

E. Veres; S.R. Mehra

Menscheninduzierte Schwingungen von Fußgängerbrücken

1 Einleitung und Problemstellung

Manche Fußgängerbrücken hinterlassen bleibende Eindrücke, nicht nur positive, sondern auch negative. Gerade starke Schwingungen gehören oft zu den unbeliebten Erlebnissen von Fußgängern. Überschreiten diese Schwingungen einen individuellen Grenzwert, stellt sich ein Unwohlsein ein [1]. Deshalb wurde in [2] die Frage gestellt, wie das Schwingungsverhalten von Fußgängerbrücken verschiedener Konstruktionsarten in der Praxis ist, wenn unterschiedliche Anregungsarten vom einfachen Begehen bis zum mutwilligen Aufschaukeln vorliegen.

2 Schwingungsmessungen

Der Mensch verursacht beim Überqueren einer Brücke, z.B. beim Gehen, Laufen und Hüpfen, aber auch beim Radfahren, dynamische Lasten, die Fußgängerbrücken in erhebliche Schwingungen versetzen können. Die Erregerfrequenzen liegen beim Gehen und Laufen in einem relativ schmalen Frequenzbereich und sind abhängig von der individuellen Schrittfrequenz, Schrittlänge, Geschwindigkeit der Fortbewegung usw. der einzelnen Fußgänger. Für das Gehen auf horizontaler Unterlage liegt die Schrittfrequenz im Mittel bei etwa

2 Hz. Beim Laufen, wie z.B. beim Joggen liegen die Schrittfrequenzen etwas höher, im Mittel bei etwa 2,4 bis 2,7 Hz. Erst beim Sprinten können Schrittfrequenzen bis zu 5 Hz gemessen werden. Bei mutwilliger Anregung von Fußgängerbrücken kann die Beschleunigung je nach Konstruktion um ein Vielfaches größer werden, als beim Gehen. Untersucht wurden die menscheninduzierten Schwingungen von drei Fußgängerbrücken gemäß Bild 1. Der Fußgängersteg über den Pfaffenwaldring stellt aufgrund seiner kaum merklichen Schwingungen beim normalen Begehen ein gutes Gegenstück zum Fußgängersteg über den Allmandring dar. Die Wahl der Allmandringbrücke erfolgte in zweierlei Hinsicht. Zum einen interessierte diese Brücke, da nicht nur spürbar, sondern auch augenscheinlich erhebliche Schwingungsamplituden auftreten und zum anderen, weil über diese unkonventionelle Konstruktion von einem "lustigen Erlebnis" bis zur "Katastrophe" alles zu hören ist. Diese reine Stahlkonstruktion verkörpert aufgrund ihrer Lastabtragung über ein vorgespanntes Seil eine unkonventionelle Art der Brückengestaltung. Als drittes Meßobjekt wurde eine Holzkonstruktion, der in Trogbauweise mit einem asymmetrischen Stützjoch ausgebildete Fußgängersteg über die Mahdentalstraße gewählt.

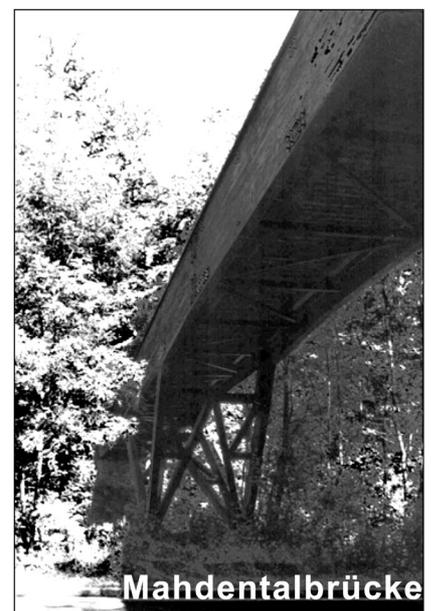


Bild 1: Fotografische Aufnahmen der drei untersuchten Fußgängerbrücken

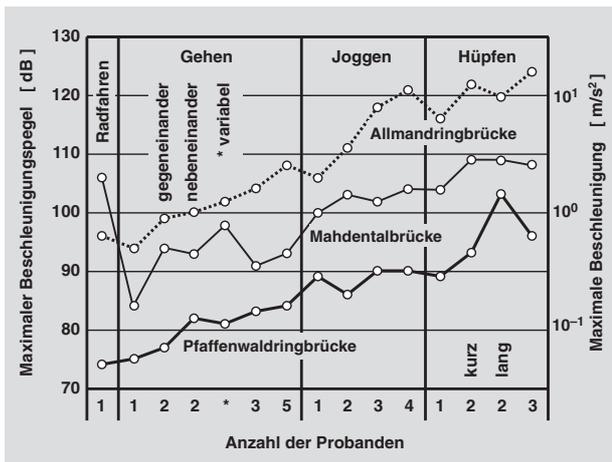


Bild 2: Vergleich der Brückenschwingungen

Um die auf den Brücken auftretenden maximalen Beschleunigungswerte zu erhalten, wurden Zeitmessungen durchgeführt, bei denen keine Frequenzbewertung vorgenommen wurde. Es wurden je Brücke insgesamt 16 Meßvarianten – inklusive einer Ruhemessung – gewählt. Bei drei Anregungsarten erfolgten zusätzliche Frequenzanalysen. Dabei handelte es sich um Terzanalysen in einem Frequenzbereich von 1 bis 125 Hz. Die Höchstwerte der Beschleunigungen traten beim mutwilligen Aufschaukeln auf. Diese Anregungsart ließ sich dadurch realisieren, daß einige Personen durch schnelle regelmäßige Hüpfen die Brücke in ihrer Grundfrequenz anregten. Um die Dämpfungseigenschaften der Brücken abschätzen zu können, wurden Ausschwingversuche durchgeführt.

3 Meßergebnisse

In der Literatur werden unterschiedliche pauschale, d.h. frequenzunabhängige Richtwerte von 5 % bis zu 10 % der Erdbeschleunigung g als gerade noch zulässige Werte angegeben, die einem Pegelbereich von 94 bis 100 dB entsprechen. Bei der Pfaffenwaldringbrücke werden diese Werte im allgemeinen eingehalten, lediglich bei der mutwilligen Anregung wird ein Pegel von 103 dB erreicht. Die Brücke über die Mahdentalstraße hält zwar bei der Fortbewegungsart Gehen die genannten Richtwerte ein, beim Joggen allerdings werden diese Werte überschritten und Beschleunigungspegel von 104 dB erzeugt, was einer Beschleunigung von $1,6 \text{ m/s}^2$ entspricht. Eine weitere, jedoch im Verhältnis geringe Steigerung der maximalen Pegel auf 109 dB ließ sich durch mutwillige Anregung verzeichnen. Die Brücke über den Allmandring zeigt in Bezug auf die Richtwerte um ein Vielfaches zu hohe Werte. Der maximal gemessene

Pegel lag bei 124 dB, was einer Beschleunigung von $15,8 \text{ m/s}^2$ oder 1,6 mal der Erdbeschleunigung entspricht. Sogar die Ergebnisse einiger Gehmessungen überschreiten den pauschalen Grenzwert von 10 % g .

Eine zusammenfassende Darstellung der Meßergebnisse aus den Zeitmessungen zeigt Bild 2. Dabei wurde jeweils der maximal erzielte gleitende Mittelwert der Beschleunigungspegel für jede einzelne Anregungsart dargestellt. Legt man hier den größten pauschalen Schwellenwert von 10 % der Erdbeschleunigung zugrunde, erkennt man, daß die Brücke über den Allmandring als einzige schon bei den Messungen von gehenden Personen aus diesem Bereich fällt. Bei den Anregungsarten Joggen und mutwillige Anregung verhält sich die Brücke über die Mahdentalstraße ähnlich wie die Allmandringbrücke. Die Beschleunigungen auf der Brücke über den Pfaffenwaldring bleiben mit einer Ausnahme (mutwillige Anregung durch zwei Personen) im zulässigen Rahmen. Auffällig ist, daß die von einem Fahrrad erzeugten Schwingungen bei der Mahdentalbrücke den Grenzwert überschreiten. Die Ergebnisse der Verkehrsmessungen (Gehen mit variabler Anzahl der Probanden in Bild 2) überschreiten die 100 dB-Marke nur bei der Allmandringbrücke.

Die Ergebnisse der Frequenzmessungen zeigen bei allen drei Objekten prinzipiell ähnliche Resultate (Bild 3). Die Messungen mit einer einzelnen gehenden Person lassen in allen drei Fällen bei 2 Hz ein lokales Maximum, resultierend aus der Schrittfrequenz, erkennen. Bezüglich der frequenzabhängigen Wahrnehmung durch die Menschen sind die drei Brücken unterschiedlich zu beurteilen. Die Schwingungen der Pfaffenwaldringbrücke liegen fast ausnahmslos unterhalb der Wahrnehmungsschwelle. Nur bei vereinzelt Frequenzen wird diese Schwelle überschritten. Die Beschleunigungswerte der Allmandringbrücke liegen im unteren Frequenzbereich fast bei allen Anregungsarten über der Wahrnehmungsschwelle. Die gemessenen Schwingungen gelten bei mehreren Frequenzen als "unangenehm". Die Resultate der Mahdentalbrücke sind anders geartet. Während bei der Verkehrsmessung und bei Anregung durch eine gehende Person die jeweiligen Maximalpegel kaum die Wahrnehmungsschwelle überschreiten, treten bei mutwilliger Anregung Schwingungen auf, die bei zwei Terzmittelfrequenzen (3,15 und 4 Hz) in den Empfindungsbereich "unangenehm" eingestuft werden müssen. Bei 3,15 Hz erreicht die Schwingung sogar die untere Grenze des "unzumutbaren" Bereichs.

Literatur

- [1] FOGIB Forschergruppe "Ingenieurbauten – Wege zu einer ganzheitlichen Betrachtung". Abschlußbericht Band III, Universität Stuttgart (1997).
- [2] Eitele, S.: Schwingungsverhalten und Nutzerfreundlichkeit von Fußgängerbrücken. Diplomarbeit am Lehrstuhl Konstruktive Bauphysik, Universität Stuttgart (1999).

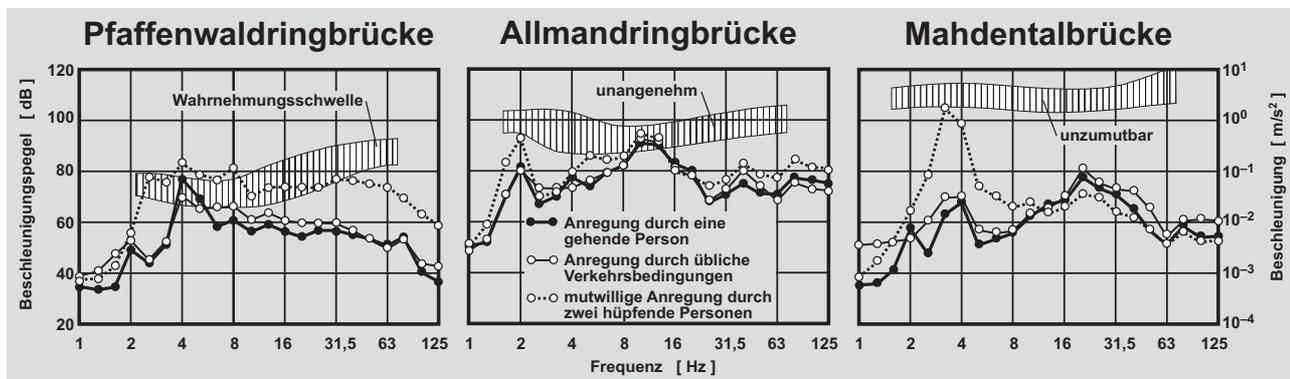


Bild 3: Gemessener Beschleunigungspegel in Abhängigkeit von der Frequenz. Der schraffierte Bereich kennzeichnet im linken Diagramm die Wahrnehmungsschwelle, im mittleren die als unangenehm und im rechten die als unzumutbar empfundene Grenze.



Fraunhofer Institut
Bauphysik

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK (IBP)

Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis
D-70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/9 70-00
D-83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/6 43-0