

HRS Real Estate AG
Herr Arthur Dunkel
Hochbergerstrasse 60c
4057 Basel

Auftragsbezeichnung

Ueberbauung Hagnau Ost & West Muttenz

Berichttitel

Immissionsprognose - Erschütterungen und abgestrahlter Körperschall



Verfasser

Dr. Markus Ringger

Gruner AG

Gellertstrasse 55
CH-4020 Basel
T +41 61 317 61 61
F +41 61 312 40 09
www.gruner.ch

Auftragsnummer

R 212'234'000-001

Datum

14. Februar 2018

Kontrollblatt

Ansprechperson	Markus Ringger
Tel. direkt	061 317 64 30
Email	markus.ringger@gruner.ch

Änderungsgeschichte

Version	Änderung	Kürzel	Datum
1.0	Grundfassung	Rim	14.02.2018

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit der Quartierplanung Hagnau Ost & West in MuttENZ wurde die Gruner AG beauftragt, die von dem Bahn- sowie dem Tramverkehr induzierten Erschütterungen zu beurteilen.

Mit Hilfe von Messungen wurden die Erschütterungen und der abgestrahlte Körperschall in den Hochhäusern an der Bahnlinie und am Tram mit der Software VIBRA 2 der SBB berechnet. Die Prognose ergab, dass ohne Massnahmen, auch unter Einbezug der Unsicherheit, die Anforderungen bis auf das südliche Hochhaus West eingehalten werden können.

Mit dem Einbau einer Elastomer-Korn-Platte an der Kellerwand des südlichen Hochhauses West können auch dort die Grenzwerte eingehalten werden.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Auftrag und Vorgehen	1
2 Grundlagen	1
3 Situation	2
4 Allgemeines	2
4.1 Gesetzliche Grundlagen und allgemeine Annahmen	2
4.2 Richtwerte nach BEKS für den abgestrahlten Körperschall	3
4.3 Anhaltswerte nach DIN 4150-2 für den Erschütterungen	3
5 Erschütterungsmessungen	5
5.1 Messpunkte / Messdurchführung	5
5.2 Eingesetzte Messgeräte und aufgezeichnete Daten	5
5.3 Beurteilung der Situation aufgrund der Messresultate	6
6 Immissionsprognose	7
6.1 Grundlagen	7
6.2 Modell VIBRA 2	7
6.3 Transferspektren	7
6.4 Unsicherheit	7
6.5 Verkehrsfrequenzen	8
6.6 Weitere Annahmen bezüglich Einflussbereich	8
6.7 Untersuchte Räume	8
6.8 Resultate - Nördliche Gebäude (Einflussbereich Bahn)	9
6.9 Resultate - Südliche Gebäude (Einflussbereich Tram)	10
7 Schlussfolgerung	11
8 Erschütterungsschutz	11
8.1 Spezifikation	11
8.2 Wirkung des Erschütterungsschutzes	12
9 Schlussbeurteilung	12

Abkürzungen / Bezeichnungen / Formelzeichen

A_u	Unterer Anhaltswert (DIN 4150-2) für die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}
A_o	Oberer Anhaltswert (DIN 4150-2) für die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}
A_r	Anhaltswert (DIN 4150-2) für die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}
f_0	Deckeneigenfrequenz in Hz; grundsätzlich 1. Eigenfrequenz, vertikal
KB_F	Frequenz- und zeitbewertetes Schwinggeschwindigkeitssignal (DIN 4150-2)
$KB_{F, max}$	Maximalwert von KB_F , der während der jeweiligen Beurteilungszeit auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist.
$KB_{F-95\%}$	Frequenz- und zeitbewertetes Schwinggeschwindigkeitssignal / Quantil $Q_{0.95}$
KB_{FTi}	Takt-Maximalwert (DIN 4150-2) über eine Periode von 30 Sekunden (Wert der Periode i)
KB_{FTm}	Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte (DIN 4150-2) / Perioden mit $KB_{FTi} < 0.1$ werden Null gesetzt
KB_{FTr}	Beurteilungsschwingstärke (DIN 4150-2) / Mittelwert über die jeweilige Beurteilungszeit
$L_{A, eq}$	Durch Zugverkehr erzeugter und sekundär abgestrahlter energieäquivalenter, A-bewerteter Dauerschallpegel in dB(A) am Immissionsort, gemessen im Raum bei geschlossenen Fenstern und gemittelt über den ganzen Tag (16 h) beziehungsweise über die lauteste der acht Nachtstunden (1 h).
$L_{AF, max}$	Maximaler zeitbewerteter Schallpegel (A- und Fast-bewertet) in der Messperiode, wird häufig in Verbindung mit einem weiteren Schallparameter verwendet (z.B. $L_{A, eq}$)
$L_{AF, min}$	Minimaler zeitbewerteter Schallpegel (A- und Fast-bewertet) in der Messperiode
PRW	Planungsrichtwert für abgestrahlten Körperschall (BEKS) in dB(A)
IRW	Immissionsrichtwert für abgestrahlten Körperschall (BEKS) in dB(A)

1 Auftrag und Vorgehen

Im Zusammenhang mit der Quartierplanung Hagnau Ost & West in MuttENZ wurde die Gruner AG beauftragt, die von dem Bahn- sowie dem Tramverkehr induzierten Erschütterungen zu beurteilen.

Es wurde deshalb folgende Vorgehensweise gewählt:

- Stichprobenweises Messen der Erschütterungen von Bahn und Tram
- Erstellen einer Prognose über die Erschütterungen und des abgestrahlten Körperschalls aufgrund des durchschnittlichen Verkehrs
- Vergleich mit den Grenzwerten
- Evtl. Angabe von Schutzmassnahmen beim Ueberschreiten der Grenzwerte

2 Grundlagen

Die Aussagen und Erläuterungen in diesem Bericht stützen sich auf die folgenden Unterlagen:

- [1] Volumenmodell 20171220 B+P.pdf vom 17.1.2018
- [2] DIN 45669-1 - Messung von Schwingungsimmissionen, September 2010
- [3] DIN 4150-2 - Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999
- [4] BEKS - Weisung zur Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen, Dezember 1999
- [5] VIBRA 2, Version 4.3; Ziegler Consultants, Zürich
- [6] Zusammenstellung Bahnverkehr, Horizont 2015 der SBB, Herr Roger Müller vom 14.2.2018
- [7] Haltstellenfahrplan des Tram Nr. 14, Haltstelle Freidorf vom 14.2.2018

3 Situation

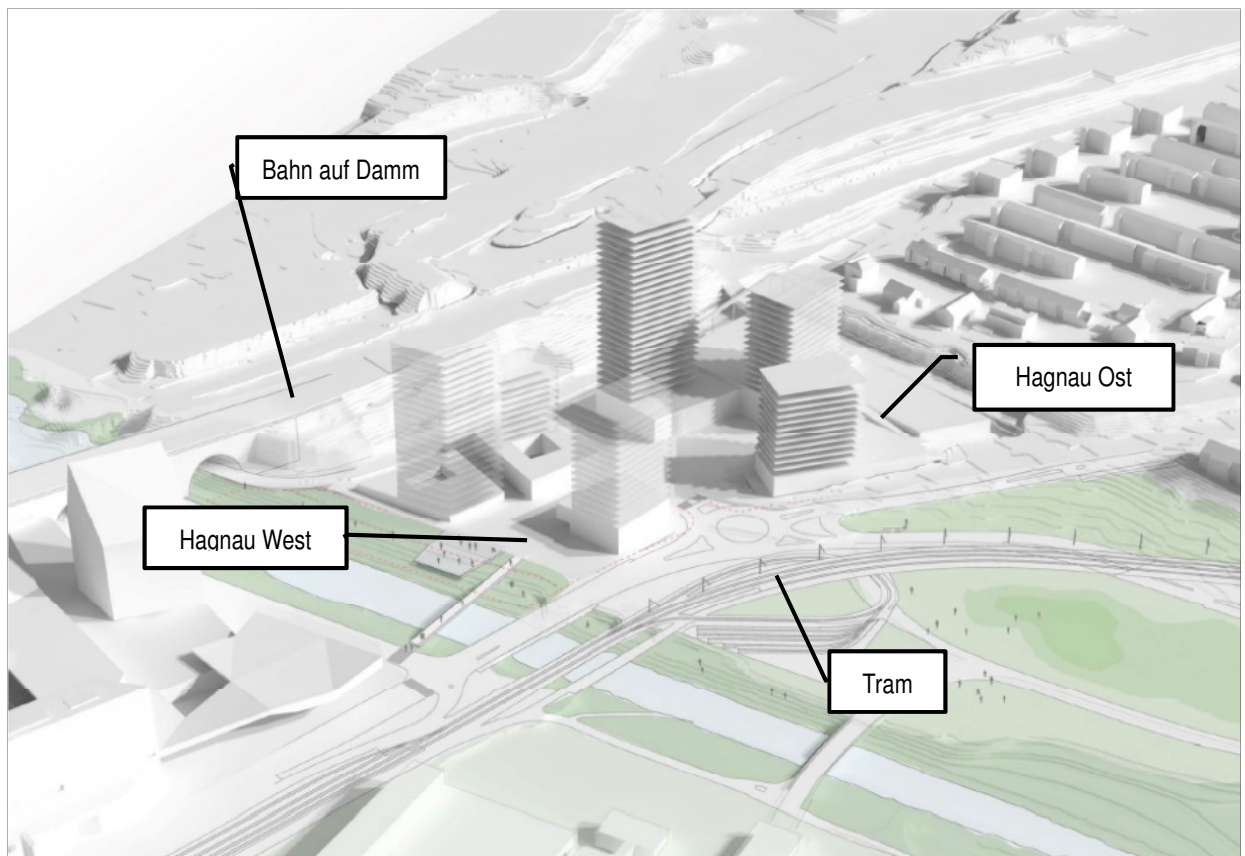


Abbildung 1: Hagnau Ost & West (Volumenmodell)

4 Allgemeines

4.1 Gesetzliche Grundlagen und allgemeine Annahmen

Einwirkung auf Personen in Gebäuden:

In der Schweiz existiert, ähnlich der Lärmschutz-Verordnung (LSV), momentan noch keine Verordnung zum Schutz gegen Erschütterungen / abgestrahlten Körperschall (Einwirkung auf Personen). Somit gibt es rechtlich gesehen keine Grenzwerte für den Schutz gegen die genannten Immissionen, ausser dem generellen Vorsorgeprinzip gemäss Umweltschutzgesetz (USG). Um die Erschütterungen und den abgestrahlten Körperschall gleichwohl beurteilen zu können, wird die BEKS^[4] beigezogen.

In der BEKS wird zwecks der Beurteilung von Erschütterungen auf die DIN 4150-2^[3] verwiesen, für den abgestrahlten Körperschall werden eigene Richtwerte definiert. Um dem Vorsorgeprinzip gerecht zu werden, werden bezüglich des abgestrahlten Körperschalls die Planungsrichtwerte als geltend vorausgesetzt.

Die Untersuchungen beschränken sich auf den Schutz des Menschen. Betrachtungen zur Gebäudesubstanz (Rissbildungen) sind nicht Gegenstand der Abklärungen.

4.2 Richtwerte nach BEKS für den abgestrahlten Körperschall

Planungsrichtwerte BEKS (Abgestrahlter Körperschall)		
(Massgebend: $L_{A,eq}$ des Innenraumpegels [dB(A)])	Planungsrichtwerte (PRW) [dB(A)]	
	Tag (06.00 - 22.00 Uhr)	Nacht (22.00 - 06.00 Uhr)
Reine Wohnzonen, Zonen für öffentliche Nutzung	35	25
Mischzonen, städtische Kernzonen, ländliche Dorfzonen	40	30

Tabelle 1: Abgestrahlter Körperschall, Planungsrichtwerte BEKS

Tag / Nacht: Zeitraum tags: 06 bis 22 Uhr; Zeitraum nachts: 22 bis 06 Uhr
 $L_{A,eq}$ / Richtwerte: Durch Zugverkehr erzeugter und sekundär abgestrahlter energieäquivalenter Dauerschallpegel in dB(A) am Immissionsort, gemessen im Raum bei geschlossenen Fenstern und gemittelt über den ganzen Tag bzw. die höchste der acht Nachtstunden.

4.3 Anhaltswerte nach DIN 4150-2 für den Erschütterungen

Die nachfolgenden Werte basieren auf der DIN 4150 "Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen im Gebäude", Ausgabe Juni 1999, Tabelle 1:

Anhaltswerte DIN 4150-2 (Erschütterungen)						
(Massgebend: $KB_{F,max}$ [-] / $KB_{FT,r}$ [-])	Anhaltswerte [-]					
	Tag (06.00 - 22.00 Uhr)			Nacht (22.00 - 06.00 Uhr)		
	A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1) Industriegebiete	0.40	6.00	0.20	0.30	0.60	0.15
2) Gewerbegebiete	0.30	6.00	0.15	0.20	0.40	0.10
3) Kerngebiete, Mischgebiete, Dorfgebiete	0.20	5.00	0.10	0.15	0.30	0.07
4) Reine Wohngebiete, Kleinsiedlungsgebiete	0.15	3.00	0.07	0.10	0.20	0.05
5) Sondergebiete z.B. mit Krankenhäusern, Kurkliniken	0.10	3.00	0.05	0.10	0.15	0.05

Tabelle 2: Erschütterungen - Anhaltswerte DIN 4150-2, Tabelle 1

Tag / Nacht: Zeitraum tags: 06 bis 22 Uhr; Zeitraum nachts: 22 bis 06 Uhr
 A_u, A_o / $KB_{F,max}$: Der Anhaltswert A_u bzw. A_o gemäss DIN 4150-2 ist zu vergleichen mit $\rightarrow$
 $KB_{F,max}$ (Frequenz- und zeitbewertetes Schwinggeschwindigkeitssignal, Maximalwert)
 A_r / $KB_{FT,r}$: Der Anhaltswert A_r gemäss DIN 4150-2 ist zu vergleichen mit $\rightarrow$
 $KB_{FT,r}$ (Beurteilungsschwingstärke; Mittelwertbildung über die jeweilige Beurteilungszeit)

Anmerkung zum Anhaltswert A_o

Für den Schienenverkehr hat der obere Anhaltswert A_o nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne $KB_{FT,i}$ -Werte (weshalb zur Beurteilung der $KB_{F-95\%}$ verwendet wird) bei oberirdischen Strecken gebietsunabhängig über $A_o = 0.60$, so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z.B. Flachstellen an Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben (siehe DIN 4150-2, Abschnitt 6.5.3.5).

Anmerkung zu $KB_{F, \max}$ und KB_{FTr}

Die beiden Beurteilungsgrössen ($KB_{F, \max}$ und KB_{FTr}) sind getrennt für die drei Richtungskomponenten x, y (horizontal) und z (vertikal) zu ermitteln. Die jeweils grösste der drei ist der Beurteilung zugrunde zu legen.

5 Erschütterungsmessungen

5.1 Messpunkte / Messdurchführung

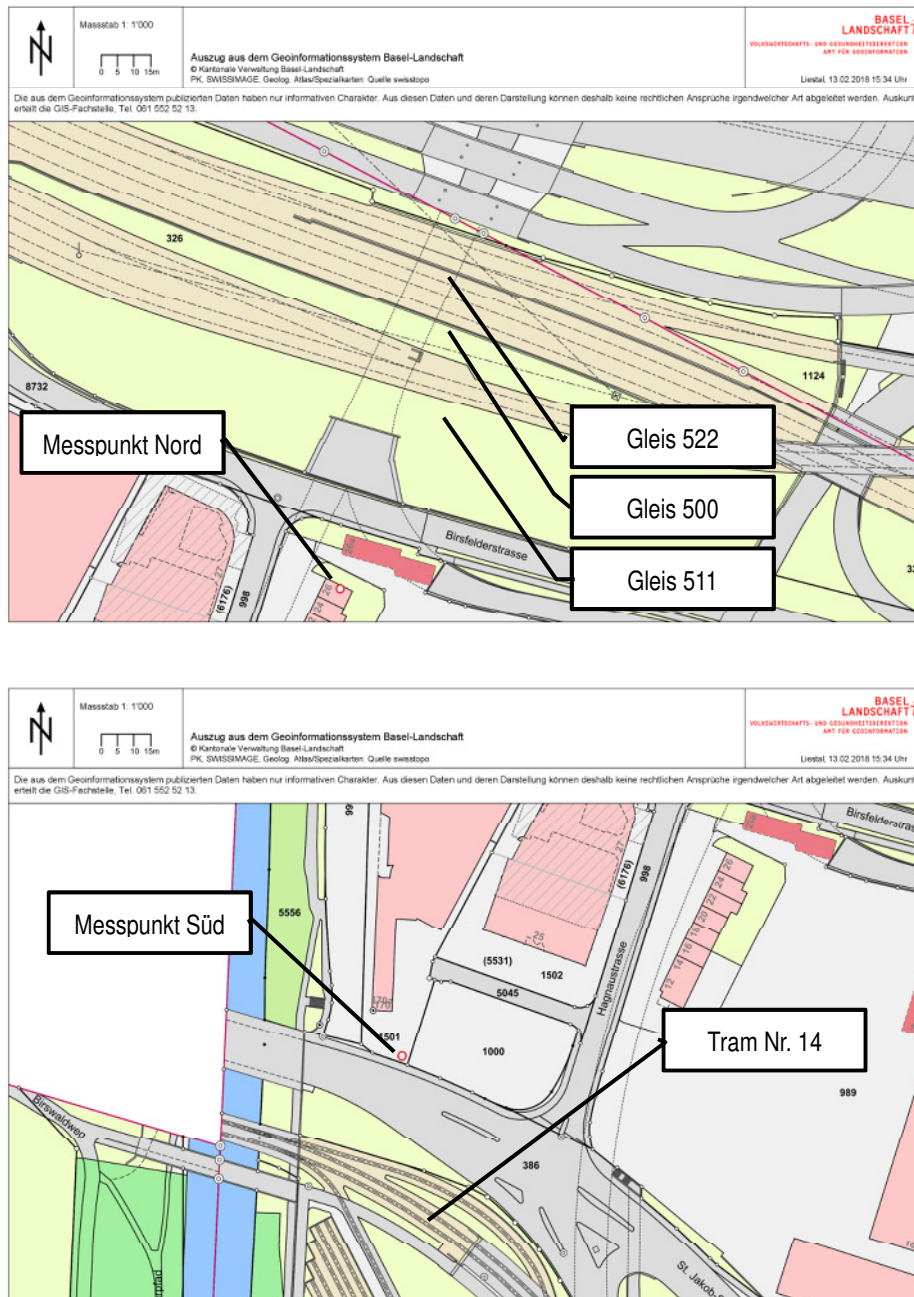


Abbildung 2: Messpunkte

5.2 Eingesetzte Messgeräte und aufgezeichnete Daten

Messgeräte: Für die Erschütterungsmessungen sind MR 2002 Datenlogger mit triaxialem Geschwindigkeitssensor der Firma SYSCOM eingesetzt worden.

Aufgezeichnete Daten: Schwinggeschwindigkeit in x-, y- und z-Richtung [mm/s] @ 800 sps
 Nutzbarer Frequenzbereich: 3 bis 315 Hz (Bandpass)

Aufzeichnungszeitraum: Dienstag, 06.02.2018, 09.00 bis 12.00 Uhr und
 Donnerstag, 08.02.2018, 13.30 bis 17.00 Uhr

Aufstellung des Sensors: Messpunkte Nord: Auf Fundament Einfamilienhaus
 Messpunkt Süd: Auf kleiner Betonplatte im Freifeld

Registrierte Fahrzeuge: Messpunkte Nord: Güterzüge und Personenzüge auf der nächsten Linie
 (Nr. 511 der SBB)
 Messpunkt Süd: Tram der Tramlinie 14

Störeinflüsse: Strassenfahrzeuge auf der St. Jakobs-, Hagnau- und Birsfelderstrasse
 Bauarbeiten im Bereich des Bahndammes
 (der Störeinfluss auf die Messresultate war vernachlässigbar klein)

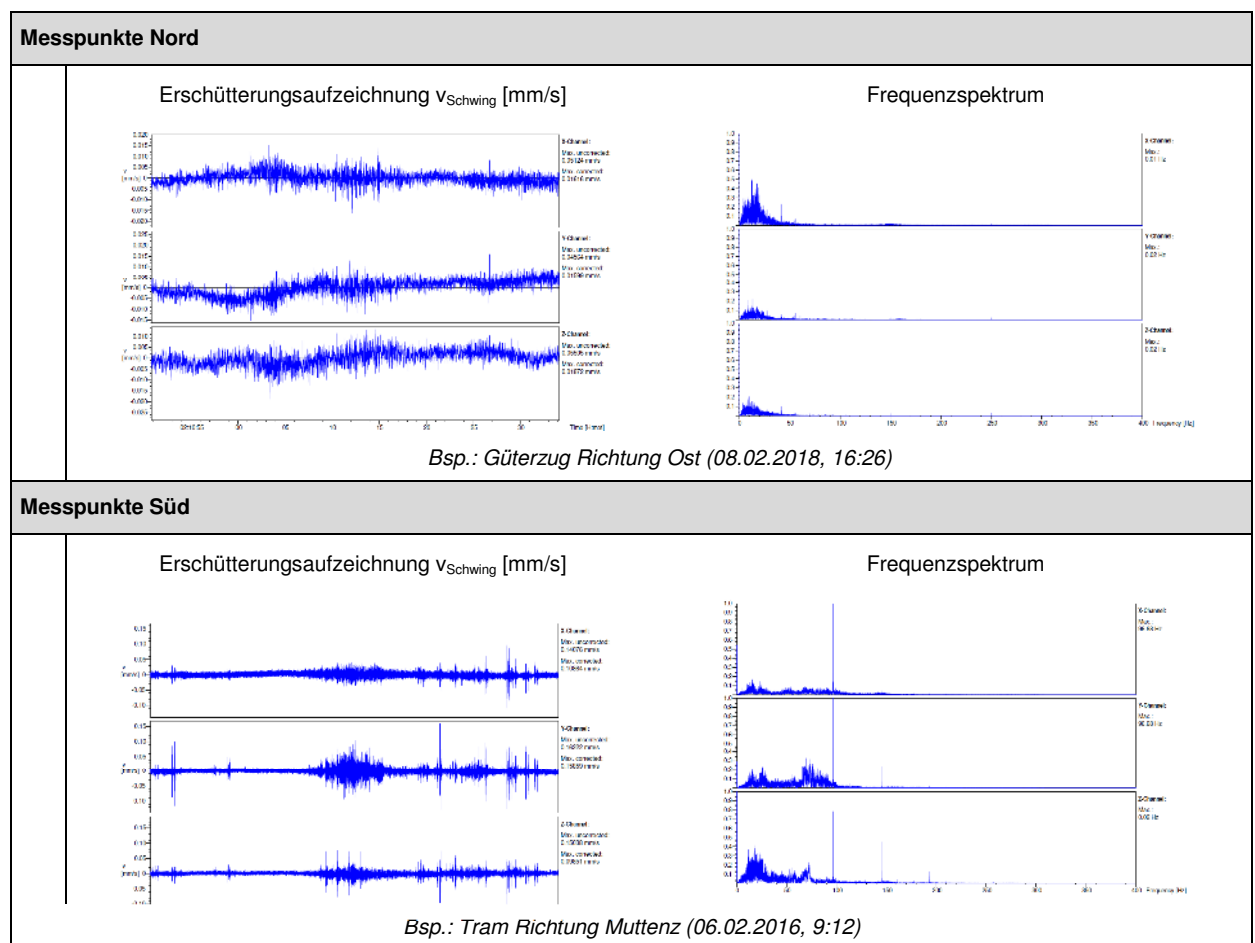


Tabelle 3: Beispielaufzeichnungen

5.3 Beurteilung der Situation aufgrund der Messresultate

Wie schon aus den Schrieben ersichtlich ist, heben sich die Erschütterungen der Züge kaum vom Hintergrund ab. Die Erschütterungen durch die Trams sind aber klar erkennbar und zeichnen sich durch Spitzen (Schläge) aus. Diese stammen vermutlich von den Uebergängen auf die Brücken.

6 Immissionsprognose

6.1 Grundlagen

Die reale Erschütterungsausbreitung im Erdreich ist eine komplizierte Überlagerung diverser Wellenarten und deren Reflektions- und Ausbreitungsverhalten. Ähnlich verhalten sich die Ankoppelung an ein Bauwerk sowie die Erschütterungsausbreitung in dessen Struktur. Eigenfrequenzen von Gebäudedecken und -bauteilen hängen sehr stark von der Konstruktionsart, der Materialwahl und den Randbedingungen (Bauteil aufgelegt / Bauteil eingespannt) ab. Erfolgt die Anregung in der Nähe einer solchen Eigenfrequenz können die Erschütterungen / Vibrationen als Folge von Resonanzerscheinungen um ein Mehrfaches verstärkt werden. Als abgestrahlter Körperschall bezeichnet man den im Innern der Räume hörbaren Luftschall, welcher durch die Vibrationen von Fussböden, Wänden und Decken hervorgerufen wird. Mit Hilfe einer Prognoserechnung werden die Immissionen im zukünftigen Bauwerk bestimmt, was mit einer gewissen Unsicherheit verbunden ist. Die grösste Unsicherheit, die Erschütterungsausbreitung im realen, vorherrschenden Untergrund, wurde aufgrund der Messung auf dem zukünftigen Baugrund reduziert.

6.2 Modell VIBRA 2

Dieses Modell bildet die Erschütterungsausbreitung vereinfacht ab. Die Erschütterung der Quelle (Eisenbahnverkehr, Strassenverkehr) wird durch gemessene Quell-Terzspektren definiert. Durch sukzessive Multiplikation mit Transfer-Terzspektren (Gebäudeankoppelung, etc.), welche die verschiedenen Einflüsse auf dem Übertragungsweg berücksichtigen, gelangt man zum Terzspektrum der Erschütterungen und des abgestrahlten Körperschalls beim Empfänger. Es werden in diesem Modell nur die Erschütterungen in z-Richtung (vertikal) berücksichtigt, da diese massgebend für das Ankoppelungsverhalten und die Erschütterungsausbreitung im Gebäude sind.

6.3 Transferspektren

Die Transferspektren für die Ankopplung (schweres Gebäude) des Bauwerks und die Verstärkung aufgrund der Deckenschwingungen (Betondecken; 15-25 Hz, 25-35 Hz, 35-45 Hz und 45-55 Hz als 1. Eigenfrequenz) stammen aus der Datenbank von VIBRA-2. Bezüglich der Ableitung des abgestrahlten Körperschalls wurde ebenfalls das Transferspektrum aus der Datenbank von VIBRA 2 (Messungen Ziegler Consultants, ZC 2010) entnommen. Das Ausbreitungsverhalten im Gebäude wurde durch die Firma Gruner anhand von Messungen in ähnlichen Gebäuden bestimmt.

6.4 Unsicherheit

Die Unsicherheiten auf die prognostizierten Werte wurden einerseits mit Hilfe der üblichen Regeln für die Fehler-Fortpflanzung und mit weiteren Abschätzungen aufgrund von Erfahrungswerten bestimmt.

6.5 Verkehrsfrequenzen

Es gelten folgende Verkehrsfrequenzen^{[6],[7]} pro Stunde im Durchschnitt des Jahres:

Gleis	Fahrzeuggattung	Tag (06-22) [h ⁻¹]	Nacht (22-06) [h ⁻¹]	Nacht (1 h max) [h ⁻¹]
500	Personenzüge	75.7	27.1	63.4
	Güterzüge	3.25	3.34	4.1
511	Personenzüge	3.6	0.6	1.8
	Güterzüge	3.1	3.1	6
522	Personenzüge	0	0	0
	Güterzüge	6	6	6.2
Linie 14	Tram	14.4	5.8	8

Tabelle 4: Verwendete Verkehrsfrequenzen

Die gemessenen Vorbeifahrten wurden als Basis für die Prognose verwendet.

6.6 Weitere Annahmen bezüglich Einflussbereich

Aufgrund der vorliegenden Messresultate sowie der zukünftigen Bebauungssituation ist davon auszugehen, dass die Bahn auf die nördlichen Gebäude und das Tram auf die südlichen Gebäude einwirken.

Wir haben die Immissionen nur auf die nächsten, an der Baulinie stehenden Gebäude berechnet.

6.7 Untersuchte Räume

Wir haben die Immissionen für Räume, die den Quellen am nächsten liegen, berechnet.

Da der Körperschall sehr von der ersten Eigenfrequenz der Decken der Räume abhängt, diese aber im Moment nicht bekannt sind, haben wir die Immissionen für 4 verschiedene Frequenzbereiche von 15 bis 55 Hz berechnet.

6.8 Resultate - Nördliche Gebäude (Einflussbereich Bahn)

Hochhaus Ost									
Erschütterungen									
Deckentyp	1. Eigenfrequenz	Tag [-]				Nacht [-]			
		KB _F , 95%		KB _{FTr}		KB _F , 95%		KB _{FTr}	
		Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit
Beton	15 - 25 Hz	0.042	50 %	0.019	50 %	0.042	50 %	0.013	50 %
	25 - 35 Hz	0.027	50 %	0.012	50 %	0.027	50 %	0.008	50 %
	35 - 45 Hz	0.026	50 %	0.012	50 %	0.026	50 %	0.008	50 %
	45 - 55 Hz	0.023	50 %	0.010	50 %	0.023	50 %	0.007	50 %
Anhaltswerte [-]		A _o = 5		A _r = 0.10		A _o = 0.60		A _r = 0.07	
Abgestrahlter Körperschall									
Deckentyp	1. Eigenfrequenz	Tag [dB(A)]				Nacht [dB(A)]			
		L _{eq} , 95% (1 Durchfahrt)		L _{eq} , 16h		L _{eq} , 95% (1 Durchfahrt)		L _{eq} , 1h max	
		Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit
Beton	15 - 25 Hz	26.2	± 3	14.2	± 3	26.2	± 3	14.8	± 3
	25 - 35 Hz	29.0	± 3	17.1	± 3	29.0	± 3	17.6	± 3
	35 - 45 Hz	33.8	± 3	21.8	± 3	33.8	± 3	22.4	± 3
	45 - 55 Hz	24.9	± 3	13.0	± 3	24.9	± 3	13.5	± 3
Planungsrichtwerte [dB(A)]		-	-	40		-	-	30	

Hochhaus West									
Erschütterungen									
Deckentyp	1. Eigenfrequenz	Tag [-]				Nacht [-]			
		KB _F , 95%		KB _{FTr}		KB _F , 95%		KB _{FTr}	
		Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit
Beton	15 - 25 Hz	0.027	50 %	0.012	50 %	0.027	50 %	0.009	50 %
	25 - 35 Hz	0.019	50 %	0.008	50 %	0.019	50 %	0.006	50 %
	35 - 45 Hz	0.017	50 %	0.008	50 %	0.017	50 %	0.005	50 %
	45 - 55 Hz	0.015	50 %	0.007	50 %	0.015	50 %	0.005	50 %
Anhaltswerte [-]		A _o = 5		A _r = 0.10		A _o = 0.60		A _r = 0.07	
Abgestrahlter Körperschall									
Deckentyp	1. Eigenfrequenz	Tag [dB(A)]				Nacht [dB(A)]			
		L _{eq} , 95% (1 Durchfahrt)		L _{eq} , 16h		L _{eq} , 95% (1 Durchfahrt)		L _{eq} , 1h max	
		Mittel	Unsch. ²	Mittel	Unsch. ²	Mittel	Unsch. ²	Mittel	Unsch. ²
Beton	15 - 25 Hz	20.6	± 3	9.1	± 3	20.6	± 3	9.6	± 3
	25 - 35 Hz	23.4	± 3	11.8	± 3	23.4	± 3	12.4	± 3
	35 - 45 Hz	27.9	± 3	16.3	± 3	27.9	± 3	16.9	± 3
	45 - 55 Hz	20.3	± 3	8.8	± 3	20.3	± 3	9.3	± 3
Planungsrichtwerte [dB(A)]		-	-	40		-	-	30	

Tabelle 5: Prognostizierte Immissionen für die nördlichen Gebäude

6.9 Resultate - Südliche Gebäude (Einflussbereich Tram)

Hochhaus Ost									
Erschütterungen									
Deckentyp	1. Eigenfrequenz	Tag [-]				Nacht [-]			
		KB _F , 95%		KB _{FTr}		KB _F , 95%		KB _{FTr}	
		Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit
Beton	15 - 25 Hz	0.108	50 %	0.025	50 %	0.108	50 %	0.016	50 %
	25 - 35 Hz	0.064	50 %	0.015	50 %	0.064	50 %	0.009	50 %
	35 - 45 Hz	0.052	50 %	0.012	50 %	0.052	50 %	0.008	50 %
	45 - 55 Hz	0.047	50 %	0.011	50 %	0.047	50 %	0.007	50 %
Anhaltswerte [-]		A _o = 5		A _r = 0.10		A _o = 0.60		A _r = 0.07	
Abgestrahlter Körperschall									
Deckentyp	1. Eigenfrequenz	Tag [dB(A)]				Nacht [dB(A)]			
		L _{eq} , 95% (1 Durchfahrt)		L _{eq} , 16h		L _{eq} , 95% (1 Durchfahrt)		L _{eq} , 1h max	
		Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit
Beton	15 - 25 Hz	31.1	± 3	18.3	± 3	31.1	± 3	15.8	± 3
	25 - 35 Hz	32.9	± 3	20.1	± 3	32.9	± 3	17.6	± 3
	35 - 45 Hz	36.8	± 3	24.0	± 3	36.8	± 3	21.4	± 3
	45 - 55 Hz	28.9	± 3	16.1	± 3	28.9	± 3	13.6	± 3
Planungsrichtwerte [dB(A)]		-		40		-		30	

Hochhaus West									
Erschütterungen									
Deckentyp	1. Eigenfrequenz	Tag [-]				Nacht [-]			
		KB _F , 95%		KB _{FTr}		KB _F , 95%		KB _{FTr}	
		Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit
Beton	15 - 25 Hz	0.273	50 %	0.063	50 %	0.273	50 %	0.040	50 %
	25 - 35 Hz	0.172	50 %	0.040	50 %	0.172	50 %	0.025	50 %
	35 - 45 Hz	0.147	50 %	0.034	50 %	0.147	50 %	0.021	50 %
	45 - 55 Hz	0.135	50 %	0.031	50 %	0.135	50 %	0.020	50 %
Anhaltswerte [-]		A _o = 5		A _r = 0.10		A _o = 0.60		A _r = 0.07	
Abgestrahlter Körperschall									
Deckentyp	1. Eigenfrequenz	Tag [dB(A)]				Nacht [dB(A)]			
		L _{eq} , 95% (1 Durchfahrt)		L _{eq} , 16h		L _{eq} , 95% (1 Durchfahrt)		L _{eq} , 1h max	
		Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit
Beton	15 - 25 Hz	43.5	± 3	30.7	± 3	43.5	± 3	28.1	± 3
	25 - 35 Hz	45.3	± 3	32.5	± 3	45.3	± 3	30.0	± 3
	35 - 45 Hz	49.2	± 3	36.4	± 3	49.2	± 3	33.9	± 3
	45 - 55 Hz	41.1	± 3	28.3	± 3	41.1	± 3	25.8	± 3
Planungsrichtwerte [dB(A)]		-		40		-		30	

Tabelle 6: Prognostizierte Immissionen für die südlichen Gebäude (rot markiert die Ueberschreitung des Grenzwertes)

7 Schlussfolgerung

Die nördlichen Gebäude mit empfindlicher Nutzung hinsichtlich Erschütterungsimmissionen sind die Hochhäuser. Betrachtet man die Resultate der Immissionsprognose, so kann festgestellt werden, dass hinsichtlich der Erschütterungen und des abgestrahlten Körperschalls keine störende Einwirkung bzw. keine Probleme zu erwarten sind.

Das südliche Hochhaus West mit empfindlicher Nutzung liegt an der Tramlinie. Der prognostizierte abgestrahlte Körperschall liegt in der Nacht über dem Richtwert. Der Einbau eines Erschütterungsschutzes wird empfohlen.

8 Erschütterungsschutz

Die Resultate der Immissionsprognose zeigen klar, dass im südlichen Hochhaus West eine störende Einwirkung von abgestrahltem Körperschall nicht ausgeschlossen werden kann. Das Haus muss durch den Einbau einer Erschütterungs-Abminderung geschützt werden. Da die Erschütterungen über die Tiefe klar abnehmen, genügt es, die Aussenwand zum Tram der 2 ersten Untergeschosse elastisch zu entkoppeln. Die Entkoppelung ist zudem 10 m um die Ecke nach Norden zu ziehen.

8.1 Spezifikation

Wir empfehlen eine Entkoppelung mit folgenden Spezifikationen:

Material:	Elastomerkorn-Matten, ISOPOL 160-30 (HBT-ISOL) oder gleichwertiges anderes Produkt
Einbaubereich:	Aussenwand 1. und 2. Untergeschoss in Richtung Tramlinie
Seitliche Verlängerung:	Die Elastomerkorn-Matten sind, falls dies möglich ist, auch in einem Teilbereich der Ost- und Westfassade ca. 10 m ab Südfassade anzubringen.
Zusatzbemerkungen:	Der Abschluss an der Oberfläche (Strassen- bzw. Gehsteig-Niveau) ist ebenfalls elastisch auszuführen (durch eine geeignete Fuge oder ähnliches)

8.2 Wirkung des Erschütterungsschutzes

Bei einem ähnlichen Projekt mit derselben Ausgangssituation wurden aufwändige FE-Simulationen zur Ermittlung der Wirkung eines solchen Erschütterungsschutzes (Entkoppelung der Fundament-Aussenwand) durchgeführt und die Wirkung später messtechnisch nachgewiesen. Die resultierenden Ergebnisse sind in die Erstellung der Immissionsprognose mit Erschütterungsschutz eingeflossen.

Hochhaus West mit Massnahmen									
Erschütterungen									
Deckentyp	1. Eigenfrequenz	Tag [-]				Nacht [-]			
		KB _{F, 95%}		KB _{FTr}		KB _{F, 95%}		KB _{FTr}	
		Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit
Beton	15 - 25 Hz	0.136	50 %	0.031	50 %	0.136	50 %	0.020	50 %
	25 - 35 Hz	0.082	50 %	0.019	50 %	0.082	50 %	0.012	50 %
	35 - 45 Hz	0.082	50 %	0.019	50 %	0.082	50 %	0.012	50 %
	45 - 55 Hz	0.086	50 %	0.020	50 %	0.086	50 %	0.013	50 %
Anhaltswerte [-]		A _o = 5		A _r = 0.10		A _o = 0.60		A _r = 0.07	
Abgestrahlter Körperschall									
Deckentyp	1. Eigenfrequenz	Tag [dB(A)]				Nacht [dB(A)]			
		L _{eq, 95%} (1 Durchfahrt)		L _{eq, 16h}		L _{eq, 95%} (1 Durchfahrt)		L _{eq, 1h max}	
		Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit	Mittel	Unsicherheit
Beton	15 - 25 Hz	32.3	± 3	19.5	± 3	32.3	± 3	17.0	± 3
	25 - 35 Hz	34.1	± 3	21.3	± 3	34.1	± 3	18.7	± 3
	35 - 45 Hz	38.5	± 3	25.7	± 3	38.5	± 3	23.1	± 3
	45 - 55 Hz	30.3	± 3	17.5	± 3	30.3	± 3	15.0	± 3
Planungsrichtwerte [dB(A)]		- -		40		- -		30	

Tabelle 7: Prognostizierte Immissionen für das südliche Hochhaus West mit Erschütterungsschutz

9 Schlussbeurteilung

Werden die Resultate der Immissionsprognose (südliches Hochhaus West) mit Erschütterungsschutz betrachtet, so kann festgestellt werden, dass die Erschütterungen wie auch der abgestrahlte Körperschall mit einer Entkoppelung der Fundament-Aussenmauer (1. und 2. Untergeschoss) erheblich tiefer liegen. Die Grenzwerte werden unter Einbezug der Unsicherheit eingehalten.

Gruner AG

Michael Fäs
 Abteilungsleiter
 Bauphysik, Akustik

Dr. Markus Ringger
 Senior Projektleiter
 Bauphysik, Akustik