Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 114 (1996)
Heft: 13

Artikel: Erschütterungsimmissionen bei Eisenbahnlinien: systematische Verknüpfung von Messungen mit Berechnungen
Autor: Ziegler, Armin / Rutishauser, Gérard / Trombik, Peter G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-78938

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: 15.07.2025

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

Armin Ziegler, Gérard Rutishauser, Peter G. Trombik, Zürich, und Armin Zach, Bern

Erschütterungsimmissionen bei Eisenbahnlinien

Systematische Verknüpfung von Messungen mit Berechnungen

Erschütterungen in Gebäuden nahe der Eisenbahnlinie können sehr lästig sein. Damit solche Erschütterungen besser vorausberechnet und entsprechende Massnahmen getroffen werden können, wurde ein Programmpaket entwickelt, das aus einer Messdatenbank und zwei Berechnungsmodellen besteht und in Zukunft eine wesentlich genauere Bestimmung der Erschütterungsimmissionen ermöglichen wird.

Der Eisenbahnverkehr bringt neben den angestrebten Effekten, nämlich Mobilität und Transportleistung für jedermann, notgedrungen auch negative Begleiterscheinungen wie Lärm und Erschütterungen für diejenigen, die in der Nähe von Eisenbahngleisen wohnen. Die SBB waren schon immer bestrebt, diese negativen Einflüsse nach Möglichkeit zu minimieren. Bei jeder Neubaustrecke und bei jedem Streckenausbau werden aufwendige Messungen und Berechnungen durchgeführt, um die zukünftigen Immissionen zu bestimmen und zu gewährleisten, dass die Richtwerte nicht überschritten werden. Aufgrund der dabei gewonnenen Daten wurde das Programmpaket entwickelt.

Das Programmpaket

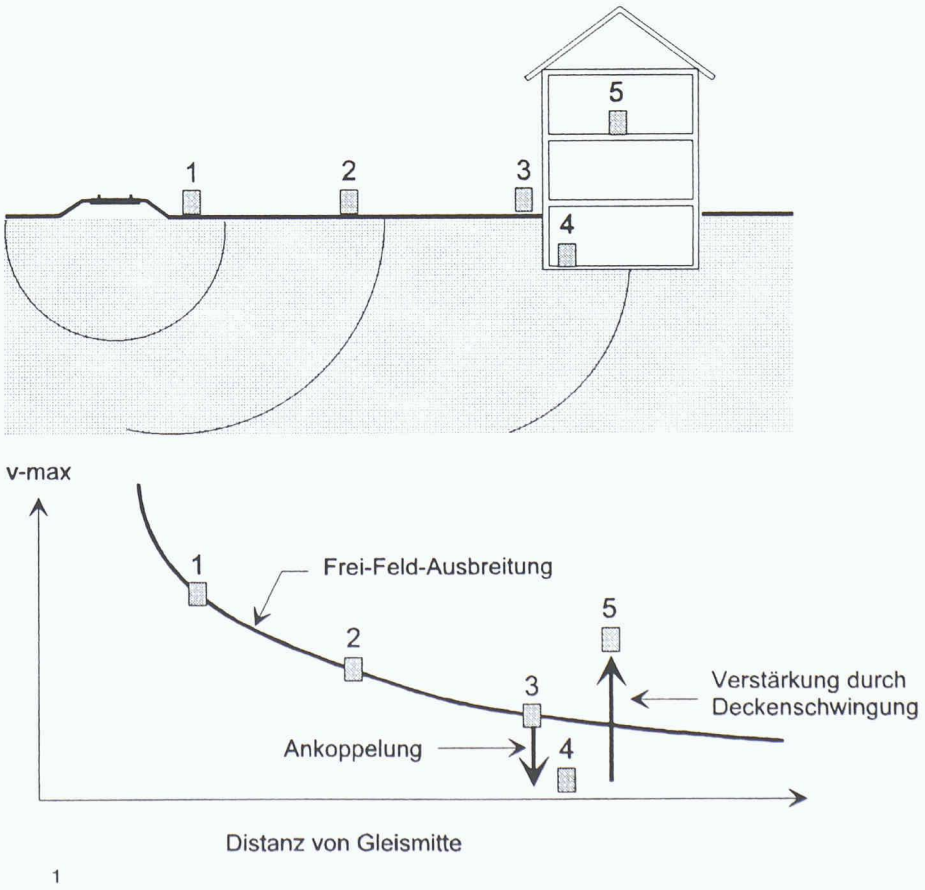
Es besteht aus drei Programmteilen, die im folgenden Modul 1 bis 3 genannt werden. Modul 1 verwendet ein relativ einfaches Modell für Erschütterungs- und Körperschallberechnungen, das idealerweise dort eingesetzt wird, wo es darum geht, für eine grosse Anzahl von Gebäuden eine generelle Immissionsbeurteilung vorzunehmen. Typischerweise geht es dabei darum, aus den 200 oder sogar 500 Gebäuden entlang einer Bahnstrecke diejenigen Gebäude zu eruieren, bei denen möglicherweise eine Grenzwertüberschreitung auftreten könnte. Modul 2 ist ein eher komplexes Programm, mit dem praktisch alle Einflussfaktoren erfasst werden können. Dieses Programm wird dort eingesetzt, wo eine höhere Genauigkeit der Prognose erforderlich ist. Modul 3 schliesslich ist die Datenbank. In ihr werden alle Daten von Erschütterungs- und Körperschallmessungen gespeichert und die statistischen Auswertungen erstellt. Es liefert die Berechnungsgrundlage, wie z.B. Abminderungsfaktoren und Transferspektren, für die beiden Programme Modul 1 und Modul 2.

Grobbeurteilung mit Modul 1

Modul 1 ist ein Computerprogramm für die approximative Berechnung der durch den Zugverkehr verursachten Immissionen. Aufgrund der wichtigsten und im allgemeinen auch leicht erhältlichen Daten über den Zugverkehr, über die Gleisführung, über den Baugrund und über die Bauweise der Gebäude entlang der Eisenbahnstrecke werden die Erschütterungs- und Körperschallimmissionen berechnet. Als Berechnungsgrundlage wird ein semiempirisches Modell verwendet, das theoretische Ansätze über die Erschütterungsausbreitung mit Daten aus Modul 3 verbindet. Die Ergebnisse von Modul 1 sind nicht als exakte Erschütterungsprognosen zu werten, sondern sollen vielmehr als Abschätzung dienen, die als Basis für die Anordnung von detaillierteren Berechnungen oder Messungen verwendet wird. Bei einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung dient Modul 1 vorzüglich im Rahmen der Voruntersuchung oder einer ersten Stufe zur Bestimmung des Untersuchungsperimeters.

Erschütterungsausbreitung

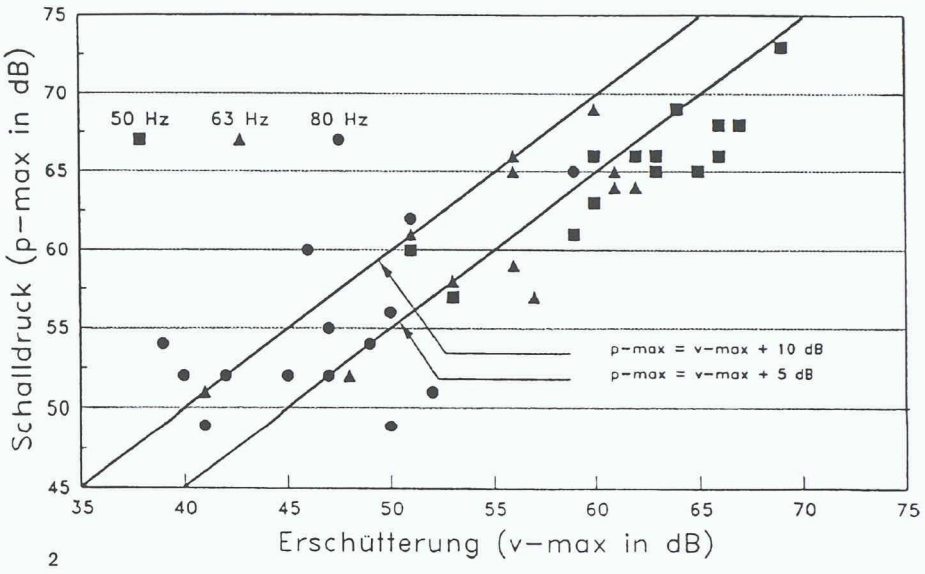
Die vom Zug verursachte Erschütterung wird, wie in (1) schematisch dargestellt, über den Boden auf das Gebäudefundament und von dort über die Mauern auf die Wohnräume bzw. deren Geschossdecken übertragen. Auf dem Weg vom Gleis zum Gebäudefundament schwächt sich die Erschütterung infolge Ausbreitungs- und Materialdämpfung ab. Beim Übergang vom Boden auf das Fundament erfährt die Erschütterung eine weitere Reduktion durch die sogenannte Ankoppelung. Die Erschütterung des Gebäudefundamentes erreicht praktisch unverändert die oberen Stockwerke, wird aber durch die Eigenschwingung der Geschossdecken wiederum verstärkt.



1

1
Schematische Darstellung der Erschütterungsausbreitung; oben: Anordnung von Gleis, Gebäude und Messpunkten; unten: Abminderung der Erschütterung mit zunehmender Distanz im freien Feld (Messpunkte 1 – 2 – 3); Ankoppelungseffekt (Messpunkte 3 – 4); Verstärkung durch Eigenschwingung der Decke (Messpunkte 4 – 5).

2
Zusammenhang zwischen Körperschall und Erschütterung [2]



Das in (1) gezeigte Abminderungsverhalten wird in Modul 1 durch die Gleichung 1 umschrieben:

$$v = v_R F_S (R/r)^m F_a F_e \qquad \text{Gl. 1}$$

mit: v = Erschütterung in Deckenmitte (Messpunkt 5 in Bild 1)
v_R = Erschütterung in Referenzdistanz vom Gleis (Messpunkt 1 in Bild 1)
F_S = Schienenfaktor zur Berücksichtigung von Weichen, Schienenstössen, Kunstbauten usw.
R = Referenzdistanz
r = Abstand Gebäude - Gleismitte
m = Faktor für geometrische Dämpfung und Materialdämpfung
F_a = Ankoppelungsfaktor Gebäude - Baugrund
F_e = Faktor für Eigenschwingung der Geschossdecken

Abgestrahlter Sekundärschall (Körperschall)

Körperschall wird durch die Vibrationen von Fussboden und Decke und zu einem geringeren Teil auch durch die Vibrationen der Wände verursacht. Der Zusammenhang zwischen Erschütterungsamplitude und abgestrahltem Körperschall in einem Raum ist sehr komplex. Bei einer ausgedehnten starren Platte im Freien sind die Verhältnisse noch relativ einfach. Mit den in [1] beschriebenen Gleichungen kann man zeigen, dass zwischen dem abgestrahlten Schall und der Vibration der Platte folgender Zusammenhang besteht:

$$L_p = L_v + 10 \log s \qquad \text{Gl. 2}$$

mit: L_p = abgestrahlter Schall in dB ($p_{ref} = 2 * 10^{-5}$ Pa)
L_v = Schwinggeschwindigkeit der Platte ($v_{ref} = 5 * 10^{-5}$ mm/s)
s = Abstrahlungseffizienz

Dies bedeutet, dass (mit den gewählten Referenzwerten) der Schalldruck gleich gross ist wie die Erschütterung zuzüglich eines Terms, der die Abstrahleffizienz der Platte berücksichtigt. Für eine starre Platte im Freien gilt s = 1, womit der letzte Term in Gleichung 2 Null wird. Bei geschlossenen Räumen ist dieser Term wegen der Reflexionen und dem Mitschwingen der Decke und der Wände grösser als Null und kann Werte bis zu 20 dB erreichen. (2) zeigt den Zusammenhang zwischen Körperschall und Erschütterung am Beispiel einer Messung in einem älteren Gebäude über einem Stadttunnel [2]. Im Mittel liegt die Abstrahleffizienz bei diesem Gebäude bei 5 dB. Auswertungen verschiedener Messungen und Publikationen zeigen, dass die Abstrahlungseffizienz zwischen 5 und 15 dB schwankt.

Gleichung 1 und 2 stellen zwar eine starke Vereinfachung der wirklichen Verhältnisse dar, sie berücksichtigen aber die wichtigsten Einflussparameter und erlauben somit eine grobe Beurteilung der Erschütterungsimmissionen entlang einer existierenden oder projektierten Bahnlinie mit geringem Aufwand. Die Parameter in den beiden Gleichungen 1 und 2 werden aus den statistischen Auswertungen der Messdaten in Modul 3 gewonnen. Für den Ankoppelungsfaktor liefert Modul 3 einen Wert von 0.56 für leichte Gebäude (1 bis 2 Geschosse) und 0.26 für schwere Gebäude (3 und mehr Geschosse). Für den Verstärkungsfaktor Fundament - Decke erhält man 4.9 für Holzdecken und 3.8 für Betondecken. Je mehr Daten in Modul 3 vorhanden sind, desto zuverlässiger sind die ermittelten Parameter, und um so besser wird die Prognose mit Modul 1.

In Modul 1 kann eine beliebige Anzahl Parametersätze gespeichert werden. So können für spezielle Bodentypen die geeigneten Parameter bestimmt und speziell abgespeichert werden. Es mag auch sinnvoll sein, für verschiedene Anwendungszwecke unterschiedliche Parametersätze bereitzustellen. Je nachdem, ob es sich um die Festlegung eines Untersuchungsperimeters oder um die Bestimmung eines mittleren Prognosewertes handelt, sind unterschiedliche Faktoren einzusetzen.

Modul 2

Modul 2 ist das zweite und wesentlich detailliertere Programm für die Berechnung der durch den Zugverkehr verursachten Erschütterungs- und Körperschallimmissionen. Während bei Modul 1 die Immissionen mit einem einfachen Berechnungsmodell und relativ wenigen Daten über Boden und Bauwerk bestimmt werden, verwendet Modul 2 ein aufwendigeres Modell, das alle wichtigen Aspekte der Erschütterungsausbreitung beim Schienenverkehr berücksichtigt.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Modellen, die oft als sogenannte «Black-Box»-Lösungen die Ergebnisse bereitstellen, arbeitet Modul 2 als offenes System, bei dem der Benutzer jeden einzelnen Berechnungsschritt kontrollieren, beeinflussen, alle seine Erfahrungen oder die Auswertungen von Modul 3 in das Modell von Modul 2 einfliessen lassen und auf diese Weise das Modell laufend optimieren kann.

Elemente der Erschütterungsausbreitung

Die Quelle der Erschütterung ist die vom Schienenfahrzeug verursachte zeitvariable Belastung. Die Ausbreitung der Erschütterung lässt sich in sechs Abschnitte gliedern:

Abschnitt	Ausbreitungsphänomen	Einflussparameter
Schiene - Trasse	Umsetzung der Belastung in eine Erschütterung	Schienentyp, Unterbau, Baugrund
Trasse - Freifeld	Ausbreitung einer begrenzten linienförmigen Erschütterung im geschichteten Halbraum	Gleisanlage (offene Strecke, Tunnel, Damm, Einschnitt), Baugrund, Distanz
Freifeld - Fundament	Ankoppelung der Freifeldschwingung an das Gebäude	Baugrund, Gebäudemasse, Kontaktfläche, Gebäudesteifigkeit
Fundament - Aussenmauer	Schwingungsanregung der Aussenmauern	Masse der Stockwerke, Steifigkeit der vertikalen Tragelemente
Aussenmauer - Geschossdecke	Schwingungsanregung der Geschossdecke	Deckensteifigkeit, Deckeneigenfrequenz, Massenverteilung, Dämpfung
Geschossdecke - Körperschall	Abstrahlung der Vibrationen als Luftschall, Reflexion und Absorption von Luftschall	Decken- und Wandabmessungen, Oberflächenbeschaffenheit, Abstrahleffizienz, Absorption

3
Ausbreitungsphänomene

4
Kontrollpunkte beim Modul-2-Modell

5
Tranferspektren für Ankoppelung für «Leichte Gebäude» und für «Schwere Gebäude» (als Beispiel)

3

- Schiene - Trassee
- Trassee - Freifeld
- Freifeld - Fundament
- Fundament - Aussenmauer
- Aussenmauer - Geschossdecke
- Geschossdecke - abgestrahlter Körperschall

In jedem dieser Abschnitte herrscht ein ganz bestimmtes Ausbreitungsphänomen vor; gelingt es, dieses Ausbreitungsphänomen durch ein geeignetes Modell zu erfassen, so lässt sich eine zuverlässige Prognose über die Erschütterungen in Gebäuden in der Nähe von Eisenbahnlinien erstellen.

In (3) sind die dominanten Ausbreitungsphänomene und die wichtigsten Einflussparameter für die sechs oben erwähnten Ausbreitungsabschnitte zusammengestellt.

Berechnungsmodelle

Wie in allen Bereichen des Ingenieurwesens üblich, wurden auch für das Phänomen Erschütterungsausbreitung beim Schienenverkehr verschiedene Berechnungsmodelle mit dem Ziel entwickelt, eine möglichst zuverlässige Prognose für die Erschütterung in Gebäuden in der Nähe von Eisenbahnlinien zu erreichen. Die wohl umfassendste Literaturzusammenstellung über solche Modelle findet sich in [3]. Die grosse Anzahl von Modellen lässt sich, etwas vereinfachend, in folgende vier Gruppen einteilen:

- Einfache Abminderungsmodelle
- Frequenzabhängige Abminderungsmodelle
- Finite-Element-Modelle
- Mehr-Massen-Modelle

Auf eine Gliederung in rein theoretische, semi-empirische und empirische Modelle wird bewusst verzichtet, da alle Modelle, ob einfach oder kompliziert, sich zu einem wesentlichen Teil auf Messungen abstützen und somit als empirische oder semi-empirische Modelle einzustufen sind.

Einfache Abminderungsmodelle

Einfache Abminderungsmodelle basieren auf einer einfachen Abminderungsgleichung, in der aufgrund der Erschütterung an der Quelle und unter Berücksichtigung der Abminderung auf dem Übertragungsweg die Erschütterung beim Empfänger berechnet wird. Dabei wird die Frequenzabhängigkeit der Erschütterungsausbreitung nicht oder nur in stark vereinfachender Art und Weise berücksichtigt. Ein Beispiel eines solchen Modells ist das in Modul 1 verwendete Modell.

Frequenzabhängige Abminderungsmodelle

Anstelle der Beschreibung der Schwingstärke mit einer einzigen Zahl, wie z.B. die maximale Schwinggeschwindigkeit, wird bei den frequenzabhängigen Abminderungsmodellen die Spektraldarstellung verwendet; die Schwingung wird als Funktion der Frequenz erfasst. Die Ausgangsgrösse ist nicht mehr eine Anregungsamplitude, sondern ein Anregungsspektrum, und an die Stelle der Abminderungsfunktion treten Transferfunktionen oder Transferspektren. Dabei ist es unerheblich, ob Transferfunktionen, die eine kontinuierliche Darstellung der Schwingung im Frequenzbereich erlauben, verwendet werden oder Transfer-Terzbandspektren mit einer diskontinuierlichen Darstellung im Frequenzbereich.

Finite-Element-Modelle

Finite-Element-Modelle bilden das System Schiene - Baugrund - Gebäude in Form eines zumeist sehr umfangreichen FE-Modelles ab. FE-Modelle wurden verschiedentlich bei der Erschütterungsausbreitungsberechnung für unterirdische Eisenbahnanlagen eingesetzt. Ihr Einsatzgebiet liegt primär bei der Untersuchung von kritischen Einzelfällen, bei qualitativen Untersuchungen und ganz generell bei Forschungsarbeiten. FE-Berechnungen sind allerdings noch nicht in der Lage, ohne Kalibrierung durch begleitende Messungen numerisch exakte Prognosen zu liefern.

Mehr-Massen-Modelle

Mehr-Massen-Modelle verwenden konzentrierte Massen und Federn, um das Schwingverhalten zu untersuchen. Zumeist werden sie verwendet, um das Verhalten der in der Nähe von Eisenbahnlinien gelegenen Gebäude zu analysieren.

Das Berechnungsmodell in Modul 2

Bei der Entwicklung des Berechnungsmodells für Modul 2 wurden folgende Grundsätze angewandt:

- Das Modell soll umfassend sein. Es soll die Erschütterungsausbreitung vom Trassee bis zu den Vibrationen in den Wohnräumen inklusive abgestrahlter Luftschall berechnen können.
- Das Modell soll eine offene Struktur aufweisen, damit die einzelnen Berechnungsschritte vom Benutzer kontrolliert und beeinflusst werden können.
- Das Modell soll flexibel sein, damit neue Erkenntnisse leicht eingebaut werden können. Es sollen vor allem Ergebnisse aus Erschütterungsmessungen berücksichtigt werden können.
- Das Modell soll einen sinnvollen Detaillierungsgrad aufweisen. Der Detaillierungsgrad kann nicht so weit gehen wie bei den FE-Modellen, doch sollen Einflüsse von Unterschottermatten oder von Deckeneigenfrequenzen berücksichtigt werden können.

Aufgrund dieser Überlegungen wurde ein Modell entwickelt, das der Gruppe «Frequenzabhängige Abminderungsmodelle» zuzuordnen ist. Entsprechend den Ausführungen weiter oben, gliedert sich das Modul-2-Modell in sechs Teilmodelle. Als Ausgangsgrösse müsste an sich das Anregungsspektrum auf der Schiene verwendet werden. Aus verschiedenen Gründen, die weiter unten erläutert werden, wird als Ausgangsgrösse ein sogenanntes Normspektrum verwendet; dies entspricht einem Geschwindigkeits-Terzbandspektrum beim ideellen Messpunkt M1 in (4) eines bestimmten Zugtyps mit definierter Fahrgeschwindigkeit auf einem Norm-Boden mit herkömmlichem Schotteroberbau. Für Tunnels, Brücken und andere Sonderfälle können besondere Ausgangsspektren eingesetzt werden. Aufgrund des Normspektrums berechnet sich durch Multiplikation mit den Transferspektren für Baugrund, Gleislagerung, Gleiszustand, Gleisbesonderheiten und gegebenenfalls Gleisisolation das Trasseespektrum, d.h. das Spektrum, das beim effektiven Messpunkt M1 gemessen würde.

Aus dem Trassee-Spektrum ergibt sich durch Multiplikation mit dem Transferspektrum für geometrische Dämpfung und Materialdämpfung das Freifeldspektrum, d.h. das Spektrum, welches beim Messpunkt M2 und M3 gemessen würde.

Als frequenzabhängige Abminderungsfunktion wird die Gleichung

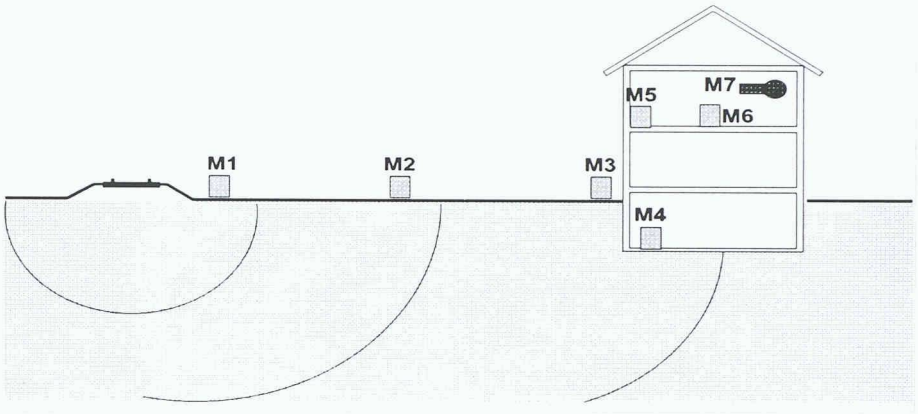
$$v_r(f) = v_R(f)\ (R/r)^n\ e^{-a(f)\ (r-R)} \qquad \text{Gl. 3}$$

verwendet, mit

$v_r(f)$ = Schwinggeschwindigkeit im Abstand r vom Gleis
$v_R(f)$ = Schwinggeschwindigkeit im Abstand R vom Gleis
R = Referenzdistanz
r = Abstand von Gleismitte
n = Exponent für geometrische Dämpfung
a(f) = Exponent für Materialdämpfung

Aus dem Freifeld-Spektrum ergibt sich durch Multiplikation mit dem Ankoppelungsfaktor F_A und dem Ankoppelungsspektrum das Fundamentspektrum. Der Ankoppelungsfaktor berechnet sich nach der Theorie für Blockfundamente auf dem elastischen Halbraum unter Berücksichtigung des G-Moduls des Baugrundes, der Kontaktfläche des Fundamentes und der mitwirkenden Masse des Gebäudes. Auf diese Weise ergibt sich das Spektrum, welches beim Messpunkt M4 gemessen würde.

Aus dem Fundament-Spektrum ergibt sich durch Multiplikation mit dem Aussenmauer-Transferspektrum das Spektrum, das in der interessierenden Höhe in der Aussenmauer, d.h. beim Messpunkt M5 gemessen würde.



4

Aus dem Aussenmauer-Spektrum ergibt sich durch Multiplikation mit der Transferfunktion $V_e(f)$ das Etagenspektrum (Messpunkt M6). $V_e(f)$ beruht in erster Näherung auf der Einmassenschwinger-Theorie. Zusätzlich zum Spektrum $V_e(f)$ kann ein Benutzer-definiertes Spektrum verwendet werden.

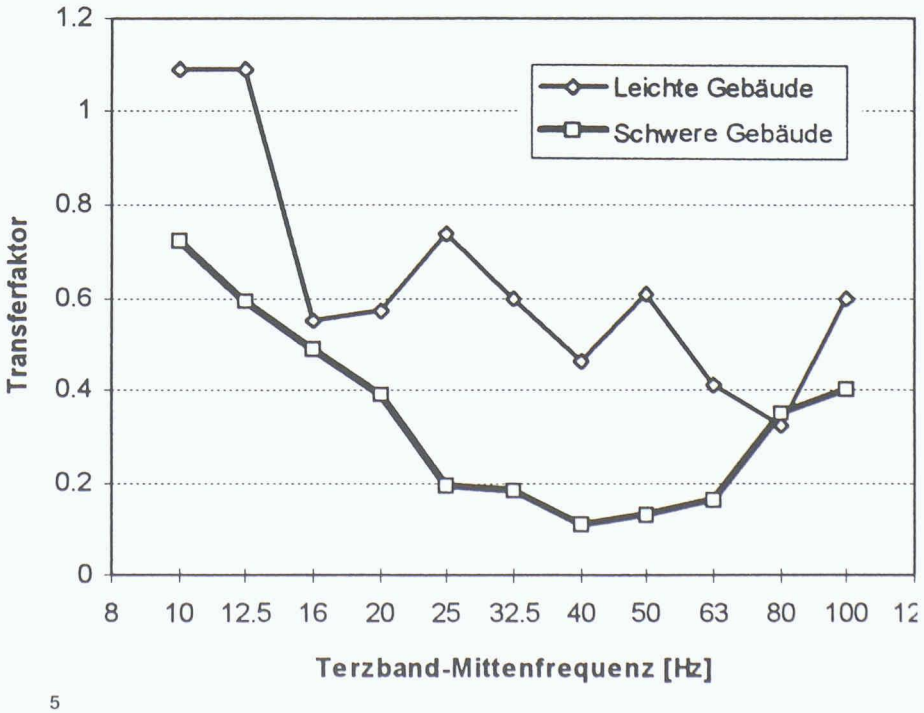
Aus dem Etagen-Spektrum ergibt sich schliesslich durch Multiplikation mit dem Abstrahlungs-Spektrum das Spektrum für den abgestrahlten Luftschall.

Auf diese Weise berechnet Modul 2 durch sukzessive Multiplikation des Ausgangsspektrums (i.e. Normspektrums) mit Transferspektren die Erschütterung und den Körperschall im Wohnraum. Alle verwendeten Transferspektren können vom Benutzer eingegeben werden. Als Grundlage dient die Datenbank in Modul 3, in welcher beliebige Transferspektren berechnet werden können. (5) zeigt ein Beispiel von Transferspektren, die mit Modul 3 berechnet worden sind: Die starke Abminderung durch den Ankoppelungseffekt im Frequenzbereich von 25 bis 63 Hz ist bei schweren Gebäuden sehr ausgeprägt, bei leichten Gebäuden hingegen wesentlich geringer.

In (6) sind die verschiedenen Einflussfaktoren zusammengestellt, die in Modul 2 mittels Transferspektren berücksichtigt werden können.

Die Datenbank

Modul 3 ist eine Datenbank zur Speicherung, Verwaltung und Auswertung von Erschütterungs- und Körperschallmessungen im Nahbereich von Eisenbahngleisen. Durch die systematische und einheitliche Speicherung der Messdaten ergibt sich eine grosse Datenfülle, die es ermöglicht, wertvolle Ergebnisse aus den mit viel Aufwand erarbeiteten Daten zu gewinnen. So



5

Bezeichnung	Berücksichtigte Effekte
Boden im Gleisbereich	Steifigkeit des Bodens und des Unterbaus im Gleisbereich
Gleislage	Dammlage, Einschnitt, Tunnel usw.
Gleisart	Schottergleis, schotterloses Gleis
Gleisisolation	z.B. Unterschottermatten, Masse-Feder-System
Gleisbesonderheit	z.B. Weichen
Freifeldausbreitung	geometrische Dämpfung und Materialdämpfung
Reflexion	Reflexion an Gebäudefront
Gebäudefundament	Ankoppelungseffekt
Vertikale Tragelemente	Schwingverhalten der vertikalen Tragkonstruktion
Geschossdecke	Schwingverhalten der Geschossdecke
Körperschall	Abstrahlungseffizienz, Nachhallzeit

6
Transferspektren in Modul 2

werden Erschütterungsprognosen aufgrund von früher durchgeführten Messungen erstellt, indem man mit Modul 3 diejenigen Messdaten mit vergleichbaren Randbedingungen auswählt und Mittelwerte bildet. Die Bedeutung von Modul 3 ist vor allem im Zusammenhang mit Modul 1 und Modul 2 zu sehen: Auswertungen von Modul 3 bilden eine wichtige Grundlage für die Festlegung der Parameter in Modul 1 und für die Transferspektren in Modul 2.

Das Grundelement ist stets eine Messreihe quer zur Eisenbahnlinie, welche mehrere Sensoren umfasst. Bei den Sensoren kann es sich um Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Schalldrucksensoren handeln. Die Sensoren registrieren die Erschütterungen bzw. den Schalldruck während der Zugsvorbeifahrten. Eine Zugsvorbeifahrt wird als Ereignis definiert und mit den zugehörigen Informationen wie Zugtyp, Fahrgeschwindigkeit etc. abgespeichert.

Die von den Sensoren über eine Zugsvorbeifahrt aufgezeichneten Signale sind vorgängig auszuwerten. In die Datenbank von Modul 3 werden nur die charakterisierenden Grössen dieser Signale wie Spitzenwerte, Mittelwerte und Spektralwerte aufgenommen. Zur Vervollständigung der Dokumentation einer Messung werden neben den eigentlichen Messdaten auch Situationspläne und Fotos in der Modul-3-Datenbank abgelegt. Um wirklich vergleichbare Daten zu haben, ist es wichtig, dass die Messbedingungen und die Art der Signalanalyse möglichst einheitlich sind. Ausnahmen können mit speziellen Kommentaren versehen werden.

Modul 3 enthält eine grosse Anzahl von vorprogrammierten Abfragen, mit denen z.B. Schwingstärke als Funktion der Gleisdistanz, gemittelte Terzbandspektren und Transferspektren für beliebige Auswahlkriterien durchgeführt werden können. Spezielle Auswertungen können vom Benutzer ohne viel Aufwand selbst programmiert werden.

Mit dem Programmpaket wurde ein neues Instrument für die Berechnung von Erschütterungs- und Körperschallimmissionen geschaffen. Die Besonderheit liegt sicher nicht in einem hoch-theoretischen Ansatz, sondern in der Verknüpfung von Messdaten mit sinnvollen Berechnungsmodellen. Das Instrument ist in der Lage, sich laufend selber zu verbessern, denn mit zunehmender Datenmenge in der Datenbank und neuen Ergebnissen aus Forschung und Entwicklung ergeben sich immer zuverlässigere Grundlagen für die Berechnungsmodelle.

Adresse der Verfasser:
Armin Ziegler, Dr. sc. techn. dipl. Ing. ETH/SIA/ASIC, Ziegler Consultants, Schaffhauserstr. 333, 8050 Zürich, *Gérard Rutishauser*, dipl. Ing. ETH/SIA, Drahtzugstr. 18, 8008 Zürich, *Peter G. Trombik*, dipl. Ing. ETH/SIA/ASIC, Postfach, 8049 Zürich, *Armin Zach*, dipl. Ing. ETH, SBB Baudirektion, Mittelstrasse 43, 3030 Bern.

Literatur

[1]
L. Cremer, M. Heckl, E.E. Ungar: Structure-Borne Sound; pp. 495 ff. Springer Verlag, 1972.

[2]
Ziegler Consultants: interner Bericht

[3]
H. Hettwer et. al.: Erschütterungen an Verkehrswegen; Universität-Gesamthochschule Essen; 1986.

[4]
W. Haupt: Ausbreitung von Erschütterungen an Schienenverkehrswegen; 3. Jtag. DGEB, Trans Tech Publications, Clausthal; 1988.

[5]
STUVA: Lärm- und Erschütterungsminderung im Schienenverkehr (Nr. 28)

[6]
J. Jakobsen: Transmission of Ground-Borne Vibration in Buildings; J. of Low Frequency Noise & Vibration; 1989.

[7]
L.G. Kurzweil: Ground-Borne Noise and Vibration from Underground Rail Systems; J. of Sound and Vibration, 66(3); 1979.

[8]
G. Huber: Erschütterungsausbreitung beim Rad/Schiene-System; Inst. für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Karlsruhe; 1988.

[9]
J. Kunz: Ausgewählte Descriptorensl zur Beschreibung von Erschütterungen im ebenen Freifeld seitlich von Schienenwegen; Universität-Gesamthochschule Essen; 1991