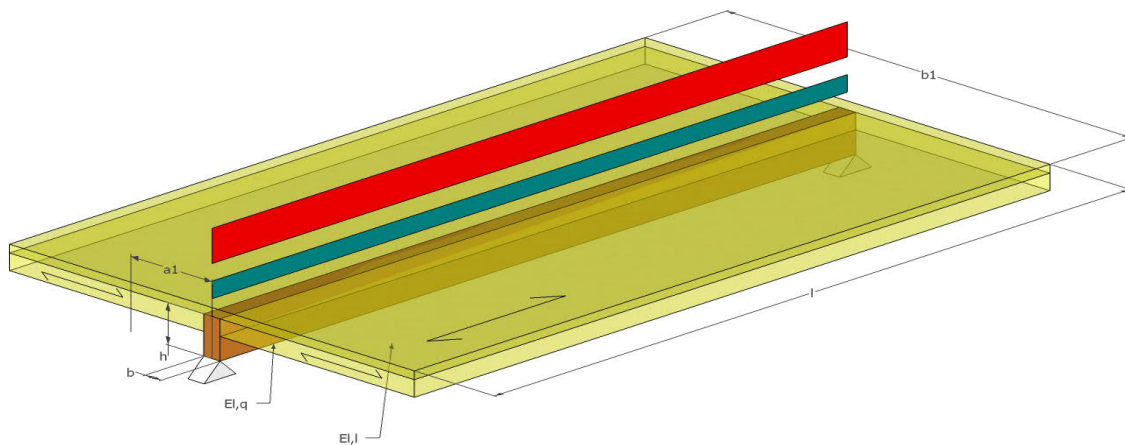
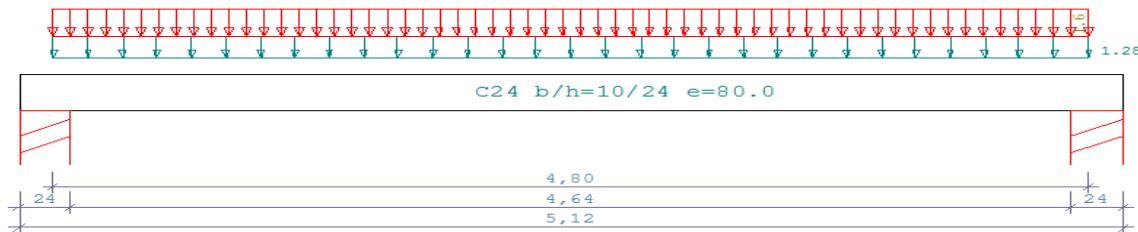


## DLT – Beispiel 2: Schwingungen von Holzbalkendecken nach DIN EN 1995/NA:2013

System: Holzbalkendecke mit Zementestrich und Abstand  $a_1 = 0,80\text{m}$



Eingabewerte für den Schwingungsnachweis sind nachfolgend umrahmt

Einwirkungsgruppe EWG

Wohnräume

Querschnitt 10/24, Balkenabstand

$a_1 = 0,80\text{ m}$

$E = 11000\text{ N/mm}^2$ ,  $g = 6,00\text{ kN/m}^3$

Deckenbreite quer zur Spannrichtung

$b_1 = 7,00\text{ m}$

Deckenlänge

$l = 4,80\text{ m}$

Aufbau:

Holzbelag 12mm

$g = 6,00\text{ kN/m}^3$

Zementestrich (nass)  $d = 60\text{mm}$   $E = 30000\text{ N/mm}^2 = 30,0 \cdot 10^9\text{ N/m}^2$

$g = 22,0\text{ kN/m}^3$

Dämmung 50mm

$g = 0,10\text{ kN/m}^3$

Holzverschalung 24mm

$E = 11000\text{ N/mm}^2 = 11,0 \cdot 10^9\text{ N/m}^2$

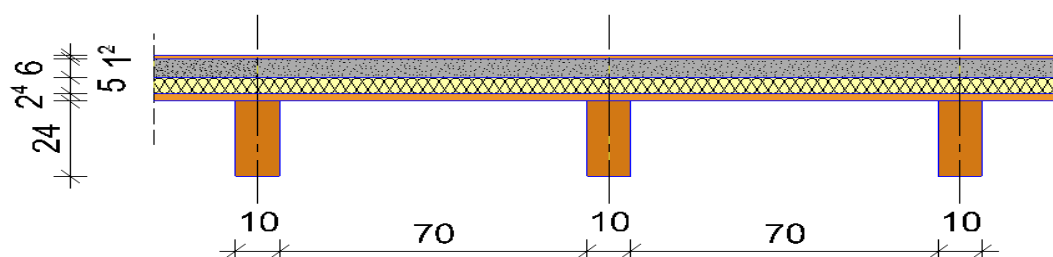
$g = 6,00\text{ kN/m}^3$

Modaler Dämpfungsgrad :

Holzbalkendecke mit Nassestrich

$\zeta = 0,03$

Querschnitt:



## Lasten und Massen

Flächenlast Verkehr $q$			$q_k$	Einheit
Wohnräume Kategorie A			2,00	kN/m <sup>2</sup>
Flächenlast Ständig $g$	Dicke $d$		$g_k$	
Holzboden	1,2 cm	0,012*1,0*6,0/1,0	0,072	kN/m <sup>2</sup>
Estrich	6,0 cm	0,06*1,0*22,0/1,0	1,320	kN/m <sup>2</sup>
Dämmung	5,0 cm	0,05*0,1*1,0/1,0	0,005	kN/m <sup>2</sup>
Holzverschalung	2,4 cm	1,00*0,024*6,0/1,0	0,144	kN/m <sup>2</sup>
Gebälk 10/24	24,0 cm	0,10*0,24*6,0/0,8	0,180	kN/m <sup>2</sup>
Summe $g$			1,721	kN/m <sup>2</sup>
Gewählt $g$			1,75	kN/m <sup>2</sup>
Quasi-ständiger Anteil		$\psi_2 * q_k = 0,3 * 2,0$	0,60	kN/m <sup>2</sup>
Summe $g + \psi_2 * q_k$			2,35	kN/m <sup>2</sup>
Massen				
Masse $m_g$			175	kg/m <sup>2</sup>
Masse $m_{g+q}$			235	kg/m <sup>2</sup>

## Steifigkeiten

Biegesteifigkeiten		El	Einheit
<b>Decke</b>	<b>Zementestrich (Nass) d= 60mm</b>		
	$E = 30000 \text{ N/mm}^2$	30000	MN/m <sup>2</sup>
	$I_q = 1,0 * 0,06^3 / 12$	$0,180 * 10^{-4}$	m <sup>4</sup>
	$EI_q = E * I_q = 30000,0 * 0,180 * 10^{-4}$	0,540	MNm <sup>2</sup> /m
	<b>Holzverschalung 24mm</b>		
	$E = 11000 \text{ N/mm}^2$	11000	MN/m <sup>2</sup>
	$I_q = 1,0 * 0,024^3 / 12$	$0,0115 * 10^{-4}$	m <sup>4</sup>
	$EI_q = E * I_q = 11000 * 0,01152 * 10^{-4}$	0,013	MNm <sup>2</sup> /m
<b>Balken</b>	<b>10/24 e = 0,80 m</b>		
	$E = 11000 \text{ N/mm}^2$	11000	MN/m <sup>2</sup>
	$I_l = 0,10 * 0,24^3 / 12$	$1,1520 * 10^{-4}$	m <sup>4</sup>
	$EI_{\text{Balken}} = E * I_l = 11000 * 1,152 * 10^{-4}$	1,267	MNm <sup>2</sup>
<b>Zusätzliche Steifigkeiten längs</b>		<b>El<sub>l</sub></b>	
	Estrich $El_l = 0,540 \text{ MNm}^2 / \text{m} * 0,8\text{m}$	0,432	MNm <sup>2</sup>
	Holzverschalung	0,000	MNm <sup>2</sup>
<b>Gesamtsteifigkeit längs</b>			
	Zusätzliche Steifigkeit längs	0,432	MNm <sup>2</sup>
	Gebälk	1,267	MNm <sup>2</sup>
	Summe längs	1,699	MNm <sup>2</sup>
	$El_l = EI_{\text{Balken}} / e = 1,699 \text{ MNm}^2 / 0,8\text{m}$	2,124	MNm <sup>2</sup> /m
<b>Quersteifigkeit</b>		<b>El<sub>q</sub></b>	
	Estrich	0,540	MNm <sup>2</sup> /m
	Holzverschalung	0,013	MNm <sup>2</sup> /m
	Summe quer	0,553	MNm <sup>2</sup> /m

## Nachweis der Schwingungen

### Eigenfrequenz

Beiwert für die Quersteifigkeit

$$\alpha = \frac{b_1}{l} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_l}{EI_q}} = \frac{7,00 \text{ m}}{4,80 \text{ m}} \cdot \sqrt[4]{\frac{21,24 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2/\text{m}}{5,53 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2/\text{m}}} = 2,04$$

Überprüfung ob das Einhalten der Bedingungen nach EN 1995-1-1, Abs. 7.3.3 (2) ausreichend ist ( $f_1 > 8$  mit Masse aus ständigem Anteil  $m_g$ )

oder ob nach Abs. 7.3.3 (1) eine genauere Untersuchung durchgeführt werden muss ( $f_1 \leq 8$  mit Masse aus ständigem und quasi ständigem Anteil  $m_{g+q}$ )

Grundfrequenz für Platte mit  $m_g = 175 \text{ kg/m}^2$

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_l}{m_g}}$$

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot 4,80^2} \cdot \sqrt{\frac{21,24 \cdot 10^5}{175}} = 7,51 \text{ Hz}$$

Einfluss Durchlaufwirkung

$l_1/l$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	
$k_f$	1,00	1,09	1,15	1,20	1,24	1,27	1,3	1,33	1,38	1,42	

Keine Durchlaufwirkung  $\Rightarrow k_f = 1,0$

Eigenfrequenz für Platte

$$f_1 = f_0 \cdot k_f \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\alpha^4}}$$

$$f_1 = 6,48 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{2,04^4}} = 7,73 \text{ Hz} < 8 \text{ Hz}$$

$\Rightarrow$  Nach EN 1995-1-1, Abs. 7.3.3 (1) sollten bei Schwingungen  $< 8 \text{ Hz}$  genauere Untersuchungen durchgeführt werden. Das Einhalten der Bedingungen nach Abs. 7.3.3 (2) ist nicht ausreichend.

Grundfrequenz für Platte mit  $m_{g+q} = 235 \text{ kg/m}^2$

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot 4,80^2} \cdot \sqrt{\frac{21,24 \cdot 10^5}{235}} = 6,48 \text{ Hz}$$

Eigenfrequenz für Platte

$$f_1 = 6,48 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{2,04^4}} = 6,67 \text{ Hz} < 8 \text{ Hz}$$

## Durchbiegung infolge einer Einzellast

Mitwirkende Plattenbreite für eine Einzellast

$$b_F = \frac{l}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_q}{EI_l}} = \frac{b_1}{1,1 \cdot \alpha}$$

$$b_F = \frac{4,80}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{5,53 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2/\text{m}}{21,24 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2/\text{m}}} = \frac{7,00}{1,1 \cdot 2,04} = 3,12 \text{ m}$$

Durchbiegung

$$w_F = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EI_l \cdot b_F}$$

$$w_F = \frac{1000 \text{ N} \cdot 4,8^3 \text{ m}^3}{48 \cdot 21,24 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m} \cdot 3,12 \text{ m}} = 0,00035 \text{ m} = 0,35 \text{ mm}$$

## Schwinggeschwindigkeit infolge Einheitsimpuls

Anzahl Schwingungen 1. Ordnung mit der Resonanzfrequenz bis 40 Hz

$$n_{40} = \left[ \left( \left( \frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \cdot \left( \frac{b_1}{l} \right)^4 \cdot \frac{EI_l}{EI_q} \right]^{0,25}$$

$$n_{40} = \left[ \left( \left( \frac{40}{6,67} \right)^2 - 1 \right) \cdot \left( \frac{7,0}{4,80} \right)^4 \cdot \frac{21,24 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2/\text{m}}{5,53 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2/\text{m}} \right]^{0,25}$$

$$n_{40} = 4,966$$

Schwinggeschwindigkeit

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m_{g+q} \cdot b_1 \cdot l + 200}$$

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot 4,98)}{235 \cdot 7,0 \cdot 4,8 + 200} = 0,00167 \text{ m/Ns}^2$$

Begrenzung der Schwinggeschwindigkeit

$$a = w_F = 0,35 \text{ mm} \quad \zeta = 0,03$$

$$\text{gew.: } a = 0,35 \text{ mm}$$

$$\beta = 180 - 60 \cdot a; \quad \text{für } 0,5 \text{ mm} \leq a \leq 1,0 \text{ mm}$$

$$\beta = 180 - 60 \cdot 0,35 = 159,0 \geq 150 \quad \text{gew.: } \beta = 150$$

$$v \leq \beta^{(f_1 \cdot \zeta - 1)}$$

$$v \leq 150,0^{(6,67 \cdot 0,03 - 1)} = 0,0182 \text{ m/Ns}^2$$

$$\text{Eta} = \frac{0,00167}{0,0182} = 0,09$$

## Schwinggeschwindigkeit infolge Tritt

Schwinggeschwindigkeit für Platten

$$v = \frac{950 \cdot \alpha}{f_0 \cdot m_{g+q} \cdot l \cdot b}$$

$$v = \frac{950 \cdot 2,04}{6,48 \cdot 235 \cdot 4,8 \cdot 7,0} = 0,037 \text{ m/Ns}^2$$

Begrenzung der Schwinggeschwindigkeit

$$v \leq 6 \cdot \beta^{(f_1 \cdot \zeta - 1)}$$

$$v \leq 6 \cdot 150^{(6,67 \cdot 0,03 - 1)} = 0,109 \text{ m/Ns}^2$$

$$\text{Eta} = \frac{0,037}{0,109} = 0,34$$

## Beschleunigung

Vertikale Beschleunigung der Platte

$$a_{\text{vert}} = \frac{56}{m_{g+q} \cdot b \cdot l \cdot \gamma} \cdot \frac{1}{\zeta} \text{ m/s}^2$$

$$a_{\text{vert}} = \frac{56}{235 \cdot 7,0 \cdot 4,80 \cdot 1,0} \cdot \frac{1}{0,03} = 0,236 \text{ m/s}^2$$

Auslastung Wohlbefinden

$$a_{\text{wohl}} = 0,1 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Eta} = \frac{a_{\text{vert}}}{a_{\text{wohl}}} = \frac{0,236}{0,1} = 2,36$$

Auslastung Spürbare Schwingbeschleunigung

$$a_{\text{spürbar}} = 0,4 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Eta} = \frac{a_{\text{vert}}}{a_{\text{spürbar}}} = \frac{0,236}{0,4} = 0,59$$

Nachweise für  $a_{\text{spürbar}} = 0,4 \text{ m/s}^2$  erfüllt !!