

# Kontrollmessungen am erstgebauten MFS der Schweiz

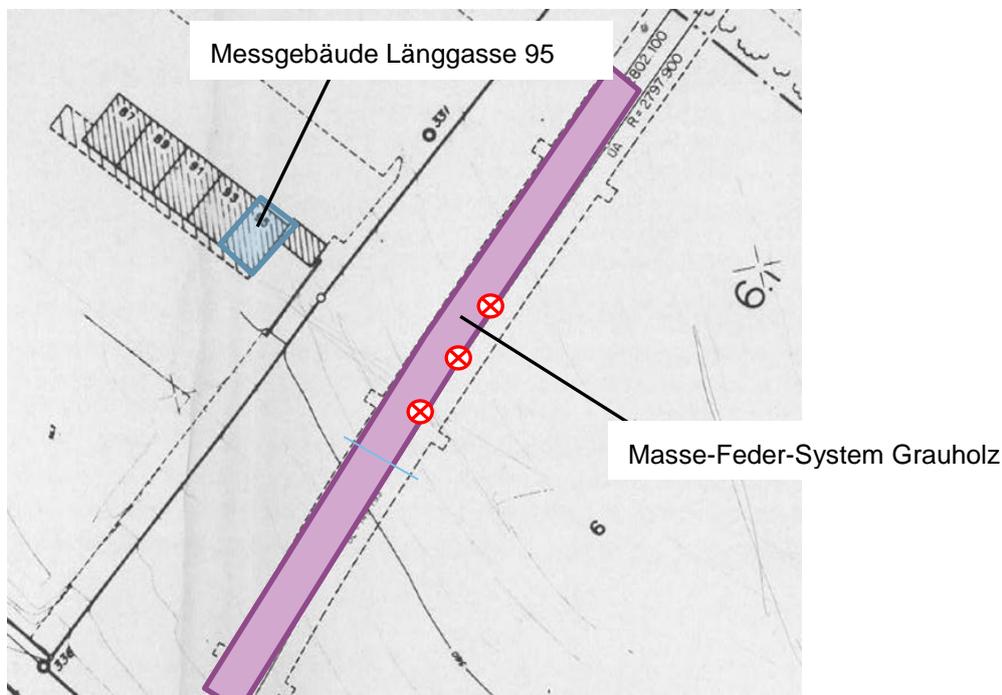
## 1. Ausgangslage

Im SBB-Grauholztunnel (Hauptlinie Zürich-Bern, ca. 5 km nördlich von Bern) wurde 1993 wegen Wohngebäuden auf 100 Meter Länge das erste Masse-Feder-System (kurz MFS) in der Schweiz gebaut. Die 65 cm dicke Gleistragplatte wurde auf einer USM 1000 W (Kegelstumpfmatte, siehe Fotos auf Seite 4) erstellt. Weil Langzeiterfahrungen bei MFS praktisch fehlen, wurde Basler & Hofmann von der Firma Calenberg Ingenieure (Hersteller der USM) mit Kontrollmessungen nach gut 20 Betriebsjahren beauftragt. Es fanden Schwingungsmessungen im Tunnel statt sowie im nächstgelegenen Wohnhaus kombinierte Schwingungs- und Körperschallmessungen.

## 2. Schwingungsmessungen im Tunnel

Aus Sicherheitsgründen mussten die Messgeräte nachts während Unterhaltssperren installiert und abgebaut werden. Für die Messung wurden Messgeräte vom Typ Syscom MR2002 mit 3 uniaxialen Vertikalsensoren auf dem Bankett eingesetzt. Die 3 Messpunkte befanden sich jeweils 12 m voneinander entfernt, jene beim MFS wurden in Mitte des MFS angeordnet, jene aussen am System weiter nördlich (siehe Figur 1).

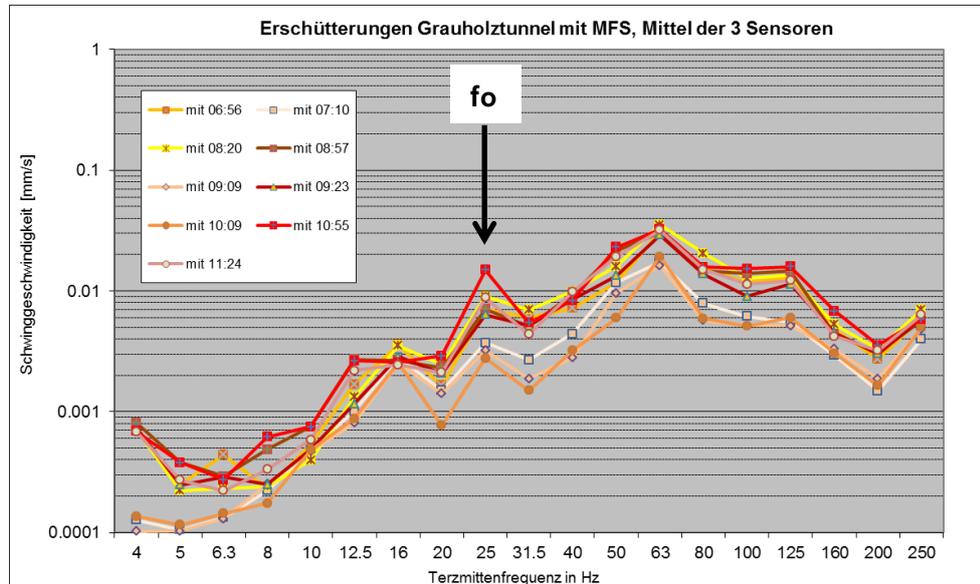
↗ 2 weitere Messpunkte  
ausserhalb des MFS



Figur 1 Lage des MFS im Grauholztunnel und Messungen

Die Zeitsignale der Züge wurden mittels Triggerung aufgezeichnet und die Zugsidentifikation erfolgte anhand von Zeit und Fahrrichtung. Ein Zugprotokoll für die Messzeit war bei den SBB nicht verfügbar. Die Messsensoren wurden durch Blechabdeckungen gegen den Fahrwind geschützt.

Von Zugsvorbeifahrten in Mitte des MFS wurden Terzspektren analysiert, wobei es sich um Mittelungsspektren über die Vorbeifahrt handelt (10 Sekunden Dauer). Die folgende Abbildung 1 zeigt die über die 3 Sensoren gemittelten Terzspektren für einzelne Züge. Gut erkennbar ist die Schwingungsverstärkung im Bereich der Systemeigenfrequenz des MFS bei etwa 25 Hz.



Figur 2 Tunnelmessung 2014 in Mitte des MFS, Schwingungsverstärkung bei Systemeigenfrequenz  $f_0 = 25$  Hz

### 3. Messungen im Gebäude Länggasse Nr. 95

Im Gebäude Länggasse 95 der Landwirtschaftlichen Schule (Reiheneinfamilienhaus, seit 1995 baulich nicht verändert) wurden simultan die Erschütterungen und der Körperschall im EG und OG von etwa 30 Zügen gemessen. Die Hausmessung war praktisch ungestört, da sich keine Bewohner im Haus befanden.

#### Erschütterungsauswertung

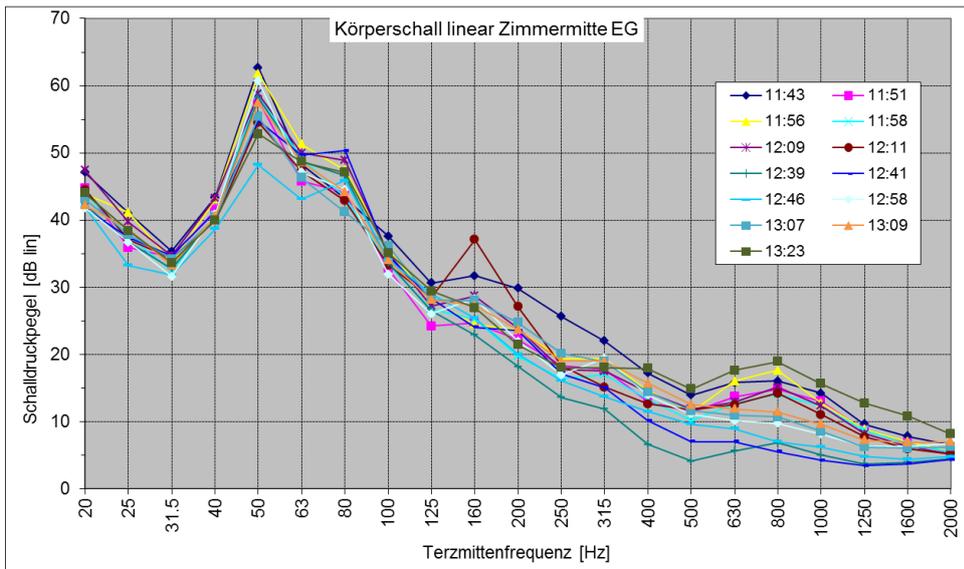
Die Vorbeifahrtswerte  $\bar{v}_{rms}$  der gemessenen Züge wurden analog der Auswertung 1995 ermittelt. Von ausgewählten Zügen wurden mittlere Terzspektren über die Vorbeifahrt bestimmt. Die Terzspektren sind im Vergleich zur Abnahmemessung 1995 auf Seite 6 dokumentiert.

Ergänzend sind die KB-Werte nach DIN 4150-2 bestimmt worden (siehe Tabelle 3 auf Seite 7).

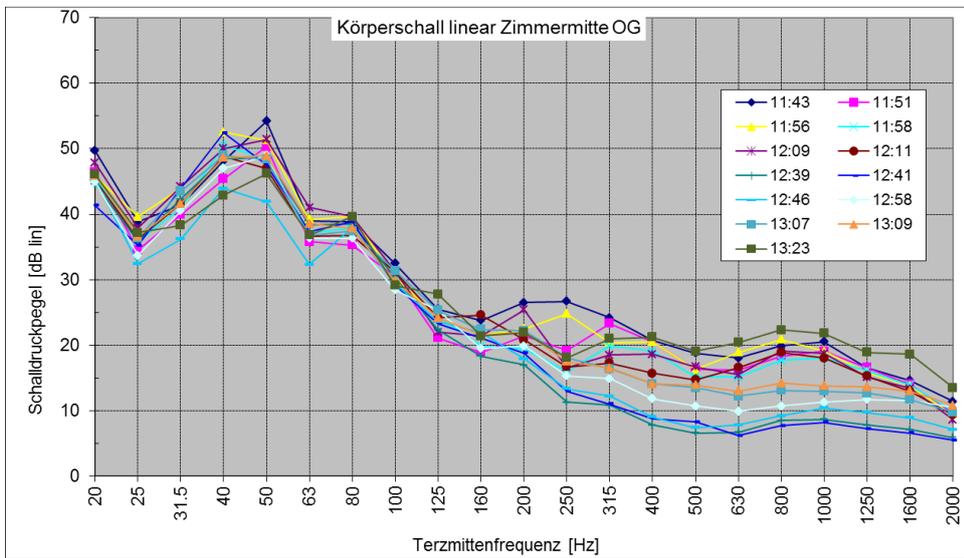
**Körperschallauswertung**

Beim Körperschall wurden die über eine Vorbeifahrt gemittelten Schallpegel  $L_v$  ausgewertet. Sie sind in Tabelle 2 auf Seite 6 zusammengestellt. Der Körperschall war 2014 im Erdgeschoss deutlich höher als im Obergeschoss, die Pegeldifferenz betrug fast 8 dB.

Von ausgewählten Zügen wurden mittlere Terzspektren über die Vorbeifahrt erstellt. Die folgenden Figuren 3 und 4 zeigen den frequenzabhängigen Verlauf der linearen Schalldruckpegel im Erdgeschoss und Obergeschoss.



Figur 3 Körperschallmessung 2014 in Zimmer Erdgeschoss



Figur 4 Körperschallmessung 2014 in Zimmer Obergeschoss

#### 4. Fotos zu den Messungen und Dokumentation MFS

Aus den folgenden Fotos sind die Messanordnungen in Tunnel und Gebäude ersichtlich.



Tunnelmesspunkt ausserhalb MFS  
Abdeckung mit Blechgehäuse gegen Wind



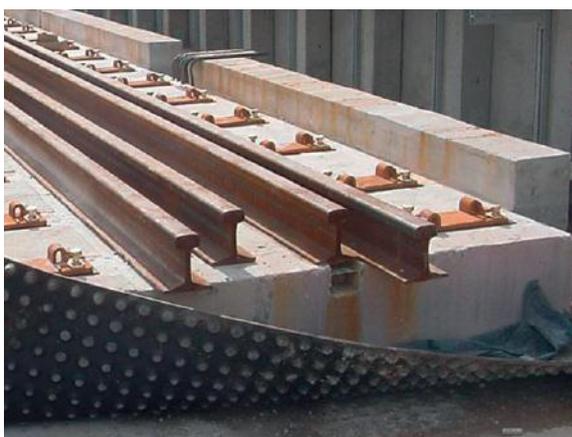
Messgebäude Länggasse 95



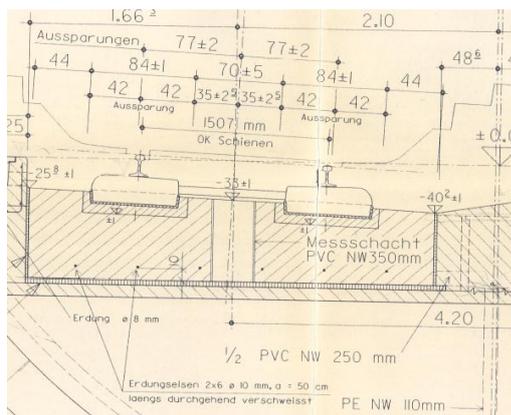
Messgebäude Zimmer Erdgeschoss



Messgebäude Zimmer Obergeschoss



USM 1000-W (Kegelstumpfmatte)



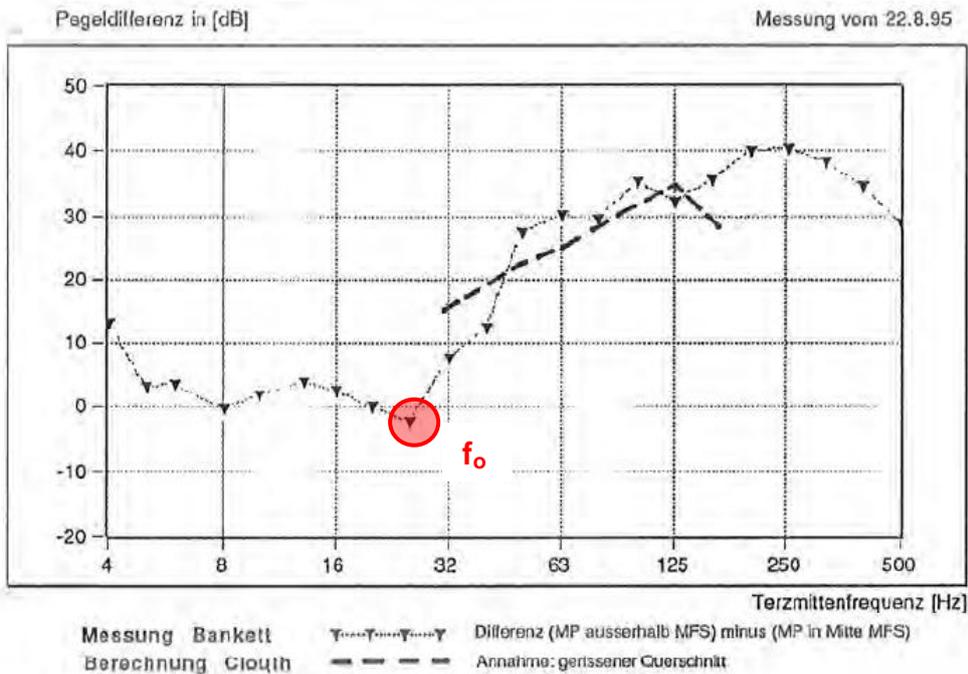
Querschnitt Masse-Feder-System

Figur 5 Fotos zu den Messungen 2014 und Doku MFS Grauholtztunnel

## 5. Vergleich mit Abnahmemessungen 1995

### Erschütterungen Tunnelmessung

Der Vergleich der Messungen 1995 (siehe folgende Figur 6) mit den Messungen 2014 (vergleiche Figur 2) zeigt, dass sich die Eigenfrequenz des MFS nicht verändert hat. Sie lag 1995 und 2014 gleichbleibend bei 25 Hz.



Figur 6 Einfügedämmmass gemessen 1995 (Differenzspektrum der Bankettpunkte ohne MFS minus mit MFS und berechnet

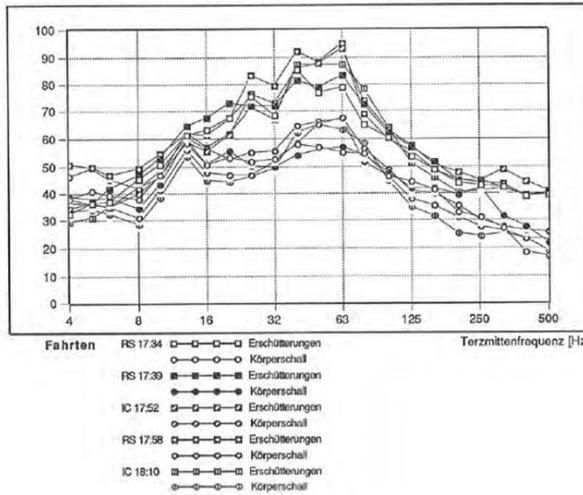
### Erschütterungen Hausmessungen

Die Erschütterungsmessung im Haus Länggasse 95 liefert 2014 signifikant tiefere Werte als 1995 (knapp einen Faktor 2) als 1995, wie die folgende Tabelle 1 zeigt. Die Abnahme war im Obergeschoss ausgeprägter als im Erdgeschoss.

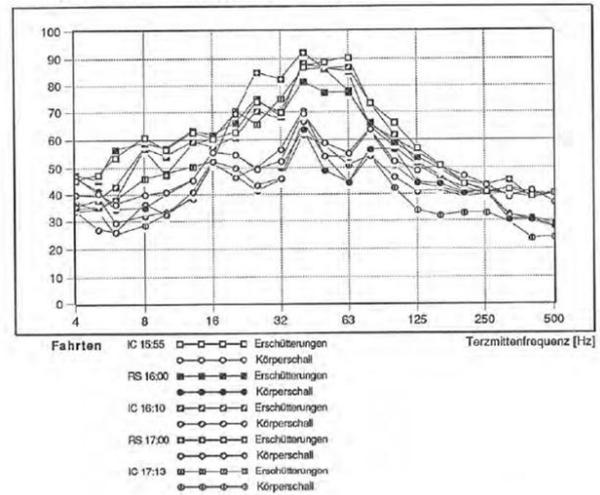
Messzeitpunkt	Erdgeschoss $\bar{v}_{rms}$ [mm/s]		Obergeschoss $\bar{v}_{rms}$ [mm/s]	
	Mittelwert	90%-Wert	Mittelwert	90%-Wert
1995	0.054	0.075	0.034	0.045
2014	0.039	0.049	0.019	0.024
Quotient 2014 / 1995	0.73	0.66	0.56	0.53

Tabelle 1 Vergleich der Erschütterungsmessungen 1995 und 2014

Die Terzspektren dokumentieren den ähnlichen Verlauf der Terzspektren der beiden Messungen 1995 und 2014. Die dominierenden Frequenzen lagen immer bei etwa 40 bis 63 Hz (siehe folgende Figuren 7 und 8).

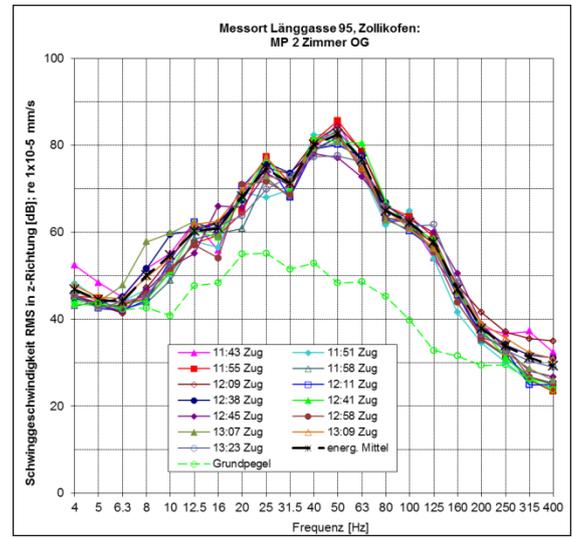
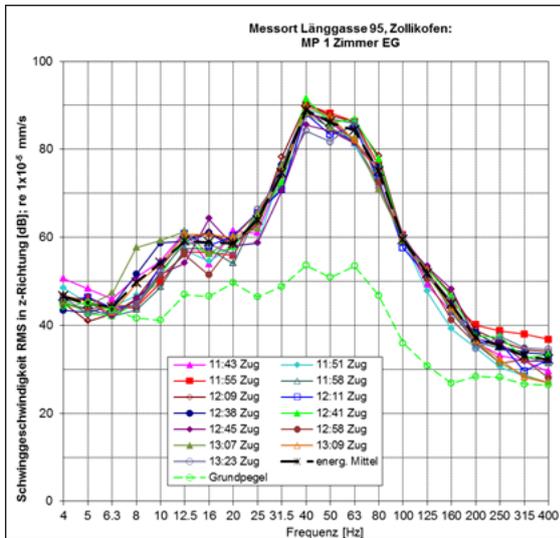


Messpunkt Erdgeschoss



Messpunkt Obergeschoss

Figur 7 Terzspektrn der Erschütterungsmessungen 1995 und Spektren Schallmessung (untere 5 Kurven)



Figur 8 Terzspektrn der Erschütterungsmessungen 2014 im Gebäude

**Körperschall Hausmessungen**

Der Vergleich der Körperschallmessungen ergibt etwas widersprüchliche Resultate. Weil 1995 im Erd- und Obergeschoss fast identische Körperschallpegel gemessen wurden, hingegen 2014 deutlich tiefere Pegel im Obergeschoss, sind die Differenzen der Messungen 2014 und 1995 uneinheitlich. Im Erdgeschoss wurden 2014 mit + 2 dB etwas höhere Pegel gemessen, umgekehrt lagen sie 2014 im Obergeschoss mit -6 dB deutlich tiefer.

Messzeitpunkt	Erdgeschoss $L_v$ [dBA]	Obergeschoss $L_v$ [dBA]
1995	28.9	28.7
2014	30.6	22.9
Differenz (2014 – 1995)	1.7	- 5.8

Tabelle 2 Vergleich der Körperschallmessungen 1995 und 2014

Die Terzspektren der Schallmessung 2014 in Figur 3 und 4 zeigen deutlich die Maxima in den körperschallrelevanten Frequenzen von 31 bis 125 Hz. Bei den höheren Frequenzen > 315 Hz lagen die linearen Schalldruckpegel um 20 bis 30 dB tiefer.

Bei den Analysen der Schallmessung 1995 in Figur 7 (untere Kurven) fallen im Obergeschoss die Pegel oberhalb 125 Hz nicht mehr ab, was eine Beeinflussung durch Aussenschall oder allenfalls gerätebedingt sein könnte. Die 1995 im OG ermittelten Pegel dürften somit tendenziell zu hoch sein.

## 6. Messung 2014 und Beurteilung nach BEKS

Von der Messung 2014 sind die Beurteilungswerte  $KB_{FTi, Mess}$  und  $LEQ_{1-Std}$  ermittelt worden. Dabei handelt es sich um die Beurteilungsschwingstärke  $KB_{FTi}$  und den LEQ über die Stunde von 11:40 bis 12:40.

Immissionsmessung 13.05.2014, Wohnhaus Länggasse 95, Zollikofen					
Nr.	Zeit	Zimmer Erdgeschoss		Zimmer Obergeschoss	
		Erschütterungen $KB_{FTi} [-]$	Körperschall $L_V [dBA]$	Erschütterungen $KB_{FTi} [-]$	Körperschall $L_V [dBA]$
1	11:40	0.137		0.046	
2	11:43	0.068	33.5	0.040	25.8
3	11:45	0.159		0.052	
4	11:47	0.109		0.049	
5	11:51	0.134	29.4	0.053	22.2
6	11:54	0.103		0.039	
7	11:55	0.088	33.3	0.048	24.6
8	11:56	0.034		0.015	
9	11:58	0.109	30.3	0.045	22.5
10	12:01	0.028		0.019	
11	12:06	0.090		0.032	
12	12:09	0.104	31.7	0.047	24.4
13	12:11	0.062	29.0	0.031	21.7
14	12:16	0.137		0.063	
15	12:19	0.068		0.025	
16	12:25	0.091		0.048	
17	12:38	0.058	30.5	0.032	22.4
18	12:41	0.121	30.7	0.041	22.9
19	12:43	0.065		0.027	
20	12:45	0.059	26.0	0.027	19.4
21	12:50	0.057		0.029	
22	12:52	0.083		0.035	
23	12:56	0.088		0.044	
24	12:57	0.053		0.017	
25	12:58	0.069	31.7	0.036	21.8
26	13:07	0.073	27.8	0.033	22.4
27	13:09	0.086	29.7	0.038	22.5
28	13:11	0.071		0.032	
29	13:13	0.082		0.036	
30	13:23	0.050	28.7	0.025	21.5
	$KB_{FTi, 1 Std.}$	0.032		0.000	
	$LEQ_{1-Std}$		15.1		7.3

$KB_{FTi, 1 Std.}$	0.032	$KB_{FTi} < 0.1$
Anz. Tkt.	120	
Anz. gemess. Tkt.	17	
Massgebend Tkt. (>0.1)	8	

Tabelle 3 Messwerte 2014 und Beurteilungswerte nach BEKS

Die Landwirtschaftliche Schule mit den Wohnhäusern liegt in der Mischzone. Entsprechend gelten beim Körperschall die Planungsrichtwerte von Tag 40 dBA und Nacht 30 dBA. Bei den Erschütterungen sind die Anhaltswerte  $A_r$  von 0.10 tags und 0.07 nachts massgebend. Der Vergleich zeigt, dass die Anforderungen der BEKS bei Erschütterungen und Körperschall deutlich eingehalten sind.

## **7. Erkenntnisse und Folgerungen**

Die Kontrollmessung 2014 am 1993 gebauten Masse-Feder-System im SBB-Grauholztunnel und im nahe gelegenen Wohnhaus Länggasse 95 haben Folgendes ergeben:

- 1. Die Kontrollmessung vom August 2014 bestätigen die Ergebnisse der Abnahmemessungen von 1995.**
- 2. Die Tunnelmessung zeigt eine gleichbleibende Systemeigenfrequenz von 25 Hz.**
- 3. Die Kontrollmessungen 2014 im Haus Länggasse 95 dokumentieren eine deutliche Abnahme bei den Erschütterungen.**
- 4. Die Kontrollmessungen 2014 im Haus Länggasse 95 zeigen beim Körperschall etwas widersprüchliche Resultate, indem die Pegel im Erdgeschoss leicht zugenommen, im Obergeschoss hingegen deutlich abgenommen haben.**
- 5. Das MFS erfüllt nach über 20 Jahren unter Betrieb die Anforderungen, die zum Schutz der Anwohner gestellt wurden.**

Die Veränderungen von Gleis-/Schienenzustand sowie des Rollmaterials konnten nicht ermittelt und deshalb nicht berücksichtigt werden.