,d} = \pm M_{B,d} * \frac{E_i A_i * z_{s,i}}{B_B}$$

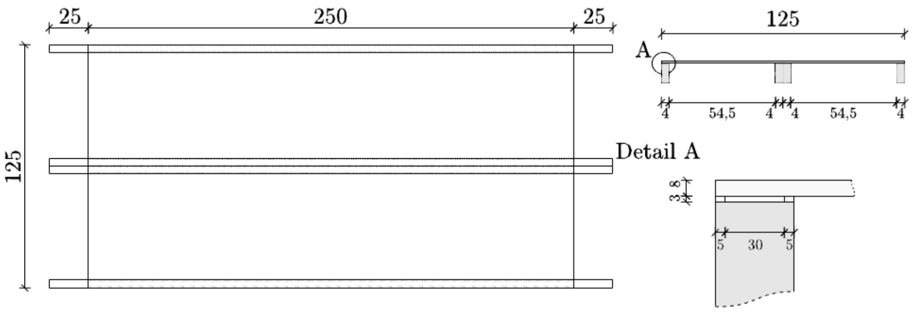
$$\sigma_A = \sigma_{m,i,d} = \pm \frac{M_{i,d}}{I_i} * z_i$$

$$\sigma_B = \sigma_{t/c,0,d} = \pm \frac{N_{i,d}}{A_i}$$

$$\sigma_{max/min} = \sigma_A + \sigma_B$$

Beispiel:

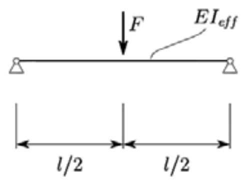
Glasplatte auf Rippen aus Kanthölzern, zwei Stück mittig, jeweils eine Rippe am Längsrand



an Anfang und Ende gelenkig gelagert; Belastung: Einzellast in Plattenmitte

Statisches System: Einfeldträger mit mittiger Einzellast

Beispiel:



Einwirkende Kraft und Schnittgrößen

$$F = 8,5\,\mathrm{kN}$$
$$M_{max} = F * l/4 = 8,5 * 2,5/4 = 5,31\,\mathrm{kNm}$$
$$V_{max} = F/2 = 8,5/2 = 4,25\,\mathrm{kN} \quad \text{(entspricht Auflagerkraft}$$

Glasplatte Materialeigenschaften und Abmessungen

$$E_G = 70000\,\mathrm{N/mm^2}$$
$$b_G = 125\,\mathrm{cm}$$
$$t_G = 8\,\mathrm{mm}$$
$$A_G = 125 * 0,8 = 100\,\mathrm{cm^2}$$
$$I_G = 125 * 0,8^3/12 = 5,33\,\mathrm{cm^4}$$
$$EA_G = 7000 * 100 = 700000\,\mathrm{kN}$$
$$EI_G = 7000 * 5,33 = 37333\,\mathrm{kNcm^2}$$

Klebefuge Materialeigenschaften und Abmessungen

$$G_K = 2,0\,\mathrm{N/mm^2}$$
$$b_K = 4 * 3,0 = 12\,\mathrm{cm}$$
$$t_K = 3\,\mathrm{mm} \quad \text{(Dicke der Klebefuge)}$$
$$h_{tot} = 0,8 + 0,3 + 10,0 = 11,1\,\mathrm{cm}$$
$$a = h_{tot} - h_G/2 - h_H/2 = 5,7\,\mathrm{cm}$$

Holz Materialeigenschaften und Abmessungen

$$E_H = 9041\,\mathrm{N/mm^2}$$
$$b_H = 4 * 4,0 = 16\,\mathrm{cm} \quad \text{(Gesamtbreite aller vier Holzrippen)}$$
$$h_H = 10\,\mathrm{cm}$$
$$A_H = 10 * 16 = 160\,\mathrm{cm^2}$$
$$I_H = 16 * 10^3/12 = 1333\,\mathrm{cm^4}$$
$$EA_H = 904,1 * 160 = 144656\,\mathrm{kN}$$
$$EI_H = 904,1 * 1333 = 1205467\,\mathrm{kNcm^2}$$

Beispiel: γ-Verfahren

$$c = G * \frac{b_k}{t_k} = 2{,}0 * \frac{12}{0{,}3} = 80N/mm^2$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 * EA_G}{l^2 * t_G}} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 * 700000}{250^2 * 8}} = 0{,}0675$$

$$a_H = \frac{\gamma_1 * EA_G * a}{\gamma_1 * EA_G + EA_H} = \frac{0{,}0675 * 700000 * 5{,}7}{0{,}0675 * 700000 + 144656} = 1{,}40cm$$

$$a_G = a - a_H = 5{,}7 - 1{,}4 = 4{,}30cm$$

$$(EI)_{ef} = EI_G + EI_H + \gamma_1 * EA_G * a_G^2 + EA_H * a_H^2 =$$
$$= 37333 + 1205467 + 0{,}0675 * 700000 * 4{,}3^2 + 144656 * 1{,}4^2 = 2399976kNcm^2$$

Beispiel: γ-Verfahren

Normalspannungen:

$$\sigma_{N,G} = -\frac{M}{(EI)_{ef}} * \gamma_1 * a_G * E_G = -\frac{531}{2399976} * 0{,}0675 * 4{,}3 * 70000 = -4{,}50N/mm^2$$

$$\sigma_{N,H} = \frac{M}{(EI)_{ef}} * a_H * E_H = \frac{531}{2399976} * 1{,}4 * 9041 = 2{,}80N/mm^2$$

$$\sigma_{M,G} = -\frac{M}{(EI)_{ef}} * \frac{h_G}{2} * E_G = -\frac{531}{2399976} * \frac{0{,}8}{2} * 70000 = -6{,}20N/mm^2$$

$$\sigma_{M,H} = \frac{M}{(EI)_{ef}} * \frac{h_H}{2} * E_H = \frac{531}{2399976} * \frac{10}{2} * 9041 = 10{,}00N/mm^2$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{N,H} + \sigma_{M,H} = 2{,}80 + 10{,}00 = \mathbf{12{,}80}N/mm^2$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{N,G} + \sigma_{M,G} = -4{,}50 - 6{,}20 = \mathbf{-10{,}70}N/mm^2$$

$$\tau_{max} = \frac{V_{max}}{(EI)_{ef}} * \gamma_1 * EA_G * a_1 * \frac{1}{b_k} = \frac{4{,}25}{2399976} * 0{,}0675 * 70000 * 100 * \frac{4{,}3}{12} = \mathbf{0{,}30}N/mm^2$$

Beispiel: Schubanalogieverfahren

$a = 5{,}70cm$ siehe γ-Verfahren

$$c = \frac{G_k}{t_k} = \frac{2{,}0}{3} = 0{,}667N/mm^3$$

Gewählte Materialeigenschaften für Berechnung der Schnittgrößen am Ersatzsystem im Stabwerksprogramm:

$E_{cal} = 10000N/mm^2$
$G_{cal} = 7000N/mm^2$

Querschnittswerte werden an das gewählte Material angepasst.

Beispiel: Schubanalogieverfahren

Träger A: Biegesteifigkeit und Querschnittswert

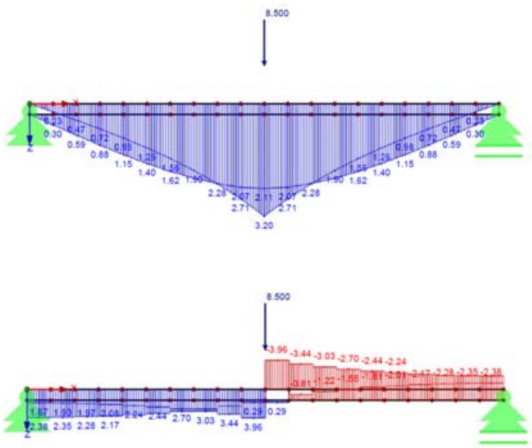
$$B_A = EI_A = EI_G + EI_H = 37333 + 1205467 = 1242800kNcm^2$$
$$I_A = \frac{EI_A}{E_{cal}} = \frac{1242800}{10000} = 1243cm^4$$

Träger B: Biegesteifigkeit, Ersatzschubsteifigkeit und Querschnittswerte

$$B_B = EI_B = a^2 * \frac{EA_G * EA_H}{EA_G + EA_H} = 5{,}7^2 * \frac{700000 * 144656}{700000 + 144656} = 3894972kNcm^2$$
$$I_B = \frac{EI_B}{E_{cal}} = \frac{3894972}{10000} = 3895cm^4$$
$$S_B = GA_B = \left[\frac{1}{a^2 * b_k} * \left(\frac{1}{c_F} + \frac{d_G}{2 * G_G} + \frac{d_H}{2 * G_H}\right)\right]^{-1} =$$
$$= \left[\frac{1}{5{,}7^2 * 12} * \left(\frac{1}{0{,}667} + \frac{0{,}8}{2 * 2800} + \frac{10}{2 * 62}\right)\right]^{-1} = 246{,}8kN$$

$$A_B = \frac{S_B}{G_{cal}} = 0{,}353cm^2$$

Beispiel: Schubanalogieverfahren



$M_{A,max} = 3{,}20kNm$
$M_{B,max} = 2{,}11kNm$

$V_A(x = 0) = 1{,}87kN$
$V_B(x = 0) = 2{,}38kN$

$w_{A,max} = 11{,}9mm$
$w_{B,max} = 11{,}9mm$

DI M. Rinnhofer
ITI TU Wien

Holzbau II WS 14/15 Übung 1 - Verbundbauteile

Beispiel: Schubanalogieverfahren

$$M_G = M_{A,max}\frac{EI_G}{B_A} = 3{,}21 * \frac{37333}{1242800} = 0{,}096kNm$$

$$M_H = M_{A,max}\frac{EI_H}{B_A} = 3{,}21 * \frac{1205467}{1242800} = 3{,}114kNm$$

$$N_G = -\frac{M_{B,max}}{a} = -\frac{2{,}11}{0{,}057} = -37{,}01kN$$

$$N_H = \frac{M_{B,max}}{a} = \frac{2{,}11}{0{,}057} = 37{,}01kN$$

Normalspannungen:

$$\sigma_{min} = \frac{N_G}{A_G} - \frac{M_G}{I_G} * z_G = -\frac{37{,}01}{100} - \frac{0{,}096 * 100}{5{,}33} * \frac{0{,}8}{2} = \mathbf{-1{,}091}kN/cm^2 = \mathbf{-10{,}91}N/mm^2$$

$$\sigma_{max} = \frac{N_H}{A_H} - \frac{M_H}{I_H} * z_H = \frac{37{,}01}{160} + \frac{3{,}114 * 100}{1333} * \frac{10}{2} = 1{,}399kN/cm^2 = \mathbf{13{,}99}N/mm^2$$

Schubspannung in der Verbundfuge:

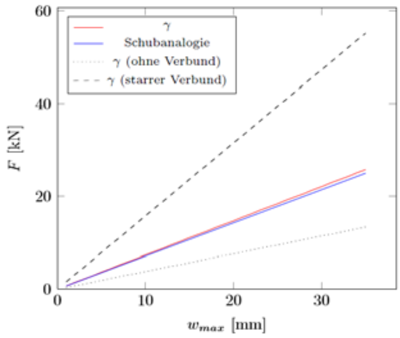
$$\tau_{max} = \frac{V_B}{a} * \frac{1}{b_k} = \frac{2{,}38}{5{,}70 * 12} = 0{,}0348kN/cm^2 = \mathbf{0{,}348}N/mm^2$$

DI M. Rinnhofer
ITI TU Wien

Holzbau II WS 14/15 Übung 1 - Verbundbauteile

Beispiel: Vergleich der Ergebnisse

	σ_{max} [N/mm²]	σ_{min} [N/mm²]	τ_{max} [N/mm²]	w_{max} [mm]
γ-Verfahren	12,80	-10,70	0,300	11,53
Sa-Verfahren	13,99	-10,91	0,348	11,90



DI M. Rinnhofer
ITI TU Wien
Holzbau II WS 14/15 Übung 1 - Verbundbauteile