

Schwingungsnachweise von Holzdecken auf Unterzügen

Patricia Hamm
Hochschule Biberach
Institut für Holzbau
Biberach, Deutschland



Schwingungsnachweise von Holzdecken auf Unterzügen

1. Einleitung

Mit den Schwingungen in diesem Beitrag sind sehr langsame Schwingungen gemeint, solche, die nicht mehr gehört, sondern «nur» gefühlt werden können. Wir sprechen von Frequenzen von 0 Hz bis ca. 40 Hz.

Abbildung 1 zeigt anschaulich, weshalb es gilt, solche Schwingungen zu vermeiden. Diese Schwingungen werden sehr unterschiedlich wahrgenommen und von Person zu Person subjektiv und unterschiedlich bewertet. Dennoch ist es wichtig, eine klare Vorschrift zu haben, wie Holzdecken bemessen werden sollen, um «für den Durchschnittsnutzer» störende Schwingungen zu vermeiden.

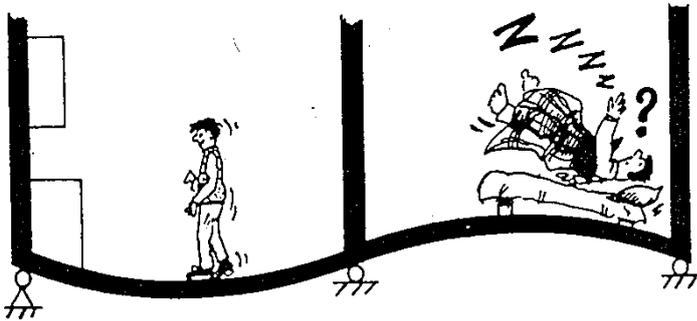


Abbildung 1: Schwingungen bei Holzdecken. Aus [Ohlsson, 1982]

1.1. Weshalb müssen Schwingungen nur bei Holzdecken nachgewiesen werden?

Die einfache Antwort ist, dass Stahlbetondecken (mit üblichen Spannweiten und Nutzung als Wohn- oder Büroräume) aufgrund ihrer hohen Masse nicht zu störenden Amplituden angeregt werden. Bei Stahlkonstruktionen gibt es diese Schwingungsproblematik auch, es gibt auch umfangreiche Forschungsarbeiten zur Vermeidung von Schwingungen [HIVOSS, 2008], allerdings werden die Stahlkonstruktionen kaum im üblichen Wohnhausbau eingesetzt.

1.2. Schaden die strengen Nachweise dem Holzbau nicht mehr als sie ihm nutzen?

Wenn der Holzbau mit den anderen Materialien, v.a. dem Stahlbetonbau mithalten und sich mit ihm vergleichen will, müssen auch gleiche Komfortkriterien eingehalten werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Holzkonstruktion überhaupt nicht mehr sichtbar ist. Durch die restlose Bekleidung aller Tragglieder kann der Nutzer nicht erkennen, welches Material verbaut wurde und er erwartet ein gleich schwingungsunempfindliches Verhalten wie bei Stahlbetondecken. Anders verhält es sich, wenn die Holzbalken sichtbar sind, entweder auf Wunsch des Bauherrn oder im Altbau: Dann kann sich der Nutzer auf ein weiches Verhalten einstellen und wird es akzeptieren.

1.3. Wie ist mit dem Thema Unterzüge umzugehen?

Durch den Wunsch vieler Bauherren nach großen, offenen Räumen ergeben sich große Spannweiten für die Holzbalken. Die Spannweiten werden verkürzt, indem die Holzbalken auf Unterzüge abgestützt werden. Die Holzbalken und Unterzüge werden statisch nachgewiesen. Das Durchbiegungs- und Schwingungsverhalten ist anders als bei einer starren Lagerung auf Wänden. Wie die nachgiebige Lagerung auf Unterzügen beim Schwingungsnachweis berücksichtigt werden sollte, wird in Kapitel 3 aufgezeigt.

2. Konstruktions- und Bemessungsregeln

2.1. Übersicht

Das Schwingungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens an der TU München [Winter/Hamm/Richter, 2010] untersucht. Ergebnis sind Konstruktions- und Bemessungsregeln für den Schwingungsnachweis von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken. Diese wurden in der Reihe «HolzBauSpezial» des Forum-Holzbau bereits 2011 vorgestellt, vgl. [Hamm, 2011].

Hier in Kapitel 2 sind die relevanten Formeln und Werte für den Schwingungsnachweis für Holzdecken zusammengefasst. In Kapitel 3 wird gezeigt, wie die Lagerung auf Unterzügen rechnerisch berücksichtigt werden kann.

Abbildung 2 zeigt eine Übersicht / eine schematische Darstellung des Schwingungsnachweises. Dabei werden drei Kriterien untersucht:

1. die Eigenfrequenz der Decke
2. die Durchbiegung unter einer Einzellast
3. die Konstruktion inkl. Aufbau der Decke

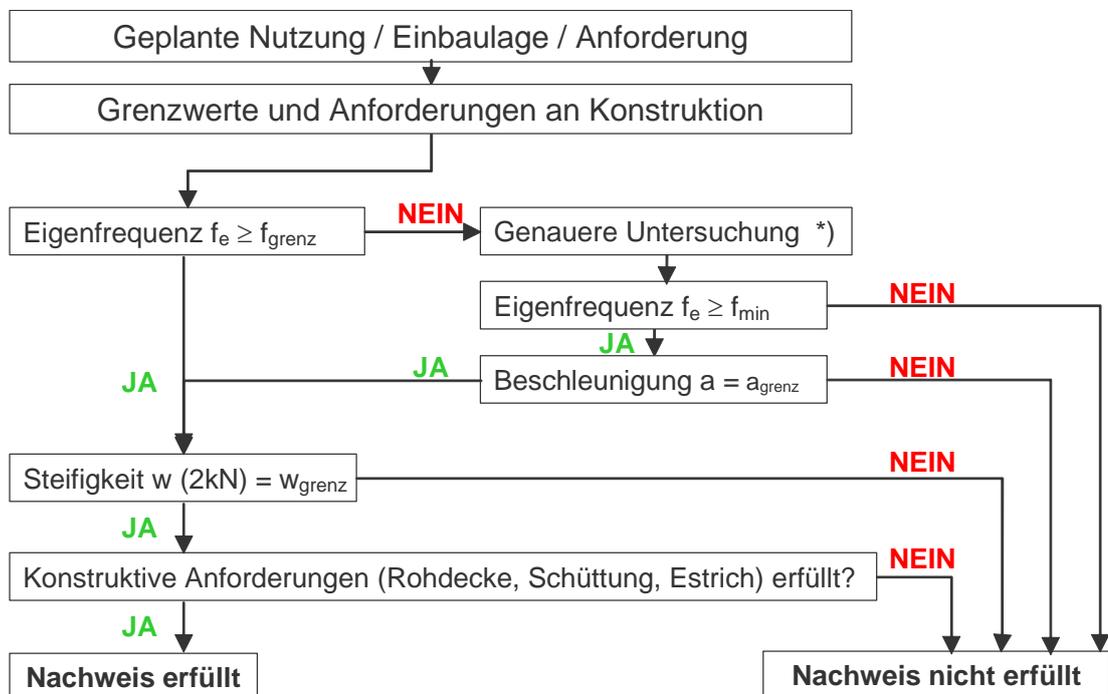


Abbildung 2: Nachweis nach den Konstruktions- und Bemessungsregeln aus dem Forschungsvorhaben [Winter/Hamm/Richter, 2010]. *) Die genauere Untersuchung ist i. A. nur bei schweren Decken, z. B. bei Holz-Beton-Verbunddecken Erfolg versprechend.

2.2. Eigenfrequenz

Die Eigenfrequenz der Decke soll größer sein als der Grenzwert f_{grenz} nach Tabelle 2 (je nach Anforderung 8 Hz bzw. 6 Hz). Die Eigenfrequenz kann durch Messung oder Berechnung ermittelt werden. Bei der Berechnung darf das tatsächliche statische System angesetzt werden, z. B. Durchlaufträgerwirkung. Die Biegesteifigkeit des Estrichs darf rechnerisch angesetzt werden. Für die Masse darf allein die Eigenmasse angesetzt werden. Verkehrslast und Trennwandzuschlag müssen nicht eingerechnet werden. Lagerungen auf nachgiebigen Unterzügen müssen berücksichtigt werden, vgl. Kapitel 3.

$$f_{e,\text{Einfeld-Balken}} = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_\ell}{m}} \quad \text{Eigenfrequenz eines Einfeldträgers mit } I = \frac{h^3 \cdot b_{\text{Balken}}}{12} \quad (\text{Gl. 1 / 2})$$

$$f_{e,\text{Zweifeld-Balken}} = k_f \cdot f_{e,\text{Einfeld-Balken}} \quad \text{Eigenfrequenz eines Zweifeldträgers mit } k_f \text{ nach Tabelle 1} \quad (\text{Gl. 3})$$

$$f_{e,\text{Platte}} = f_{e,\text{Balken}} \cdot \sqrt{1 + 1/\alpha^4} \quad \text{Eigenfrequenz einer Platte mit vierseitiger gelenkiger Lagerung} \quad (\text{Gl. 4})$$

$$\alpha = \frac{b}{\ell} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_\ell}{EI_b}} \quad \text{Beiwert zur Berechnung der zweiachsigen Tragwirkung (Gl. 5)}$$

- ℓ : Spannweite beim Einfeldträger.
Beim Mehrfeldträger: Spannweite des größten Feldes.
- ℓ_1 : Beim Zweifeldträger: Spannweite des kleineren Feldes
- m : Masse infolge Eigengewicht der Decke in $[\text{kg}/\text{m}^2]$
ohne Verkehrslast und Trennwandzuschlag
- b : Spannweite der Decke in Querrichtung oder Deckenfeldbreite
- EI_ℓ : effektive Biegesteifigkeit in Längsrichtung je Meter Breite in $[\text{Nm}^2/\text{m}]$:
Biegesteifigkeit der Decke + Biegesteifigkeit des Estrichs **)
- EI_b : effektive Biegesteifigkeit in Querrichtung in $[\text{Nm}^2/\text{m}]$ mit $(EI)_\ell > (EI)_b$:
Biegesteifigkeit der Decke + Biegesteifigkeit des Estrichs **)
- E_{Estrich} : Falls kein genauere Wert bekannt ist, wird empfohlen mit einem E-Modul für den Nassestrich von $E = 15\,000 \text{ N}/\text{mm}^2$ zu rechnen.
- $EI_{\text{quer BST}}$: Brettstapel, genagelt oder gedübelt: $EI_{\text{quer}} = 0,0005 EI_{\text{längs}}$
Brettstapel geklebt: $EI_{\text{quer}} = 0,03 EI_{\text{längs}}$
- **) Bei Installationsführungen oder Fugen im Estrich oder Ausführung als Fertigteil mit Fugen ist die Biegesteifigkeit des Estrichs entsprechend zu reduzieren. Nicht kraftschlüssig ausgeführte Stöße zwischen Elementen müssen bei der Ermittlung der Querbiegesteifigkeit berücksichtigt werden.

2.3. Durchbiegung unter Einzellast von 2 kN oder Steifigkeitskriterium

Die Durchbiegung unter einer Einzellast von 2 kN soll kleiner sein als der Grenzwert w_{grenz} nach Tabelle 2 (je nach Anforderung 0,5 mm bzw. 1,0 mm).

$$w(2\text{kN}) = \frac{2 \cdot \ell^3}{48 \cdot EI_\ell \cdot b_{w(2\text{kN})}} \quad \text{Durchbiegung unter einer Einzellast von 2 kN} \quad (\text{Gl. 6})$$

$$b_{w(2\text{kN})} = \min \left\{ \begin{array}{l} b_{\text{ef}} \\ b \end{array} \right\} \quad \text{anzusetzende mittragende Breite mit } b_{\text{ef}} = \frac{\ell}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_b}{EI_\ell}} = \frac{b}{1,1 \cdot \alpha} \quad (\text{Gl. 7 / 8})$$

Anmerkungen:

- Wird eine Einzellast von 1 kN angesetzt, halbieren sich die Grenzwerte.
- Bei Durchlaufträgern darf die Durchlaufwirkung nicht berücksichtigt werden. Hier erfolgt der Nachweis am Ersatzsystem eines beidseitig gelenkig gelagerten Einfeldträgers mit der Spannweite des größten Feldes ℓ .
- Hintergrund ist die Tatsache, dass das Schwingungsempfinden bei Durchlaufträgern ungünstiger ist (vgl. Abb. 1). Das liegt zum einen daran, dass sich ein Feld nach unten und das andere (unterwartet) nach oben bewegt und zum anderen der Schwingungserreger wegen evtl. vorhandenen Wänden nicht gesehen wird. Dieses ungünstige Verhalten von Durchlaufträgern wird rechnerisch nicht berücksichtigt, dafür wird das günstige Verhalten bei der Berechnung der Durchbiegung unter Einzellast ebenfalls nicht angesetzt.

Liegt die Decke nachgiebig auf Unterzügen auf, so ist bei der Berechnung der Eigenfrequenz und der Durchbiegung unter der Einzellast $w(2kN)$ die Nachgiebigkeit der Unterzüge zusätzlich zu berücksichtigen, vgl. Kapitel 3.

2.4. Konstruktive Anforderungen an den Aufbau der Decke

Entscheidend für das Schwingungsempfinden ist neben der Eigenfrequenz und der Steifigkeit auch der Aufbau der Decke.

- Eine schwimmende Lagerung des Estrichs ist in jedem Fall erforderlich.
- Nassestriche sind aufgrund ihrer höheren Masse und höheren Steifigkeit gegenüber Trockenestrichen günstiger zu bewerten.
- Eine (möglichst schwere) Schüttung verbessert das Schwingungsverhalten. Gleichzeitig bietet sie die Möglichkeit der Installationsführung. Je schwerer die Schüttung, desto größer die Verbesserung der subjektiven Bewertung. Als «schwere» Schüttung werden Schüttungen mit einem Flächengewicht von mindestens 60 kg/m² bezeichnet. Dies entspricht z.B. einer 4 cm dicken Kalksplittschicht. Ob und welche Art der Schüttung erforderlich ist, kann Tabelle 3 entnommen werden.

2.5. Tabellen

Tabelle 1: Faktor zur Umrechnung der Eigenfrequenz von Einfeldträger auf Zweifeldträger

ℓ_1/ℓ	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
k_f	1,0	1,09	1,15	1,20	1,24	1,27	1,30	1,33	1,38	1,42	1,56

Tabelle 2: Grenzwerte der Eigenfrequenz und Durchbiegung je nach Einbaulage und Bewertung

Einbaulage bzw. Anforderung	Decke zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten, z.B. Mehrfamilienhäuser oder Bürogebäude	Decke innerhalb einer Nutzungseinheit, z. B. «normale» Einfamilienhäuser	Decken unter untergeordneten Räumen, z. B. nicht ausgebaute Dachräume oder im Bestand. Immer mit Bauherrn-Zustimmung
Bewertung	1,0 bis 1,5	1,5 bis 2,5	2,5 bis 4,0
Schwingungen sind gar nicht oder nur gering spürbar	... spürbar, aber nicht störend.	... (deutlich) spürbar und störend.
$f_e \geq f_{\text{grenz}}$	$f_{\text{grenz}} = 8 \text{ Hz}$	$f_{\text{grenz}} = 6 \text{ Hz}$	Keine Anforderungen
$w(2kN) \leq w_{\text{grenz}}$	$w_{\text{grenz}} = 0,5 \text{ mm}$	$w_{\text{grenz}} = 1,0 \text{ mm}$	Keine Anforderungen

Tabelle 3: Konstruktive Anforderung je nach Art der Rohdecke, Einbaulage und Bewertung

Art der Rohdecke	Art des Estrichs	Anforderung an Aufbau bei Bewertung 1,0 bis 1,5	Anforderung an Aufbau bei Bewertung 1,5 bis 2,5
Flächige Massivholzdecken (Brettsperrholz-, Brettstapeldecken)	schwimmender Nassestrich	schwimmend auf schwerer oder leichter Schüttung	schwimmend (auch ohne Schüttung)
	schwimmender Trockenestrich	schwimmend auf schwerer Schüttung ***)	schwimmend auf schwerer Schüttung ***)
Holzbalkendecken oder Trägerroste	schwimmender Nassestrich	schwimmend auf schwerer Schüttung	schwimmend (auch ohne Schüttung)
	schwimmender Trockenestrich	nicht möglich	schwimmend auf schwerer Schüttung

***) ... bis jetzt nur im Labor getestet.

3. Einfluss von Unterzügen

Die unter 2. beschriebenen Berechnungen für die Eigenfrequenz und die Durchbiegung unter Einzellast gehen von festen Auflagern auf Wänden auf. Oft treten Probleme auf, weil die Decke nachgiebig auf Unterzügen aufliegt und die Nachgiebigkeit in der Berechnung nicht berücksichtigt wurde. Wie die gemeinsame Wirkung Holzdecke und Unterzug als gesamtes System rechnerisch erfasst werden kann, wurde in [Hamm, 2008] beschrieben. Haupt- und Nebenträger sind dann nicht mehr getrennt zu betrachten, sondern als ein kombiniertes System, wie Abbildung 3 verdeutlicht.

3.1. Holzträger als Durchlaufträger

Vor allem bei Decken mit durchlaufenden Holzbalken und Unterzügen als Mittelaufleger spielt das Verhältnis der Steifigkeiten Holzbalken zu Unterzug eine große Rolle. Holzbalken, die als Durchlaufträger über ein Mittelaufleger geführt werden, werden je nach Verhältnis der Steifigkeiten überwiegend Schwingungen mit einem «großem» Sinusbogen (Abbildung 3 oben) oder Schwingungen mit einer Doppelwelle (Abbildung 3 unten) ausführen. Zwischen den Eigenfrequenzen der beiden Extremfälle liegt Faktor 4.

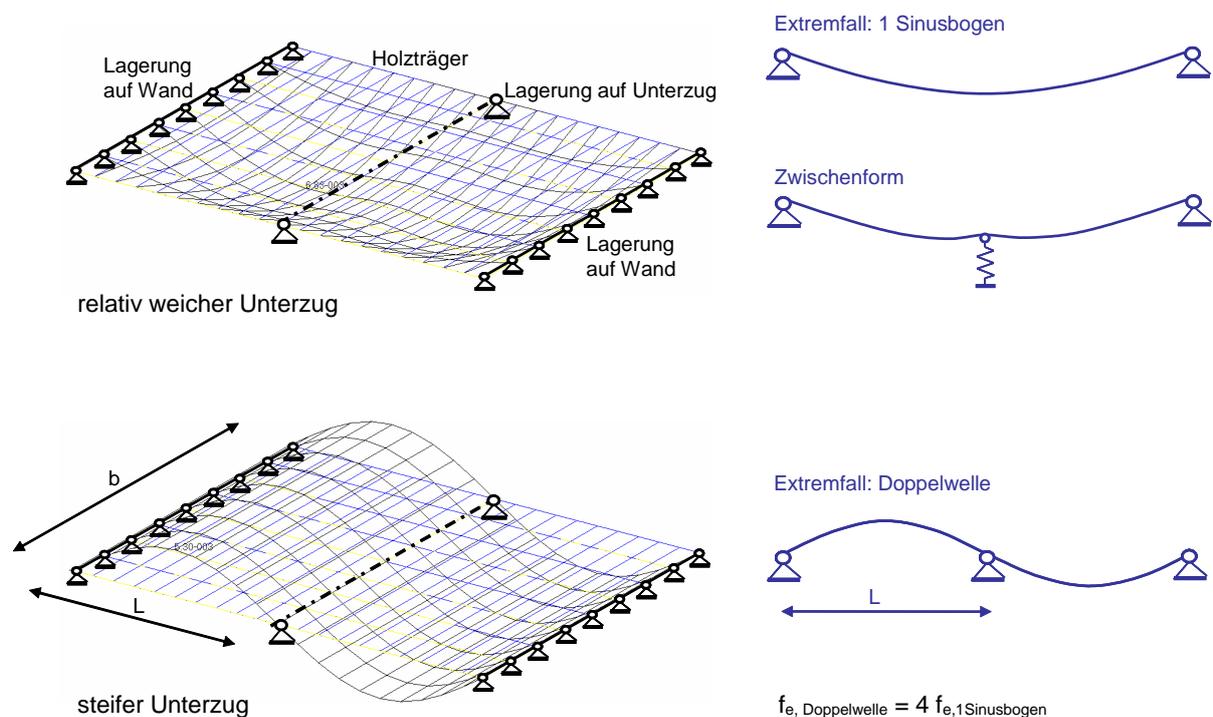


Abbildung 3: Erste Eigenform der Decke gesamt sowie eines einzelnen Holzträgers je nach Steifigkeit des Unterzugs

Im Rahmen mehrerer Abschlussarbeiten an der Hochschule Biberach, z.B. [Stumpf, 2015] wurden Korrekturfaktoren zur Ermittlung der resultierenden Eigenfrequenz berechnet. Die Korrekturfaktoren sind abhängig

- von den Steifigkeitsverhältnissen Decke zu Unterzug
- von den Spannweiteverhältnissen Deckenfeld (mit L oder L_{Decke} bezeichnet) zu Unterzug (mit b oder L_{Unterzug} bezeichnet)
- und von den absoluten Spannweiten der Decke.

Deshalb werden die Diagramme und Tabellen (vgl. Anhang) für unterschiedliche absolute Spannweiten angegeben. Erstmals wurden sie in [Hamm, 2016] veröffentlicht. Die Korrekturfaktoren werden wie folgt verwendet:

$$f_{e,\text{nachgiebig}} = f_{e,\text{ges}} = e_f \cdot f_{e,\text{starr}} \quad (\text{Gl. 9})$$

Darin sind: e_f der Korrekturfaktor nach den Tabellen im Anhang und $f_{e,\text{starr}}$ die Eigenfrequenz der Decke, wenn sie starr (z.B. auf Wänden) gelagert wäre. Unter bestimmten Bedingungen ergeben sich rechnerisch teilweise Korrekturfaktoren $e_f > 1$. In diesen Fällen sollte mit $e_f = 1$ gerechnet werden.

3.2. Rechnerische Erfassung der resultierenden Eigenfrequenz

Rechnerisch kann die resultierende Eigenfrequenz entweder mit Hilfe von FE Programmen erfasst werden, oder mit Hilfe der Näherungsformel (Gl. 10).

$$f_{e,\text{ges}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{f_{e,\text{starr}}^2} + \frac{1}{3 \cdot f_{e,\text{Unterzug}}^2}}} \quad (\text{Gl. 10})$$

$f_{e,\text{starr}}$ ist die Eigenfrequenz der Decke, wenn sie starr gelagert wäre, $f_{e,\text{Unterzug}}$ die Eigenfrequenz des Unterzugs unter Berücksichtigung der Masse, die auf ihm lagert.

Mit dieser Näherungsformel (Gl. 10) können die Systeme nach Abb. 4 erfasst werden.

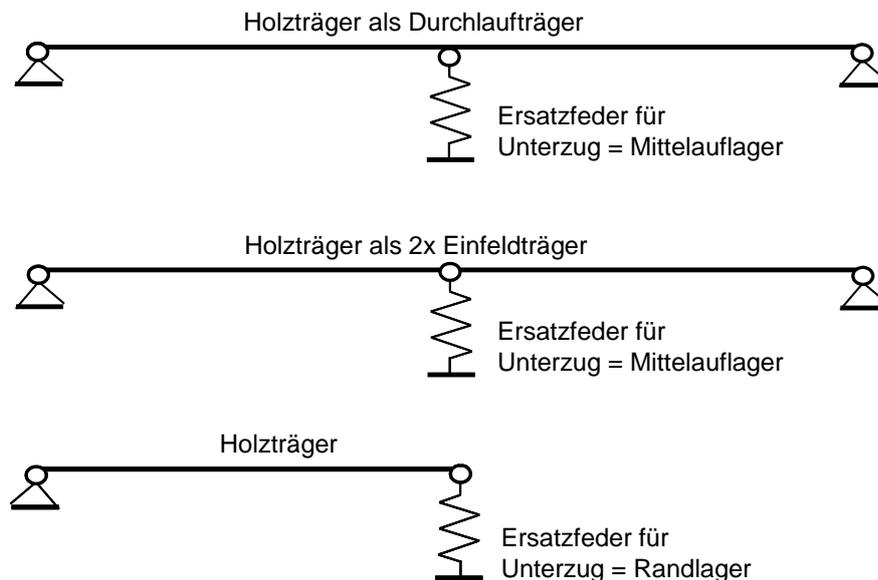


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Lagerung von Holzträgern auf Unterzügen

3.3. Berechnung der Durchbiegung unter Einzellast (Steifigkeitskriterium)

Auch bei der Berechnung der Durchbiegung unter der Einzellast $w(2\text{kN})$ muss die Nachgiebigkeit des Unterzugs berücksichtigt werden. Wenn die Last von 2kN mittig angreift, sind die Auflagerkräfte beim Lager und beim Unterzug jeweils 1kN . Der Unterzug erfährt eine Durchbiegung $w_{\text{UZ}}(1\text{kN})$ unter 1kN , die linear vom (starken) Lager zum UZ zunimmt. Die Durchbiegungen können dann entsprechend (Gl. 11) addiert werden.

$$w_{\text{res}} = 0,5 \cdot w_{\text{Unterzug}} + w_{\text{Balken}} = 0,5 \cdot w_{\text{UZ}}(1\text{kN}) + w(2\text{kN}) \quad (\text{Gl. 11})$$

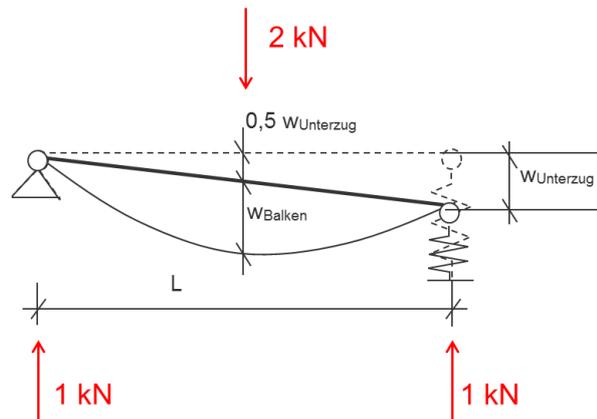


Abbildung 5: Rechenmodell für nachgiebig gelagerte Decken

3.4. Nachweise

Die einfachste Regel für die Mindeststeifigkeit eines Unterzugs findet sich im Forschungsbericht [Kreuzinger / Mohr, 1999].

«Unterzüge als Zwischenaufleger sollten möglichst steif ausgeführt werden. Die Übertragung der Schwingungen zwischen zwei Einfeldträgern ist durch einen gemeinsamen «weichen» Unterzug möglich. Der Unterzug sollte für erhöhte Anforderungen bemessen werden.»

Für den Einfeldträger heißt das:

$$w_{\text{Unterzug}} = \frac{1\text{kN} \cdot L_{\text{Unterzug}}^3}{48 \cdot EI_{\text{Unterzug}}} \leq 0,25\text{mm} \quad (\text{Gl. 12})$$

Weiterhin gilt:

$$f_{e,\text{ges}} \geq f_{\text{grenz}} \quad (\text{Gl. 13})$$

$$w_{\text{res}} \leq w_{\text{grenz}} \quad (\text{Gl. 14})$$

4. Rechenbeispiel

Als Beispiel wird eine Holzbalkendecke in einem EFH betrachtet. Die Balken spannen als Zweifeldträger über den Bereich Kochen/Essen/Wohnen mit je einer Spannweite von $4,2\text{m}$. Das Mittelaufleger ist ein Unterzug aus BSH, ebenfalls ein Zweifeldträger mit den Spannweiten $1,2\text{m}$ und $3,8\text{m}$.

Unterzug: GL 24h, $b \times h = 18 \times 36\text{ cm}^2$, $L_1 = 1,2\text{m}$, $L_2 = 3,8\text{m}$

Deckenbalken: C24, $b \times h = 7 \times 24\text{ cm}^2$, $e = 62,5\text{ cm}$; $L_1 = 4,2\text{m} = L_2$

Aufbau: 5cm Nassestrich auf Dämmung; $m = 250\text{ kg/m}^2$

$$\text{Eigenfrequenz Holzbalken starr: } f_e = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m \cdot e}} = \frac{\pi}{2 \cdot 4,2^2} \cdot \sqrt{\frac{0,887 \cdot 10^6}{250 \cdot 0,625}} = 6,7 \text{ Hz}$$

$$\text{mit } EI = E_{0,mean} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} = 11000 \cdot \frac{0,07 \cdot 0,24^3}{12} = 0,887 \text{ MNm}^2$$

Bei gleichen Spannweiten ist die Eigenfrequenz des Zweifeldträgers gleich der eines Einfeldträgers.

Genauere Berechnung unter Berücksichtigung der Estrich-Steifigkeit:

$$EI_{\text{Estrich}} = 15000 \cdot \frac{0,05^3}{12} = 0,156 \frac{\text{MNm}^2}{\text{m}} \equiv EI_{\text{quer}} = EI_b = \text{Querbiegesteifigkeit}$$

$$EI_{\text{Längs,Estrich}} = \frac{0,887}{0,625} + 0,156 = 1,57 \frac{\text{MNm}^2}{\text{m}} \equiv EI_{\text{längs}} = EI_\ell = \text{Längsbiegesteifigkeit}$$

$$\text{Eigenfrequenz: } f_{e,\text{Estrich}} = \frac{\pi}{2 \cdot 4,2^2} \cdot \sqrt{\frac{1,57 \cdot 10^6}{250}} = 7,07 \text{ Hz} = f_{e,\text{starr}} \dots \text{ bei starrer Lagerung}$$

Berücksichtigung des Unterzugs, d.h. der nachgiebigen Lagerung:

$$EI_{\text{UZ}} = 11500 \cdot \frac{0,18 \cdot 0,36^3}{12} = 8,05 \text{ MNm}^2$$

$$m_{\text{UZ}} = 250 \cdot 1,25 \cdot \frac{4,2}{2} = 656 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\text{Eigenfrequenz als Einfeldträger: } f_{\text{UZ, 1Feld}} = \frac{\pi}{2 \cdot 3,8^2} \cdot \sqrt{\frac{8,05 \cdot 10^6}{656}} = 12,0 \text{ Hz}$$

$$\text{Umrechnung } \rightarrow \text{Zweifeldträger: } f_{e,\text{UZ}} = k_f \cdot 12,0 = 1,3 \cdot 12,0 = 15,6 \text{ Hz}$$

$$\text{mit } \frac{L_1}{L_2} = \frac{1,2}{3,8} = 0,316 \rightarrow k_f \approx 1,3.$$

$$\text{Resultierende Eigenfrequenz: } f_{e,\text{ges}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{f_{e,\text{starr}}^2} + \frac{1}{3 \cdot f_{e,\text{UZ}}^2}}} = 6,84 \text{ Hz}$$

Alternativ mit Hilfe der Diagramme im Anhang:

Korrekturfaktor e_f für eine Zweifelddecke mit $l_{\text{ges}} = 8,4 \text{ m}$ ($\approx 8,0 \text{ m}$), einem Spannweitenverhältnis $\frac{L_{\text{Decke}}}{L_{\text{Unterzug}}} = \frac{4,2}{3,8} = 1,1 \approx 1$ und einem Steifigkeitsverhältnis $\frac{EI_{\text{Decke}}}{EI_{\text{Unterzug}}} = \frac{1,57}{8,05} = 0,2$

$\rightarrow e_f = 1,01.$

Das bedeutet, in diesem Fall geht die Nachgiebigkeit nicht ein und $f_{e,\text{ges}} = f_{e,\text{starr}} = 7,07 \text{ Hz}$.

Der Unterschied von Näherungsrechnung (6,84 Hz) und Diagrammen (7,07 Hz) kann und will nicht verleugnet werden. Die gemessene Eigenfrequenz liegt deutlich über beiden Werten.

$$\text{Durchbiegung unter Einzellast: } w(2\text{kN}) = \frac{2\text{kN} \cdot L^3}{48 \cdot EI_{\text{Längs}} \cdot b_{\text{ef}}} = \frac{2\text{kN} \cdot 4,2^3}{48 \cdot 1,57 \cdot 2,14} = 0,92 \text{ mm} = w_{\text{Balken}}$$

$$\text{Mit einer mitttragenden Breiten von: } b_{\text{ef}} = \frac{L}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_{\text{Quer}}}{EI_{\text{Längs}}}} = \frac{4,2}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{0,156}{1,57}} = 2,14 \text{ m}$$

$$w_{\text{UZ}}(1\text{kN}) = \frac{1\text{kN} \cdot L^3}{48 \cdot EI_{\text{UZ}}} = \frac{1\text{kN} \cdot 3,8^3}{48 \cdot 8,05} = 0,14 \text{ mm}$$

$$0,5 \cdot w_{\text{UZ}} = 0,07 \text{ mm}$$

$$w_{\text{res}} = 0,5 \cdot w_{\text{UZ}} + w(2\text{kN}) = 0,07 + 0,92 = 0,99 \text{ mm}$$

Alle Nachweise sind eingehalten:

$$\text{Durchbiegung des Unterzugs nach (Gl. 12): } w_{\text{UZ}} = 0,14 \text{ mm} < 0,25 \text{ mm}$$

$$\text{Resultierende Eigenfrequenz nach (Gl. 13): } f_{e,\text{res}} = 6,84 \text{ Hz (bzw. 7,07 Hz)} > 6 \text{ Hz}$$

$$\text{Resultierende Durchbiegung (Gl. 14): } w(2\text{kN}) = 0,99 \text{ mm} < 1,0 \text{ mm}$$

Konstruktive Anforderungen nach Tab. 3:

Holzbalkendecke im EFH mit schwimmendem Nassestrich: keine Schüttung erforderlich.

5. Zusammenfassung

Die hier dargestellten Konstruktions- und Bemessungsregeln für Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken sind Ergebnis des Forschungsberichtes [Winter/Hamm/Richter, 2010]. Der Bericht ist öffentlich und kann z.B. unter <http://www.hochschule-biberach.de/web/ifh/publikationen> heruntergeladen werden.

Ergänzend zu dem Bericht werden hier Gleichungen und Diagramme vorgestellt, mit denen auch nachgiebige Lagerungen relativ einfach erfasst werden können.

6. Literatur

[Eurocode 5: 2010]

Eurocode 5: DIN EN 1995-1-1: *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. Dezember 2010.

[Eurocode 5: 2010 / NA - D]

Eurocode 5: DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12: *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. Dezember 2010.

[Hamm, 2008]:

Hamm, Patricia: *Schwingungsverhalten von Decken bei Auflagerung auf Unterzügen*. In: holzbau, die neue quadrige. 1/2008. S. 41-46.

[Hamm, 2011]:

Hamm, Patricia: *Schwingungen bei Holzdecken – Konstruktionsregeln für die Praxis*. In: 1. Internationale Schall- und Akustiktagung 2011. 16./17. März 2011 in Bad Wörishofen. Hrsg.: forum-holzbau, CH-Biel.

[Hamm, 2016]:

Hamm, Patricia: *Schwingungen bei Holzdecken - Konstruktionsregeln für die Praxis*. In: KI-Journal; Ausgabe 1/2016; Bundesanzeiger Verlag GmbH

[HIVOSS, 2008]:

Schwingungsbemessung von Decken – Leitfaden. 2008.
<http://www.stb.rwth-aachen.de/projekte/2007/HIVOSS/download.php>

[Kreuzinger/Mohr, 1999]:

Kreuzinger, Heinrich; Mohr, Bernhard: *Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken aus Holz; Abschlussbericht Januar 1999*. TU München, Fachgebiet Holzbau. Forschungsvorhaben durchgeführt für die EGH, DGfH.

[Ohlsson, 1982]:

Ohlsson, S.: *Floor vibrations and human discomfort*. Department of Structural Engineering, Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 1982.

[Stumpf, 2015]

Stumpf, Darja: *Parameterstudie zum Einfluss der nachgiebigen Lagerung auf das Schwingungsverhalten von Holzdecken*. Bachelorthesis. Hochschule Biberach. 2015

[Winter/Hamm/Richter, 2010]:

Winter, S.; Hamm, P.; Richter, A.: *Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken. Schlussbericht Juli 2010*. TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion. Forschungsvorhaben gefördert aus den Haushaltsmitteln des BMWA über die AiF.

7. Anhang

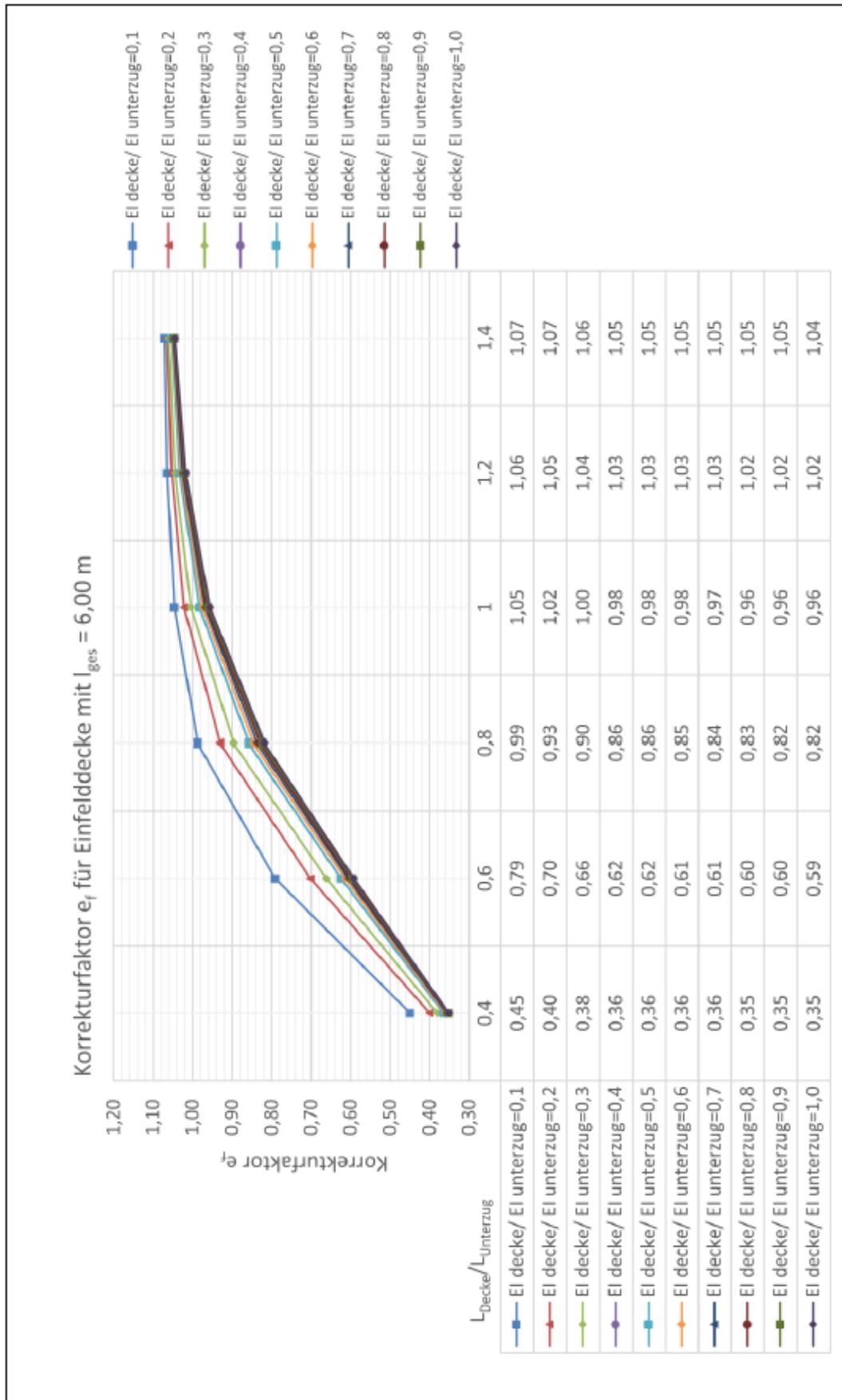


Abbildung 1: Korrekturfaktor e_f für eine Einfelddecke mit $l_{ges} = 6,00\text{m}$

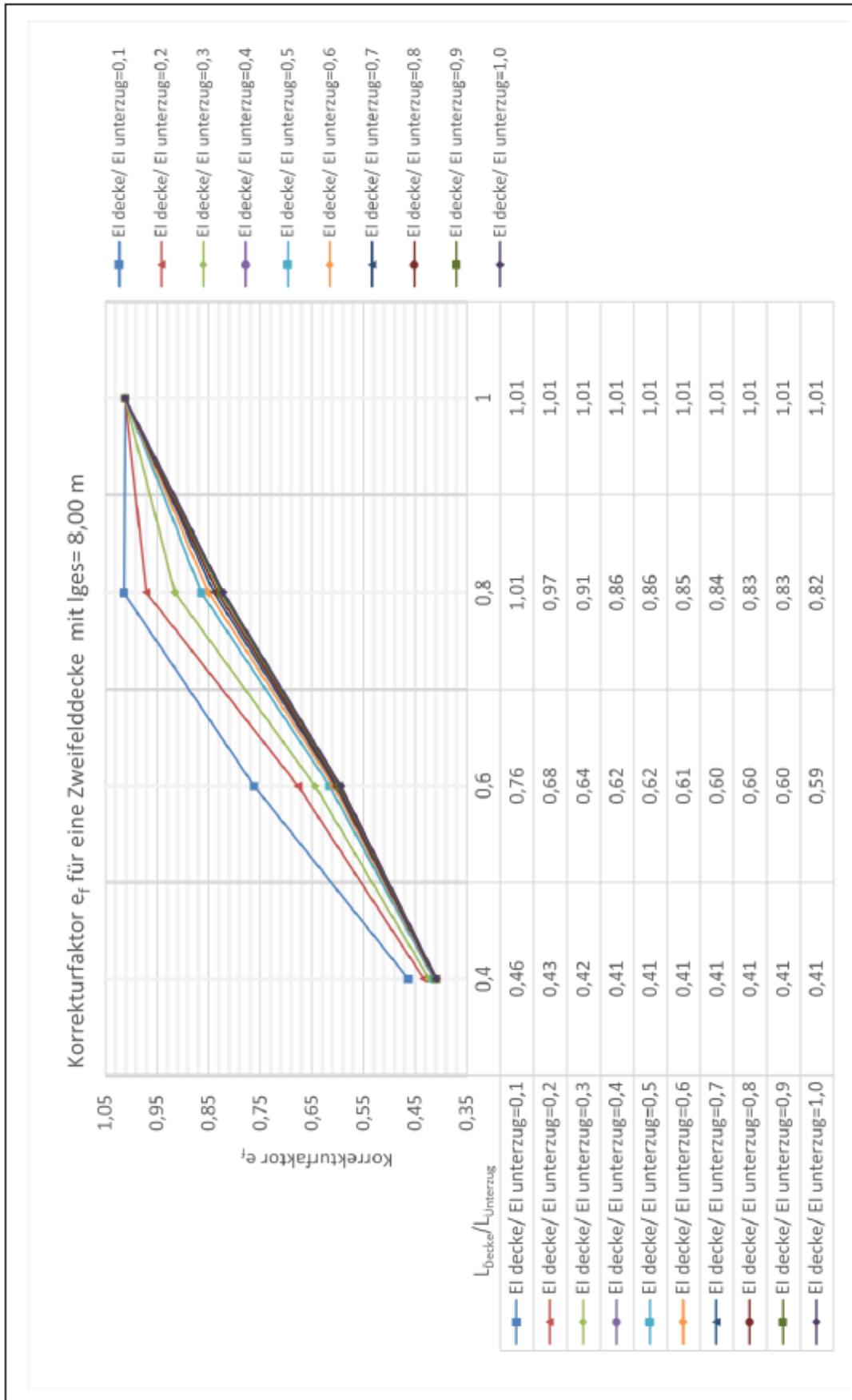


Abbildung 2: Korrekturfaktor e_f für eine Zweifelddecke mit $l_{ges} = 8,00$ m

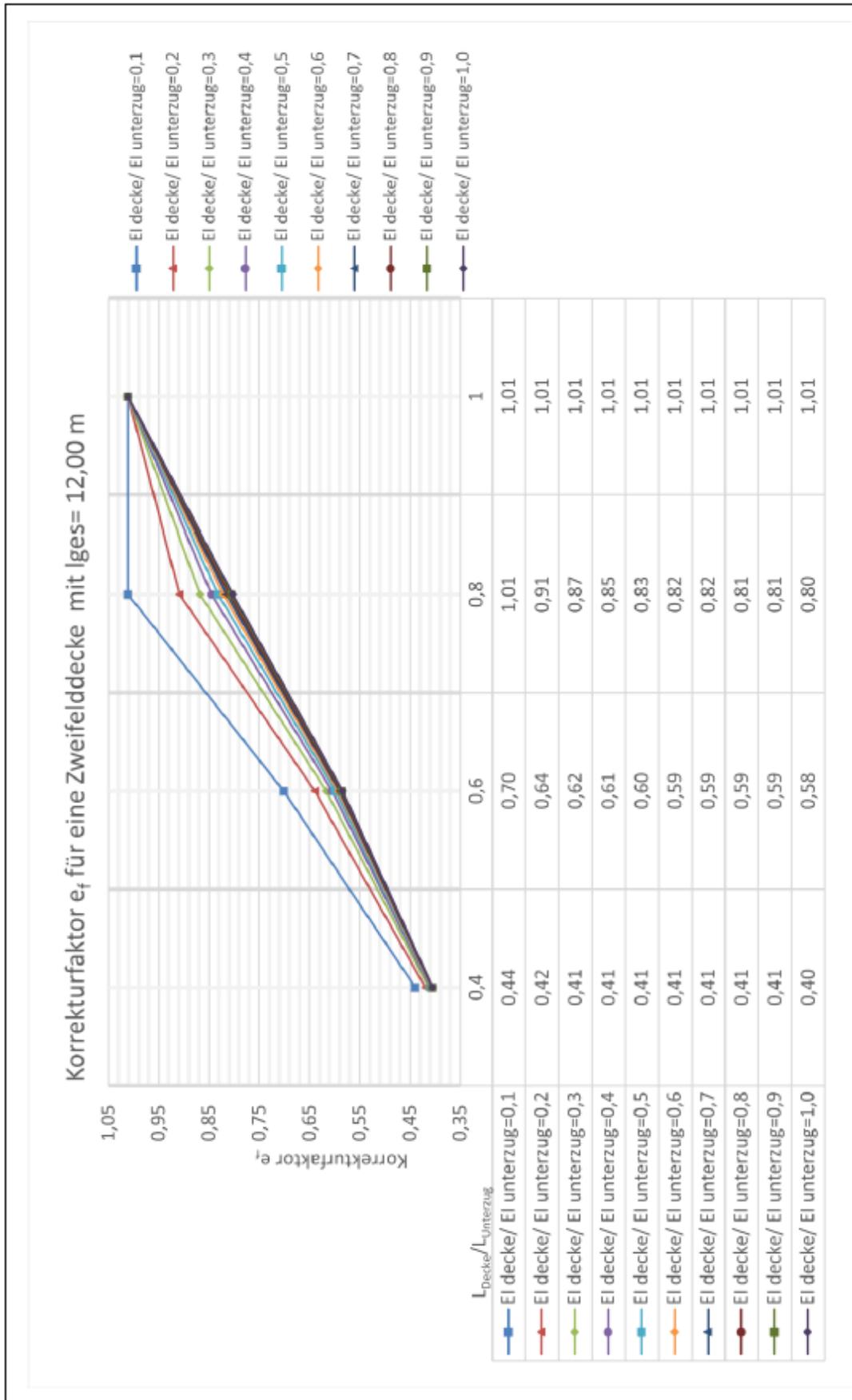


Abbildung 3: Korrekturfaktor e_f für eine Zweifelddecke mit $l_{ges} = 12,00\text{ m}$