

Verbundbau Leifaden

Kapitel 9 - Gebrauchstauglichkeit



Verbundkonstruktionen im Hochbau

Kapitel 9 - Gebrauchstauglichkeit

August 2021

Inhalt

9. Gebrauchstauglichkeit.....	3
9.1 Allgemeines.....	3
9.2 Einfluss von Kriechen und Schwinden	3
9.3 Durchbiegung	4
9.4 Rissbildung im Beton, Mindestbewehrung und Begrenzung der Rissbreite.....	6
9.5 Einfluss der Herstellung (Belastungsgeschichte)	9
9.6 Menscheninduzierte Schwingungen	10

9. Gebrauchstauglichkeit

9.1 Allgemeines

Große Stützweiten mit kleinen Querschnitten machen es erforderlich, dass neben der Grenztragfähigkeit auch der Gebrauchstauglichkeit besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Dabei empfiehlt sich die Anwendung leistungsfähiger Rechenprogramme zur statischen Berechnung von Einfeld- und Durchlaufträgern.

9.2 Einfluss von Kriechen und Schwinden

Das zeitabhängige Materialverhalten des Betons ist auf sein Materialverhalten zurückzuführen und kann in drei Bereiche unterteilt werden.

- Schwinden
- Kriechen
- Relaxation

Diese Phänomene treten gleichzeitig auf, jedoch werden sie zur Berechnungsvereinfachung getrennt betrachtet.

Das **Schwinden** des Betons tritt aufgrund von Feuchtigkeitsabgabe durch Austrocknen über die Zeit auf. Es entstehen Schwindverformungen aufgrund der Volumenabnahme ohne eine Steigerung der physikalischen Einwirkungskräfte und ist somit unabhängig von der Belastungsgeschichte und den Einwirkungen.

Das **Kriechen** stellt eine Verformungszunahme unter konstanter Last dar. Sie tritt mit dem Aufbringen der Last auf und ist somit anders als das Schwinden von der Belastungsgeschichte des Trägers abhängig. Bei der Kriechbeanspruchung wird zwischen Kurz- und Langzeitbeanspruchungen unterschieden. Kurzzeitbeanspruchungen rufen eine elastische Kurzzeitreaktion ohne Kriecheffekte hervor. Nutz- und Verkehrslasten gehören zu den Kurzzeitbeanspruchungen, die lediglich eine elastische Anfangsverformung ohne Kriechverformungen verursachen. Andererseits rufen Langzeitbeanspruchungen Kriechverformungen hervor. Zu den Langzeitbeanspruchungen zählen ständige Lasten wie das Eigengewicht oder die Ausbaulast.

9.3 Durchbiegung

Der Eurocode 4 selbst gibt keine Durchbiegungsbegrenzungen und verweist im Grunde an den Eurocode 0. Werden mit dem Bauherren keine besonderen Vereinbarungen getroffen, können die Empfehlungen aus dem Eurocode 2 und dem Eurocode 3 verwendet werden, da der Eurocode 0 selbst keine Grenzwerte definiert.

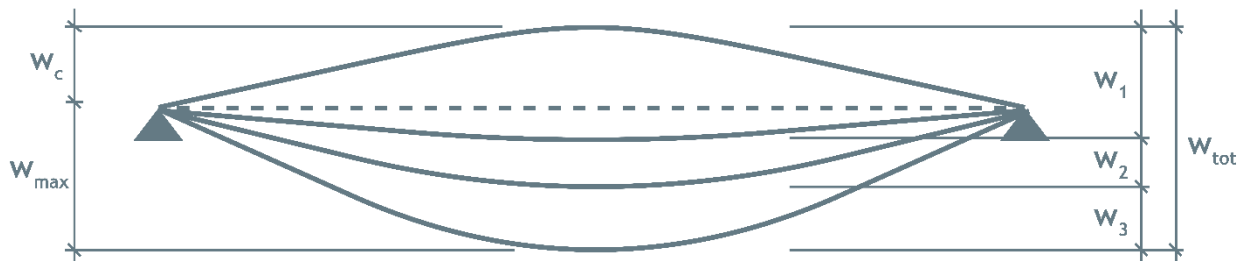


Bild 9.1 Definition der Durchbiegung

- w_c „Spannungslose Werkstattform“ mit Überhöhung
- w_1 Durchbiegungsanteil aus ständiger Belastung in der Einwirkungskombination
- w_2 Durchbiegungszuwachs aus der Langzeitwirkung der ständigen Belastung
- w_3 Durchbiegung infolge veränderlicher Einwirkung
- w_{tot} Gesamte Durchbiegung als Summe von w_1 bis w_3
- w_{max} Verbleibende Durchbiegung nach der Überhöhung

Werden keine besonderen Vereinbarungen mit dem Bauherren getroffen, können die Empfehlungen von EC2 und EC3 auch auf Verbundträger angewendet werden. Die Besonderheit bei Verbundkonstruktionen liegt daran, dass die Herstellungsgeschichte mit zu berücksichtigen ist. Üblicherweise werden die Träger in der Werkstatt überhöht (bombiert). Im Bauzustand muss deshalb auf die korrekte Abstützung der Träger geachtet werden, und die Decke ist entsprechend der Überhöhung s_i abzuziehen, dass sich die gewünschte Dicke ergibt.

Bauteil	Grenzwert der maximalen Durchbiegung
Im Allgemeinen	$\leq L/250$
Um Schäden an angrenzende Bauteile zu vermeiden (zum Beispiel nichttragende Trennwände)	$\leq L/500$

Tabelle 9.1 Durchbiegungsbeschränkungen nach DIN EN 1992-1-1, Abs. 7.4

Im Endzustand können bei zu großen Verformungen aus veränderlichen Nutzlasten und aus dem Kriechen und Schwinden des Betons Folgeschäden und Trennwänden oder in anderen Ausbauteilen auftreten.

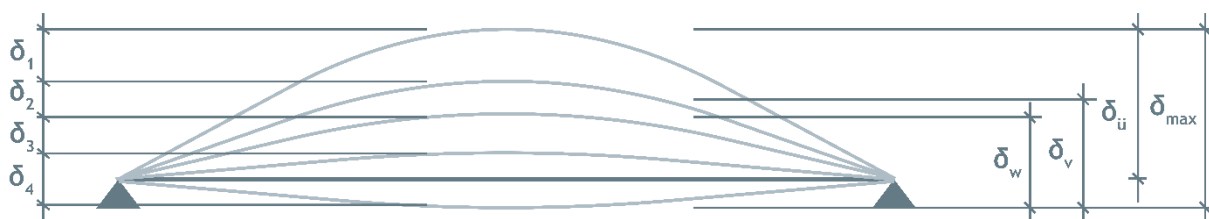


Bild 9.2 Überhöhungen Verformungen in Verbundbau

- δ_1 Verformung aus Eigengewicht
- δ_2 Verformung aus Ausbaulast
- δ_3 Kriechen und Schwinden
- δ_4 Verkehr und Temperatur
- δ_v Verformung des Verbundträgers
- $\delta_{\ddot{u}}$ Überhöhung des Stahlträgers
- δ_w Für die Ausbaulast wirksame Durchbiegung
- δ_{max} maximale Durchbiegung

Den Verformungen aus ständigen Lasten sowie aus Kriechen und Schwinden des Betons wird im allgemeinen durch Überhöhung entgegengewirkt. Auch ein Teil der Verkehrs- oder Nutzlasten kann ständig wirken. Dieser ständig wirkende Verkehrsanteil liegt bei üblichen Wohn- und Bürogebäuden etwa in der Größenordnung von 30% der rechnerischen Verkehrslasten nach DIN 1055. In Büchereien, Archiven, Lagerräumen und Warenhäusern kann der ständige Verkehrslastanteil bei 50% und höher liegen. Im Hinblick auf mögliche Schäden an Ausbauteilen, wie zum Beispiel an nichttragenden Innenwänden, ist darauf zu achten, dass die durch Überhöhung ausgeglichenen Verformungen aus nachträglich aufgebrachtten Nutzlasten und aus Kriechen und Schwinden durch die Ausbauteile nicht behindert werden. Leichte, verformungsfähige und flexible Systeminnenwände sind deshalb steifen, nichttragenden Innenwänden aus Mauerwerk vorzuziehen.

Bei kammerbetonierten Trägern ist der Einfluss des Kammerbetons auf die Biegesteifigkeit und damit auch auf die Durchbiegung realistisch abzuschätzen. Das gilt insbesondere für kammerbetonierte Stahlträger beim Betonieren der Betonplatte. Als einfache Näherung kann rechnerisch der Mittelwert zwischen ungerissenem und gerissenem Kammerbeton verwendet werden.

9.4 Rissbildung im Beton, Mindestbewehrung und Begrenzung der Rissbreite

Die im Eurocode 4 enthaltenen Regelungen zur Rissbildung und zum Mitwirken des Betons zwischen den Rissen basieren im wesentlichen auf dem Eurocode 2 und auf dem CEB/FIP Model Code von 1990 und werden durch die Expositionsklassen und somit die Umwelteinflüsse bestimmt. Gefordert wird eine Mindestbewehrung zur Beschränkung von möglichen Einzelrissen in Trägerbereichen mit wahrscheinlicher Rissbildung. Weiterhin finden sich Regeln zur Bewehrungsanordnung in Trägerbereichen mit abgeschlossener Rissbildung.

Besonders bei Anwendungen des Fließgelenkverfahrens und der damit verbundenen Ausnutzung von Momentenumlagerungen ist die Rissbildung im negativen Momentenbereich zu berücksichtigen. Die erforderlichen Maßnahmen zur Rissweitenbeschränkung hängen aber auch sehr davon ab, welcher Belag gewählt wird.

Grundsätzlich wird bei dem Nachweis der Rissbreitenbeschränkung zwischen zwei Zuständen unterschieden. Zum einen der Erstrissbildung, und zum anderen der abgeschlossenen Rissbildung. In beiden Fällen ist die Rissbreite abhängig von der Risseinleitungslänge sowie dem dazugehörigen Dehnungszustandes.

Expositionsklasse	Stahlbeton und Vorspannung	Vorspannung		
	Ohne Verbund	mit nachträglichem Verbund	mit sofortigem Verbund	
	mit der Einwirkungskombination			
	quasi-ständig	häufig	häufig	selten
X0, XC1	0,4	0,2	0,2	
XC2-XC-4	0,3			
XS1-XS3, XD1-XD3			Dekompression	0,2

Tabelle 9.2 Begrenzung der Rissbreite in mm nach DIN EN 1994-1-1 und DIN EN 1992-1-1

Die in Tabelle 9.2 angegebenen Rissbreiten beziehen sich auf bauliche Anlagen und Tragwerke im Hoch- und Industriebau. Für Verbundbrücken gelten die in der DIN EN 1994-2 angegebenen Grenzwerte.

Der Eurode 4 sieht in allen Bereichen, in denen mit wahrscheinlicher Rissbildung zu rechnen ist, eine entsprechende Mindestbewehrung vor. Diese wird in der DIN EN 1994-1-1 in Anlehnung an die DIN EN 1992 bestimmt.

Erforderliche Mindestbewehrung:

$$A_s \geq \frac{A_c f_{ct,eff}}{\sigma_s} \cdot k_s \cdot k \cdot k_c$$

- k = 0,9 Nachgiebigkeit der Bewehrung
- k_s = 0,8 Einfluss von nichtlinearen Eigenspannungen im Beton
- k_c = 0,9 Verteilung der Spannungen um Betongurt bei Erstrissbildung

$$k_c \geq \frac{1}{1 + h_c/z_{tc,0}} + 0,3 \leq 1,0$$

- σ_s Betonstahlspannung in Abhängigkeit vom Stabdurchmesser d_s*
- d_s* Grenzdurchmesser der Bewehrung

$$d_s = d_s^* \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}}$$

- d_s modifizierter Stabdurchmesser für andere Betonfestigkeitsklassen
- f_{ct,eff} wirksame Betonzugfestigkeit zum betrachteten Zeitpunkt

$$f_{ct,0} = 2,9N/mm^2$$

Die Betonstahlspannung σ_s ergibt sich dann in Abhängigkeit des gewählten Stabdurchmessern der nachfolgenden Tabelle und bezieht sich auf eine Betonzugfestigkeit von f_{ct,0} = 2,9N/mm² und muss bei anderen Betonzugfestigkeiten entsprechend umgerechnet werden. Die Tabellen 9.x und 9.x zeigen die Begrenzung der Durchmesser nach DIN EN 1994 und nach DIN EN 1992. Man erkennt dabei Abweichungen in den Grenzdurchmessern die daraus resultieren, dass für beide Tabellen unterschiedliche Beziehungen in Ansatz gebracht worden sind und somit die Ergebnisse im Eurocode 4 etwas unwirtschaftlicher sind als im Eurocode 2. Daher empfiehlt es sich hier die günstigeren Werte in Ansatz zu bringen.

σ _s [$\frac{N}{mm^2}$]	Grenzdurchmesser d _s * für		
	W _k =0,4	W _k =0,3	W _k =0,2
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Tabelle 9.3 Grenzdurchmesser für Betonrippenstahl nach DIN EN 1994-1-1

$\sigma_s \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	Grenzdurchmesser d_s^* für		
	$W_k=0,4$	$W_k=0,3$	$W_k=0,2$
160	54	41	27
200	35	26	17
240	24	18	12
280	18	13	9
320	14	10	7
360	11	8	5
400	9	7	4
450	7	5	3

Tabelle 9.4 Grenzdurchmesser für Betonrippenstahl nach DIN EN 1992-1-1/NA

In Bereichen, in denen die Mindestbewehrungsquerschnitte überschritten werden, muss die Betonstahlspannung entweder nach Tabelle 9.3 und 9.4 oder nach Tabelle 9.5 begrenzt werden. Die Spannung muss dabei für die maßgebende Einwirkungskombination und unter mitwirken des Betons zwischen den Rissen ermittelt werden.

$\sigma_s \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	Stababstände in [mm] für		
	$W_k=0,4$	$W_k=0,3$	$W_k=0,2$
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Tabelle 9.5 Höchstwert der Stababstände von Betonstählen

9.5 Einfluss der Herstellung (Belastungsgeschichte)

Verbundträger können ohne Unterstützung, mit Unterstützung oder auch mit Montagevorspannungen (Anheben der Hilfsstützen) während des Betonierens hergestellt werden. Während die Grenztragfähigkeit des Verbundträgers praktisch unabhängig von der Herstellungsart ist (siehe Bild 7.2), hat die Art der Herstellung Einfluss auf den Gebrauchszustand (Verformung, Spannungen) und die erforderlichen Überhöhungen, auf die Beanspruchung und die Stützmomente bei Durchlaufträgern, sowie die erforderlichen Maßnahmen zur Rissbreitenbeschränkung.

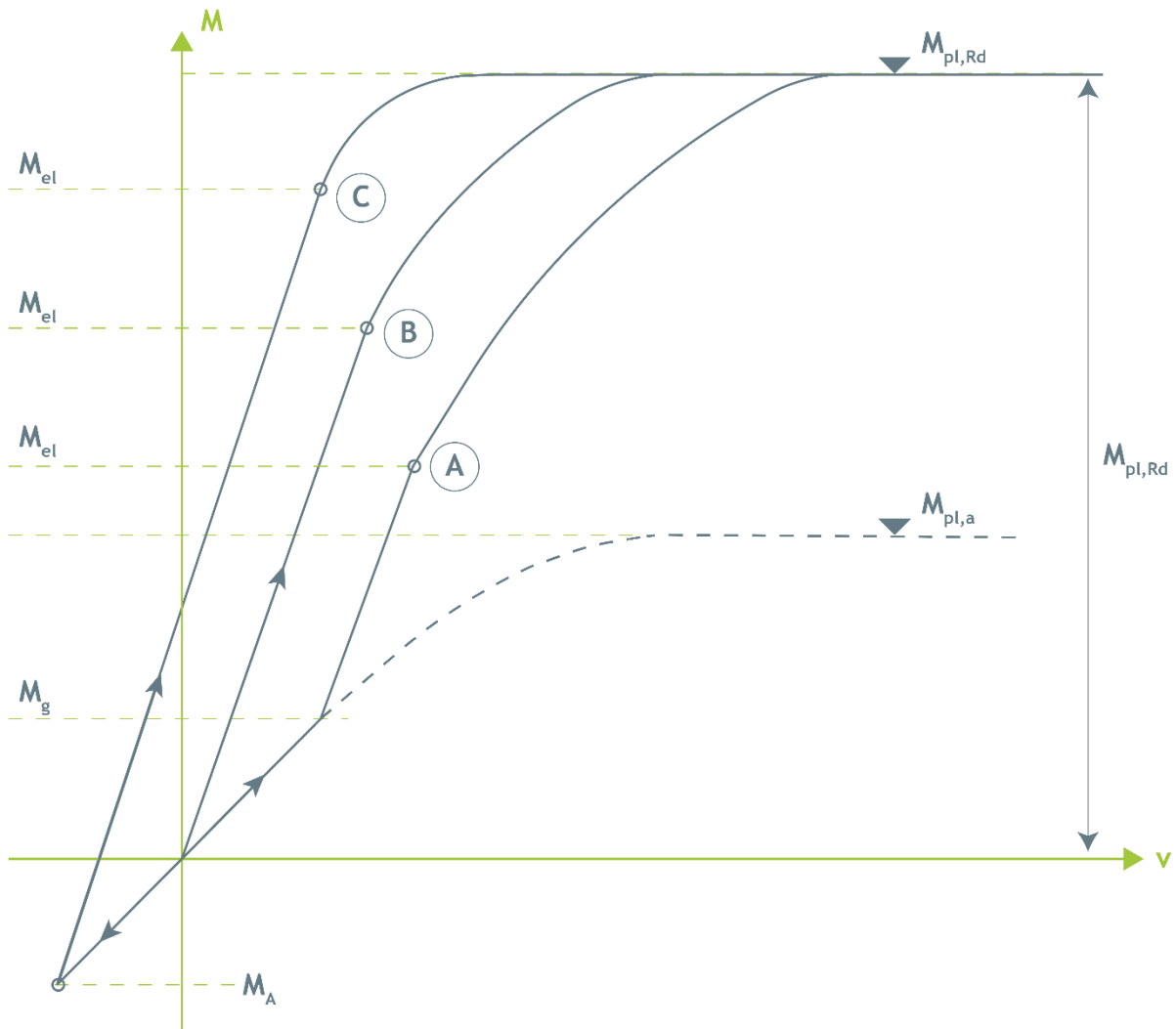


Bild 9.3 Einfluss der Herstellungsgeschichte

Bei elastischen Berechnungen im Gebrauchszustand ist daher der Einfluss der Herstellung zu berücksichtigen: ein Teil der ständigen Last beansprucht den Stahlträger allein (Fall A), die restlichen Lasten (nach dem Erhärten des Betons) zusammen mit den Nutzlasten wirken auf den Verbundträger.

Die Art der Herstellung eröffnet sehr viele Möglichkeiten, das Kräftespiel positiv zu beeinflussen.

9.6 Menscheninduzierte Schwingungen

Um den Komfortanforderungen in Geschossbauten bezüglich menscheninduzierter Schwingungen zu bewerten gibt es einen Leitfaden (Hivoss: Human induced Vibrations of Steel Structures).

Dieser Leitfaden ist im Internet (z.B. unter dem Stichwort Hivoss Leitfaden) frei herunterladbar.

http://www.stahlbau.stb.rwth-aachen.de/projekte/2007/HIVOSS/docs/Guideline_Floors_DE01.pdf

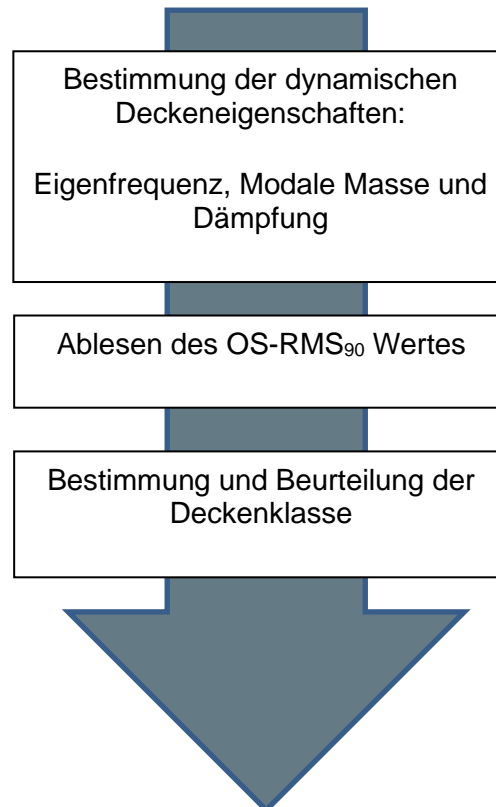


Bild 9.4 Bemessungablauf als Flußdiagramm (Auszug aus Hivoss Leitfaden)

Die Eingangsgrößen: Eigenfrequenz – Modale Masse – Dämpfung werden in diesem Leitfaden genau beschrieben und sollen hier an einem Beispiel ausgeführt werden:

Art	Dämpfung
	(% der kritischen Dämpfung)
Strukturelle Dämpfung D_1 je nach Baustoff	
Holz	6
Beton	2
Stahl	1
Stahl-Beton-Verbund	1
Dämpfung D_2	
Klassisches Büro für 1 bis 3 Personen mit Trennwänden	2
Büro mi EDV-Arbeitsplätzen und wenig Regalen und Schränken	0
Großraumbüro	1
Bibliothek	1
Wohnhaus	1
Schule	0
Gymnastikraum	0
Dämpfung durch Ausbau D_3	
Abgehängte Decke unter der untersuchten Geschossdecke	1
„Schwimmende“ Bodenbeläge wie zum Beispiel Laminat	0
Schwimmender Estrich	1
Gesamtdämpfung $D = D_1 + D_2 + D_3$	

Tabelle 9.6 Bestimmung der Dämpfung (Auszug aus Hivoss Leitfaden Tabelle 3)

Tabelle 4: Bestimmung der ersten Eigenfrequenz von Balken

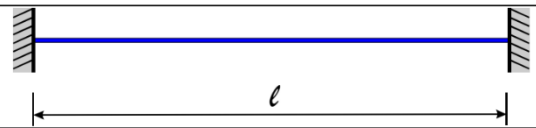
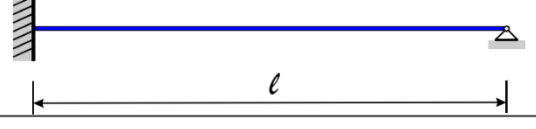
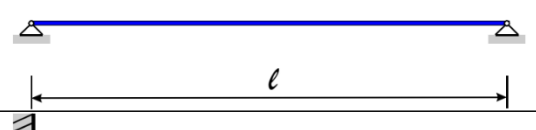
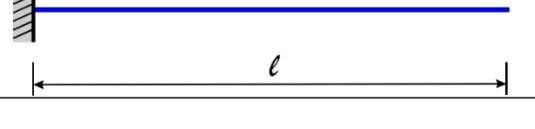
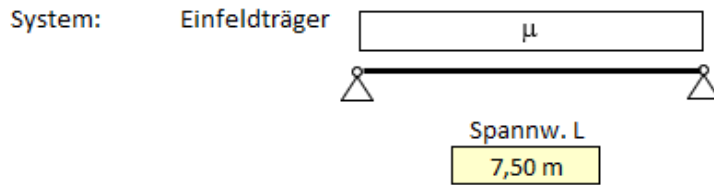
Lagerungsbedingungen	Eigenfrequenz	Modale Masse
	$f = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{3EI}{0.37 \mu l^4}}$	$M_{\text{mod}} = 0,41 \mu l$
	$f = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{3EI}{0.2 \mu l^4}}$	$M_{\text{mod}} = 0,45 \mu l$
	$f = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{3EI}{0.49 \mu l^4}}$	$M_{\text{mod}} = 0,5 \mu l$
	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI}{0.24 \mu l^4}}$	$M_{\text{mod}} = 0,64 \mu l$

Tabelle 9.7 Bestimmung der ersten Eigenfrequenz (Auszug aus Hivoss Leitfaden Tabelle 4)

Beispiel:



Querschnitte:

	Querschnitt	b bzw. b _o	h
a) Profil	IPE 330		
b) Gurt (b < L/4!)	1875/120	1875 mm	120 mm

$$I_{\text{Gesamtquerschnitt}} = 43185 \quad [\text{cm}^4]$$

Materialien:

	Material	E
a) Profil	Stahl	21000 kN/cm ²
b) Gurt	C 35/45	3400 kN/cm ²

Massen:

	Masse m
Ständig g	1125 kg/m
Veränderlich q	1250 kg/m

$$f = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{3EI}{0.49 \mu l^4}}$$

Der Verkehrslastanteil wird für diesen Fall mit 10% angesetzt.

mit $E \cdot I = 21000 \cdot 1000 / 100^2 \cdot 43185 / 100^4 = 90688500 \text{ Nm}^2$ (Achtung Einheiten)

$$\mu = \mu_g + f_{\mu q} \cdot \mu_q = 1250 \text{ [kg/m]}$$

Ergibt sich **f = 7,54 [Hz]**

Die modale Masse ergibt sich hier zu: **M_{mod} = 0,5 * m * L = 4688 kg**

Als weiterer Eingangsparameter für die Wahl des Diagramms ist noch die Dämpfung des Systems zu bestimmen.

$$\mathbf{D = D_1 + D_2 + D_3 = 3\%}$$

D₁ = 1% (Stahl-Beton-Verbund)

D₂ = 1% (Großraumbüro)

D₃ = 1% (abgehängte Decke unter der Untersuchten Geschossdecke)

Damit kann im Leitfaden das Diagramm Bild 5 für 3% Dämpfung für die Bewertung der Schwingungsanfälligkeit herangezogen werden.

Für die Eingangswerte $D = 3\%$; $f = 7,54 \text{ Hz}$ und $M_{\text{mod}} = 4688 \text{ kg}$ kann folgendes im Diagramm Bild 5 des Hivoss-Leitfadens abgelesen werden:

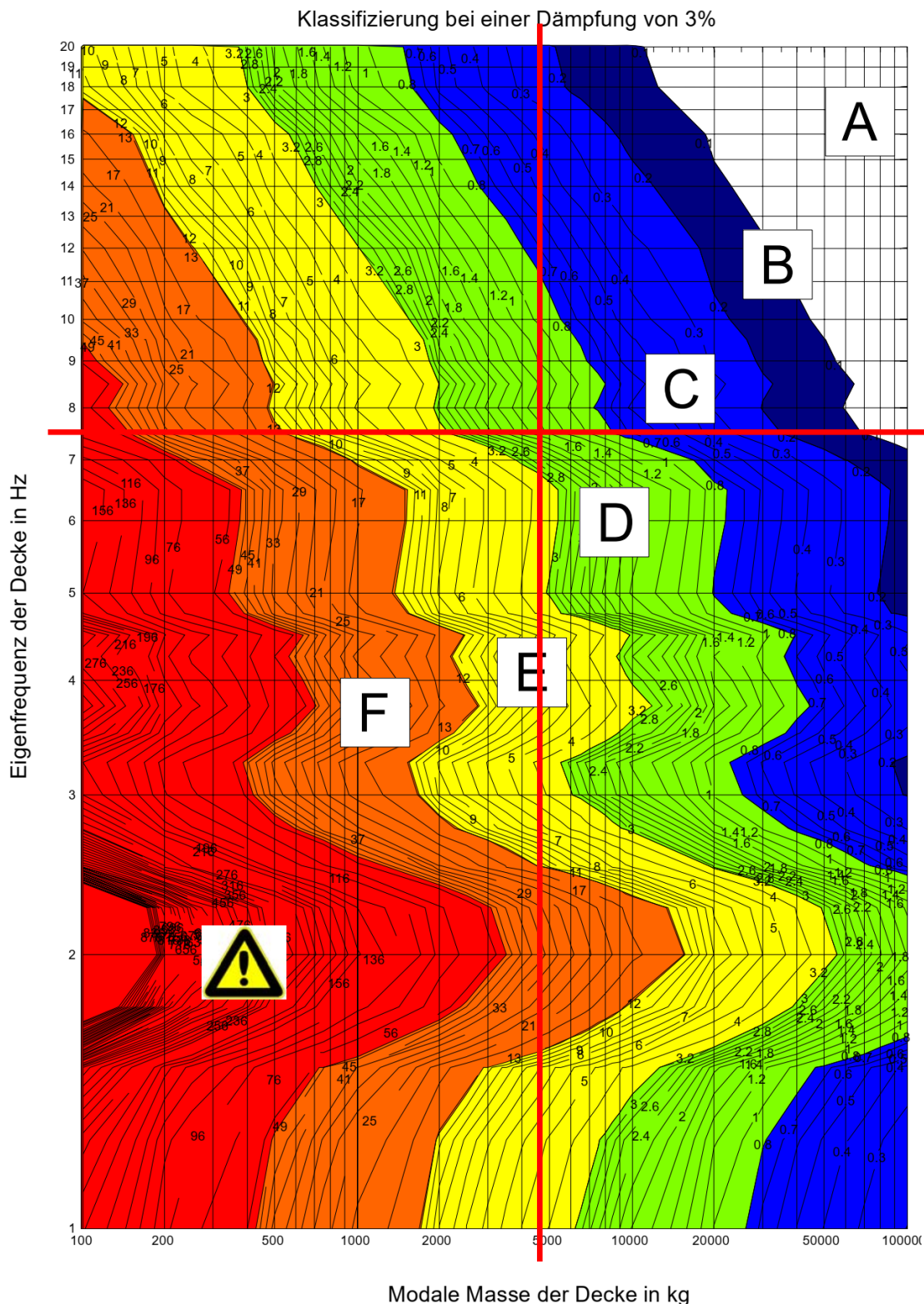


Bild 5: OS-RMS₉₀ für 3% Dämpfung

Mit diesen Eingangsparametern erreichen wir die Klasse: **D**

Die Auswertung dieses Ergebnisses erfolgt über die Tabelle 1 in der die Klasseneinstufung der Nutzung zugeordnet wird:

Tabelle 1: Klassifizierung der Deckenschwingungen und Empfehlungen für die Anwendung der Klassen

Klasse	OS-RMS ₉₀		Deckenfunktion									
	Untergrenze	Obergrenze	Kritischer Bereich	Medizinischer Bereich	Schulungsstätten	Wohngebäude	Bürogebäude	Besprechungsräume	Seniorenaufenthalt	Hotels	Industrienutzung	Sportstätten
A	0.0	0.1										
B	0.1	0.2										
C	0.2	0.8										
D	0.8	3.2										
E	3.2	12.8										
F	12.8	51.2										

	Empfohlen
	Kritisch
	Nicht empfohlen

Tabelle 9.8 Klassifizierung der Deckenschwingungen und Empfehlungen für die Anwendung der Klassen (Auszug aus Hivoss Leitfaden Tabelle 1)

Für eine Büronutzung wird hier die Klasse D empfohlen (grüner Bereich), so dass hier laut diesem Leitfaden die Anforderungen als erfüllt angesehen werden können.

Für die Bewertung von Schwingungen auf Menschen kann auch die VDI 2057 angewandt werden. Diese Richtlinie dient der einheitlichen Messung, Auswertung und Bewertung der Schwingungsbelastung von Beschäftigten an Arbeitsplätzen in Gebäuden, bei der die Schwingungseinleitung auf Menschen über den Fußboden erfolgt. D.h. hierzu sind vorherige Schwingungsmessungen am fertigen Gebäude durchzuführen. Grenzwerte werden in dieser Richtlinie nicht festgelegt.

Für Wohngebäude kann die DIN 4150 herangezogen werden, die allerdings nicht in jedem Bundesland eingeführt ist und wird somit auch nur von z.B. Gutachtern als Grundlage herangezogen. Diese Norm setzt aber auch vorangegangene Messungen am fertigen Gebäude voraus.

Für die Anwendung beider Vorschriften ist es ratsam sowohl die Messungen als auch die Auswertungen durch dafür spezialisierte Fachingenieure durchführen zu lassen.

Für die Planung eines Gebäudes gibt es zurzeit nur den Hivoss-Leitfaden um eine Bewertung auf Schwingungsanfälligkeit durchzuführen ohne Ergebnisse aus Messungen zu haben.

Das Diagramm Bild 5 zeigt auch, dass es nicht ausreicht wie früher feste Richtwerte für die Eigenfrequenz anzugeben.

Für die Bewertung von Schwingungsanfälligkeiten einer Deckenkonstruktion infolge von normalem Gehen von Personen ist neben der Eigenfrequenz auch die modale Masse (die an der Schwingung hauptsächlich beteiligte Masse) sehr wichtig.

Daher kann eine höhere Masse (z.B. durch schwimmenden Estrich), ohne dass diese zu einer Steigerung der Steifigkeit führt, trotzdem zu günstigerem Ergebnis der Bewertung der Schwingungseigenschaften führen.

Eine andere Möglichkeit eine Klassifizierung zu verbessern ist die Dämpfung zu erhöhen. In Tabelle 3 des Hivoss-Leitfadens sind Möglichkeiten angegeben.

Durch elastische Einspannungen der Träger in die Stützen kann es bei einer Messung zu leicht erhöhten Eigenfrequenzen kommen. Dies ist in der Regel aber auch mit höherer Dämpfung verbunden, so dass für übliche Spannweiten und Massen von Verbundträgern im Hochbau eine Bewertung durch den Hivoss-Leitfaden erfolgen kann.

Copyright-Klausel mit Haftungsausschluss

© Copyright - Klausel

Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Die Autoren, der Verlag und der Hersteller können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen keine Haftung übernehmen. Rechtsansprüche aus der Benutzung der vermittelten Daten sind daher ausgeschlossen. Für alle Hinweise und Verbesserungsvorschläge sind Herausgeber und Verlag stets dankbar. Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung von elektronischen Medien.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, besonders die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Bildentnahme, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Weg und der Nachspeicherung und Auswertung von Datenverarbeitungsunterlagen, bleiben auch bei Verwendung von Teilen des Werkes, der Verlag vorbehalten. Rechtsansprüche aus der Benutzung der vermittelten Daten sind ausgeschlossen. Bei gewerblichen Zwecken dienender Vervielfältigung ist an den Verlag gemäß § 54 UrhG eine Vergütung zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

Herausgeber:

bauforumstahl e. V., Düsseldorf

Vertrieb:

Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Düsseldorf