

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 105 (1987)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Massnahmen gegen menscheninduzierte Bauwerksschwingungen  
**Autor:** Bachmann, Hugo  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76539>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 24.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

führt. Die Nutzungszustände sind charakterisiert durch Einwirkungen aus der Nutzung selbst und solchen aus der Umwelt. Im weiteren hält der Nutzungsplan die gewählten Massnahmen fest und gibt Anweisungen für die Überwachung und den Unterhalt. Im Normalfall enthält der Nutzungsplan nur die Nutzungsziele, die Massnahmen und die Angaben zu Überwachung und Unterhalt. Die Einwirkungen zu den massgebenden Nutzungszuständen und die Grenzwerte der zu überprüfenden Kriterien sind ohne besondere Vereinbarungen den Normen zu entnehmen. Ein diesbezüglicher Hinweis im Nutzungsplan genügt.

### Ermüdung

Die Tragsicherheit eines Bauwerks wird immer unter der Annahme nachgewiesen, dass der Tragwiderstand über die geplante Nutzungsdauer erhalten bleibt oder sogar zunimmt. Gegenüber Korrosion und schädlichen Einwirkungen aus der Umwelt kann aber nur ein angemessener Unterhalt einen ausreichenden und über die Zeit konstanten Tragwiderstand gewährleisten. Der Tragwiderstand wird aber auch durch die Belastungen selbst beeinflusst. Bei oft wiederholten Beanspruchungen wird der Tragwiderstand gefährdeter Bauwerke reduziert. Der Bruch tritt

dann unter normaler Nutzung infolge Ermüdung der Baustoffe ein: Eine Erkenntnis, die erstmals nach dem Brückeneinsturz in Münchenstein im letzten Jahrhundert klar ins Bewusstsein der Fachleute gedrungen ist.

Aus diesem Grunde enthalten die Konstruktionsnormen nebst den Nachweisen der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit auch einen Nachweis der Ermüdungssicherheit.

Adressen der Verfasser: Dr. sc. techn. M. Grenacher, dipl. Ing. ETH/SIA, Fröhlichstr. 29, 5200 Brugg; Dr. sc. techn. P. Lüchinger, dipl. Ing. ETH/SIA, Wenaweser + Wolfensberger AG, Reinhardstr. 10, 8034 Zürich.

## Massnahmen gegen menscheninduzierte Bauwerksschwingungen

Von Hugo Bachmann, Zürich

Von Menschen erregte Schwingungen können vor allem die Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken erheblich beeinträchtigen. Gefährdet sind insbesondere Fussgängerbauwerke, Bürogebäude, Turn- und Sporthallen, Tanzlokale und Konzertsäle sowie Sprungtürme in Schwimmbädern.

Als Gegenmassnahme kommt vor allem die Frequenzabstimmung in Betracht. Dabei muss berücksichtigt werden, dass wesentliche Kräfte nicht nur in der eigentlichen Schritt-, Hüpf- oder Tanzfrequenz, sondern auch in den Frequenzen von oberen bzw. unteren Harmonischen des zeitlichen Verlaufs der dynamischen Last abgegeben werden.

### Vermehrt auftretende Problemfälle

Zunehmend treten Fälle auf, wo Bauwerke durch Menschen zu störenden oder gar schädlichen Schwingungen angeregt werden. Wegen der verhältnismässig geringen Nutzlast, die normalerweise als statisch wirkend angenommen wird, sind solche Tragwerke oft sehr schlank konstruiert. Häufig wird die Gefahr übersehen oder unterschätzt, dass dynamische Lasten für die Dimensionierung massgebend sein können.

Dabei geht es oft weniger um eine unzulässige Beanspruchung der eigentlichen Tragkonstruktion, sondern vor allem um eine mögliche Beeinträchtigung von Personen. Schwingungen werden nicht nur als unangenehm empfunden, sie können den Menschen auch stark verunsichern, was bis zum fluchtartigen Verlassen des Aufenthaltsortes führen kann [2].

Insbesondere bei Hochbauten können auch Sekundärelemente wie Fassaden-

teile, Beleuchtungskörper, Ausrüstungsgegenstände usw. Schäden erleiden. Menscheninduzierte Schwingungen sind somit vorwiegend ausgesprochene Probleme der Gebrauchstauglichkeit.

### Vielfältige dynamische Lasten

Körperliche Aktivitäten des Menschen können sehr verschiedenartige dynamische Lasten verursachen. Für die Beanspruchungen von Bauwerken stehen die periodischen Lasten im Vordergrund. Sie resultieren vor allem aus folgenden menschlichen Bewegungsformen:

- Gehen,
- Laufen,
- Hüpfen,
- Tanzen

In dieser Grobeinteilung können andere Bewegungsformen wie rhythmische Sprungübungen bei Konditionstrainings, Jazztanzübungen, Fussstampfen und Händeklatschen sowie Mitwippen

des Körpers bei Konzertveranstaltungen usw. eingeschlossen sein, oder sie stellen allenfalls Kombinationen dieser Bewegungsformen dar.

Transiente Lasten ergeben sich vor allem, wenn ein Einzelstoss auf ein Bauwerk oder Bauteil ausgeübt wird, wie z.B. beim Absprung von einem Sprungturm, beim Auftreffen auf einen Hallenboden nach Absprung aus erhöhter Lage, oder bei einem Schulterstoss gegen eine Wand.

Bei periodischen Lasten sind sowohl die Form des zeitlichen Verlaufs als auch die Frequenz der Last von der Bewegungsform abhängig. Ausserdem spielt auch die Anzahl der beteiligten Personen eine Rolle. Hier sei nicht näher auf die verschiedenen möglichen zeitlichen Verläufe dynamischer Lasten eingegangen; eine systematische Darstellung und Diskussion ist in [1] enthalten.

Von erheblicher Bedeutung ist jedoch die Feststellung, dass unter Umständen wesentliche Lasten nicht nur in der eigentlichen Schritt-, Hüpf- oder Tanzfrequenz, sondern auch in den Frequenzen von oberen bzw. unteren Harmonischen des zeitlichen Verlaufs der dynamischen Last abgegeben werden (vor allem doppelte und halbe Schrittfrequenz, doppelte Hüpfrequenz, usw.).

### Mögliche Massnahmen

Bei den Massnahmen gegen menscheninduzierte Bauwerksschwingungen steht die Frequenzabstimmung im Vordergrund; die im allgemeinen eine zweckmässige Lösung erlaubt. In be-

sonderen Fällen empfiehlt es sich, eine erzwungene Schwingung zu berechnen. Unter Umständen können auch Sondermassnahmen getroffen werden wie z.B. das Anbringen von Schwingungstilgern. Ziel jeglicher Massnahmen ist es, die Bauwerksschwingungen innerhalb zulässiger Grenzen zu halten. Solche werden meist in Form von Anhaltswerten angegeben [1].

Bei der Frequenzabstimmung geht es darum, dafür zu sorgen, dass die Eigenfrequenzen des Bauwerks, insbesondere dessen Grundfrequenz, nicht in Bereichen möglicher oder häufiger Lastfrequenzen liegen. Als Lastfrequenzen gelten, wie erwähnt, nicht nur die Schritt-, Hüpf- oder Tanzfrequenz, sondern auch Frequenzen bestimmter Harmonischer des zeitlichen Verlaufs der dynamischen Last. Die Berechnung der Bauwerksfrequenzen sollte stets auf vorsichtige Weise die oberen und unteren Grenzwerte der Mitwirkung von Sekundärelementen wie Belägen, Geländern oder anderen Elementen berücksichtigen. Ebenfalls zu berücksichtigen sind die Grösse des dynamischen Elastizitätsmoduls, ein Übergang in den gerissenen Bereich inklusive Berücksichtigung der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen bei der Ermittlung der Biegesteifigkeit von Stahlbetonkonstruktionen usw. [1].

Die Berechnung einer erzwungenen Schwingung hat zum Ziel, das dynamische Verhalten eines Bauwerks rechnerisch vorherzusagen und zahlenmässig wichtige Ergebnisse anhand von Anhaltswerten zu beurteilen. Eine solche Berechnung kann mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sein. Zur oft ungenauen Bestimmung der Frequenzen des Bauwerks kommt die Problematik der Annahmen für die Dämpfung des Bauwerks, für den zeitlichen Verlauf der dynamischen Last sowie für den

Einfluss mehrerer Personen hinzu. Berechnungsergebnisse sind deshalb stets mit der nötigen Vorsicht zu behandeln.

Sondermassnahmen kommen vor allem dann in Frage, wenn eine eindeutige Frequenzabstimmung nicht möglich ist, oder wenn die Berechnung einer erzwungenen Schwingung unzulässige Bauwerksschwingungen anzeigt. Solche Massnahmen sind beispielsweise die Erhöhung der Dämpfung oder der Einsatz von Tilgern. Das Schwingungsverhalten schwach gedämpfter Konstruktionen kann allenfalls mittels Reibungsvorrichtungen bei Auflagern, Geländern usw. verbessert werden. In bestimmten Fällen kann das Anbringen eines oder mehrerer Schwingungstilger erfolgreich sein. Ein Tilger ist ein gedämpfter und auf das Hauptsystem sorgfältig abgestimmter Einmassenschwinger, der an geeigneter Stelle befestigt wird und unter gegebenen Umständen zu einer erheblichen Reduktion der Schwingungsamplituden führt. Derartige Sondermassnahmen kommen insbesondere bei der Sanierung bestehender Konstruktionen in Betracht.

In den folgenden Abschnitten werden in knapper Form für einige von Menschen erregbare Bauwerksarten Empfehlungen für die Frequenzabstimmung gegeben. Für andere Bauwerksarten, für nähere Begründungen, für die Berechnung einer erzwungenen Schwingung und für das Ergreifen von Sondermassnahmen, wird auf [1] verwiesen.

### Fussgängerbauwerke

Als Fussgängerbauwerke gelten Fussgängerbrücken und ähnlich beanspruchte Bauwerke wie Passerellen, Verbindungsgänge, weitgespannte Treppen, Schiffslandestege usw.

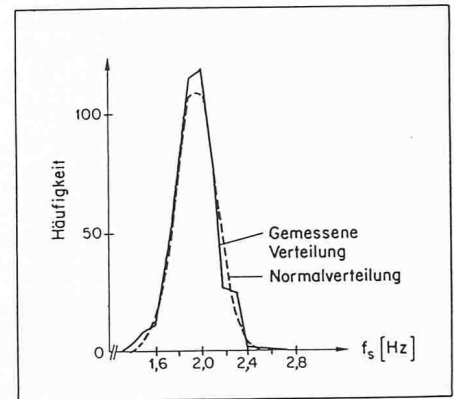


Bild 1. Häufigkeitsverteilung der Schrittfrequenz beim normalen Gehen (nach [3])

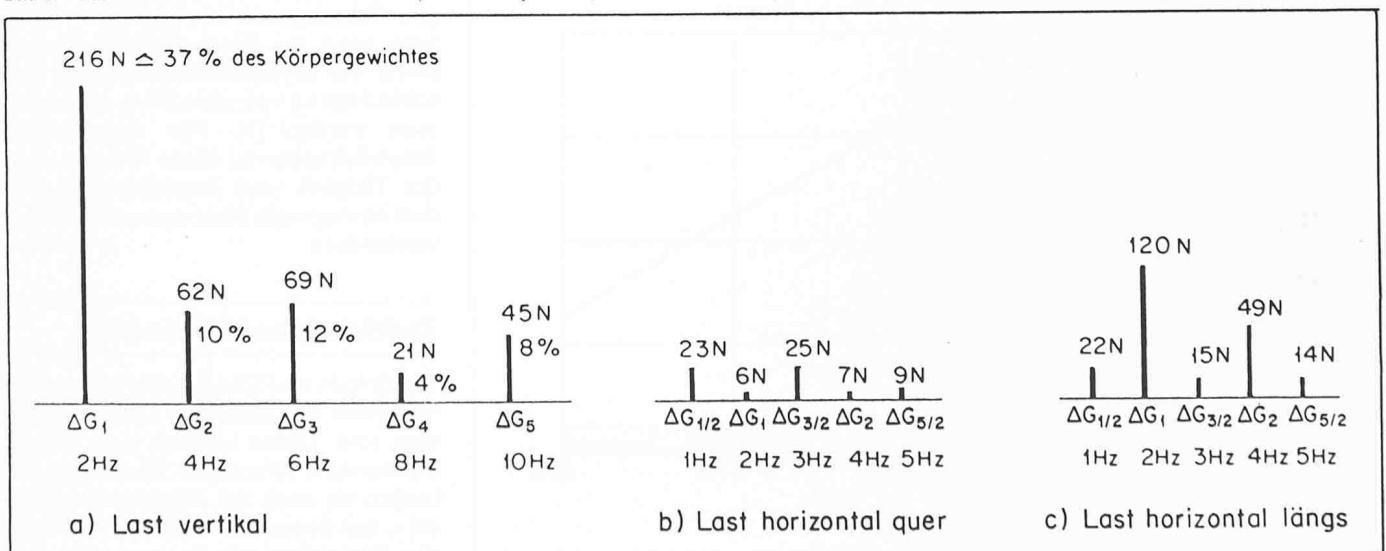
Im Bild 1 ist die Häufigkeitsverteilung der Schrittfrequenzen von Fussgängern beim normalen Gehen dargestellt (nach [3]). Der Mittelwert beträgt etwa 2 Hz, die gemessene Verteilung entspricht einer Normalverteilung recht gut. Die Standardabweichung ist verhältnismässig gering, sie liegt in der Grössenordnung von  $\pm 0,2$  Hz.

Im Bild 2 sind die Lastanteile (Fourier-Amplituden) des zeitlichen Verlaufs der dynamischen Lasten, die ein Fussgänger beim normalen Gehen ausübt, in den Richtungen «vertikal», «horizontal quer» und «horizontal längs» dargestellt (nach [4]). Man erkennt, dass Lasten ausser in der Schrittfrequenz auch in den Frequenzen von Harmonischen abgegeben werden.

### Anregung vertikal

Aufgrund der Häufigkeitsverteilung der Schrittfrequenz von Fussgängern ist die Gefahr am grössten, dass Fussgängerbauwerke zu erheblichen vertikalen Biegeschwingungen angeregt werden, wenn deren Grundfrequenz zwischen 1,6 Hz und 2,4 Hz liegt.

Bild 2. Lastanteile der einzelnen Harmonischen (Fourier-Amplituden) der durch einen Fussgänger ausgeübten Lasten (nach [4])



Grund- und Oberfrequenzen in diesem Bereich sind deshalb auf jeden Fall zu vermeiden:

$$f_i = < 1,6 \text{ Hz}$$

$$f_i = > 2,4 \text{ Hz}$$

Für Fussgängerbauwerke ist zudem bedeutsam, dass auch Lasten in der doppelten Schrittfrequenz (2. Harmonische) auftreten. Daher sind insbesondere bei Bauwerken mit verhältnismässig geringer Steifigkeit und Dämpfung (vor allem Stahl- und Stahlverbundtragwerke) auch Grund- und Oberfrequenzen im Bereich zwischen etwa 3,5 Hz und 4,5 Hz vorsichtshalber zu vermeiden:

$$f_i = < 3,5 \text{ Hz}$$

$$f_i = > 4,5 \text{ Hz}$$

Eine bei Fussgängerbauwerken in praktisch allen Fällen akzeptable Lösung ist das Hochabstimmen der Grundfrequenz auf über etwa 5 Hz:

$$f_1 \geq 5 \text{ Hz}$$

#### Anregungen horizontal

Der Mensch gibt beim Gehen auch horizontal quer und längs zur Gehrichtung Lasten ab. Diese sind erheblich kleiner als die vertikalen Lasten (Bild 2). Trotzdem können sie bei eher selten vorkommenden Konstruktionen zu Schwingungsproblemen führen [1].

Bei horizontal quer zur Gehrichtung weichen und meist auch schwach gedämpften Bauwerken kann bedeutsam sein, dass die Seitenschwankung des Schwerpunktes eines Fussgängers mit der halben Schrittfrequenz, d.h. mit etwa 1 Hz, erfolgt. Daher ist bei solchen Bauwerken der Frequenzbereich zwischen etwa 0,8 Hz und 1,2 Hz auf jeden Fall zu vermeiden. Ferner empfiehlt sich unter Umständen, auch Frequenzen im Bereich von etwa 2,6 Hz und 3,4 Hz zu vermeiden [1].

Horizontal längs zur Gehrichtung werden vor allem Kräfte in der ein- und zweifachen, aber auch in der halben Schrittfrequenz abgegeben (ungleiches Auftreten der beiden Füße). Daher sind Bauwerksfrequenzen in den Bereichen von etwa 0,8 Hz bis 1,2 Hz und unter Umständen auch solche von etwa 1,6 Hz bis 2,4 Hz zu vermeiden [1].

Als grober Anhaltswert für den zulässigen Schwingwert in vertikaler Richtung kann bei Fussgängerbauwerken eine Beschleunigung von etwa 5% g angenommen werden [1]. In [3] wird der doppelte Wert empfohlen, doch dürften dementsprechende Schwingungen bei häufig begangenen Bauwerken vom Publikum kaum akzeptiert werden.

### Turn- und Sporthallen

Bei Turn- und Sporthallen sind vor allem Decken sorgfältig zu bemessen, auf denen Konditionstrainings mit Hüpf-, Sprung- und Laufübungen durchgeführt werden. Die oft von zahlreichen Teilnehmern synchron ausgeübten dynamischen Lasten sind verhältnismässig gross [1,5]. Geringer können die Einwirkungen bei Jazztanztrainings in Gymnastiklokalen usw. sein.

Die beim Konditionstraining zu rhythmischer Musik festgestellten Hüpf-, Sprung- und Lauffrequenzen liegen zwischen 2,0 Hz und 3,2 Hz (selten bis etwa 3,4 Hz). Der zeitliche Verlauf der Last kann sehr unterschiedlich sein. Es hat sich jedoch gezeigt, dass als verhältnismässig einfache und zumindest in bezug auf die Frequenzen und die maximal mögliche Lastamplitude auch für andere Übungen repräsentative Standardübung das «Hüpfen an Ort» mit gleichzeitigem Auftreten beider Füße

betrachtet werden kann. Dabei spielt das Verhältnis Kontaktdauer zu Periode eine wichtige Rolle, das meist zwischen 0,3 Hz und 0,6 Hz liegt, im allgemeinen aber nicht eindeutig mit der Hüpf Frequenz korreliert. Im Bild 3 sind die Lastanteile (Fourier-Amplituden) des idealisierten zeitlichen Verlaufs des durch einen Turnenden beim «Hüpfen an Ort» ausgeübten vertikalen dynamischen Lasten («Halbsinusmodell») in Abhängigkeit vom erwähnten Verhältnis dargestellt (nach [1]). Man erkennt, dass ausser in der Hüpf Frequenz ( $\Delta G_1$ ) auch in den Frequenzen der 2. und 3. Harmonischen ( $\Delta G_2$ ,  $\Delta G_3$ ) wesentliche Lasten abgegeben werden.

Nach dem heutigen Stand der Kenntnisse ist bei Turn- und Sporthallen normalerweise eine Hochabstimmung auf die Frequenz der 2. Harmonischen des zeitlichen Verlaufs der dynamischen Last aus dem «Hüpfen an Ort» vorzunehmen. Darüber hinaus sollten die bei verschiedenen Bauweisen unterschiedlichen Werte für die vorhandene Steifigkeit, die Masse und die Dämpfung generell berücksichtigt werden. Dementsprechend wird das Einhalten der folgenden minimalen Grundfrequenzen empfohlen:

- Stahlbetonkonstruktionen  
 $f_1 > 7,5 \text{ Hz}$
- Spannbetonkonstruktionen  
 $f_1 > 8,0 \text{ Hz}$
- Verbundkonstruktionen (Stahlträger mit Ortsbetonplatte)  
 $f_1 > 8,5 \text{ Hz}$
- Stahlkonstruktionen (Stahlträger z.B. mit Decke aus mit Beton verfüllten Abkantblechen)  
 $f_1 > 9,0 \text{ Hz}$

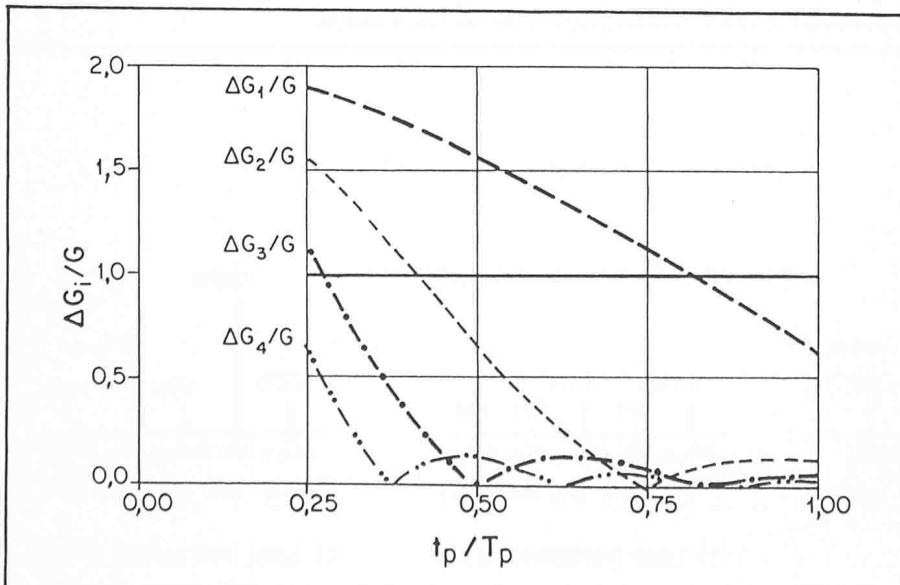
Die in der aufgeführten Reihenfolge zunehmenden Werte liegen in der mit gleicher Reihenfolge abnehmenden Steifigkeit, Masse und Dämpfung begründet.

Als grober Anhaltswert für den zulässigen Schwingwert in vertikaler Richtung kann bei Turn- und Sporthallen sowie bei Gymnastiklokalen eine Beschleunigung von etwa 5% g angenommen werden [1]. Für angrenzende Räumlichkeiten ist dieser Wert je nach der Tätigkeit und Expositionszeit der dort anwesenden Personen erheblich zu vermindern.

### Tanzlokale und Konzertsäle

Tanzlokale und Konzertsäle können erheblichen dynamischen Lasten ausgesetzt sein. Dabei kann es sich sowohl um normale öffentliche Tanzveranstaltungen als auch um Popkonzerte handeln, bei denen das Publikum zu eigenen Aktivitäten wie Fussstampfen und

Bild 3. Lastanteile der einzelnen Harmonischen (Fourier-Amplituden) beim Halbsinus-Modell (nach [1])





Händeklatschen sowie Mitwippen des Körpers animiert wird. Auch andere Bauwerke wie Tribünen von Sportstadien, wo solche Konzerte stattfinden, können derart beansprucht werden.

Die bei Tanz- und Konzertveranstaltungen auftretenden dynamischen Lasten sind verhältnismässig schlecht bekannt. Da in der Regel der Bodenkontakt stets vorhanden bleibt, sind die durch eine Person ausgeübten Lasten erheblich geringer als beim «Hüpfen an Ort». Andererseits ist die Flächenbelegung erheblich grösser, so dass insgesamt in der Frequenz der massgebenden 2. Harmonischen die Lastenwirkungen von ähnlicher Grössenordnung sind. In Tanzlokalen und Konzertsälen wird jedoch im Vergleich zu Turn- und Sporthallen bei den dynamischen Lasten der Frequenzbereich von 3 Hz bis 3,4 Hz normalerweise vermieden, so dass eine Hochabstimmung auf die Frequenz der 2. Harmonischen des zeitlichen Verlaufs der dynamischen Last zu kleineren erforderlichen Grundfrequenzen führt. Es wird das Einhalten der folgenden minimalen Grundfrequenzen empfohlen:

- Stahlbetonkonstruktionen  
 $f_1 > 6,5 \text{ Hz}$
- Spannbetonkonstruktionen  
 $f_1 > 7,0 \text{ Hz}$
- Verbundkonstruktionen (Stahlträger mit Ortsbetonplatte)  
 $f_1 > 7,5 \text{ Hz}$

- Stahlbetonkonstruktionen (Stahlträger z.B. mit Decke aus mit Beton verfüllten Abkantblechen)  
 $f_1 > 8,0 \text{ Hz}$

Die in der aufgeführten Reihenfolge zunehmenden Werte sind analog begründet wie bei den Turn- und Sporthallen. Für einen groben Anhaltswert gilt ebenfalls das dort Gesagte. Bei der Berechnung der Grundfrequenz ist die unter Umständen sehr erhebliche Masse der Personen in geeigneter Weise zu berücksichtigen [1].

## Folgerungen

Von Menschen induzierte Schwingungen können vor allem die Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken erheblich beeinträchtigen. Massgebliche Einwirkungen können Gehen und Laufen, Hüpfen sowie Tanzen sein. Bei den hier kurz behandelten Bauwerksarten - Fussgängerbauwerke, Turn- und Sporthallen, Tanzlokale und Konzertsäle - sollten die Bauwerksfrequenzen in vertikaler und allenfalls in horizontaler Richtung in solcher Weise abgestimmt werden, dass die angegebenen Frequenzbedingungen eingehalten sind. In besonderen Fällen empfiehlt es sich, eine erzwungene Schwingung zu berechnen und die Ergebnisse anhand von Anhaltswerten zu beurteilen. Un-

ter Umständen, vor allem bei Sanierungen, können auch Sondermassnahmen wie z.B. das Anbringen von Schwingungstilgern zum Ziel führen.

Adresse des Autors: Prof. Dr. Hugo Bachmann, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

## Literatur

- [1] Bachmann, H.; Ammann, W. Schwingungsprobleme bei Bauwerken - Durch Menschen und Maschinen induzierte Schwingungen. Structural Engineering Documents Nr. 3. Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau (IVBH), Zürich, 1987.
- [2] Bachmann, H. Durch Menschen erregte Bauwerksschwingungen - am Beispiel einer Turnhalle. Schweizer Ingenieur und Architekt 101 (1983) H. 6, S. 104
- [3] Matsumoto, Y.; Nishioka, T.; Shiojiri, H.; Matsuzaki, K. Dynamic Design of Footbridges. IABSE-Proceedings, P-17/78, Aug. 1978. Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau (IVBH), Zürich
- [4] Schulze, H. Dynamische Einflüsse der Verkehrslast auf Fussgängerbrücken. Signal und Schiene. ... (1980) H. 2, S. 91-93 H. 3, S. 143-147.
- [5] Baumann, K.; Bachmann, H. Durch Menschen verursachte dynamische Lasten und deren Auswirkungen auf Balkentragwerke. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Versuchsbericht Nr. 7501-3, erscheint 1987 im Birkhäuser Verlag, Basel.

# Reib-Ermüdung einbetonierter Spannkabel

Von Jakob Oertle und Bruno Thürlimann, Zürich

Ermüdungsversuche an teilweise vorgespannten Trägern zeigten ein unerwartet frühes Versagen der Kabel infolge von Reib-Ermüdung (fretting fatigue) im Vergleich zu Proben an nackten Spanndrähten und Spannlitzen. Die Vielfalt der einwirkenden Parameter wurde an Kleinkörper-Versuchen studiert. Die wichtigsten Ergebnisse sind hier zusammengefasst.

## Einleitung

Die Berücksichtigung der Ermüdung bei der Bemessung von Spannbetontragwerken hat infolge höherer Ausnutzung der Materialien, zunehmender Belastungsintensität sowie verschärfter Umwelteinflüsse an Bedeutung stark zugenommen. Eine genauere Untersuchung des Ermüdungsverhaltens drängte sich daher auf. Am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich sind entsprechende Untersuchungen seit einigen Jahren im Gange.

## Versuche an teilweise vorgespannten Trägern

Im Bericht «Fatigue Tests on Post-Tensioned Concrete Beams» (August 1985) sind die Resultate von Ermüdungsversuchen an 15 Balken von 6,7 m Länge zusammengestellt [1]. Es zeigte sich, dass das Ermüdungsverhalten einbetonierter, ausinjizierter Spannglieder bedeutend ungünstiger ist als dasjenige nackter Proben von Spanndrähten und -litzen. Ursache dieses unerwarteten Verhaltens ist hauptsächlich die Reib-

Ermüdung (fretting fatigue), die bisher im Spannbeton - ausgenommen bei Verankerungen - zu wenig beachtet worden ist. Ein Riss im Träger hat zur Folge, dass in seiner unmittelbaren Umgebung kleine Relativverschiebungen zwischen dem Kabel und dem Hüllrohr entstehen. Die dabei erzeugte Reibung induziert eine vorzeitige Ermüdung. Dieses Phänomen ist im Maschinenbau schon länger bekannt [2,3].

Die durchgeführten Versuche (Bild 1) waren nicht auf das Studium der überraschend aufgetretenen Reib-Ermüdung ausgelegt. Im besonderen war es nachträglich nicht mehr möglich, die Vielfalt der einwirkenden Parameter (Spannungsamplitude, Hüllrohrmaterial, Krümmungsradius, Querpressung, Gruppenwirkung, usw.) zu separieren. Folglich wäre es auch unverantwortlich gewesen, quantitative Angaben über den Abfall der Ermüdungsfestigkeit infolge von Reib-Ermüdung zu machen. In diesem Beitrag wird ferner darauf hingewiesen, dass die im Bericht [1] veröffentlichten Spannungsamplituden