

Bemessungsbeispiel: Nachgiebig verbundener Biegestab

Th. Moosbrugger
H. Krenn

Technische Universität Graz

Graz, am 30. & 31. Jänner 2009

Linz, am 13. & 14. Februar 2009

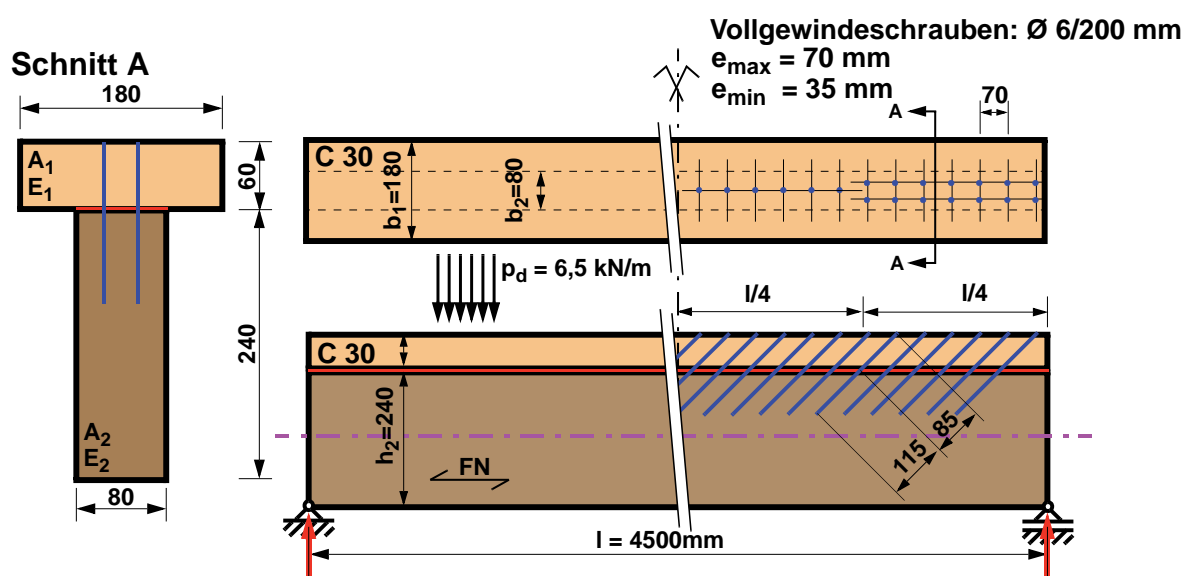
Dornbirn, am 6. & 7. Februar 2009

St. Pölten, am 20. & 21. Februar 2009

1/tm,hk

1 Verbundbalken – Langzeitverhalten: Nachweise

1 Verbundbalken – Langzeitverhalten: Nachweise (ULS/SLS)



2/tm,hk

2 Angabe zum Beispiel

Vollholz C 30: Nutzungsklasse: NK 1

Vollgewindeschrauben Ø 6/200 mm mit einem Einschraubwinkel von $\alpha = 45^\circ$

Bemessungswerte für $k_{\text{mod}} = 0,80$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,80 \cdot 30,0}{1,30} = 18,46 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,80 \cdot 18,0}{1,30} = 11,08 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,80 \cdot 23,0}{1,30} = 14,15 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} \cdot k_{cr} = \frac{0,80 \cdot 3,0}{1,30} \cdot \frac{2}{3} = 1,23 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0, \text{mean}} = 12000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ N/mm}^2$$

3 Einwirkungen

Eigengewicht: $g_k = 1,5 \text{ kN/m}$; Nutzlast: $p_k = 3,0 \text{ kN/m}$; $\psi_2 = 0,3$

$$q_d = 1,35 \cdot g_k + 1,50 \cdot p_k = 1,35 \cdot 1,5 + 1,50 \cdot 3,0 = 6,50 \text{ kN/m}$$

3/tm,hk

4 Bemessungsschnittgrößen

4 Bemessungsschnittgrößen

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{6,5 \cdot 4,5^2}{8} = 16,45 \text{ kNm} \quad V_d = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{6,5 \cdot 4,5}{2} = 14,60 \text{ kN}$$

5 Verschiebungsmodul und Tragfähigkeit einer Schraube

5.1 Effektive Gewindelänge der Vollgewindeschraube

$$l_1 = 60 \cdot \sqrt{2} = 85 \text{ mm}$$

$$l_2 = 200 - 85 = 115 \text{ mm}$$

5.2 Verschiebungsmodul K_{ser} und K_u eines Verbindungsmittels

$$K_{\text{ser}} = \frac{1120}{\frac{1}{l_1^{0,4}} + \frac{1}{l_2^{0,4}}} = \frac{1120}{\frac{1}{85^{0,4}} + \frac{1}{115^{0,4}}} \cong 3511 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad \text{lt. Zulassung}$$

$$K_{u, \text{mean}} = \frac{2}{3} \cdot K_{\text{ser}} = \frac{2}{3} \cdot 3511 \cong 2341 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

4/tm,hk

5.3 Bemessungswert der Ausziehtragfähigkeit eines VM

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{1,k} = 80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 80 \cdot 10^{-6} \cdot 380^2 = 11,55 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{ax,k} = \frac{f_{1,k} \cdot l_{ef} \cdot d_1}{\frac{4}{3} \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{11,55 \cdot 85 \cdot 6}{\frac{4}{3} \cdot (\cos 45^\circ)^2 + (\sin 45^\circ)^2} = 5049 \text{ N}$$

$$R_{a,d} = R_{ax,k} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 5049 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{0,80}{1,30} = 2197 \text{ N}$$

5.4 Effektiver Verbindungsmittelabstand

$$s_{ef} = 0,75 \cdot s_{min} + 0,25 \cdot s_{max} = 0,75 \cdot 35 + 0,25 \cdot 70 = 43,75 \text{ mm}$$

5/tm,hk

6 Langzeitverhalten für Verbundquerschnitte: System

6 Langzeitverhalten für Verbundquerschnitte: System 1-7

Anmerkung: Langzeiteffekte (k_{def}) wirken sich auf die Beanspruchung im Querschnitt aus:

Modell	M1	M2 (a) und M2 (b)		M3	M4	M5	M6	M7
k _{def}	-	0,6	1,2	1,2	-	-	0,6	1,2
Typ	Gesamtlastfall: g+p						Teillastfälle: g; p	
Steifigkeit der beiden Holzbauteile (Teil 1 und 2)								
E _X Step 1	E _{0, mean}	$\frac{E_{0, mean}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def}}$	$\frac{E_{0, mean}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def}}$	$\frac{E_{0, mean}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def}}$	E _{0, 05}	E _{0, mean}	$\frac{E_{0, mean}}{1 + k_{def}}$	$\frac{E_{0, mean}}{1 + k_{def}}$
	12000	10170	10170	10170	8000	12000	7500	5455
E _X Step 2	[N/mm ²]						E _{0, mean}	E _{0, mean}
							12000	12000
Steifigkeiten der Verbundfuge								
K _X Step 1	K _{u, mean}	$\frac{K_{u, mean}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def}}$	$\frac{K_{u, mean}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def}}$	$\frac{K_{u, 05}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def}}$	K _{u, mean}	K _{0, 05}	$\frac{K_{u, mean}}{1 + k_{def}}$	$\frac{K_{u, mean}}{1 + k_{def}}$
	2341	1984	1722	1155	2341	1984	1463	2341
K _X Step 2	[N/mm]						K _{u, mean}	K _{u, mean}
							2341	1064 60mm hk

6/tm,hk

6.1 Beschreibung der einzelnen Systeme für den Anfangs- und Endzustand

- **Modell 1**

M1 beschreibt das Tragverhalten für ein System mit gleichem Langzeitverhalten der Einzelbauteile auf Basis der Mittelwerte der Steifigkeiten (EN 1995-1-1, 2.2.2(1)).

- **Modell 2 (a) und (b)**

M2 (a) beschreibt das Tragverhalten mit verschiedenen Langzeitverhalten der Einzelteile auf Basis der Mittelwerte der Steifigkeiten (ON EN 1995-1-1, 2.2.2(1)). M2 (b) spiegelt die in ON EN 1995-1-1 2.3.2.2(3) angeführte Verdoppelung von k_{def} für Verbindungen wider.

- **Modell 3**

M3 spiegelt den Endzustand unter Berücksichtigung der minimalen Fugensteifigkeit nach ON B 1995-1-1 6.2.1 für die maximale Beanspruchung der Holzbauteile wider.

- **Modell 4 und 5**

M4 und M5 stellen Grenzwertbetrachtungen ohne k_{def} für Mittel- und 5 %-Fraktilwerte dar.

- **Modell 6 und 7**

M6 und M7 mit Teillasten: Ständige Lastanteile wirken am System mit kriechreduzierten Steifigkeiten, kurzfristige Lastanteile am System mit Kurzzeitsteifigkeiten.

7/tm,hk

6 Langzeitverhalten für Verbundquerschnitte: System

6.2 Elastizitätsmodul für den Endzustand (Mittelwert)

$$E_{\text{mean, fin}} = \frac{E_{0, \text{mean}}}{1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}}} = \frac{12000}{1 + 0,3 \cdot 0,6} \cong 10170 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

6.3 Steifigkeitskenngrößen für die Schrauben

Anmerkung: Für eine COV von 20 % (Annahme) gilt für den 5 %-Fraktilwert der Steifigkeit:

$$K_{u, 05} = K_{u, \text{mean}} \cdot (1 - 1,645 \cdot \text{COV}) = 2341 \cdot (1 - 1,645 \cdot 0,2) \cong 1571 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$K_{u, \text{mean, fin}} = \frac{K_{u, \text{mean}}}{1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}}} = \frac{2341}{1 + 0,3 \cdot 0,6} \cong 1984 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$K'_{u, \text{mean, fin}} = \frac{K_{u, \text{mean}}}{1 + \psi_2 \cdot 2 \cdot k_{\text{def}}} = \frac{2341}{1 + 0,3 \cdot 2 \cdot 0,6} \cong 1722 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$K_{u, 05, \text{fin}} = \frac{K_{u, 05}}{1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}}} = \frac{1571}{1 + 0,3 \cdot 0,6} \cong 1331 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$K'_{u, 05, \text{fin}} = \frac{K_{u, 05}}{1 + \psi_2 \cdot 2 \cdot k_{\text{def}}} = \frac{1571}{1 + 0,3 \cdot 2 \cdot 0,6} \cong 1155 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Anmerkung: Für Verbindungen ist der k_{def} -Wert zu verdoppeln (nicht nach ON B 1995-1-1)

8/tm,hk

7 Bestimmung der effektiven Biegesteifigkeit: T-QS für den Fall 1, d. h. ohne Berücksichtigung des Langzeitverhaltens

7.1 Bestimmung der γ -Faktoren für den Querschnitt

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{0,1,mean} \cdot A_1 \cdot s_1}{K_{u,1,mean} \cdot I^2}} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot 12000 \cdot 60 \cdot 180 \cdot 43,75}{2341 \cdot 4500^2}} = 0,46 \quad \gamma_2 = 1$$

7.2 Bestimmung des Schwerpunktes

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_{0,1,mean} \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_{0,3,mean} \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{2 \cdot \sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_{0,i,mean} \cdot A_i} =$$

$$a_2 = \frac{0,46 \cdot 12000 \cdot 60 \cdot 180 \cdot (60 + 240) - 0}{2 \cdot (0,46 \cdot 60 \cdot 180 \cdot 12000 + 1 \cdot 12000 \cdot 80 \cdot 240)} = 30,83 \text{ mm}$$

$$a_1 = \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) - a_2 = \left(\frac{60 + 240}{2} \right) - 30,83 = 119,17 \text{ mm}$$

9/tm,hk

7.3 Bestimmung der wirksamen Biegesteifigkeit

$$(EJ)_{ef} = \sum_{i=1}^2 (E_i \cdot J_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2) =$$

$$(EJ)_{ef} = \left(12000 \cdot \frac{180 \cdot 60^3}{12} + 0,46 \cdot 12000 \cdot 180 \cdot 60 \cdot 119,17^2 \right) + \left(12000 \cdot \frac{80 \cdot 240^3}{12} + 1 \cdot 12000 \cdot 80 \cdot 240 \cdot 30,83^2 \right) = 2,21 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

10/tm,hk

8 Ermittlung der Spannungen über den Querschnitt

8.1 Ermittlung der Normalspannungen

$$\sigma_1 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot a_1 \cdot M_d}{(EJ)_{ef}} = \frac{0,46 \cdot 12000 \cdot (-119,17) \cdot 16,45 \cdot 10^6}{2,21 \cdot 10^{12}} = -4,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{\gamma_2 \cdot E_2 \cdot a_2 \cdot M_d}{(EJ)_{ef}} = \frac{1 \cdot 12000 \cdot 30,83 \cdot 16,45 \cdot 10^6}{2,21 \cdot 10^{12}} = 2,75 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,1} = \frac{0,5 \cdot E_1 \cdot h_1 \cdot M_d}{(EJ)_{ef}} = \frac{0,5 \cdot 12000 \cdot 60 \cdot 16,45 \cdot 10^6}{2,21 \cdot 10^{12}} = 2,68 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,2} = \frac{0,5 \cdot E_2 \cdot h_2 \cdot M_d}{(EJ)_{ef}} = \frac{0,5 \cdot 12000 \cdot 240 \cdot 16,45 \cdot 10^6}{2,21 \cdot 10^{12}} = 10,72 \text{ N/mm}^2$$

8.2 Ermittlung der maximalen Schubspannung im Schwerpunkt des QS

$$\tau_{2,max} = \frac{\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot (h_2/2 + a_2)^2}{b_2 \cdot (E \cdot J)_{ef}} \cdot V_d$$

$$\tau_{2,max} = \frac{0 + 0,5 \cdot 12000 \cdot 80 \cdot (240/2 + 30,83)^2}{80 \cdot 2,21 \cdot 10^{12}} \cdot 14,60 \cdot 10^3 = 0,90 \text{ N/mm}^2$$

11/tm,hk

8 Ermittlung der Spannungen über den Querschnitt

8.3 Ermittlung der Beanspruchung des Verbindungsmittels

$$F_{1,d} = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_1}{(EJ)_{ef}} \cdot V_d = \frac{0,46 \cdot 12000 \cdot 180 \cdot 60 \cdot 119,17 \cdot 35}{2,21 \cdot 10^{12}} \cdot 14,6 \cdot 10^3 \cong 1642,70 \text{ N}$$

8.4 Bestimmung des Spannungsverlaufes

$$\sigma_{1,o,d} = \sigma_{1,d} - \sigma_{1,m,d} = -4,90 - 2,68 = -7,58 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{1,u,d} = \sigma_{1,d} + \sigma_{1,m,d} = -4,90 + 2,68 = -2,22 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{2,o,d} = \sigma_{2,d} - \sigma_{2,m,d} = 2,75 - 10,72 = -7,97 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{2,u,d} = \sigma_{2,d} + \sigma_{2,m,d} = 2,75 + 10,72 = 13,47 \text{ N/mm}^2$$

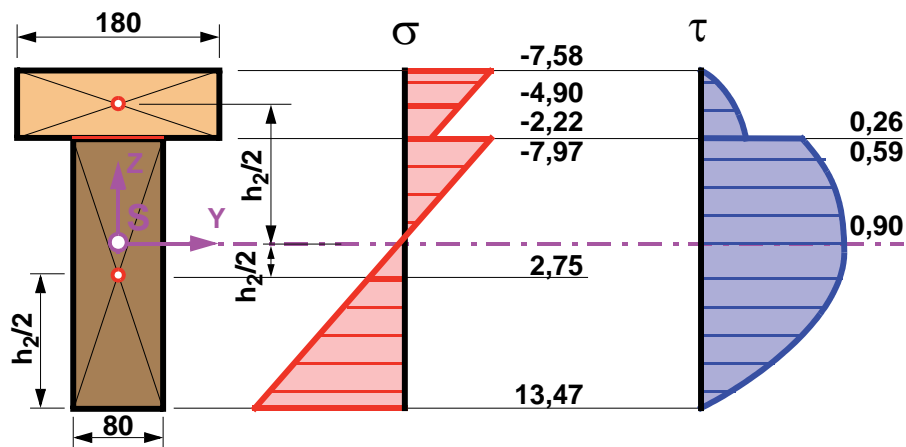
$$\sigma_{c,1,d} = -4,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t,2,d} = 2,75 \text{ N/mm}^2$$

12/tm,hk

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 :

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

13/tm,hk

9 Spannungsverläufe und Spannungsnachweise

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!

14/tm,hk

10 Gegenüberstellung der einzelnen Modelle

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

15/tm,hk

10 Gegenüberstellung der einzelnen Modelle

	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

16/tm,hk

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.

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.

17/tm,hk

11 Durchbiegung

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

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

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

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

18/tm,hk

11.4 Charakteristische Bemessungssituation: Endzustand

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

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

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

11.5 Quasi-ständige Durchbiegung: Endzustand

$$w_{\text{fin}} - w_{\text{c}} \leq \frac{l}{250}$$

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

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