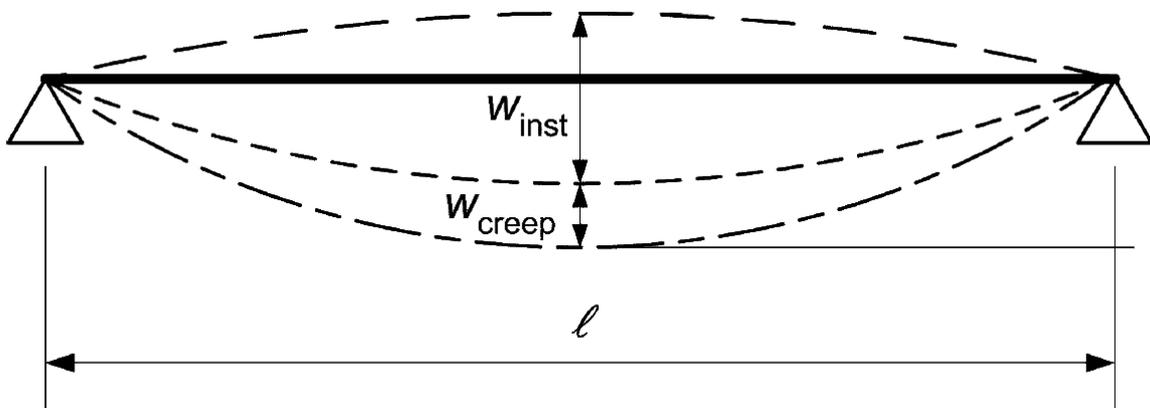




BDF-Merkblatt 02-04

Stand 04.09.2017



**Gebrauchstauglichkeit von
Holzbalkendecken**

Merkblatt zu Durchbiegungs- und Schwingungsnachweisen von Holzbalkendecken nach Eurocode 5 und aktuellen Forschungserkenntnissen

1. Einleitung

Die hier aufgeführten Nachweise sind für die Anwendung von Holzbalkendecken konzipiert. Die Gebrauchstauglichkeitsnachweise (Durchbiegung und Schwingung) werden häufig maßgebend für die Dimensionierung der Konstruktion. Besonders der Schwingungsnachweis des Eurocode 5 (EC 5) [2] stellt hohe Anforderungen an die Konstruktion einer Holzbalkendecke. Im Nationalen Anhang zum EC 5 [3] wird allerdings angemerkt, dass das Schwingungsverhalten von Decken und die Begrenzung von Durchbiegungen im Hinblick auf die vorgesehene Nutzung zu beurteilen ist und die Anforderungen in Abstimmung mit dem Bauherrn festgelegt werden können. Forschungserkenntnisse [4] und [6] bieten die Grundlage für besondere Untersuchungen, die zu wirtschaftlicheren Lösungen führen können und als Branchenlösung für die üblichen Hausgrundrisse anwendbar sind.

Dieses Merkblatt gilt für Standard-Deckenaufbauten im Holzbau mit direkter Auflagerung des Deckentragwerks. Es gilt im Wesentlichen für die Ausführung von Decken im Wohnungsbau, Büros, Versammlungsstätten und Verkaufsf lächen mit Nassestrichen.

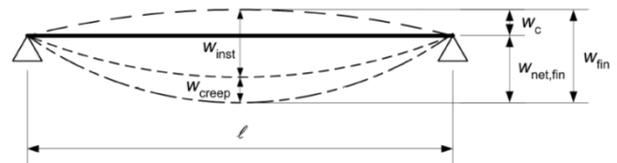
Besondere Grundrissituationen (z.B. sehr große Stützweiten, Trägerroste, Auflagerung auf Stahlträgern, etc.), die Ausführung von Trockenestrichen oder durch besondere Nutzung erforderliche höhere Anforderungen sind ggf. gesondert zu berücksichtigen.

2. Quellen

- [1] DIN EN 1990:2010-12: Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung
- [2] DIN EN 1995-1-1:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau
- [3] DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau
- [4] Abschlussbericht: „Schwingungstechnische Optimierung von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken“ AiF-Vorhaben-Nr.: 15283 N; Winter, S.; Hamm, P.; Richter, A.
- [5] Erläuterungen zu DIN 1052:2004-2008, Entwurf, Bemessung und Berechnung von Holztragwerken, H.J. Blaß, J. Ehlbeck, H. Kreuzinger, G. Steck
- [6] Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken aus Holz; Abschlussbericht Januar 1999; Kreuzinger, H.; Mohr, B.

3. Nachweis der Durchbiegung nach EC5 [2] und NA [3]

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind nach Eurocode 5 [2] die elastische Anfangsdurchbiegung w_{inst} , die Enddurchbiegung w_{fin} sowie die gesamte Enddurchbiegung $w_{net,fin}$ separat zu begrenzen. Die folgenden Formeln setzen einen linearen Zusammenhang zwischen Einwirkung und Verformung voraus. Die Einspannwirkung von Nachbarfeldern bei Mehrfeldträgern kann berücksichtigt werden.



- w_{inst} Anfangsdurchbiegung aus Eigengewicht, der ersten und weiteren veränderlichen Verkehrslasten
- w_{creep} Verformungsanteil hervorgerufen durch Kriechen
- w_{fin} Enddurchbiegung resultierend aus Eigengewicht, veränderlichen Verkehrslasten und Kriechen
- w_c Überhöhung (falls vorhanden)
- $w_{net,fin}$ Enddurchbiegung abzüglich Überhöhung

Anfangsdurchbiegung $w_{inst.} \leq w_{inst.grenz}$

w_{inst} berechnet sich aus der charakteristischen Einwirkungskombination: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot w_{inst,Q,i} \quad \psi_{0,i} \text{ nach [1] Tab. A 1.1 (} = 0,7 \text{ für Wohnen, Büro, Versammlung, Verkauf; } = 1,0 \text{ für Lagerflächen)}$$

Die Verformungen sind mit den Mittelwerten der entsprechenden Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmodule zu berechnen (E_{mean} , G_{mean} , K_{ser}).

$$w_{inst.grenz} = \text{Feld: } \frac{l}{300} \text{ bis } \frac{l}{500} \quad \text{Kragträger: } \frac{l}{150} \text{ bis } \frac{l}{250} \quad ([2] \text{ Tab. 7.2)} \quad \text{Empfehlung:}$$

$$w_{inst.grenz} = \text{Feld: } \frac{l}{300} \leq 15mm \quad \text{Kragträger: } \frac{l}{150} \leq 10mm \quad (\text{negative Verformungen bleiben unberücksichtigt})$$

JA

NEIN

Nachweis nicht erfüllt!

Enddurchbiegung $w_{fin} \leq w_{fin.grenz}$

w_{fin} berechnet sich aus w_{inst} überlagert mit w_{creep} infolge der quasiständigen Einwirkungskombination
Materialspezifische Verformungsbeiwerte k_{def} nach [3] Tab. NA.5

Tragwerke aus Bauteilen oder Komponenten mit gleichen Kriecheigenschaften

Werden Holzbauteile mit gleichem zeitabhängigen Verhalten über Verbindungen angeschlossen, sollte der Wert für k_{def} verdoppelt werden.

$$w_{fin} = w_{inst} + w_{creep}$$

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

$$w_{creep} = (w_{inst,G} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot w_{inst,Q,i}) \cdot k_{def}$$

$$w_{fin.grenz} = \text{Feld: } \frac{l}{150} \text{ bis } \frac{l}{300} \quad \text{Kragträger: } \frac{l}{75} \text{ bis } \frac{l}{150} \quad ([2] \text{ Tab. 7.2)}$$

Empfehlung:

$$w_{fin.grenz} = \text{Feld: } \frac{l}{200} \quad \text{Kragträger: } \frac{l}{100}$$

Tragwerk aus Bauteilen oder Komponenten mit unterschiedlichen Kriecheigenschaften

Werden Holzbauteile mit unterschiedlichem zeitabhängigen Verhalten über Verbindungen angeschlossen, sollte die Berechnung der Endverformung mit dem folgenden Verformungsbeiwert k_{def} für die Verbindung durchgeführt werden:

$$k_{def} = 2 \cdot \sqrt{k_{def,1} \cdot k_{def,2}}$$

Die Endverformungen sind mit den Endwerten der Mittelwerte der entsprechenden Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmodul zu berechnen.

$$E_{mean,fin} = E_{mean} / (1 + k_{def})$$

$$G_{mean,fin} = G_{mean} / (1 + k_{def})$$

$$K_{ser,fin} = K_{ser} / (1 + k_{def})$$

JA

NEIN

Nachweis nicht erfüllt!

Gesamte Enddurchbiegung $w_{net,fin} \leq w_{net,fin.grenz}$

$$w_{net,fin} = w_{fin} - w_c$$

$$w_{net,fin.grenz} = \text{Feld: } \frac{l}{250} \text{ bis } \frac{l}{350} \quad \text{Kragträger: } \frac{l}{125} \text{ bis } \frac{l}{175} \quad ([2] \text{ Tab. 7.2)}$$

Empfehlung:

$$w_{net,fin.grenz} = \text{Feld: } \frac{l}{300} \quad \text{Kragträger: } \frac{l}{150}$$

JA

NEIN

Nachweis erfüllt!

Nachweis nicht erfüllt!

4. Schwingungsnachweis

Es ist sicherzustellen, dass häufig zu erwartende Einwirkungen auf Bauteile oder Tragwerke keine Schwingungen verursachen, welche die Funktion des Bauwerks beeinträchtigen oder bei den Nutzern unzulässiges Unbehagen verursachen. Grundsätzlich gelten die Regelungen nach EC5 [2] und Nationalem Anhang (NA) [3]. Die in [2] Abs. 7.3.3 (1) aufgeführten besonderen Untersuchungen für Decken mit einer ersten Eigenfrequenz $f_1 \leq 8$ Hz können nach den Erkenntnissen aus den Forschungsberichten [4] und [6] geführt werden. Die Erkenntnisse aus dem Forschungsbericht [6] sind in die Erläuterungen zur DIN 1052 [5] eingeflossen. Die folgenden Anwendungsschemata beziehen die Plattenwirkung eines auf der Holzbalkendecke befindlichen Estrichs mit ein. Die verwendeten Formelzeichen werden auf Seite 6 erläutert.

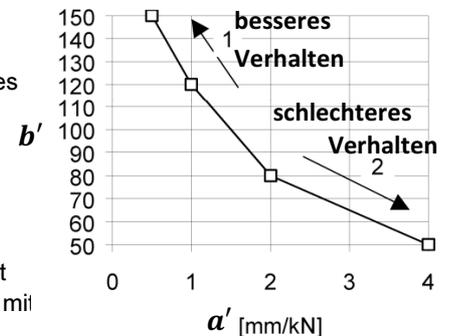
4.1 Nachweis nach EC5 [2], NA [3] und Erläuterungen zur DIN 1052 [5]

Definition der Anforderung an das Schwingverhalten und Ermittlung des Wertepaars a' und b'

Die Grenzwerte der Schwinggeschwindigkeit v und der Beschleunigung a werden aus dem variablen Wertepaar a' und b' , der Eigenfrequenz f_1 sowie des Dämpfungsgrades ζ bestimmt.

Das Wertepaar a' und b' ergibt sich aus der Entscheidung für ein **besseres** oder **schlechteres** Schwingverhalten. Die Ausführung mit **besserem** Schwingungsverhalten wird hierbei empfohlen.

Anmerkung: In diesem Merkblatt wird das Wertepaar abweichend vom EC5 mit a' und b' bezeichnet, da die Raumbreite bereits mit b und die Beschleunigung mit a bezeichnet werden.



Eigenfrequenzkriterium

Die Ermittlung der Eigenfrequenz f_1 [Hz] kann durch Messungen am System oder durch Berechnung erfolgen.

Für rechteckige, an allen Rändern gelenkig gelagerte Decken mit den Gesamtmaßen $l \cdot b$ und Holzbalken bzw. Massivholzdecken der Spannweite l darf die Eigenfrequenz f_1 näherungsweise berechnet werden zu:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_l}{m}}$$

Für Einfeldträger kann die Eigenfrequenz direkt aus der Durchbiegung aus ständiger Einwirkung berechnet werden:

$$f_1 = \frac{5}{\sqrt{0,8 \cdot w_g [cm]}}$$

Umrechnung Einfeld- zu Zweifeldbalken mit k_f : ($l_1 < l$) $\rightarrow f_{1,Zweifeld-Balken} = f_{1,Einfeld-Balken} \cdot k_f$

l_1 / l	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
k_f	1,0	1,09	1,15	1,20	1,24	1,27	1,3	1,33	1,38	1,42	1,56
γ	2,0	1,40	1,15	1,05	1,00	0,969	0,951	0,934	0,927	0,918	0,912

aus [5] Tab. 9/3, 9/4

γ = Beiwert zur Berücksichtigung der mitschwingenden Masse, siehe unten.

Nach Forschungserkenntnissen von [4] und [6] darf die Steifigkeit des Estrichs mit in die Frequenzberechnung einfließen. Bei Holzbalkendecken mit Estrich ergibt sich dabei auch eine Steifigkeit in Querrichtung (EI_b), welche mit der Steifigkeit der Estrichschicht gleichzusetzen ist. Besitzt die Tragkonstruktion bereits auch eine Steifigkeit in Querrichtung so darf diese addiert werden. Die Plattentragwirkung kann mit dem Beiwert α berücksichtigt werden.

$$f_{1,Platte} = f_{1,Balken} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\alpha^4}}; \quad \text{mit: } \alpha = \frac{b}{l} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_l}{EI_b}}$$

$f_1 \geq 8$ Hz

$f_1 < 8$ Hz

$f_1 \geq 8 \text{ Hz}$

$f_1 < 8 \text{ Hz}$

Nachweisschema EC5 [2]

Steifigkeit: $w_{1kN} < w_{\text{grenz},1kN}$

w_{1kN} bezeichnet die größte vertikale Anfangsdurchbiegung infolge einer konzentrierten vertikalen statischen Einzellast $F (= 1kN)$, an ungünstigster Stelle wirkend und unter Berücksichtigung der Lastverteilung ermittelt.

Für eine Holzbalkendecke ergibt sich vereinfachend:

$$w_{1kN} = \frac{l^3}{48 \cdot EI_l \cdot b_{w(1kN)}} \quad \text{mit: } b_{w(1kN)} = \min \left\{ \begin{matrix} b_{ef} \\ b \end{matrix} \right\}$$

$$b_{ef} = \frac{b}{1,1 \cdot \alpha} \quad ; \quad \alpha = \frac{b}{l} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_l}{EI_b}} \quad b_{w(1kN)} \text{ muss nicht kleiner als der Balkenabstand gewählt werden!}$$

$$w_{\text{grenz},1kN} = a' \left[\frac{mm}{kN} \right]$$

Schwinggeschwindigkeit $v_{\text{(Einheitsimpuls)}} < v_{\text{Grenz}}$

v bezeichnet die Einheitsimpulsgeschwindigkeitsreaktion, d. h. der maximale Anfangswert der vertikalen Schwingungsgeschwindigkeitsamplitude der Decke (in m/s) infolge eines an derjenigen Stelle der Decke aufgebracht idealen Einheitsimpulses (1 Ns), der die größte Eigenfrequenz erzeugt. Anteile über 40 Hz dürfen vernachlässigt werden.

Für rechteckige, an allen Rändern gelenkig gelagerte Decken mit den Gesamtmaßen $l \cdot b$ und Holzbalken der Spannweite l darf der Wert v näherungsweise berechnet werden zu:

$$v \cong \frac{4(0,4 + 0,6n_{40})}{m \cdot b \cdot l + 200}$$

$$\text{mit: } n_{40} = \left\{ \left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \cdot \left(\frac{b}{l} \right)^4 \cdot \frac{(EI_l)_l}{(EI_b)_b} \right\}^{0,25}$$

Für Balken näherungsweise:

$$v \cong \frac{1}{m \cdot e \cdot l \cdot 0,5 \cdot \gamma + 50}$$

$$v_{\text{grenz}} \leq b' (f_1 \cdot \zeta - 1) \quad [m/Ns^2]$$

Der modale Dämpfungsgrad ζ kann auf der sicheren Seite zu $\zeta = 0,01$ (bzw. 1%) angenommen werden.

JA

Nachweis erfüllt

NEIN

Nachweis nicht erfüllt

Besondere Untersuchungen nach [5]

Die „besonderen Untersuchungen“ umfassen Untersuchungen der Schwinggeschwindigkeit v infolge Fersenauftritt sowie Resonanzuntersuchungen (evtl. spezifische Untersuchungen).

Schwinggeschwindigkeit : $v_{\text{(Fersenauftritt)}} < v_{\text{Grenz}}$

Für Platten:

$$v = \frac{950 \cdot \alpha}{f_1 \cdot m \cdot b \cdot l \cdot \gamma}$$

Für Balken:

$$v = \frac{55}{m \cdot e \cdot l \cdot 0,5 \cdot \gamma + 50}$$

$$v_{\text{Grenz}} \leq 6 \cdot b' (f_1 \cdot \zeta - 1) \left[\frac{m/s}{1 \text{ Ns}} \right]$$

Beschleunigung : $a < a_{\text{Grenz,vertikal}}$

Ausgehend von einer beim Gehen auftretenden Schrittfrequenz und einer Mannlast von 700N kann die Beschleunigung vereinfachend abgeschätzt werden:

$$a \cong \frac{56}{m \cdot b \cdot l \cdot \gamma \cdot \zeta}$$

(γ bei Zweifeldträger; siehe Tabelle oben)

Der Dämpfungsgrad ζ kann angenommen werden zu:

Deckenaufbau	ζ
Decken ohne schwimmenden Estrich	0,01
Decken aus verleimten Brettstapel-Elementen mit schwimmendem Estrich	0,02
Holzbalkendecken und mechanisch verbundene Brettstapel-Decken mit schwimmendem Estrich	0,03

aus [5] Tab. 9/8

Bewertung:

$$a \leq 0,1 \text{ m/s}^2$$

$$0,1 < a < 0,4 \text{ m/s}^2$$

Wohlbefinden

**spürbare Resonanz,
nicht störend**

JA

Nachweis erfüllt

NEIN

Nachweis nicht erfüllt

4.2 Erkenntnisse aus AiF-Forschungsvorhaben „Schwingungstechnische Optimierung von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken“ [4] und Abschlussbericht „Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken aus Holz“ [6]

Nach [4] sind an Wohnungsdecken in Mehrfamilienhäusern, Decken in Büros oder Besprechungsräumen – diese Decken werden nachfolgend vereinfachend als Trenndecken bezeichnet – oder auch Flure mit kurzen Spannweiten höhere Anforderungen an das Schwingungsverhalten zu stellen als an Decken innerhalb einer Nutzungseinheit, z.B. Decken in Einfamilienhäusern. Handelt es sich bei den Trenndecken um Durchlaufträger, so ist gemäß [6] eine weitere Unterscheidung erforderlich. Die Anforderungen an das Steifigkeitskriterium (w_{1kN}) sind bei Durchlaufträgern mit verschiedenen Nutzungseinheiten bzw. „Nutzungszonen“ – z.B. unterschiedliche Büroräume oder angrenzende Flur etc. – in den einzelnen Deckenfeldern höher als bei Trenndecken mit einer Nutzungseinheit über die komplette Balkenlänge, wie z.B. Mehrfamilienhaus mit einer Wohnung je Geschoss. Der günstige Einfluss der Durchlaufwirkung darf auch beim Steifigkeitskriterium berücksichtigt werden, vgl. Abschnitt 4.4.

Nach Meinung der Autoren von [4] und [6] darf die Biegesteifigkeit des Estrichs (ohne Verbund) sowie bei zweiachsig gespannten Decken die Drillsteifigkeit bei der Berechnung der Eigenfrequenz berücksichtigt werden. Die Grenzgeschwindigkeit v_{grenz} wird bei Decken mit üblichen Schallschutzaufbau nicht maßgebend, der Nachweis kann vereinfachend entfallen. Wie bereits im Eurocode 5 wird auch in [4] aufgeführt, dass bei der Ermittlung der Eigenfrequenz der Ansatz von ausschließlich ständigen Einwirkungen ausreichend ist, quasi-ständige Lastanteile müssen nicht berücksichtigt werden. Es wird empfohlen bei hohen quasiständigen Anteilen von Nutzlasten, wie sie beispielsweise bei Büro- oder Archivnutzung vorzufinden sind, diese ebenfalls zu berücksichtigen!

Neben den Anforderungen des Eurocodes 5 wird das Schwingungsverhalten wesentlich von der Art der Konstruktion und dem Ausbau beeinflusst. Die Anordnung einer schwimmenden Estrichschicht (insbesondere Nassestrich, ggf. auf Schüttung) wirkt sich positiv auf das Schwingverhalten aus. Holzbalkendecken (oder Trägerroste) als Trenndecken sollten stets mit einem schwimmenden Nassestrich, möglichst in Kombination mit einer Schüttung, ausgeführt werden. Die Schüttung bewirkt hierbei eine Erhöhung der Masse und der Dämpfung. Dies kann auch durch Beschwerungen der Rohdecken oder durch schwere Unterdecken erfolgen. Für Decken unter Räumen, die für rhythmische Bewegungen genutzt werden, wie z.B. Turnhallen, sollten genauere Untersuchungen durchgeführt werden. Eine nachgiebige Lagerung auf Unterzügen sollte über die Berechnung der Eigenfrequenz und der Durchbiegung am Gesamtsystem berücksichtigt werden. Für Unterzüge kann näherungsweise eine Mindeststeifigkeit festgelegt werden, die Verformung der Unterzüge unter einer Einzellast von 1 kN sollte maximal $w_{1kN} = 0,25$ mm betragen.

Hinweis: Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass bei der Verwendung von Trockenestrich-Systemen Schwingungsüberlagerungen der Estrichkonstruktion mit der eigentlichen Rohdecke erfolgen können. Diese können von den Nutzern als unangenehm empfunden werden, obwohl die hier genannten Anforderungen an die Rohdecke eingehalten werden. Ein Eigenschwingungsverhalten macht sich insbesondere dann bemerkbar, wenn durch das Wandern von Schüttungen, Verlegefehler oder intensive Leitungsinstallationen unterhalb des Estrichs geringfügige Hohlstellen auftreten. Es wird daher dringend empfohlen, die Querbiegesteifigkeit von Trockenestrichen nur bei der Verwendung großformatiger Estrichelemente rechnerisch anzusetzen, nur geprüfte Systeme zu verwenden und die Verlegeanleitungen der Systemhersteller strikt einzuhalten. Ein Mischen von Systemen ist zu vermeiden.

4.3 Formelzeichen

- m die Masse je Flächeneinheit aus ständigen Einwirkungen (nicht quasi-ständig) [kg/m²];
- l die Deckenspannweite [m];
- l₁ die Deckenspannweite [m] des kleineren Feldes eines Zweifeldträgers;
- b die Deckenbreite [m];
- e Balkenabstand [m];
- E_I die äquivalente Plattenbiegesteifigkeit der Decke um eine Achse rechtwinklig zur Balkenrichtung (in Spannrichtung der Decke) je lfm. [MNm²/m]

- E/b die äquivalente Plattenbiegesteifigkeit der Decke um eine Achse längs zur Balkenrichtung (in Querrichtung der Decke) je lfm. [MNm^2/m]
- n_{40} die Anzahl der Schwingungen 1. Ordnung mit einer Resonanzfrequenz bis zu 40 Hz;
- w Durchbiegung [mm]
- a_t Beschleunigung zum Zeitpunkt t ;
- a_{max} maximale Beschleunigung;
- a', b' Grenzwertepaar

4.4 Nachweisschema nach Forschungsbericht [4] in Verbindung mit den Erkenntnissen aus Forschungsbericht [6]

Frequenzkriterium: $f_1 > f_{1,grenz}$

Die Ermittlung der Eigenfrequenz kann durch Messungen oder Berechnung erfolgen. Die Frequenzberechnung verläuft auch hier analog zu den zuvor beschriebenen Berechnungen des EC5 [2].

Trenndecken: $f_{1,grenz} \geq 8$ Hz

Decke innerhalb einer Nutzungseinheit: $f_{1,grenz} \geq 6$ Hz

JA

NEIN

Steifigkeitskriterium: $w_{1kN} < w_{grenz,1kN}$

w_{1kN} bezeichnet die Durchbiegung analog EC5 [2]. Bei Durchlaufträgern erfolgt der Nachweis ebenfalls am beidseitig gelenkig gelagerten Träger mit der Spannweite des größten Feldes l . Die Biegesteifigkeit des Estrichs darf angerechnet werden.

Formeln: (siehe linkes Nachweisschema EC5, Steifigkeit)

Trenndecken	$w_{grenz,1kN}$
Einfeldträger	0,50 mm
Durchlaufträger, eine Nutzungseinheit in Etage	0,70 mm
Durchlaufträger, mehrere Nutzungseinheiten in Etage (nicht empfohlen!)	0,25 mm

Decken innerhalb einer Nutzungseinheit

Einfeldträger	1,00 mm
Durchlaufträger	1,40 mm

Anmerkung: Die Grenzwerte sind gültig für eine Dämpfung $\zeta = 0,01$. Bei einer Dämpfung von $\zeta = 0,02$ dürfen die Grenzwerte mit dem Faktor 1,15 multipliziert werden, und für eine Dämpfung von $\zeta = 0,03$ mit einem Faktor 1,25.

JA

genauere Untersuchungen

Die genaueren Untersuchungen sind i. A. nur bei schweren Decken, z.B. bei Holz-Beton-Verbunddecken Erfolg versprechend.

Eigenfrequenz: $f_1 > 4,5$ [Hz] (nach [4])

Beschleunigungskriterium: $a < a_{grenz}$ (nach [6])

Beschleunigung a vereinfachend nach Nachweisstruktur aus [5] (siehe 4.1) oder ausführlich:

$$a \approx \frac{0,4 \cdot P_0 \cdot \alpha_2}{M_{gen}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{f_1}{f_F}\right)^2 - 1\right]^2 + \left(2 \cdot \zeta \cdot \frac{f_1}{f_F}\right)^2}} \leq 0,10 \frac{m}{s^2}$$

$P_0 \approx 700N$ (üblicher Wert Personenlast)

$\zeta \approx 0,01$ bis $0,03$ (siehe oben aus Tab. 9/8 [5])

α_2 = Fourierkoeffizient aus Tab. 8 [6]

f_F = Anregungsfrequenz aus Tab. 8 [6]

M_{gen} = generalisierte Masse $M_{gen} \approx m \cdot \frac{l}{2} \cdot b_{w(1kN)}$

Frequenzbereich	Fourierkoeffizient α_2	Anregungsfrequenz f_F
$3,4 < f_1 \leq 5,1$ Hz	0,2	$f_F = f_1$
$5,1 < f_1 \leq 6,9$ Hz	0,06	$f_F = f_1$
$f_1 > 6,9$ Hz	0,06	$f_F = 6,9$ Hz

aus [6] Tab. 8

JA

Massenkriterium: $v \leq v_{grenz}$

v bezeichnet die Schwinggeschwindigkeit der Decke bei einem Impuls mit kürzerer Einwirkungsdauer. Berechnungsgleichungen nach Nachweisstruktur aus [5] (siehe 4.1). Bei Nassestrichen kann dieser Nachweis vereinfachend entfallen, da dieser in der Regel eingehalten ist.

NEIN

JA

NEIN

NEIN

Nachweis erfüllt!

Nachweis nicht erfüllt!

5. Berechnungsbeispiel

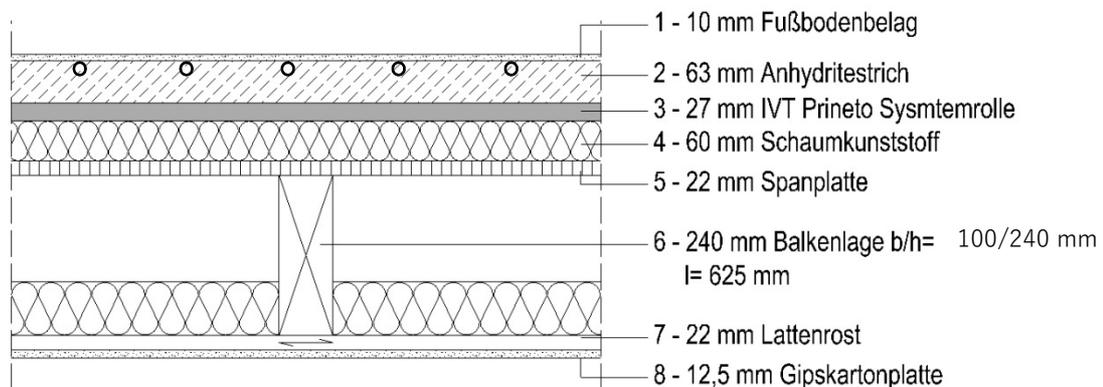
Konstruktion:

Fall a: Decke innerhalb einer Nutzungseinheit, Zweifeldträger mit den Feldweiten $l_1 = 4,2$ m und $l_2 = 5,2$ m und Feldbreite $b = 5$ m.

Fall b: Decke zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten, Einfeldträger mit Feldweite $l = 4,40$ m und Feldbreite $b = 5$ m.

Nutzungsklasse: 1

Deckenaufbau



Balkenlage: Material C24 ($E = 11.000$ [N/mm²])

Belastung:

Eigengewicht:

Das Eigengewicht der Konstruktion wird vereinfachend pauschal angenommen zu:

$$g_k = 2,20 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

veränderliche Einwirkung:

Beispielhaft wird hier der Wert für Wohn- und Aufenthaltsräume nach (Kategorie A2) DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12 verwendet:

$$q_k = 1,50 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

In diesem Beispiel wird kein Trennwandzuschlag berücksichtigt. Sofern die Nutzung der Decke dies vorsieht, so ist der Trennwandzuschlag bei den Durchbiegungsnachweisen zu berücksichtigen. Bei den Schwingungsnachweisen kann dieser unberücksichtigt bleiben.

quasi-ständige Einwirkung:

$$q_{q-s} = g_k + q_{1,k} \cdot \psi_{2,1} = 2,00 + 1,50 \cdot 0,3 = 2,45 \left[\frac{kN}{m^2} \right] \quad (\text{entspricht } m = 245 \left[\frac{kg}{m^2} \right])$$

Nachweis der Durchbiegung nach EC5 [2]:

Betrachtet wird nur Fall a mit dem größten Feld $l_2 = 5,2$ m. Die Einspannwirkung des Nachbarfeldes wird hier über den Beiwert $\beta = 0,58$ nach [5] berücksichtigt.

$$w_{\text{Mehrfeldträger}} = \beta \cdot w_{\text{Einfeldträger}} = \beta \cdot \frac{5ql^4}{384 EI_l}$$

Für die Längsbiegesteifigkeit EI_l je lfm. ergibt sich:

$$EI_l = E \cdot \frac{b \cdot h^3}{12 \cdot e} = 11000 \cdot \frac{0,10 \cdot 0,24^3}{12 \cdot 0,625} = 2,03 \text{ [MNm}^2/\text{m]}$$

Anfangsdurchbiegung:

$$w_{\text{inst,G}} = \beta \cdot \frac{5g_k l^4}{384 EI_l} = 0,68 \cdot \frac{5 \cdot 2,2 \cdot 5,2^4}{384 \cdot 2,03} = 7,0 \text{ [mm]} ; \quad w_{\text{inst,Q1}} = \beta \cdot \frac{5q_k l^4}{384 EI_l} = 4,8 \text{ [mm]}$$

$$w_{\text{inst}} = w_{\text{inst,G}} + w_{\text{inst,Q1}} + \sum_{i>1} \Psi_{0,i} \cdot w_{\text{inst,Q,i}} = 7,0 + 4,8 = 11,8 \text{ [mm]}$$

$$w_{\text{inst,Grenz}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{l}{300} \\ 15,0 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{5200}{300} = 17,3 \\ 15,0 \end{array} \right\} = 15,0 \text{ [mm]}$$

$$w_{\text{inst}} = 11,8 \text{ [mm]} \leq 15,0 \text{ [mm]}$$

Der Grenzwert der Anfangsdurchbiegung wird eingehalten!

Enddurchbiegung:

mit: $k_{\text{def}} = 0,6$ (aus NKL1 und Vollholz); $\Psi_{2,1} = 0,3$

$$w_{\text{inst}} = 11,8 \text{ [mm]}$$

$$w_{\text{creep}} = (w_{\text{inst,G}} + w_{\text{inst,Q1}} \cdot \Psi_{2,1}) \cdot k_{\text{def}} = (7,0 + 4,8 \cdot 0,3) \cdot 0,6 = 5,1 \text{ [mm]}$$

$$w_{\text{fin}} = w_{\text{inst}} + w_{\text{creep}} = 11,8 + 5,1 = 16,9 \text{ [mm]}$$

$$w_{\text{fin,Grenz}} = \frac{l}{200} = \frac{5200}{200} = 26 \text{ [mm]} > w_{\text{fin}} = 16,9 \text{ [mm]}$$

Der Grenzwert der Enddurchbiegung wird eingehalten!

Gesamt-Enddurchbiegung:

mit: $w_c = 0$ (keine Überhöhung)

$$w_{\text{net,fin}} = w_{\text{fin}} - w_c = 16,9 - 0 = 16,9 \text{ [mm]}$$

$$w_{\text{net,fin,Grenz}} = \frac{l}{300} = \frac{5200}{300} = 17,3 \text{ [mm]} > w_{\text{fin}} = 16,9 \text{ [mm]}$$

Der Grenzwert der Gesamt-Enddurchbiegung wird eingehalten!

Schwingungsnachweis nach EC5 [2]:

Steifigkeiten:

$EI_l = 1,62 \text{ [MNm}^2/\text{m]}$ (siehe Berechnungen zum Nachweis der Durchbiegung)

Die für eine Plattenwirkung benötigte Biegesteifigkeit in Querrichtung EI_b ergibt sich aus der Estrichsteifigkeit:

$I_{\text{Estrich}} = \frac{1 \cdot 0,045^3}{12} = 7,594 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]} \text{ mit } h_{\text{Estrich}} = 0,045 \text{ m da Heizestrich (63 mm abzüglich Heizleitung } \varnothing 18 \text{ mm)}$
mit $E_{\text{Estrich}} = 14000 \left[\frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \right] \rightarrow EI_b = 0,106 \left[\frac{\text{MNm}^2}{\text{m}} \right]$

$EI_{l,\text{Estrich}} = 2,03 + 0,106 = 2,14 \text{ [MNm}^2/\text{m]}$

Fall a) Decke innerhalb einer Nutzungseinheit

Frequenzkriterium:

Die Eigenfrequenz des Zweifeldträgers ohne Berücksichtigung der Plattenwirkung ergibt sich zu:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_{l,\text{Estrich}}}{m}} \cdot k_f = \frac{\pi}{2 \cdot 5,2^2} \cdot \sqrt{\frac{2,14}{220}} \cdot 1,15 \cdot 10^3 = 6,59 \text{ [Hz]} \text{ mit } k_f: \text{ aus } \frac{l_1}{l} = \frac{4,2}{5,2} = 0,81 \approx 0,8 \text{ nach Tab.: } k_f = 1,15$$

Die Eigenfrequenz des Zweifeldträgers mit Berücksichtigung der Plattenwirkung ergibt sich zu:

$$f_{1,\text{Platte}} = f_1 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\alpha^4}} = 6,59 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{2,04^4}} = 6,78 < 8 \text{ [Hz]} \quad \text{mit: } \alpha = \frac{b}{l} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_{l,\text{Estrich}}}{EI_b}} = \frac{5}{5,2} \cdot \sqrt[4]{\frac{2,14}{0,106}} = 2,04$$

Das Frequenzkriterium nach EC5 [2] mit $f_1 \geq 8 \text{ Hz}$ kann nicht eingehalten werden!

Es können jedoch **besondere Untersuchungen** durchgeführt werden.

$f_{1,\text{grenz}} = 6,0 \text{ [Hz]} < 6,78 \text{ [Hz]} \quad (f_{1,\text{grenz}} = 6 \text{ Hz, bei Decken innerhalb einer Nutzungseinheit})$

Das Frequenzkriterium nach [4] wird eingehalten!

Steifigkeitskriterium:

$w_{\text{grenz},1\text{kN}} = 1,4 \cdot 1,25 = 1,75 \left[\frac{\text{mm}}{\text{kN}} \right] \rightarrow$ Durchlaufträger innerhalb einer Nutzungseinheit, $\zeta = 0,03$

Die mitwirkende Breite b_w bei einer Einzellast von 1kN ergibt sich zu:

$$b_{w(1\text{kN})} = \min \left\{ \frac{b_{ef}}{b} \right\} = \min \left\{ \frac{2,35}{5,0} \right\} = 2,35 \text{ [m]};$$

$$\text{mit: } \alpha = 2,04 \text{ und } b_{ef} = \frac{b}{1,1 \cdot \alpha} = \frac{5}{1,1 \cdot 2,04} = 2,23 \text{ [m]}$$

Die Anfangsdurchbiegung infolge einer konzentrierten Einzellast F berechnet sich zu:

$$w_{1\text{kN}} = \frac{l^3}{48 \cdot EI_{l,\text{Estrich}} \cdot b_{w(1\text{kN})}} = \frac{5,2^3}{48 \cdot 2,14 \cdot 2,23} = 0,61 \left[\frac{\text{m}}{\text{MN}} = \frac{\text{mm}}{\text{kN}} \right] \leq 1,75 \left[\frac{\text{mm}}{\text{kN}} \right]$$

Das Steifigkeitskriterium wird eingehalten!

Massenkriterium:

$$v_{\text{grenz}} = 6 \cdot b \cdot (f_1 \cdot \zeta - 1) = 6 \cdot 150 \cdot (6,78 \cdot 0,03 - 1) = 0,111 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = \frac{950 \cdot \alpha}{f_1 \cdot m \cdot b \cdot l \cdot \gamma} = \frac{950 \cdot 2,23}{6,78 \cdot 220 \cdot 5 \cdot 5,2 \cdot 1,15} = 0,048 \frac{\text{m}}{\text{s}} \leq 0,111 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Das Massenkriterium wird eingehalten!

Bei Decken mit schwimmendem Nassestrich, kann wie in [4] vorgeschlagen, vereinfachend der Nachweis des Massenkriteriums entfallen.

Fall b) Decke zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten

Frequenzkriterium:

Die Eigenfrequenz des Einfeldträgers ohne Berücksichtigung der Plattenwirkung ergibt sich zu:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_{L,Estrich}}{m}} = \frac{\pi}{2 \cdot 4,40^2} \cdot \sqrt{\frac{2,14}{220}} \cdot 10^3 = 8,0 \text{ [Hz]}$$

Die Eigenfrequenz des Einfeldträgers mit Berücksichtigung der Plattenwirkung ergibt sich zu:

$$f_{1,Platte} = f_1 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\alpha^4}} = 8,0 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{2,41^4}} = 8,12 > 8 \text{ [Hz]} \quad \text{mit: } \alpha = \frac{b}{l} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_{L,Estrich}}{EI_b}} = \frac{5}{4,40} \cdot \sqrt[4]{\frac{2,14}{0,106}} = 2,41$$

Das Frequenzkriterium nach [2] und [4] wird eingehalten!

Steifigkeitskriterium:

$$w_{\text{grenz},1kN} = 0,5 \left[\frac{mm}{kN} \right] \rightarrow \text{Trenndecke als Einfeldträger}$$

Die mitwirkende Breite b_w bei einer Einzellast von 1kN ergibt sich zu:

$$b_{w(1kN)} = \min \left\{ \frac{b_{ef}}{b} \right\} = \min \left\{ \frac{1,89}{5,0} \right\} = 1,89 [m];$$

$$\text{mit: } \alpha = 2,41 \text{ und } b_{ef} = \frac{b}{1,1 \cdot \alpha} = \frac{5}{1,1 \cdot 2,41} = 1,89 [m]$$

Die Anfangsdurchbiegung infolge einer konzentrierten Einzellast F berechnet sich zu:

$$w_{1kN} = \frac{l^3}{48 \cdot EI_{L,Estrich} \cdot b_{w(1kN)}} = \frac{4,40^3}{48 \cdot 2,14 \cdot 1,89} = 0,44 \left[\frac{m}{MN} = \frac{mm}{kN} \right] \leq 0,5 \left[\frac{mm}{kN} \right]$$

Das Steifigkeitskriterium wird eingehalten!

Massenkriterium:

$$v_{\text{grenz}} = 6 \cdot b' \cdot (f_1 \zeta^{-1}) = 6 \cdot 150^{(8,12 \cdot 0,03^{-1})} = 0,136 \frac{m}{s}$$

$$v = \frac{950 \cdot \alpha}{f_1 \cdot m \cdot b \cdot l \cdot \gamma} = \frac{950 \cdot 2,41}{8,12 \cdot 220 \cdot 5 \cdot 4,4 \cdot 1,0} = 0,058 \frac{m}{s} \leq 0,136 \frac{m}{s}$$

Das Massenkriterium wird eingehalten!

Bei Decken mit schwimmendem Nassestrich, kann wie in [4] vorgeschlagen, vereinfachend der Nachweis des Massenkriteriums entfallen.



Merkblatt 02-04 Gebrauchstauglichkeit von Holzbalkendecken

Dateiname:
BDF-MB-02-04

AK Konstr./Statik, 04.09.2017

Seite 12 von 12

Rev. 3.0

Verfasser Rev. 0 - Rev. 3.0:
bauart Konstruktions GmbH & Co. KG
Lauterbach | München | Darmstadt | Berlin
Hauptsitz: Spessartstraße 13, D-36341 Lauterbach
www.bauart-konstruktion.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter
Dipl.-Ing.(FH) André Badstieber

Das Merkblatt stellt eine Serviceleistung dar. Eine Haftung und Gewährleistung für den Inhalt kann trotz sorgfältigster Bearbeitung nicht übernommen werden.