

Erschütterungsmessungen bei Bahnen

Peter Trombik, Trombik Ingenieure AG, Zürich

Einleitung

Im Rahmen mehrerer Grossprojekte beschäftigen sich verschiedene Bahnunternehmungen sowohl mit der Planung und Realisierung verschiedener Neubaustrecken, als auch mit dem leistungssteigernden Ausbau von bestehenden ein- oder zweispurigen Teilstrecken.

Viele dieser geplanten oder bereits realisierten Neu- und Ausbaustrecken durch- oder unterfahren überbautes Gebiet mit oft sehr geringen Abständen zu Wohngebäuden, was die Frage aufkommen lässt, inwieweit sie immisionmässig mit den Anforderungen der Umweltschutzgesetzgebung in Einklang zu bringen sind.

Unter den vielen umweltrelevanten Auswirkungen des Bahnverkehrs bildet die Immissionsart „Lärm und Erschütterungen“ einen sehr wichtigen, wenn nicht den wichtigsten Sachbereich, insbesondere in Bezug auf die direkte Betroffenheit der in unmittelbarer Nähe von Eisenbahnlinien wohnenden Bevölkerung. Alle Bahnunternehmungen sind daher bestrebt, diesbezügliche Immissionen mit Hilfe aufwendiger Studien und Massnahmen so weit wie möglich zu minimieren.

Im Rahmen solcher Studien, aber auch bei Nach- oder Erfolgskontrollen bereits ausgeführter Massnahmen, kommt der Durchführung von Erschütterungsmessungen eine wichtige Bedeutung zu. Nachfolgend wird anhand von Fallbeispielen aufgezeigt, wie solche Erschütterungsmessungen mit dem MR 2002 ausgeführt worden sind.

Fallbeispiel „Hausen bei Brugg“

Aufgabenstellung

Nach abgeschlossenem SBB-Doppelspurausbau „Brugg-Othmarsingen“ sind im Bereich der Ortschaft Hausen aus der Bevölkerung Klagen wegen unzumutbaren Körperschall- und Erschütterungsimmisionen aufgetreten. Verschiedene Untersuchungen in diesem Zusammenhang sind bereits erfolgt.

Die Firma Trombik Ingenieure ist von den SBB im Einverständnis mit der betroffenen Gemeinde beauftragt worden, eine neue, zusätzliche Messkam-

pagne durchzuführen. Ziel dieser neuen Messkampagne war es, von neutraler Seite abklären zu lassen, ob im Bereich Hausen die SBB-Richtlinien bezüglich Körperschall und Erschütterungen eingehalten sind.

Die zur Realisierung dieser Messkampagne notwendigen Erschütterungsmessungen sind zu einem grossen Teil mit **MR 2002** Geräten ausgeführt worden.

Erschütterungsmessungen

Ein Teil der Messkampagne sah die Kurzzeit-Messung repräsentativer Erschütterungen in mehreren Gebäuden entlang der Bahnstrecke vor. Konkret war die Messung der Erschütterungen während 2 - 3 Stunden parallel an je einer Stelle des Gebäudefundamentes und des Erdgeschossbodens (Kellerdecke) gefordert, mit einer Registrierung auf Band oder Datenträger, sowie mit einer Auswertung der Daten gemäss SBB-Richtwerten und DIN-4150-2.



Bild 1: Geländeübersicht



Bild 2: Beispiel für Messort; Haus „Vetter“



Bild 3: Beispiel für Messstelle „Gebäudefundament“
(Messrichtungen Vertikal und Horizontal)



Bild 4: Beispiel für Messstelle „Erdgeschossboden“
(Messrichtung Vertikal)

Messresultate (Auswahl)

Nachfolgend ist eine Auswahl der mittels **MR 2002** gemessenen Erschütterungsimmissionen für das im Bild 2 gezeigte Einfamilienhaus „Vetter“ aufgeführt:

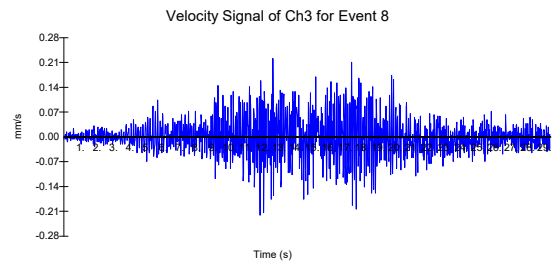
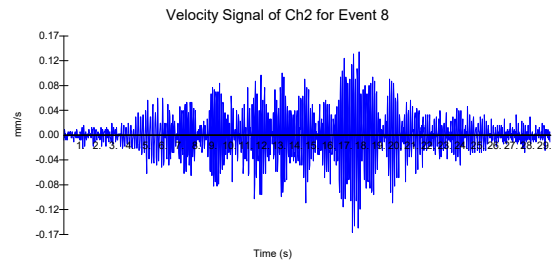
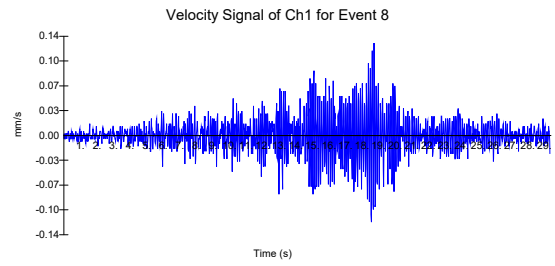


Bild 5: Typisches Zeitsignal für Zugsdurchfahrt Nr. 8 „Autozug“

CH1: Gebäudefundament Horizontal
CH2: Gebäudefundament Vertikal
CH1: Erdgeschossboden Vertikal

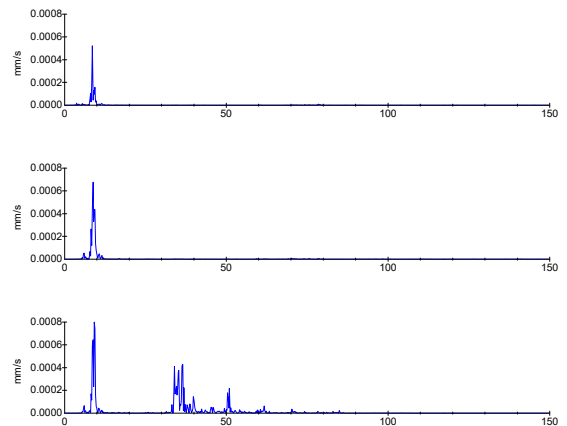


Bild 6: Typische Frequenzanalyse für Zugsdurchfahrt Nr. 8 „Autozug“

CH1: Gebäudefundament Horizontal
CH2: Gebäudefundament Vertikal
CH1: Erdgeschossboden Vertikal

Die maximal gemessenen Schwinggeschwindigkeiten liegen für dieses Beispiel bei 0.137 mm/sec (CH1), 0.165 mm/sec (CH2) und 0.283 mm/sec (CH3), die entsprechenden Hauptfrequenzen bei 8.8 Hz, 9.0 Hz und 9.4 / 37.2 / 51.1 Hz.

Die Auswertungssoftware **VIEW 2002**, mit welcher obige Analysen und Grafiken erzeugt worden sind, erlaubt eine Vielzahl von zusätzlichen Auswertungen, z.B. eine Gesamtevaluation nach DIN-4150:

MR2002 - Vibration Data Evaluation

Evaluation Date: 20.9.96

File Name: C:\HAUSENVETTER\ETTER2\0904-V.MR
 Station: Vetter I00A0B0C0B00000
 Note: Messort: Vetter

Recording Date: 04.09.96

Event List with DIN 4150

Event	Date	Time	Duration (Sec.)	Chan1 (mm/s)	Chan2 (mm/s)	Chan3 (mm/s)
1	04.09.96	18:17:48	29.89	.032	.041	.048
2	04.09.96	18:18:20	18.06	.021	.031	.043
3	04.09.96	18:30:12	10.01	.012	.031	.029
4	04.09.96	18:42:42	10.43	.016	.041	.041
5	04.09.96	19:15:00	10	.01	.027	.023
6	04.09.96	19:18:40	14.77	.029	.06	.064
7	04.09.96	19:21:21	14.31	.029	.05	.057
8	04.09.96	19:42:08	29.36	.083	.099	.115
9	04.09.96	19:46:46	13.35	.028	.043	.044
10	04.09.96	19:48:14	10.06	.019	.033	.032
11	04.09.96	20:02:08	10.18	.023	.042	.05
12	04.09.96	20:13:55	21.34	.041	.042	.072
13	04.09.96	20:14:24	10.08	.028	.037	.042
14	04.09.96	20:15:41	22.4	.021	.035	.053
15	04.09.96	20:29:03	18.42	.03	.047	.062
16	04.09.96	20:39:33	10.12	.016	.036	.037
17	04.09.96	20:39:49	15.27	.018	.03	.051
18	04.09.96	20:42:34	21.99	.031	.055	.068
19	04.09.96	21:05:00	45.34	.051	.068	.096
20	04.09.96	21:11:08	10.1	.019	.028	.051
21	04.09.96	21:11:59	27.53	.038	.057	.057
22	04.09.96	21:30:26	29.75	.043	.056	.056
23	04.09.96	21:32:38	26.95	.042	.041	.069
24	04.09.96	21:42:13	28.08	.028	.042	.049

Statistics:	Chan1	Chan2	Chan3
Min:	.01	.027	.023
Max:	.083	.099	.115
Avg:	.029	.045	.054
StDev:	.015	.016	.02
KB-FTm:			.006
Total Signal Duration:		.13 h	
Duration of Measurement:		3.41 h	

Bild 7: Gesamtevaluation nach DIN-4150

In diesem Beispiel wäre der Anhaltswert Ar gemäss DIN 4150 (<0.07 Mischzonen/Nachts) im Vergleich mit der Beurteilungs-Schwingstärke KBFT_r eingehalten (die Umrechnung KBFT_m → KBFT_r erfolgt separat).

Fallbeispiel „Stadttunnel Aarau“

Aufgabenstellung

Im Rahmen früherer Projektabklärungen wurden vom Büro Trombik Ingenieure AG verschiedene Prognosen in Bezug auf die nach Inbetriebnahme von Tunnel 1 und 2 zu erwartenden Erschütterungs- und Körperschallimmissionen erarbeitet, basierend auf Messungen und Berechnungen in verschiedenen repräsentativen Tunnelquerschnitten.

Kurz nach Inbetriebnahme von Tunnel 2 wurde an der dafür vorgesehenen Teststrecke die Wirksamkeit der quellenseitig zur Emissionsverminderung eingesetzten Unterschottermatten (USM) über-

prüft. Die erwartete Wirksamkeit wurde deutlich erreicht.

Im Rahmen einer neuen Messkampagne sind 1997 weitergehende Erschütterungsmessungen durchgeführt worden, mit dem Ziel, zusätzliche Aussagen zu den folgenden Themenkreisen zu gewinnen:

- Wirksamkeit der Unterschottermatten nach knapp dreijähriger Einsatzdauer
- Wirksamkeit und Verhalten der Unterschottermatten bei höheren Geschwindigkeiten
- Quervergleiche zu anderen Messungen
- Erschütterungsmässige Typisierung des Rollmaterials

Situation Teststrecke Stadttunnel 2 Aarau

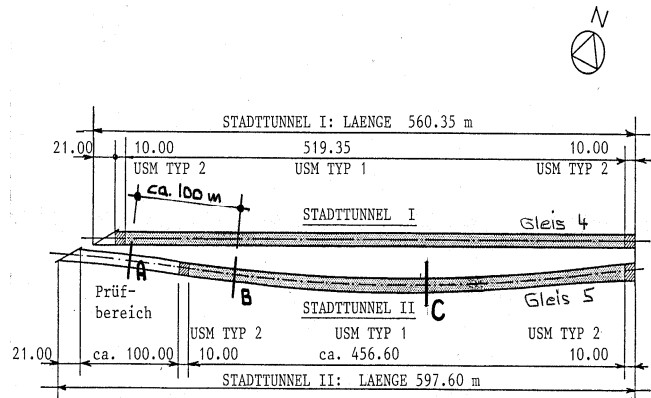


Bild 8: Situation Teststrecke Stadttunnel 2 Aarau

Zur Prüfung der Dämmleistungen der eingebauten USM waren bereits bei Projektierungsbeginn Vergleichsmessungen in Querschnitten mit und ohne USM vorgesehen. Zu diesem Zweck sind im oben angegebenen Prüfbereich die USM in einer ersten Phase nur einseitig eingebaut worden.

In den beiden Testquerschnitten „A“ und „B“ wurden an den seitlichen Banketten, sowie auf den Schwellen von Gleis 5 je drei Sensoren in einem Abstand von ca. 5 m angebracht. Zusätzlich befand sich je ein Aufnehmer über dem jeweils mittleren Bankettmesspunkt in einer Höhe von ca 1.50 m über O.K. Kabelkanal an der Tunnelwand.

Die Messung der Schwellenschwingungen wurde mittels **MR 2002** Geräten durchgeführt und hatte zum Zweck, Unterschiede im Schwingungsverhalten der Schwellen in beiden Oberbaubereichen (mit/ohne USM) aufzuzeigen und zu analysieren. Dies insbesondere im Hinblick auf zukünftige höhere Zugsgeschwindigkeiten, wo eine allfällige überproportionale Zunahme der Schwellenbewegungen zu Problemen führen könnte.



Bild 9: Detail Messquerschnitt „A“
Schwellenmesspunkt „Vertikal“



Bild 10: Ansicht Messgeräte

Messresultate (Auswahl)

Nachfolgend findet sich eine Auswahl der mittels **MR 2002** gemessenen Schwellenschwingungen:

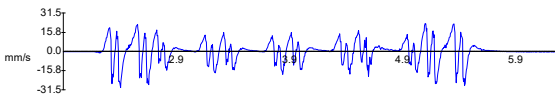


Bild 11: Testfahrt Re 460 - 160 km/h - Ost-West Fahrt 2
Zeitsignal vertikale Schwellenschwingung Schwellenmesspunkt 1

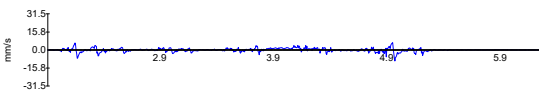


Bild 12: Testfahrt Re 460 - 160 km/h - Ost-West Fahrt 2
Zeitsignal horizontale Schwellenschwingung Schwellenmesspunkt 3

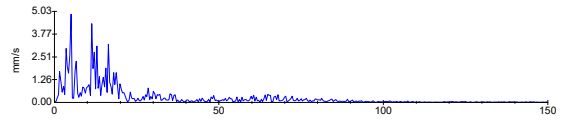


Bild 13: Testfahrt Re 460 - 160 km/h - Ost-West Fahrt 2
Amplitudenspektrum vertikale Schwellenschwingung Schwellenmesspunkt 1

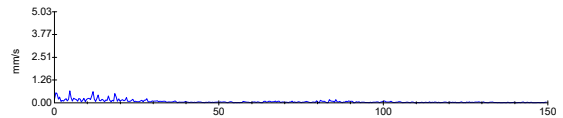


Bild 14: Testfahrt Re 460 - 160 km/h - Ost-West Fahrt 2
Amplitudenspektrum horizontale Schwellenschwingung Schwellenmesspunkt 3

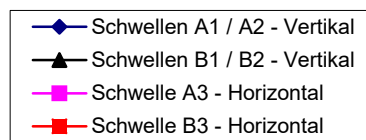
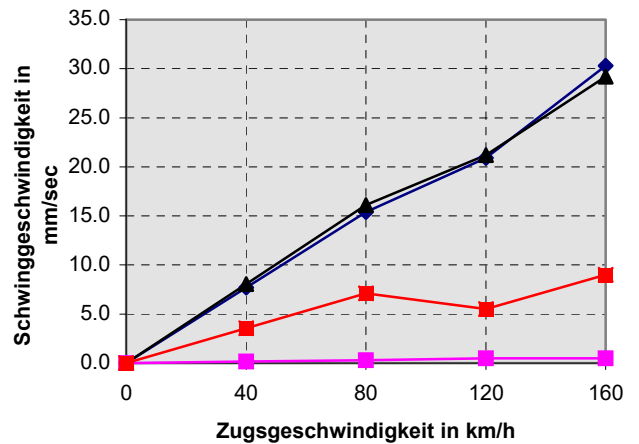


Bild 15: Testfahrten Re 460 - Zusammenfassung / Übersicht Schwellenschwingungen

Mit den Messungen konnte aufgezeigt werden, dass die Schwellenschwingungen kein auffälliges oder unerwartetes Verhalten zeigen. Insbesondere ist kein Trend auszumachen, dass bei höheren Fahrgeschwindigkeiten ein „Ausbrechen nach oben“, d.h. eine exponentielle Zunahme der Schwellenschwingungen stattfinden könnte.