

Elastische Lagerung eines Gebäudes neben einer Eisenbahnlinie: Eine Fallstudie

Dr. D.Bozzolo und Ing. C.Gobbi, IFEC Consulenze SA, CH-6802 Rivera

1. Einleitung

Das Hotel Reber au Lac (Bild 1) wurde im Jahr 1886 im Dorf Muralto gebaut, etwa 50 m vom Lago Maggiore und etwa 15 m von der Eisenbahnlinie Bellinzona-Locarno entfernt.

Das 5-stöckige Hotel wies heute ein nicht mehr genügendes Niveau auf. Insbesondere waren die Erschütterungsimmissionen als zu hoch empfunden.

Es wurde beschlossen, das alte Hotel abzureissen und Wohnungen (Residenza Lago Maggiore) mit hohen Anforderungen an seiner Stelle zu bauen (Bild 2)

Diese Studie befasst sich mit Massnahmen, welche getroffen wurden, um beim neuen Gebäude die von der SBB-Linie verursachten Erschütterungs- und insbesondere Körperschall-Immissionen in vertretbaren Grenzen zu halten.



Bild 1 - Früher: Hotel Reber au Lac



Bild 2 - Heute: Residenza Lago Maggiore

2. Problemstellung

Das neue Gebäude muss etwa im gleichen Abstand von der Bahnlinie wie das alte gebaut werden. Bei dieser 1-Gleis-Linie fahren zwei Type von Zügen: Interregional (32 Vorbeifahrte während des Tages und 5 während der Nacht) und ein „leichter“ Regional-Zug, der sogenannte TILO (56 Vorbeifahrte während des Tages und 11 während der Nacht).

Das neues Gebäude wird auf einem sehr weichen Boden gebaut.

Aufgabe unseres Ingenieurbüro war zu untersuchen, ob Erschütterungs- und Körperschall-Probleme entstehen könnten, und in einem solchen Fall geeignete Lösungen vorzuschlagen und schrittweise zu testen.

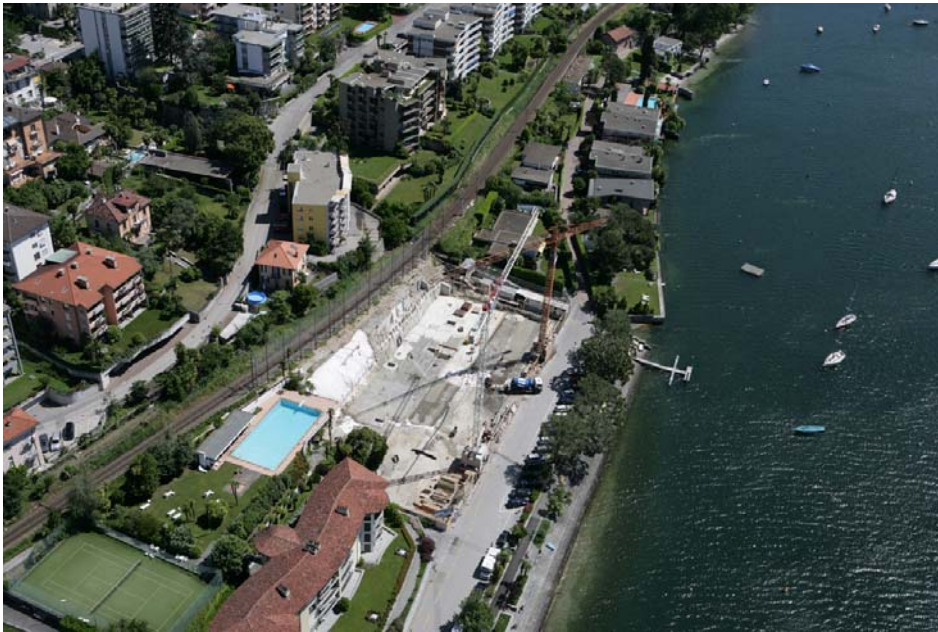


Bild 3 - Die Baustelle nach der Abbruch vom alten Hotel. Links die Eisenbahnlinie

3. Metodologisches Vorgehen

Man hat sich entschlossen, das folgende methodologische Vorgehen anzuwenden:

- Bestimmung des IST-Zustands und der Ausbreitungsdämpfungen:
 - Messungen im freien Feld nach der Abbau des alten Hotels (Mai 2006);
- Erarbeitung von Lösungsvorschläge
 - Simulationen mit VIBRA 2;
 - Planung von Massnahmen.
- Aufbau des neuen Gebäudes mit integrierten Massnahmen gegen Erschütterungen und Körperschall;
- Kontrollmessungen
 - Zwischenmessungen (Juni 2006);
 - Schlussmessungen (Mai 2007).

4. Messgerät

Die Messungen wurden mit Messgeräten der Typ MR2002-CE mit Triaxial-Geschwindigkeitsensoren durchgeführt.



Bild 4 - MR2002-CE Standard Set mit Triaxial-Sensor von Syscom

5. Erfassung des IST-Zustandes

Es wurde die Erschütterungsausbreitung im freien Feld (nach Abbau des alten Hotels) experimentell untersucht:

Die Erschütterungs-Immissionen beim alten Hotel wurden dagegen nicht gemessen aber sie waren nach subjektiver Beurteilung des Besitzers in der Mitte der Hozdecken gut spürbar.

5.1. Erschütterungsausbreitung im freien Feld

Nach dem Abbau des alten Hotels wurden Erschütterungen in 3 Punkte im freien Feld ermittelt.

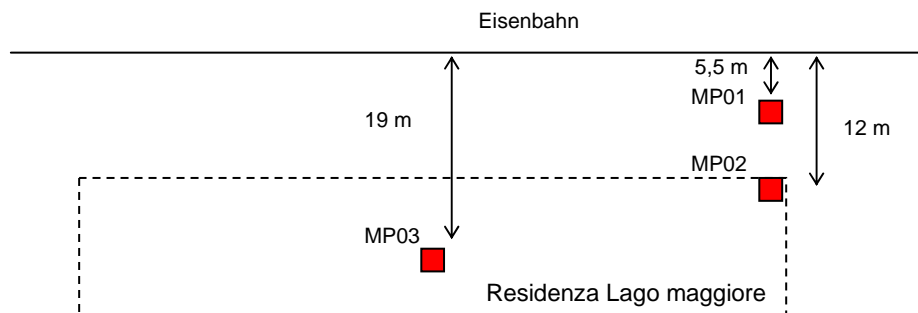


Bild 5 - Lage der Sensoren bei der Messung im freien Feld (15.05.2006)

Die gemessene Werten sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst.

	KB_{FTmax}	$\sqrt{\frac{\sum_i^n KB_{FTi}^2}{n}}$
	(KB)	(KB)
MP01	0.972	0.126
MP02	0.539	0.0525
MP03	0.232	0.0274

Tabelle 1 - Messungen im freien Feld)

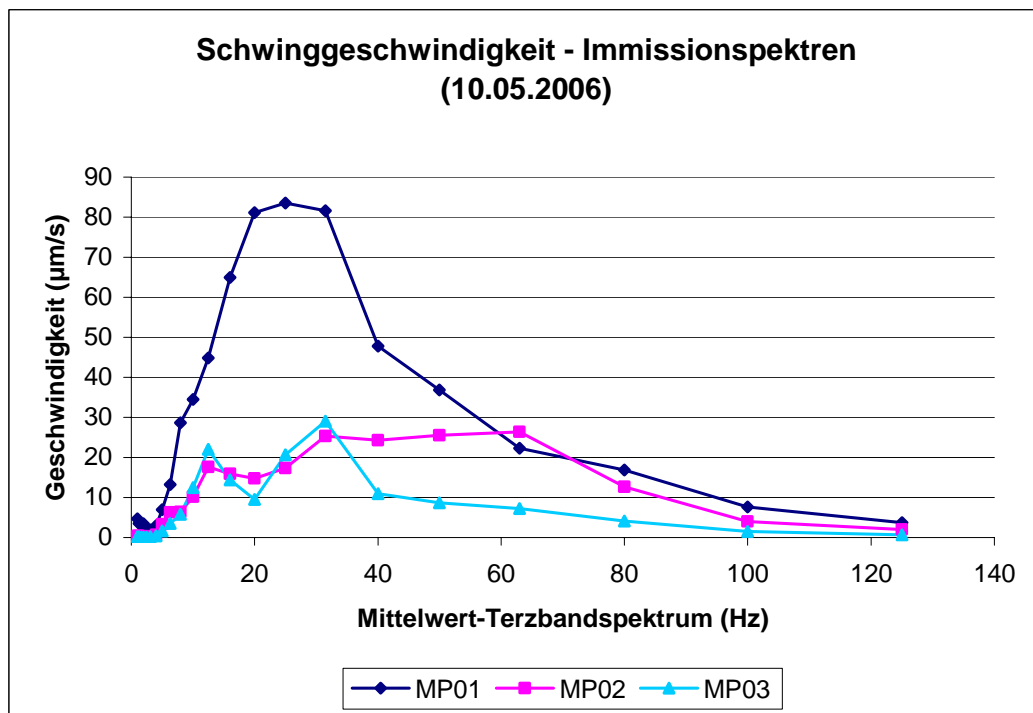


Bild 6- Terzbandspektren für die drei Messpunkte (gemittelt über alle TILO-Vorbeifahrten)

Im Bild 6 lassen sich zwei Merkmale gut erkennen:

1. im Punkt MP02 sind die Frequenzen über 40 Hz noch gut sichtbar. Diese Frequenzen sind für Körperschall wichtig. Im Punkt MP03 sind diese Frequenzen stark gedämpft;
2. bei MP03 sind zwei Peak gut erkennbar (Frequenze von 12.5 Hz und 32 Hz).

6. Folge aus dem IST-Zustand und Lösungsvorschläge

Das Spektrum von MP02 lässt vermuten, dass neben Erschütterungs- auch Körperschall-Probleme entstehen könnten. Eine Abschätzung der erwarteten Immissionen wurde mit VIBRA 2 durchgeführt.

6.1. Simulationen mit VIBRA 2

6.1.1. Modellierung der Erschütterungsausbreitung

Für die Vorhersage der Immissionen wurden sowohl Punkt MP02, welcher näher an der Bahnlinie liegt, als auch Punkt MP03 betrachtet.

Dank VIBRA 2 wird die Ausbreitung der Erschütterungen und des Körperschalls (SBB Methode) vom Punkt MP02 oder MP03 (im freien Feld, unter dem Fundament des Gebäudes) zu eine (Beton) Geschossdecke mit Eigenfrequenzen zwischen 25 und 35 Hz berechnet. Es wurden keine Massnahme zwischen Boden (freien Feld) und Fundament (Kopplung) untersucht.

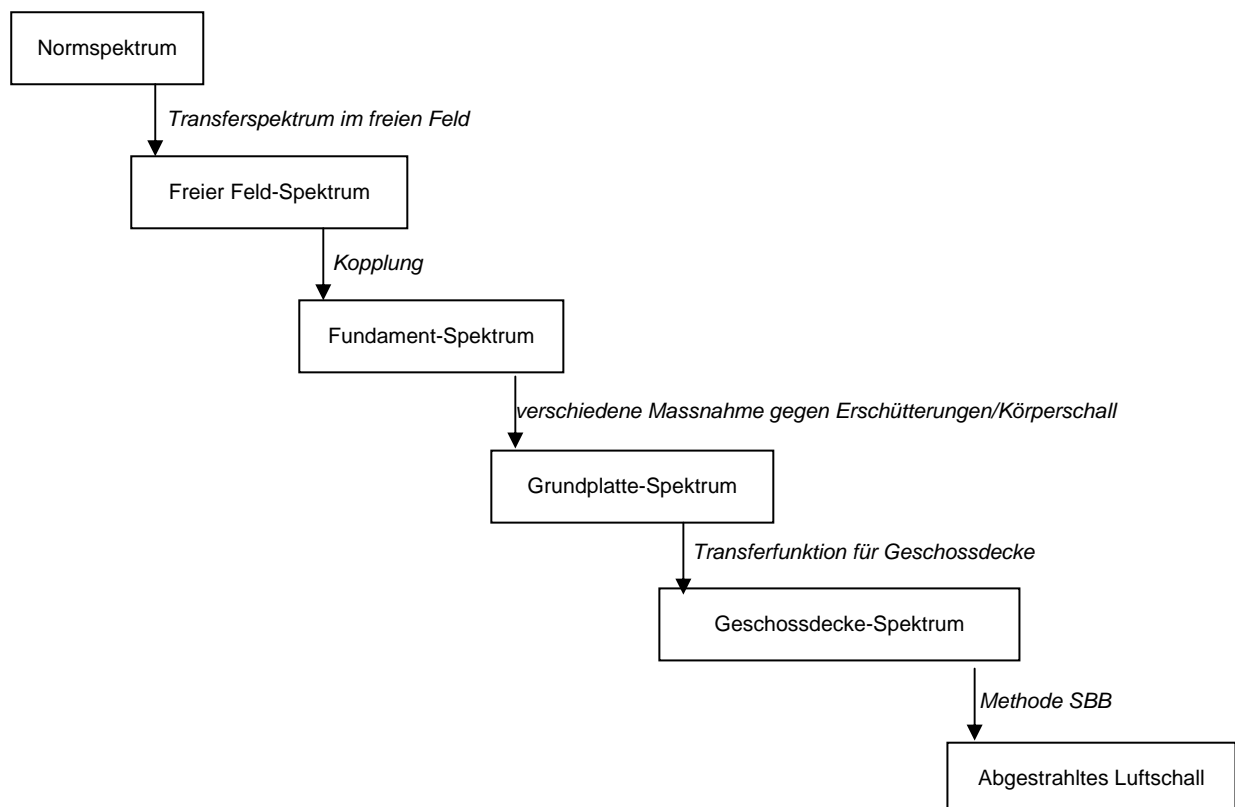


Bild 7 - Modellierung der Erschütterungs- und Körperschalls-Ausbreitung vom freien Feld bis zu einer Geschossdecke. Bei Vergleiche zwischen berechneten und gemessenen Werten entspricht das Normspektrum dem in MP01 gemessenen Spektrum

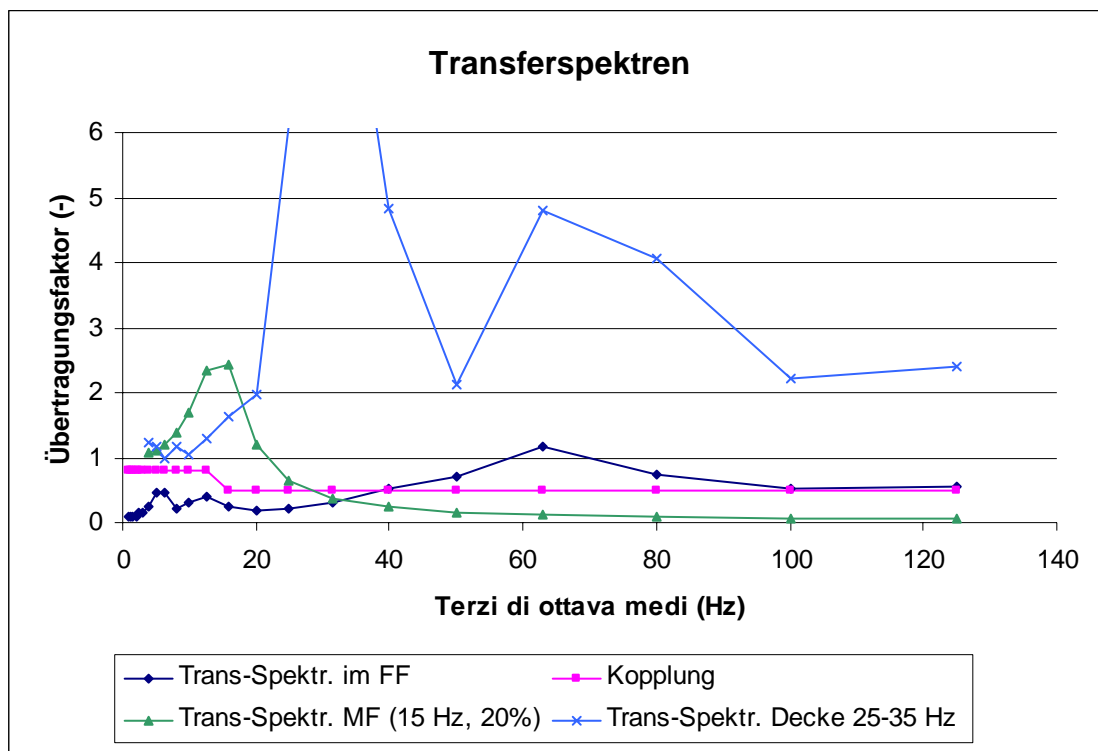


Bild 8 – Transferspektren bei der Erschütterungsausbreitung (max. Wert von 11 bei der Decke)

6.2. Lösungsvorschläge

Neben verschiedenen Detailmassnahmen (vertikale elastische Trennung gewisser Decken, usw.) besteht die Hauptmassnahme in der Verwirklichung eines gedämpften Masse-Feder-Systems, wobei die Masse in erster Näherung aus dem ganzen Gebäude und die Feder aus einer Platte aus Sylomer besteht. Diese Trennplatte wird zwischen Fundament und Grundplatte eingesetzt.

Die charakteristischen Parametern des Masse-Feder-Systems, welche in VIBRA 2 als Input-Daten eingesetzt werden, sind die Eigenfrequenz und die Dämpfung (in Prozent angegeben). Die verschiedenen Lösungen unterscheiden sich in der Dicke und Typ der Sylomerplatte und somit in der Eigenfrequenz des Systems. Die angegebenen Kosten sind nur grob abgeschätzt.

Massnahme	zus. Kosten (CHF)	Tag (06:00-22:00)			Nacht (22:00-06:00)		
		KB _{Fmax} (KB)	KB _{FTr} (KB)	Leq (16h) (dB(A))	KB _{Fmax} (KB)	KB _{FTr} (KB)	Leq (1 h) (dB(A))
Keine	-	0.85	0.097	35.7	0.85	0.055	35.1
15 Hz, 20%	500'000	0.37	0.044	16.8	0.37	0.026	16.1
13 Hz, 20%	750'000	0.34	0.040	15.1	0.34	0.023	14.4
11 Hz, 20 %	1'000'000	0.27	0.032	13.2	0.27	0.018	12.6

Bild 9 – Lösungsvorschläge und deren Auswirkung. Die verschiedene Lösungen (Masse-Feder-System mit Sylomerplatte) sind durch die Eigenfrequenz und die Dämpfung charakterisiert

Diese Werten wurden mit der Weisung BEKS und der deutschen Norm DIN 4150-2 verglichen.

Ohne Massnahmen wären für abgestrahlten Körperschall die Immissionsrichtwerte (30 dB(A)) nicht eingehalten. Auch für die Erschütterungen wären die Anhaltswerte A_r für Tag (0,07 KB) und Nacht (0,05 KB) von den Werten KB_{FT} überschritten.

Andere eher billigere Lösungen (z.B. besohlte Schwellen), welche direkt an der Eisenbahnlinie anzuwenden waren, konnten wegen einer klaren Verweigerung der SBB nicht in Betracht gezogen werden. Es ist jedoch auch zu bemerken, dass gute Ergebnissen mit solchen Lösungen nur im Rahmen des Körperschalls zu erreichen sind.

7. Gewählte Lösung

Aus der vorigen Tabelle geht es hervor, dass:

- alle untersuchten Lösungen befriedigende Resultate liefern;
- die Senkung der Erschütterungs- und Körperschall-Immissionen nicht proportional von den Zusatzkosten abhängt. Anders gesagt bringt eine Verdoppelung der Zusatzkosten nur eine leichte Verbesserung hinsichtlich Erschütterungen und Körperschall.

Somit wurde die billigste Lösung auf der Basis einer Kosten-Nutzen Überlegung gewählt: sie besteht aus einer Sylomerplatte von 25 mm Dicke mit einer Grundplatte aus Stahlbeton von 60 cm Dicke, was zu einer Eigenfrequenz von 15 Hz mit einer inneren Dämpfung von 20% entspricht.

8. Kontrollmessungen

8.1. Zweck der Kontrollmessungen

Es wurden eine Zwischen- und eine Schlussmessung durchgeführt.

Die Zwischenmessung wurde am 30.06.2006 kurz nach der Lagerung der Sylomer-Schicht und der Grundplatte gestartet.

Dank dieser Messung war es möglich zu überprüfen:

- die Gültigkeit gewisser theoretischen Ansätze;
- ob es Kontaktpunkte zwischen Fundament und Grundplatte vorhanden waren.

Die Schlussmessung gab die gleichen Auskünfte aber bezogen auf Dimensionierung und Ausführung des ganzen Gebäudes.

8.2. Parziale Ergebnisse und Schlusstest

Die Zwischenmessungen gaben befriedigende Ergebnisse.

Die gemessenen Werten vom 30.06.2006 im MP02 auf der Grundplatte zeigen:

1. die hohen Frequenzen sind stark abgeschwächt worden;
2. gemessenes und berechnetes Terzbandspektrum fallen gut zusammen;
3. im Frequenzbereich 12-20 Hz kommen höhere Schwingungen vor als im Abwesenheit der Massnahme berechnet (Resonanzeffekt vom Masse-Feder System), jedoch sind diese Werte tiefer als was man bei Vorhandensein der Massnahme erwartet hat.

Diese erste Messresultate bestätigen, dass die theoretische Ansätze richtig gewählt wurden und dass keine massgebende Ausführungsfehler festzustellen waren.

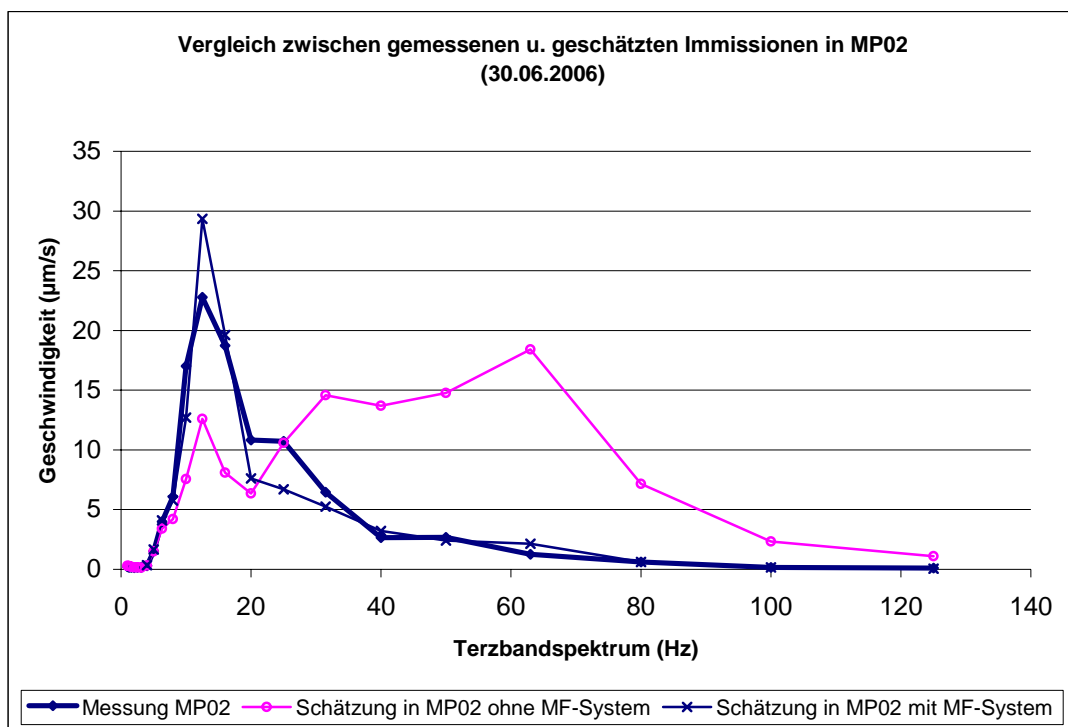


Bild 10 – Zwischenergebnis: Vergleich Berechnung / Messung (auf der Grundplatte)

Am 10.05.2007 wurde eine endgültige Messung in der Mitte einer Decke im ersten Geschoss durchgeführt.

Die experimentell ermittelten Erschütterungen sind deutlich besser als theoretisch zu erwarten war.

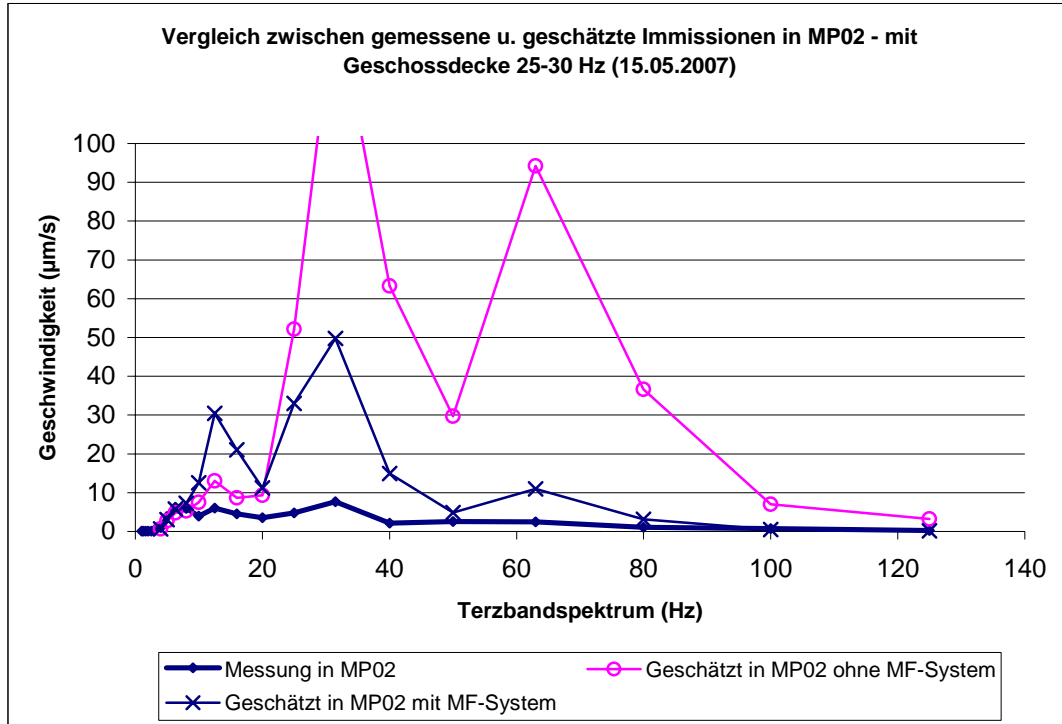


Bild 11 - Vergleich zwischen Simulationen und Messungen in MP02

	KB _{FTmax} (KB)	KB _{FT-Tag} (KB)	KB _{FT-Nacht} (KB)
MP02	0.047	0.0014	0.0005
MP03	0.058	0.0017	0.0006

Bild 12 – Experimentell ermittelte Erschütterungswerte in MP02 nach DIN 4150-2

9. Schlussfolgerungen

Es wurde die Problematik der Planung und Ausführung eines neuen Gebäudes neben einer Eisenbahnlinie untersucht.

Dieser Fallbeispiel hat gezeigt, dass es dank eines geeigneten methodologischen Vorgehens möglich ist, die Erschütterungs- und Körperschallimmissionen auf befriedigender Art vorherzusagen und mit geeigneten Massnahmen unter Kontrolle zu halten.