

Empfehlungen

zur

**Messung und Berechnung
des Eigenschwingungsverhaltens
und der Antwort
der Geschossdecken von Bürogebäuden
unter dynamischen Lasten (menschenerregt)**

In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe *Schwingungen* des
DSTV-Ausschusses Verbundbau

1. Zielsetzung

Der heutige Wissensstand reicht noch nicht aus, um während der Planungsphase eines Bauvorhabens die Dämpfung der Konstruktionen genau genug zu erfassen. Da die Berechnung der Dämpfung noch nicht möglich ist, kann sie nur aus Erfahrung heraus geschätzt werden. Besonders für Flächentragwerke liegen bisher noch wenige Erfahrungswerte vor, wobei der Einfluss von z.B. Estrich, Doppelboden, nichttragenden Wänden . . . noch nicht quantifiziert werden kann. Da im Resonanzfall das Ergebnis wesentlich von der Dämpfung beeinflusst wird, ist somit die Kenntnis der Dämpfung bei dynamischen Berechnungen von großer Bedeutung.

Ein Fortschritt ist nur zu erreichen, wenn die Ergebnisse der Messungen des Eigenschwingungsverhaltens der Deckenkonstruktionen unterschiedlichster Institutionen vergleichbar und vertrauenswürdig sind und bei einer Stelle gesammelt werden.

Zur Erreichung der Vergleichbarkeit sollten die empfohlenen Datenblätter verwandt werden, sodass eine vergleichbare Messdurchführung, Auswertung und Beurteilung der Schwingungen erfolgen kann. Außerdem ist die Beschreibung der Konstruktion von wesentlicher Bedeutung.

2. Berechnung des Eigenschwingungsverhaltens

Die Programme, die heute verwandt werden, um die statische Berechnungen durchzuführen, berechnen auch die Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen. Es ist somit davon auszugehen, dass das Eigenschwingungsverhalten der Konstruktionen, bis auf die Dämpfungswerte, bekannt ist. Da die Dämpfung der Konstruktionen nicht berechnet werden kann, dieses ist nur für Konstruktionen möglich, in die z. B. Schwingungsdämpfer eingebaut werden, entspringt die Wahl der Dämpfung der Erfahrung. Häufig stimmt die gewählte Dämpfung mit der wirklichen Dämpfung nicht überein. Wird die Dämpfung niedrig angesetzt, so kann die Ausbildung der Konstruktion unwirtschaftlich sein, da die Berechnung zu sehr auf der sicheren Seite liegt. Beim Ansatz einer hohen Dämpfung ist nicht auszuschließen, dass die Konstruktion stärker schwingt als berechnet wurde.

Eine wirklichkeitsnahe Wahl der Dämpfung ist nur möglich, wenn mittels vieler Messungen weitere Erfahrungen gesammelt werden. Dafür ist es aber erforderlich, dass die Ermittlung der Dämpfung aus Messungen, die von unterschiedlichen Instituten oder Ingenieurbüros durchgeführt werden, vergleichbar sind. Deshalb müssen an die Messungen Mindestanforderungen gestellt werden.

3. Ermittlung der Eigenschwingungsgrößen aus Messwerten

3.1 Beschreibung der Konstruktionen

3.1.1 Tragende Bauteile

Es ist die Konstruktion zu beschreiben, einschließlich der Randbedingungen (vergl. Datenblätter), z.B.

- Linientragwerk z.B. brückenartige Bauwerke
- Flächentragwerk

- Stahlbetonkonstruktion (Plattenbalken, Platte)
- Verbundkonstruktion (Stahl – Stahlbeton, Plattenbalken, Platte)
- Verbundkonstruktion (Stahl, Stahltrapezbleche, Stahlbeton, Plattenbalken, Platte)
- Stahlkonstruktion (Stahl – Trapezbleche)
- Stahlkonstruktion (Stahl – Stahlbetonfertigteile)
- Kammerbetonträger Plattenbalken

3.1.2 Anschlüsse

Art der Anschlüsse siehe Datenblätter

3.1.3 Nichttragende Bauteile

Es sind der Bodenaufbau und die nichttragenden Wände darzustellen, (vergl. Datenblätter) z. B.

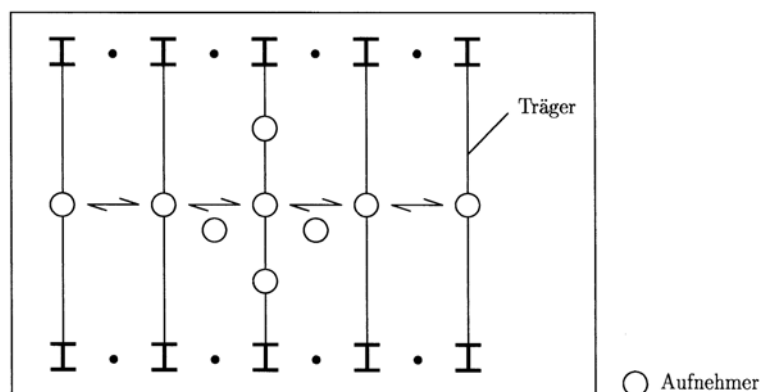
- Schwimmender Estrich, Parkett
- Doppelboden, Hohlraumboden
- Art der nichttragenden Wände
- Brandwände, Brandschutz
- Anschlüsse
- Sonstiges

3.2 Messung der Eigenschwingungsgrößen (Eigenfrequenzen, Dämpfung)

3.2.1 Wahl der Aufnehmer und Anordnung der Messpunkte

Es sind Schwingweg-Schwinggeschwindigkeits- oder Schwingbeschleunigungsaufnehmer einzusetzen, die im Frequenzbereich von $f = 1 \div 20$ Hz unverzerrt arbeiten. Die Beschleunigungsaufnehmer sollten eine Empfindlichkeit von mindestens 1 V/g aufweisen.

Zur Erfassung mehrerer Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen sind in der Haupttragrichtung mindestens drei Aufnehmer gleichzeitig einzusetzen. (jeweils etwa in den Viertelpunkten) Quer zur Hauptspannrichtung sind in Feldmitte weitere Aufnehmer zu installieren. (Bild 1)



Grundriss einer Deckenkonstruktion

Bild 1: Empfohlene Anordnung der Messpunkte

3.2.2 Erregung

3.2.2.1 Allgemeines

Es stehen drei Testfunktionen zur Verfügung, mit denen die Konstruktion zu Schwingungen angeregt werden kann:

- 1) Impuls
- 2) Sprungfunktion
- 3) Sweep

Der geringste Aufwand liegt vor, wenn ein Impuls in die Konstruktion eingeleitet wird. Dabei wird z. B. ein Sandsack fallen gelassen. Dem Ausschwingvorgang können die Eigenfrequenzen und Dämpfungen entnommen werden. Der Nachteil dieser Testfunktion liegt darin, dass die eingeleitete Energie auf ein großes Spektrum verteilt ist, so dass im Bereich der Eigenfrequenzen jeweils nur wenig Energie vorhanden ist.

Aufwendiger ist die Sprungfunktion zu verwirklichen. Es ist eine statische Belastung aufzubringen, die plötzlich entfernt werden muss.

Das Erregerspektrum weist die wesentliche Energie im tieffrequenten Bereich auf, so dass die tiefen Eigenfrequenzen gut angeregt werden können. Der Einsatz einer Erregeranlage, mit der kontinuierlich ein Frequenzbereich durchfahren werden kann und die Kraftamplitude konstant gehalten wird, ist sehr aufwendig. Ist nur die tiefste Eigenfrequenz von Interesse, so sollte die Erregung etwa in Feldmitte erfolgen. Sind auch höhere Eigenschwingungsformen zu berücksichtigen, so ist im Viertelspannungspunkt anzuregen.

3.2.2.2 Impulserregung

Die Impulserregung sollte im Frequenzbereich $f < 20$ Hz ausreichend Energie aufweisen, damit die wesentlichen Eigenschwingungsformen deutlich angeregt werden. Bei Konstruktionen, die eine Dämpfung von

$$D \leq 3 \%$$

aufweisen, reicht auch die Impulserregung durch eine Person. Eine bessere Anregung liegt vor, wenn ein Sandsack ($G \cong 0,25$ kN) aus unterschiedlicher Höhe auf die Konstruktion fällt. Der Nachteil der Erregung liegt darin, dass die Kraft und das Spektrum der Erregung nicht bekannt sind und die eingeleitete Energie auf ein breites Spektrum verteilt ist. (*Bild 2*)

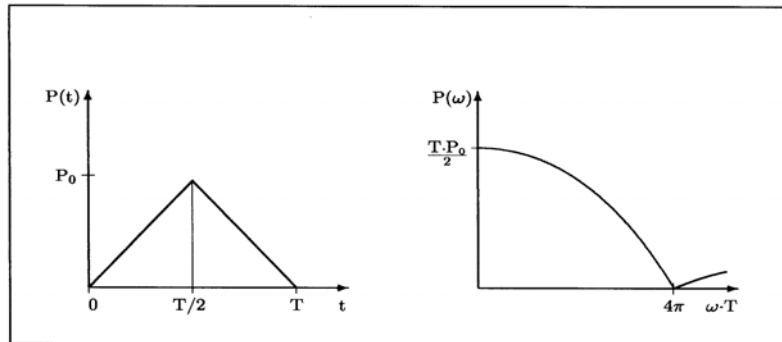


Bild 2: Zeitverlauf und Spektrum bei Impulserregung

3.2.2.3 Sprungfunktion (plötzliche Entlastung)

Bei der Sprungfunktion können die Kraft und der Zeitverlauf der Entlastung gemessen werden. Der Messaufwand ist groß. Der Vorteil ist aber darin zu sehen, dass die Energie der Erregung im wesentlichen im Bereich der tiefen Frequenzen liegt. (Bild 3) Es kann somit eine größere Schwingungsamplitude angeregt werden. Die Einsenkung unter der statischen Last sollte bei $s \geq 1$ mm liegen.

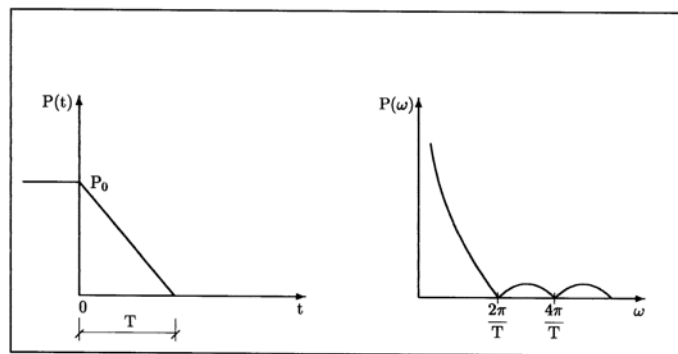


Bild 3: Zeitverlauf und Spektrum bei Sprungerregung

3.2.2.4 Sweep

Wird die Konstruktion durch dynamische Kräfte mit einer sich langsam verändernden Frequenz beansprucht, so ist die gesamte Energie für eine bestimmte Zeit in einer Frequenz enthalten. (stationärer Zustand) (Bild 4)

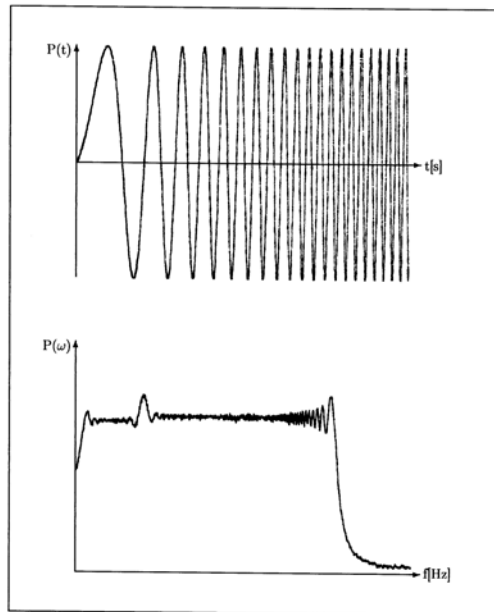
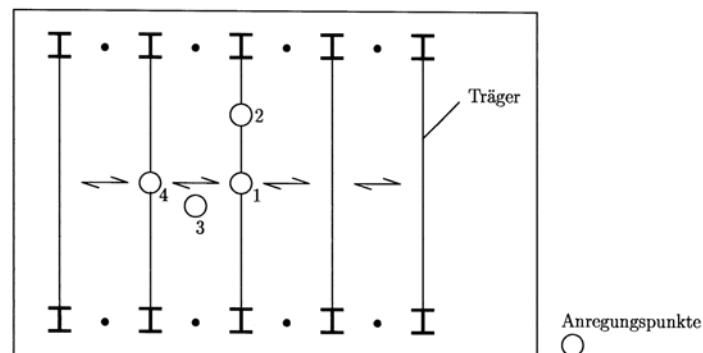


Bild 4: Zeitverlauf und Spektrum bei Sweep-Erregung

Es handelt sich hierbei um eine sehr aufwendige Testfunktion, die aber besonders für stark gedämpfte Konstruktionen und Konstruktionen, bei denen die Eigenfrequenzen dicht beieinander liegen, geeignet ist.

3.2.2.5 Wahl der Erregerpunkte

Es sind auf jeder Geschosdecke mindestens in vier Punkten dynamische Kräfte einzuleiten. (Bild 5)



Grundriss einer Deckenkonstruktion

Bild 5: Empfohlene Anregungspunkte

Bei der Erregung in Punkt 1 tritt die tiefste Eigenfrequenz und Eigenschwingungsform in Tragrichtung besonders stark hervor. Wird die Konstruktion im Viertelpunkt angeregt, so antwortet das System besonders stark in der 1. Oberschwingung. (Einfeldsystem) Das Eigenschwingungsverhalten der Plattenkonstruktion wird gut erfasst, wenn in Punkt 3 angeregt wird. Die Anregung in Punkt 4 zeigt auch das Eigenschwingungsverhalten in Querrichtung der Konstruktion. (Flächentragwerk)

3.2.3 Ermittlung der Eigenschwingungsgrößen (Eigenfrequenzen, Dämpfung)

3.2.3.1 Allgemeines

Bei Flächentragwerken kann das Eigenschwingungsverhalten zweier Richtungen von Bedeutung sein. Die Eigenfrequenzen, Eigenschwingungsformen und Dämpfungen sind als Ergebnis der Versuche von besonderem Interesse. Die Ermittlung der Größen kann im Zeit- und Frequenzbereich erfolgen.

3.2.3.2 Zeitbereich

Ist in dem Ausschwingvorgang nur eine Frequenz stark enthalten, so kann aus der Amplitudenabnahme die Dämpfung in einer Frequenz ermittelt werden. (*Bild 6*) In allen weiteren Fällen kann der Zeitbereich nicht weiter verwandt werden.

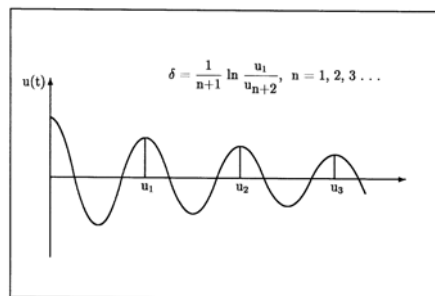


Bild 6: Ermittlung der Dämpfung aus Ausschwingkurven (Ausschwingen in einer Frequenz)

3.2.3.3 Frequenzbereich

Das Spektrum des Ausschwingvorganges weist bei Flächentragwerken meistens mehrere Amplitudenspitzen auf. Es können somit die Eigenfrequenzen und, wenn ausreichend Signale von Messaufnehmer vorliegen, die Eigenschwingungsformen ermittelt werden. Beim Einsatz der beiden Testfunktionen (Impuls, Sprungfunktion) kann die Dämpfung mit Hilfe der Halbwertbreite (*Bild 7*) berechnet werden. Voraussetzung ist aber, dass zwei Eigenfrequenzen nicht derart nahe beieinander liegen, dass sie sich gegenseitig beeinflussen und eine Trennung nicht möglich ist.

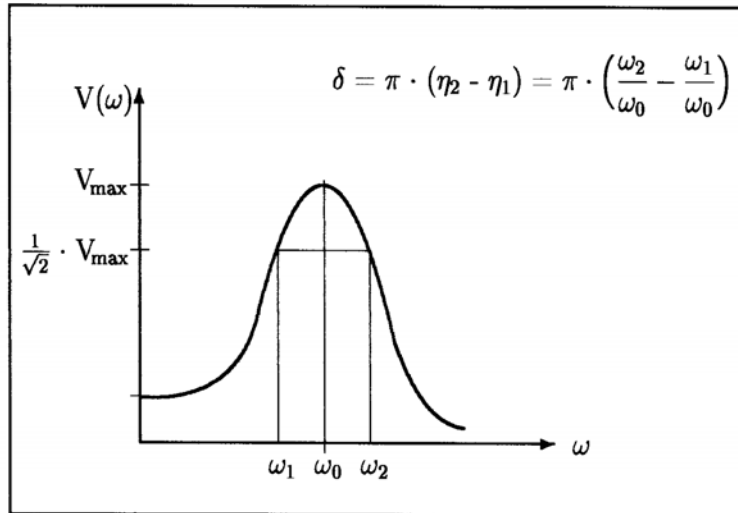


Bild 7: Dämpfungsbestimmung aus der Halbwertbreite

In diesen Fällen kann die Dämpfung nur mit speziellen Programmen oder über den Einsatz der Sweep-Erregung ermittelt werden. (Bild 8)

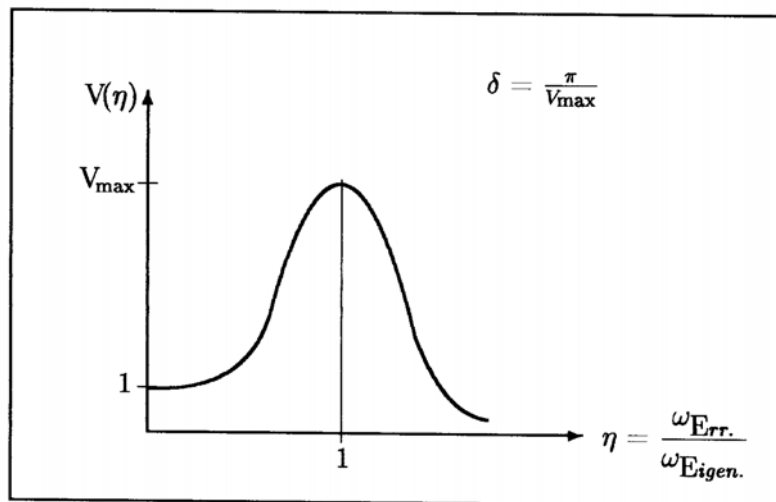


Bild 8: Dämpfungsbestimmung aus der Vergrößerungsfunktion

In Bild 9 ist die erforderliche Vorgehensweise in Form eines Ablaufplanes dargestellt.

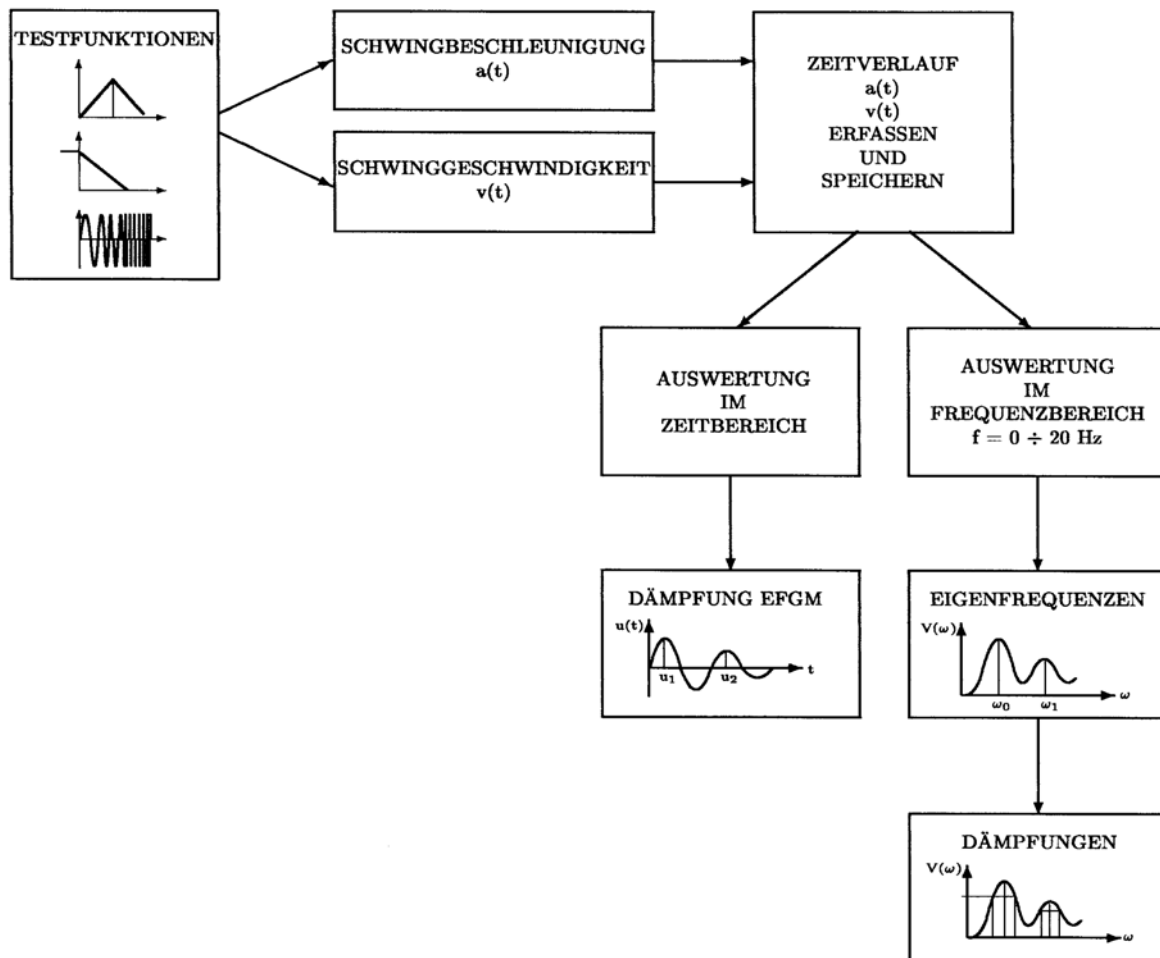


Bild 9: Ermittlung der Eigenschwingungsgrößen aus Messungen

3.2.4 Messbericht (siehe Datenblätter)

Der Messbericht sollte folgende Angaben enthalten:

- Beschreibung der Konstruktion
- Flächengröße der Geschossdecke
- Wahl der Schwingungsaufnehmer
- Darstellung der Messorte
- Art der Schwingungserregung
- Punkte der Schwingungserregung
- Ermittlung der wesentlichen Eigenfrequenzen, wenn möglich mit entsprechender Eigenschwingungsform
- Ermittlung der Dämpfungen
- Darstellung der wesentlichen Zeitverläufe
- Darstellung der wesentlichen Spektren bis $f = 20 \text{ Hz}$
- Zeitverläufe (Erzwungene Schwingung)
- Spektren (Erzwungene Schwingung)

4. Messung der Antworten bei Erregung durch Personen in Bürogebäuden

4.1 Allgemeines

Es sind die Amplituden zu erfassen, die durch eine Person, die mit unterschiedlicher Geschwindigkeit über die Decke geht. Die Person soll auch mit einer Geschwindigkeit gehen, bei der Resonanz vorliegt. Außerdem sind die Schwingungsamplituden zu messen, die während des normalen Betriebes verursacht werden.

4.2 Gehen einer Person

Da das Eigenschwingungsverhalten der Konstruktionen bekannt ist, kann die Person auch mit der Geschwindigkeit über die Decke gehen, bei der Resonanz vorliegt. Die Schwingungsamplituden sollten vorwiegend dort erfasst werden, wo Personen arbeiten (d.h. im Bereich der Schreibtische). Die Auswertung hat im Zeit – und Frequenzbereich zu erfolgen.

4.3 Normaler Betrieb

Zur Messung der Schwingungsamplituden, die während des normalen Betriebes auftreten, sollte die Messanlage für zwei Arbeitstage die Schwingungsamplituden erfassen, die über $v_z = 0,15 \text{ mm/s}$ liegen. Es ist somit eine Triggerschwelle einzubauen. Die gestarteten Aufnahmen sollten jeweils eine Dauer von $t = 30 \text{ s}$ aufweisen. Der Frequenzbereich kann auf Frequenzen von

$$f \leq 20 \text{ Hz}$$

begrenzt werden.

5. Lastfunktionen der dynamischen Erregung

5.1 Allgemeines

Die dargestellte Lastfunktion bezieht sich nur auf Gebäude (Bürogebäude), in denen die Aktivitäten – Laufen und Hüpfen – derart selten auftreten, so dass sie vernachlässigt werden können. Es werden somit nur die Belastungsgrößen für das Gehen im Zeit- und Frequenzbereich angegeben. Genannt werden auch nur die dynamischen Kräfte, die in Vertikalrichtung wirken, da die Konstruktionen eine hohe Horizontalsteifigkeit aufweisen.

5.2 Gehen

Beim Gehen handelt es sich um eine periodische Erregung, die als Fourierreihe dargestellt werden kann.

$$F(t) = G \cdot \left(1 + \sum_{n=1}^k \alpha_n \cdot \sin(2\pi nft + \varnothing_n)\right)$$

mit:

- F(t): dynamischer Kraftverlauf
- α_n : Fourierkoeffizient in der n -ten Harmonischen
- G: Gewicht der Person
- f: tiefste Erregerfrequenz
- \varnothing_n : Phasenbeziehung der Harmonischen

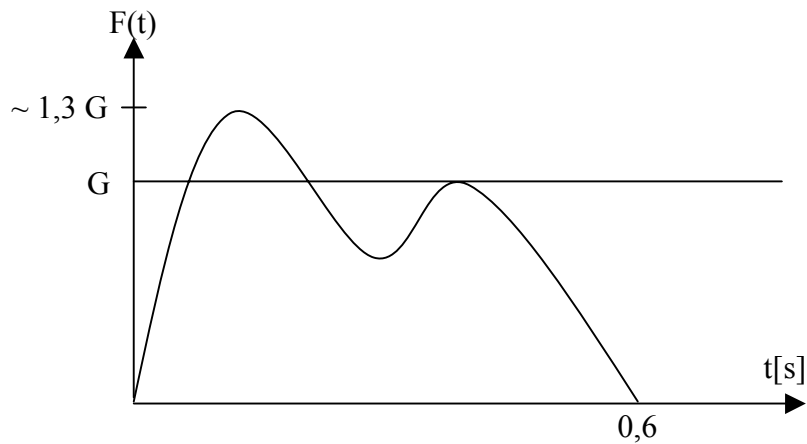


Bild 10: Zeitverlauf: Gehen

Da nur die drei ersten Erregerfrequenzen wesentliche Kraftamplituden aufweisen, ist auch nur dieser Frequenzbereich zu betrachten:

- | | | |
|---------------------|---|------------------|
| 1. Erregerfrequenz: | $f_{\text{Err}} = 1,5 \text{ Hz} \div 2,5 \text{ Hz}$ | $\alpha_1 = 0,4$ |
| 2. Erregerfrequenz: | $f_{\text{Err}} = 3,0 \text{ Hz} \div 5,0 \text{ Hz}$ | $\alpha_2 = 0,2$ |
| 3. Erregerfrequenz: | $f_{\text{Err}} = 4,5 \text{ Hz} \div 7,5 \text{ Hz}$ | $\alpha_3 = 0,1$ |

Das Erregerspektrum kann folgendermaßen dargestellt werden:

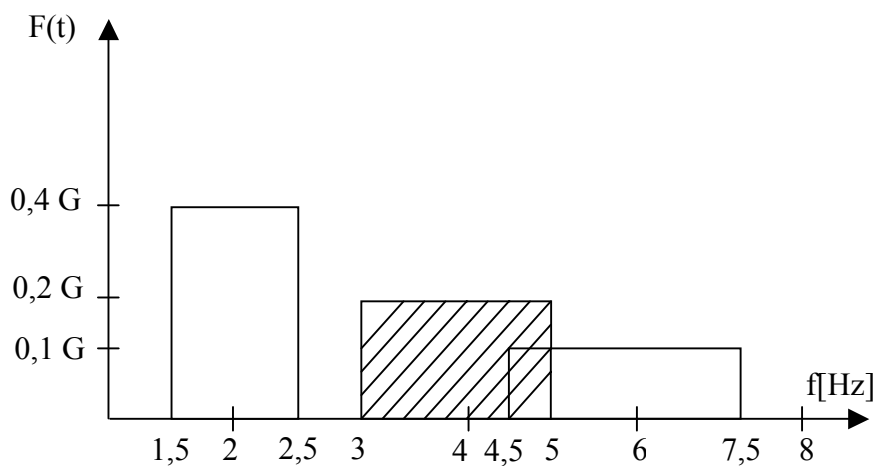


Bild 11: Dynamische Belastung beim Gehen in Abhängigkeit von der Frequenz

6. Berechnung der Antwort des Systems bei Erregung durch Personen

6.1 Allgemeines

Messungen haben zu dem Ergebnis geführt, dass der Ansatz mit 2 Personen, die gleichzeitig die Geschossdecke durch Gehen dynamisch belasten, auch noch auf der sicheren Seite liegt. Da nur in Ausnahmesituationen davon auszugehen ist, dass mehr als zwei Personen die Konstruktion zu Resonanzschwingungen anregen, können während dieser Zeit größere Amplituden akzeptiert werden.

6.2 Ermittlung der maximalen Schwingungsamplituden

Geht eine Person parallel zu den Hauptträgern auf der Geschossdecke, so kann die Antwort der Decke in Abhängigkeit von der Zeit folgendermaßen angeschrieben werden:

$$s(t) = \frac{\Delta G_n \cdot \pi}{M_{\text{gen.}} \cdot \omega_0^2 \cdot \delta} \cdot (1 - e^{-\omega_0 \cdot D \cdot t}) \cdot 0,6$$

$$v(t) = \frac{\Delta G_n \cdot \pi}{M_{\text{gen.}} \cdot \omega_0 \cdot \delta} \cdot (1 - e^{-\omega_0 \cdot D \cdot t}) \cdot 0,6$$

$$a(t) = \frac{\Delta G \cdot \pi}{M_{\text{gen.}} \cdot \delta} \cdot (1 - e^{-\omega_0 \cdot D \cdot t}) \cdot 0,6$$

mit:

$\Delta G_n = \alpha_n \cdot G$: Lastanteile in den Harmonischen
$M_{\text{gen.}}$: generalisierte Masse
$\delta = 2\pi \cdot D$: log. Dekrement
ω_0	: Eigenkreisfrequenz
$t = e/v$: Belastungsdauer
e :	Spannweite der Konstruktion
v :	Gehgeschwindigkeit

Wird davon ausgegangen, dass 2 Personen die Konstruktion zu Resonanzschwingungen anregen und der stationäre Zustand erreicht ist, so können die maximalen Amplituden folgendermaßen berechnet werden:

$$s(t) = \frac{2 \cdot \Delta G_n \cdot \pi}{M_{\text{gen.}} \cdot \omega_0^2 \cdot \delta} \cdot 0,6$$

$$v(t) = \frac{2 \cdot \Delta G_n \cdot \pi}{M_{\text{gen.}} \cdot \omega_0 \cdot \delta} \cdot 0,6$$

$$a(t) = \frac{2 \cdot \Delta G_n \cdot \pi}{M_{\text{gen.}} \cdot \delta} \cdot 0,6$$

Der Faktor 0,6 resultiert aus der örtlichen Veränderung der Belastung (wandernde Last).

Geht eine Person orthogonal zur Spannrichtung der Hauptbalken, und zwar etwa in Feldmitte, so kann die Antwort wie vorher berechnet werden. Statt des Faktors 0,6 ist aber mit einem Faktor 0,75 zu rechnen.

7. Beurteilung der maximalen Schwingungsamplituden

7.1 Allgemeines

Die Materialspannungen und Verformungen, d. h. die Beanspruchung der Konstruktionen ist bei dem Problem nicht von Interesse. Die zu erwartenden Spannungen bleiben derart klein, so dass Schäden an den Konstruktionen ausgeschlossen werden können. Zu beurteilen ist deshalb, ob die Schwingungen zu einer Belästigung der Personen führen können, die auf den Geschossdecken arbeiten.

7.2 Darstellung von Richtwerten

Der Erkenntnisstand bezüglich der Einwirkung von Schwingungen auf den Menschen am Arbeitsplatz kann unter der Berücksichtigung des weltweiten Wissensstandes folgendermaßen dargestellt werden:

Beschleunigungsamplituden:	$f = 2 \div 4 \text{ Hz}$	$a \leq 600 / (10 \cdot \sqrt{f}) \quad [\text{mm/s}^2]$
	$f = 4 \div 8 \text{ Hz}$	$a \leq 30 \text{ mm/s}^2$
	$f \geq 8 \text{ Hz}$	$a \leq 3,75 \cdot f \quad [\text{mm/s}^2]$

Geschwindigkeitsamplituden:

$$f = 2 \div 4 \text{ Hz} \qquad v \leq \frac{600}{10 \cdot 2\pi \cdot \sqrt{f^3}} \quad [\text{mm/s}]$$

$$f = 4 \div 8 \text{ Hz} \qquad v \leq \frac{30}{2\pi \cdot f} \quad [\text{mm/s}]$$

$$f \geq 8 \text{ Hz} \qquad v \leq 0,6 \quad [\text{mm/s}]$$

Im Bereich von $f \cong 4,0$ Hz, der bei weit gespannten Konstruktionen häufig vorhanden ist, kann eine maximale Schwinggeschwindigkeitsamplitude von

$$v_{\max} = 1,2 \text{ mm/s}$$

zugelassen werden.

Die Schwingungen können häufiger am Tag auftreten. Stehen auf Geschossdecken hochempfindliche Laborgeräte, so können kleinere Schwingungsamplituden zulässig sein.

Anhang: Datenblätter

Datenblatt - Beschreibung der Konstruktion

Tragende Bauteile

Verbundkonstruktion:	Stützenraster	... m x ... m	
	Deckenträger:	... m Spannweite Profil	
	Kammerbeton	ja/nein	
	Hauptträger:	... m Spannweite ... m Abstand Profil	
	Kammerbeton	ja/nein	
	Decke:		
	Massivdecke	d = ... cm	
	Verbunddecke	d = ... cm Typ ...	
	Slimflor-Decke:	Stützenraster	... m x ... m
	Nebensystem:	... m Spannweite	
Spannbeton Hohldielen	d = ... cm		
Verbunddecke	d = ... cm		
Flachdecke	d = ... cm		
	Hauptträger	... m Spannweite Typ ...	
Stahlkonstruktion:	Stützenraster	... m x ... m	
	Nebensystem:	... m Spannweite Profil	
	Trapezbleche mit Spanplatte	<input type="checkbox"/>	
	mit Betonfüllung	<input type="checkbox"/> d = ... cm	
	Hauptträger:	... m Spannweite Profil	
Betonkonstruktion:	Stützenraster	... m x ... m	
	Nebensystem:	... m Spannweite b/d = ... cm	
	Decke	d = ... cm	
	Hauptträger:	... m Spannweite b/d = ... cm	
	Abmessungen		

Anschlüsse

Festhaltung der Decke an der Stütze	ja/nein
Knagge	<input type="checkbox"/>
Winkelanschluss	<input type="checkbox"/>
Fahne	<input type="checkbox"/>
Stirnplatte:	
biegesteif	<input type="checkbox"/>
nur Querkraft: (nicht) hochgehängt	<input type="checkbox"/>
sonstige Angaben:	
SL-Verbindung	<input type="checkbox"/>
GV-Verbindung	<input type="checkbox"/>
geschweißt	<input type="checkbox"/>

nichttragende Bauteile

schwimmender Estrich	d = ... cm
Dämmung	d = ... cm
Verbundestrich	d = ... cm
Hohlraumboden: Bodenhöhe	h = ... cm
Estrich	d = ... cm
Doppelboden	k = ... cm

nichttragende Wände:

Beschreibung

Brandwände:

Beschreibung

Nutzungsart

Wohn- und Aufenthaltsraum	<input type="checkbox"/>
Büroraum	<input type="checkbox"/>
Versammlungsraum	<input type="checkbox"/>
Verkaufsraum	<input type="checkbox"/>

Fluranordnung

Bewegungsrichtung	
parallel der Deckenträger	<input type="checkbox"/>
rechtwinklig zu den Deckenträgern	<input type="checkbox"/>

Datenblatt - Durchführung der Messung

Schwingungsmesser: Physikalische Größe: s, v, a
Fabrikat:
Typ:
Frequenzbereich:

Messort: MP1: Hauptträger Feldmitte
MP2: Hauptträger Viertelspunkt
Skizze: (Grundriss) MP3: Deckenträger Feldmitte
MP4: Deckenträger Viertelspunkt
MP5: Deckenplatte Feldmitte
MP6: Deckenplatte Viertelspunkt
MP7:
MP8:
MP9:

Schwingungserregung: Impuls: durch eine Person
durch einen Sandboden o. ä.
Sprungfkt: max. Kraft
Sweep: Frequenzbereich:
Kraftamplitude:

Ort der Schwingungserregung: Hauptträger Feldmitte
Viertelspunkt
Deckenträger Feldmitte
Viertelspunkt
Deckenplatte: Feldmitte
Viertelspunkt

Datenblatt - Auswertung und Ergebnisse (Eigenschwingungen)

Eigenfrequenzen: $f_0 =$ Hz
 $f_1 =$ Hz
 $f_2 =$ Hz

Skizze: Eigenschwingungsformen

- 1.)
- 2.)
- 3.)

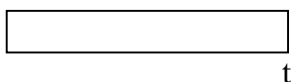
Dämpfung: δ (log. Dekrement) !!!

1. Eigenschwingungsform	$\delta =$
2. Eigenschwingungsform	$\delta =$
3. Eigenschwingungsform	$\delta =$

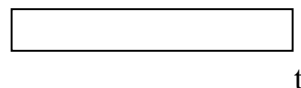
Darstellung der Zeitverläufe:

freie Schwingung oder sweep

a, v

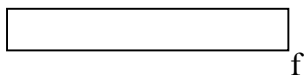


a, v

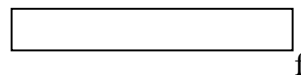


Darstellung der Spektren von $f = 0 \div 20$ Hz

a(f), v(f)



a(f), v(f)



Datenblatt - Auswertung und Ergebnisse (Erzwungene Schwingungen)

- Zeitverläufe:**
- 1 Person geht auf der Geschosdecke (Resonanz)
 - parallel zu den Hauptträgern
 - rechtwinklig zu den Hauptträgern
 - parallel zu den Deckenträgern
 - rechtwinklig zu den Deckenträgern

Darstellung der max. Amplitude beim Gehen von Personen

- Spektren:**
- 1 Person geht auf der Geschosdecke (Resonanz)
 - parallel zu den Hauptträgern
 - rechtwinklig zu den Hauptträgern
 - parallel zu den Deckenträgern
 - rechtwinklig zu den Deckenträgern

Darstellung des Spektrums bei der max. Amplitude

