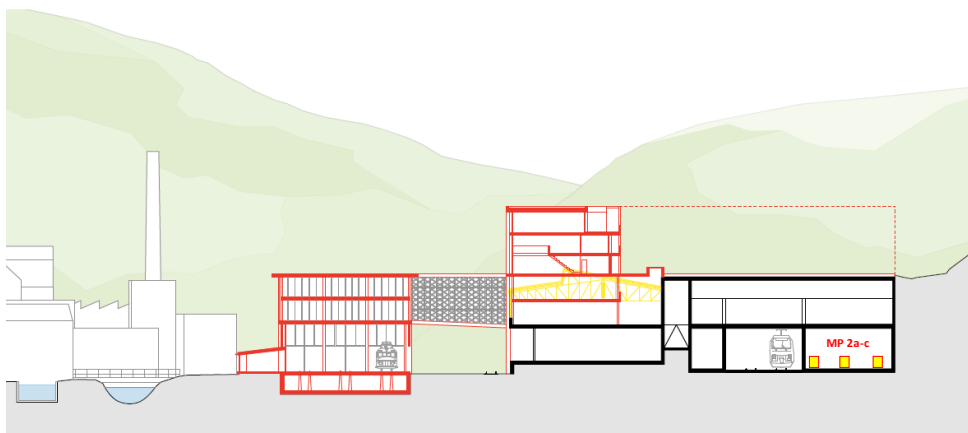


Erschütterungen und Körperschall

Immissionsprognosen für die Aufstockung Lager 88, Aathal-Seegräben



Zürich, 31.5.2016
Bericht Nr. 2420

Inhalt

1	Einführung	3
2	Immissionsprognose	5
2.1	<i>Zugverkehr</i>	5
2.2	<i>Quell- und Transferspektren</i>	5
2.3	<i>Immissionsberechnung</i>	8
3	Normenvergleich	11
4	Zusammenfassung und Beurteilung	12

1 Einführung

Über dem „Lager 88“ in Aathal ist eine Aufstockung geplant (siehe Bild 1.1 und 1.2). Die Eisenbahnlinie verläuft durch das Gebäude. Durch die von den Zügen erzeugten Vibrationen gelangen Schwingungen in das Gebäude und führen zu Erschütterungen und zu abgestrahltem Schall (sog. Körperschall). Basierend auf den bereits vorhandenen Messungen (Bericht 2346 vom 21.12.15) soll abgeklärt werden, ob diese Vibrationen in den Gebäuden zu störenden Erschütterungen und zu hörbaren Körperschall-Immissionen führen und ob und allenfalls welche Massnahmen zur Reduktion solcher Immissionen erforderlich sind.

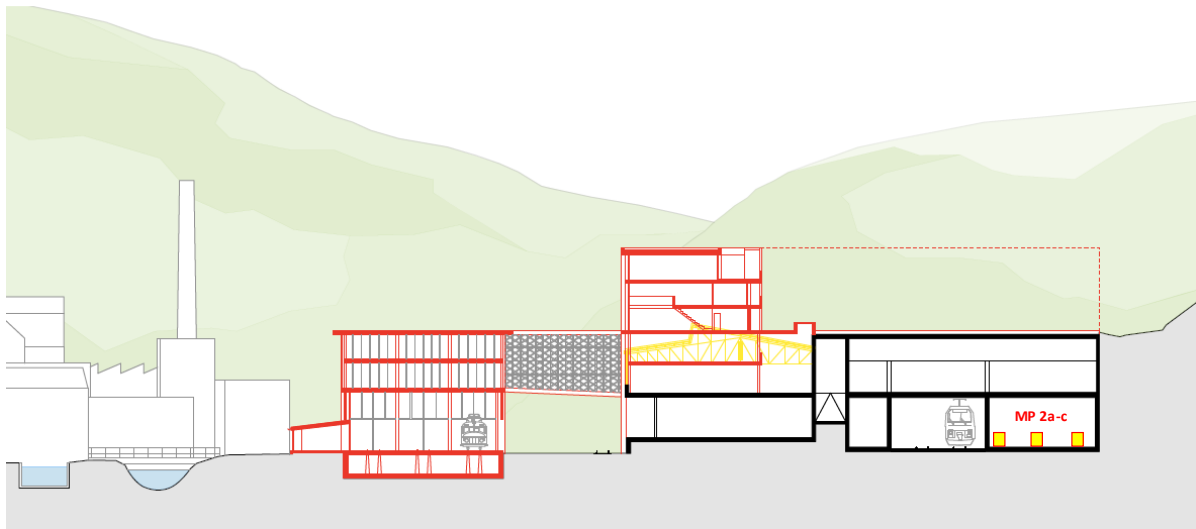


Bild 1.1 Schnitt mit Darstellung der Aufstockung und der Messpunkte aus der Messung vom Dezember 2015

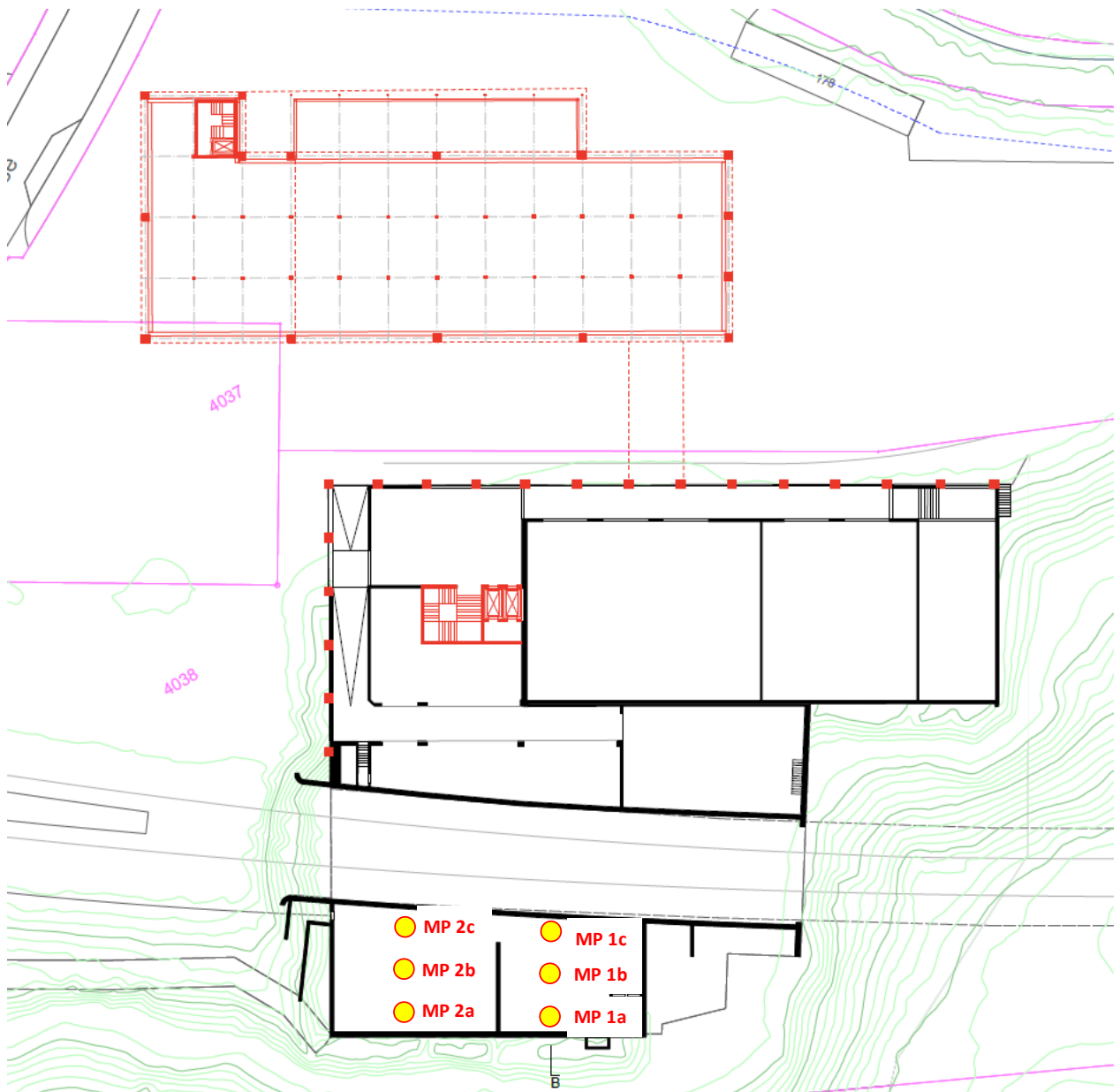


Bild 1.2 Grundriss mit Darstellung der Aufstockung und der Messpunkte aus der Messung vom Dezember 2015

2 Immissionsprognose

2.1 Zugverkehr

In nachstehender Tabelle sind die Zugsfrequenzen zusammengestellt:

Gleise und Züge

Gleis	Name:	Strecke	Zug-Nr	Zugtyp	Fahrgeschw	Freq tags	Länge tags	Freq nachts	Länge nachts	Freq nachts max	
1	Alle Gleise	Aathal	1	Zugmix	Aathal norm	80	12.3	300	4.125	300	9
Summe:						12.3		4.13		9	

Bezüglich Fahrgeschwindigkeit wurde angenommen, dass die während den Messungen vom Dezember 2015 gefahrenen Geschwindigkeiten repräsentativ sind, d.h. es wurde keine Geschwindigkeitskorrektur vorgenommen.

2.2 Quell- und Transferspektren

In Bild 2.2 ist das Prinzip der Immissionsberechnung mittels Quell- und Transferspektren schematisch dargestellt. Ausgehend von einem Quellspektrum, das in der Regel an einem Frei-Feld-Messpunkt neben der Eisenbahntrasse gemessen wurde, errechnet sich das Erschütterungsspektrum vor dem Gebäude durch Multiplikation des Quellspektrums mit dem Frei-Feld-Abminderungsspektrum. Die Erschütterungen auf dem Fundament und auf der Geschossdecke berechnen sich in analoger Weise durch sukzessive Multiplikation mit den entsprechenden Spektren. Auch die Körperschall-Immission berechnet sich nach diesem Prinzip, indem das Deckenspektrum mit dem Transferspektrum zwischen Erschütterung und Körperschall multipliziert wird.

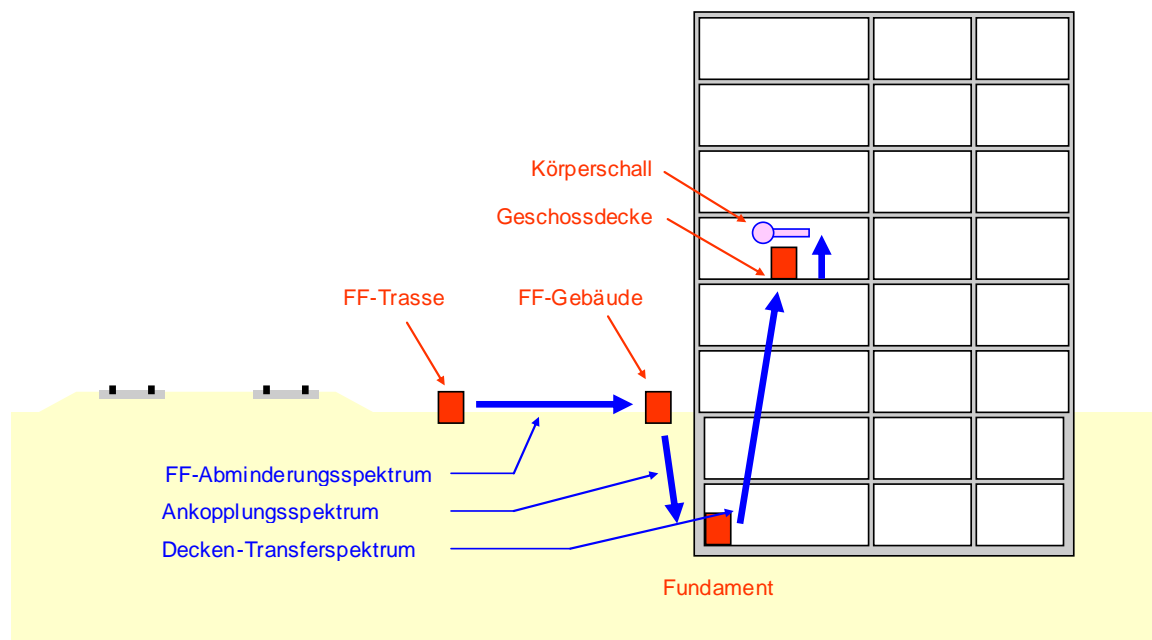


Bild 2.2 Prinzip der Immissionsberechnung mittels Quell- und Transferspektren

Für die Definition des Quellspektrums wurden im vorliegenden Projekt die auf der Fundamentplatte beim Messpunkten MP 2c gemessenen Spektren verwendet (vgl. Bericht 2346). Das Quellspektrum wurde als Mittelwertspektrum von 150 Zugdurchfahrten berechnet. Während den damaligen Messungen von 7 Tagen verkehrten an einem Tage 4 Züge mit extrem starken Erschütterungen. Wahrscheinlich handelt es sich um einen einzelnen Zug mit

schadhaften Rädern, der an diesem Tage viermal verkehrte. Das Terzbandspektrum für diesen Zug ist in Bild 2.3 ebenfalls dargestellt. Für die Immissionsberechnung wird dieses Quellspektrum nicht verwendet.

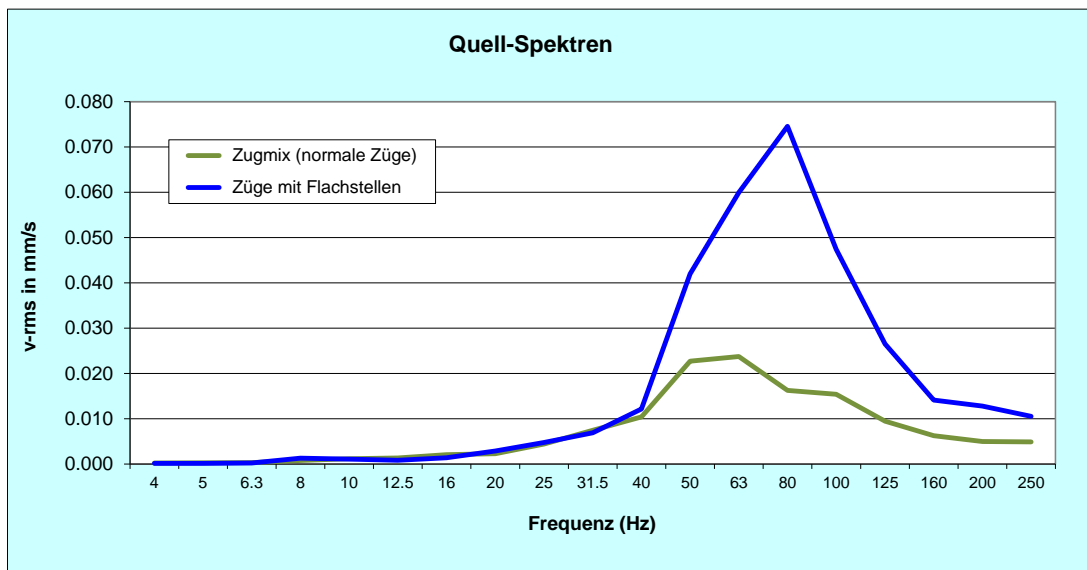


Bild 2.3 Quellspektrum als Mittelwert der Terzspektrern von MP 2c

Als Transfer-Spektren wurden die Spektren aus der VIBRA-3-Datenbank verwendet. In den Bildern 2.4a bis f sind alle verwendeten Spektren zusammengestellt.

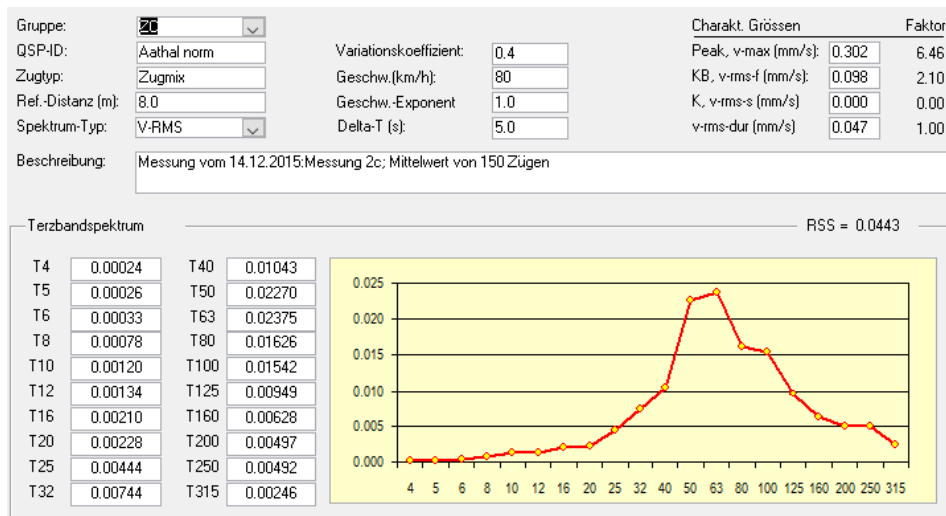


Bild 2.4a:

Quell-Spektrum für „normale“ Züge

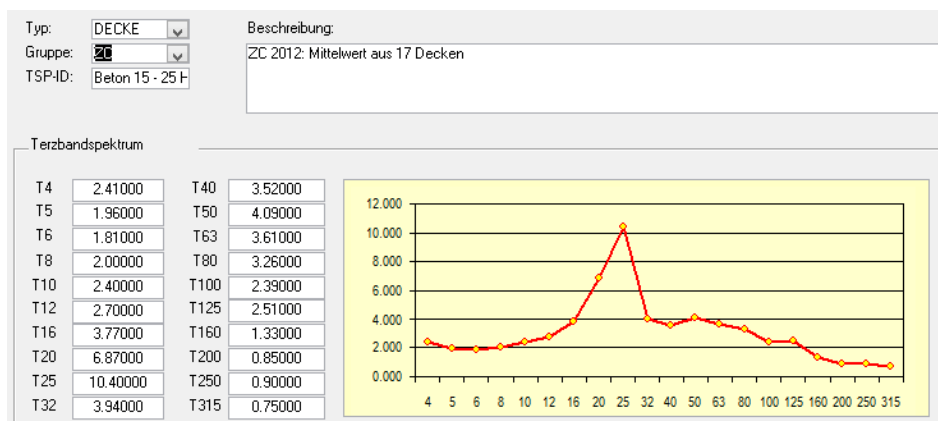


Bild 2.4b:

Deckentransferspektrum: Betondecken 15 - 25 Hz

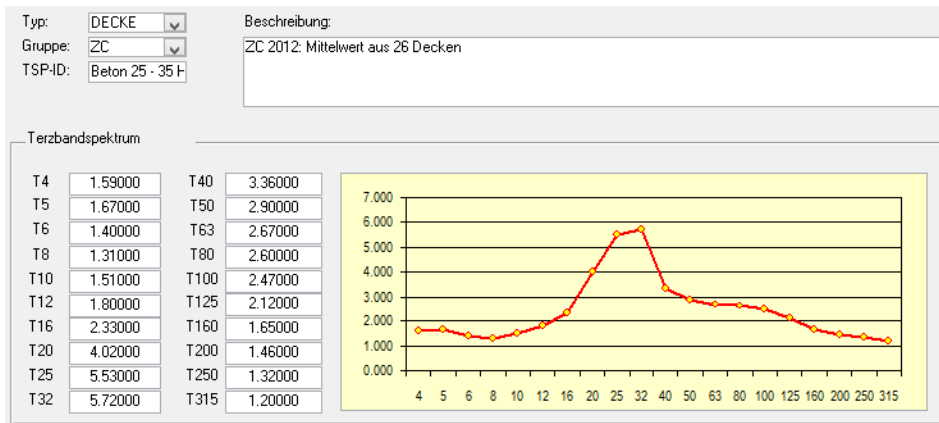


Bild 2.4c:

Deckentransferspektrum: Betondecken 25 - 35 Hz

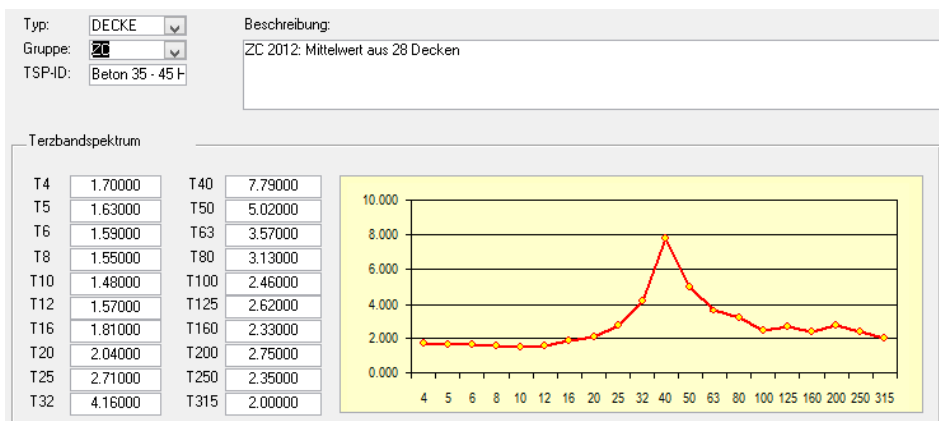


Bild 2.4d:

Deckentransferspektrum: Betondecken 35 - 45 Hz

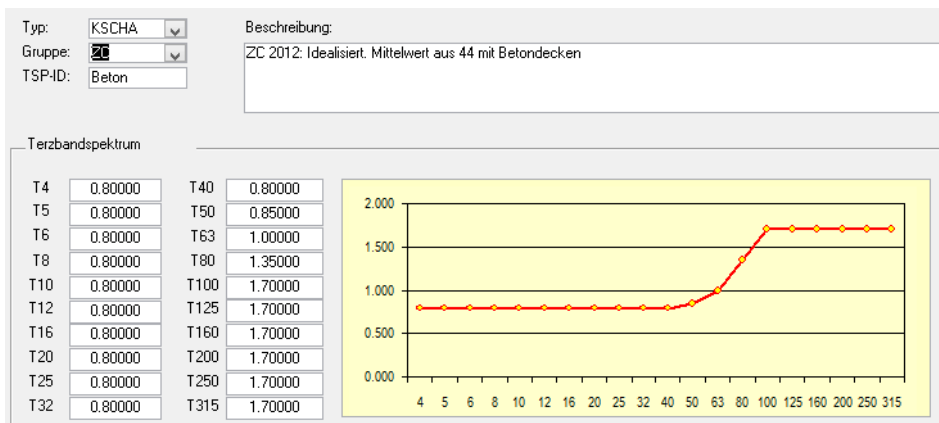


Bild 2.4e:

Körperschall-Transferspektrum: für Wohnungen mit Betondecken

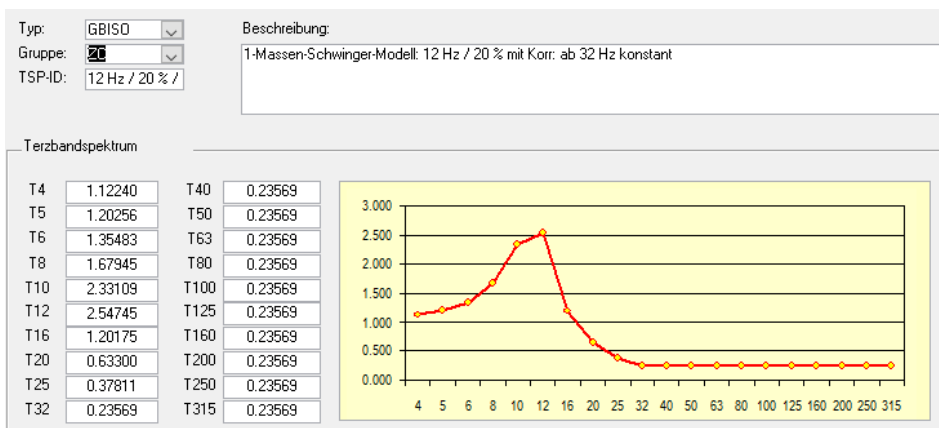


Bild 2.4f:

Einfügespektrum für elastische Gebäudelagerung: für 12 Hz Abstimmfrequenz und 20 % Dämpfung

2.3 Immissionsberechnung

In Bild 2.5a und b ist die Zusammenfassung der Ergebnisse der VIBRA-2-Berechnung zusammengestellt. Es wurden 3 Raumtypen berücksichtigt: Grosse Räume mit Spannweiten von 5 bis 6 m, Mittlere Räume mit Spannweiten von 4 bis 5 m und Kleine Räume mit Spannweiten von 3 bis 4 m. Die Berechnungen wurden für die Variante ohne Massnahmen und für die Variante mit einer elastischen Lagerung von 12 Hz durchgeführt.

VIBRA-2: Erschütterungs- und Körperschall-Immissionen

Projekt: Aathal

Datum: 31.05.2016

Nach ES-Norm: DIN 4150/2

Nach KS-Norm: BEKS

	Erschütterung				Körperschall			
	Tag		Nacht		Tag		Nacht	
	KBF-95%	KBFtr	KBF-95%	KBFtr	Leq 95% (1Z): dBA	Leq (16h): dBA	Leq 95% (1Z): dBA	Leq (1h): dBA
Aufstockung Lager 88								
Grosser Raum	0.557	0.107 !	0.557	0.062	59.3	42.9 !	59.3	41.5 !
Mittlerer Raum	0.441	0.085	0.441	0.049	58.9	42.5 !	58.9	41.2 !
Kleiner Raum	0.635	0.122 !	0.635 !	0.071 !	61.5	45.1 !	61.5	43.7 !

Bild 2.5a Zusammenstellung der Ergebnisse der VIBRA-2-Berechnung ohne Massnahmen

VIBRA-2: Erschütterungs- und Körperschall-Immissionen

Projekt: Aathal mit MN

Datum: 31.05.2016

Nach ES-Norm: DIN 4150/2

Nach KS-Norm: BEKS

	Erschütterung				Körperschall			
	Tag		Nacht		Tag		Nacht	
	KBF-95%	KBFtr	KBF-95%	KBFtr	Leq 95% (1Z): dBA	Leq (16h): dBA	Leq 95% (1Z): dBA	Leq (1h): dBA
Aufstockung Lager 88								
Grosser Raum	0.152	0.029	0.152	0.017	46.7	30.3	46.7	29.0
Mittlerer Raum	0.114	0.022	0.114	0.013	46.4	30.0	46.4	28.6
Kleiner Raum	0.153	0.030	0.153	0.017	48.9	32.5	48.9	31.2 !

Bild 2.5b Zusammenstellung der Ergebnisse der VIBRA-2-Berechnung mit Massnahmen

In Bild 2.6a sind die Ergebnisse für eine einzelne Zugdurchfahrt für einen mittleren Raum für die Variante ohne Massnahmen dargestellt. Man erkennt, dass bei einem durchschnittlichen Zug Erschütterungen von 0.8 mm/s und Körperschall von 54 dBA zu erwarten sind.

VIBRA-2: Resultate für eine einzelne Zugdurchfahrt

Objekt und Zugtyp

Projekt: Aathal
 Datum: 31.05.2016
 Gebäude: Aufstockung Lager 88
 Raum: Mittlerer Raum
 Gleis: Alle Gleise
 Zugtyp: Zugmix / 80 km/h

Mittelwerte für eine Zugdurchfahrt

Messpunkt	v-rms dur. (mm/s)	K v-rms-s (mm/s)	KB vrms-f (mm/s)	Peak v-max (mm/s)
QSP Quelle	0.044	0.000	0.093	0.286
NF Neben Gleis	0.044	0.000	0.093	0.286
FF Im Freien neben Gebäude	0.044	0.000	0.093	0.286
FU Gebäudefundament	0.044	0.000	0.093	0.286
DE Geschossdecke	0.126	0.000	0.265	0.816
Körperschall (dBA)	54.5			

Terzband-Spektren für die charakteristischen Punkte:

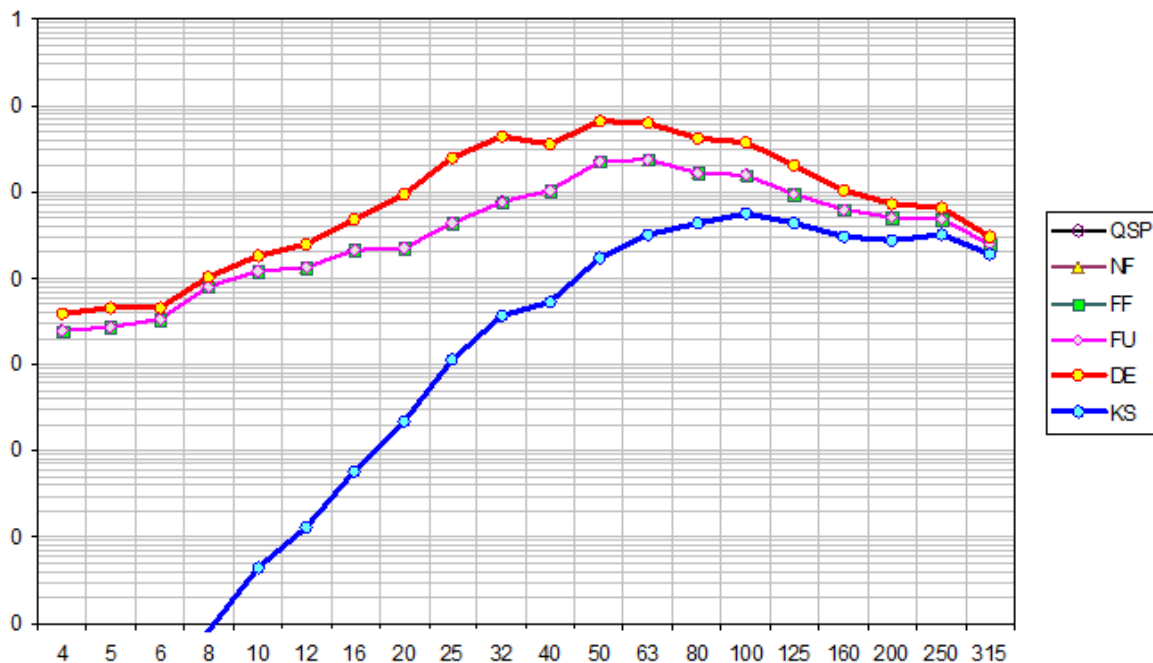


Bild 2.6a Ergebnisse der VIBRA-2-Berechnung für die Variante ohne Massnahmen für einen einzelnen Raum bei der Durchfahrt eines Zuges

In Bild 2.6b sind die Ergebnisse für eine einzelne Zugdurchfahrt für einen mittleren Raum für die Variante mit Massnahmen dargestellt. Man erkennt, dass bei einem durchschnittlichen Zug Erschütterungen von 0.2 mm/s und Körperschall von 42 dBA zu erwarten sind.

VIBRA-2: Resultate für eine einzelne Zugdurchfahrt

Objekt und Zugtyp

Projekt: Aathal mit MN
 Datum: 31.05.2016
 Gebäude: Aufstockung Lager 88
 Raum: Mittlerer Raum
 Gleis: Alle Gleise
 Zugtyp: Zugmix / 80 km/h

Mittelwerte für eine Zugdurchfahrt

Messpunkt	v-rms dur. (mm/s)	K v-rms-s (mm/s)	KB vrms-f (mm/s)	Peak v-max (mm/s)
QSP Quelle	0.044	0.000	0.093	0.286
NF Neben Gleis	0.044	0.000	0.093	0.286
FF Im Freien neben Gebäude	0.044	0.000	0.093	0.286
FU Gebäudefundament	0.012	0.000	0.025	0.076
DE Geschossdecke	0.033	0.000	0.068	0.210
Körperschall (dBA)	42.0			

Terzband-Spektren für die charakteristischen Punkte:

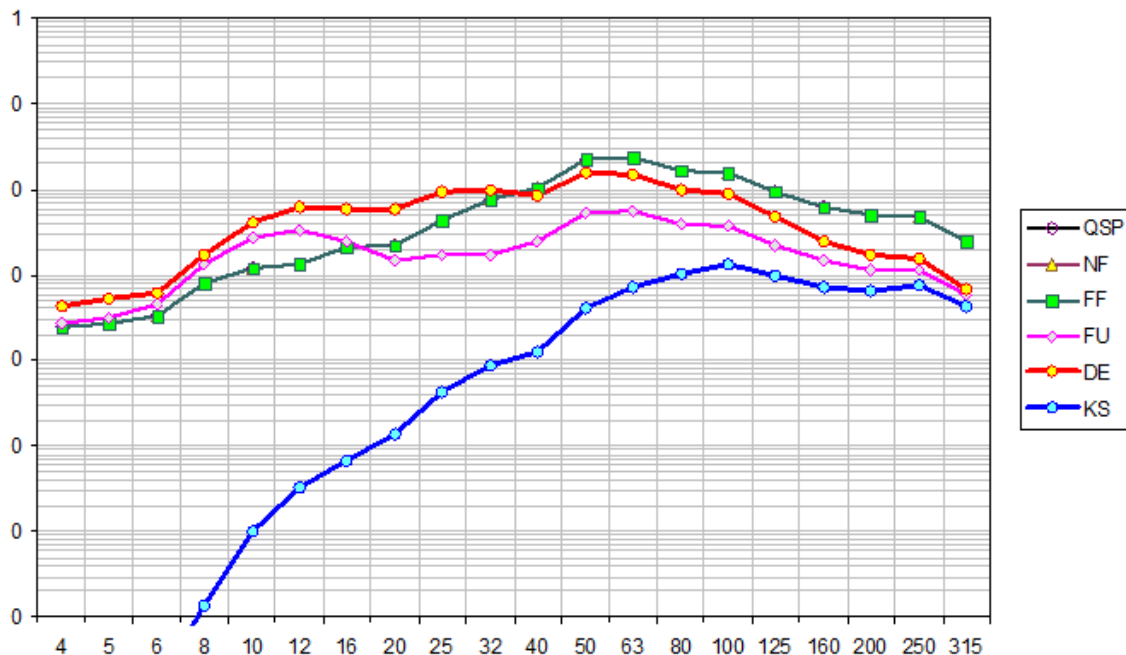


Bild 2.6b Ergebnisse der VIBRA-2-Berechnung für die Variante ohne Massnahmen für einen einzelnen Raum bei der Durchfahrt eines Zuges

3 Normenvergleich

Gemäss DIN 4150/2 sind für die Erschütterungen der **KB_{FTr}-Wert** und der **KB_{Fmax}-Wert** zu bestimmen und mit den zugehörigen Richtwerten zu vergleichen. Aufgrund der Erschütterungsprognose ergeben sich für folgende Werte für die Erschütterungsimmissionen:

Tabelle 3.1 Vergleich der KB-Werte mit Anhaltswerten

Periode	KB _{FTr}	KB _{Fmax}	KB _{FTr}	KB _{Fmax}	Anhaltswerte für Mischzonen	Anhaltswerte für Wohnzonen
	ohne Massnahmen		mit Massnahmen			
Tag	0.122		0.03		A _r = 0.10	A _r = 0.07
Nacht	0.071		0.017		A _r = 0.07	A _r = 0.05
Tag		0.635		0.153	A ₀ = 3.0	A ₀ = 3.0
Nacht		0.635		0.153	A ₀ = 0.6	A ₀ = 0.6

Für den Körperschall existieren in Deutschland keine Anhaltswerte. In Tabelle 3.2 werden – zu Vergleichszwecken – die Grenzwerte der Schweizer Norm BEKS aufgeführt.

Tabelle 3.2 Vergleich der Körperschall-Immissionen mit BEKS-Richtwerten

Periode	L _K -Wert ohne Massnahmen	L _K -Wert mit Massnahmen	Planungsrichtwert für L _K für Mischzone	Planungsrichtwert für L _K für Wohnzone
Tag	45.1 dBA	32.5 dBA	40 dBA	35 dBA
Nacht – 1h	43.7 dBA	31.2 dBA	30 dBA	25 dBA

Die Ergebnisse zeigen Folgendes:

- Ohne Massnahmen werden die Anhaltswerte für Erschütterungen weder für Wohnzonen noch für Mischzonen eingehalten.
- Ohne Massnahmen werden die Anhaltswerte für Körperschall weder für Wohnzonen noch für Mischzonen eingehalten.
- Mit einer elastischen Lagerung abgestimmt auf 12 Hz können die Anhaltswerte der Erschütterungen für Wohn- und Mischzone gut eingehalten werden. Die Anhaltswerte des Körperschalls für Mischzone werden in grossen und mittleren Räumen nur knapp eingehalten. Für kleine Räume werden sie eventuell leicht überschritten.

4 Zusammenfassung und Beurteilung

Die Berechnungen zeigen, dass – wenn keine Massnahmen getroffen werden – die Erschütterungen im projektierten Gebäude Werte von 1.3 mm/s erreichen können. Solche Erschütterungen sind gut spürbar und werden als stark störend empfunden. Der sekundäre abgestrahlte Körperschall kann 61 dBA erreichen. Dies wird ebenfalls als stark störend empfunden.

Mit einer elastischen Lagerung lassen sich die Erschütterungen auf 0.4 mm/s reduzieren, der Körperschall auf 49 dBA. In Bild 4.1 sind die Wahrnehmung der Erschütterungen und des Körperschalls graphisch dargestellt.

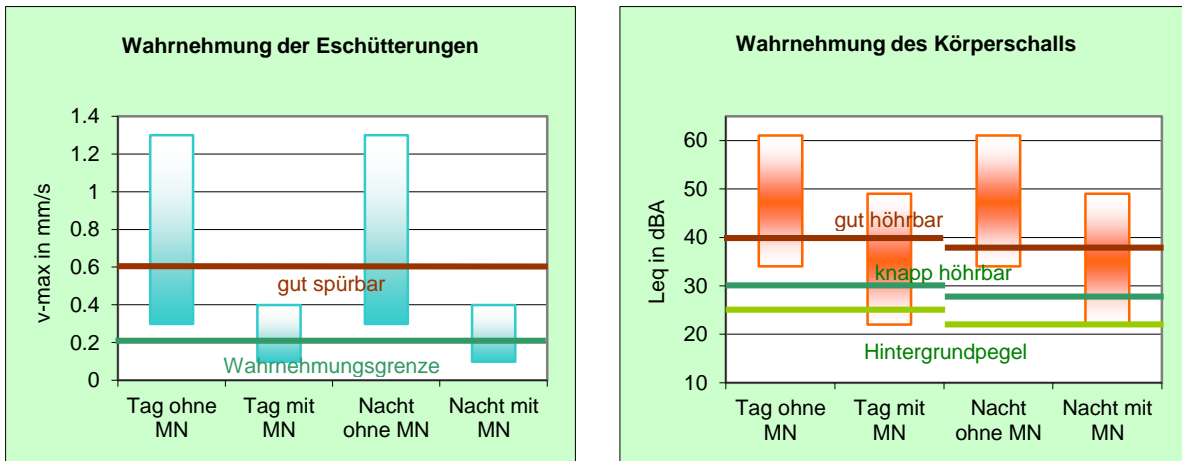


Fig. 4.1 Wahrnehmung der Erschütterungen und des Körperschalls

Der Vergleich der Immissionen mit den Anhaltswerten der DIN 4150/2 bzw. der BEKS ist in Bild 4.2 dargestellt. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Überbauung als Mischzone einzustufen ist.

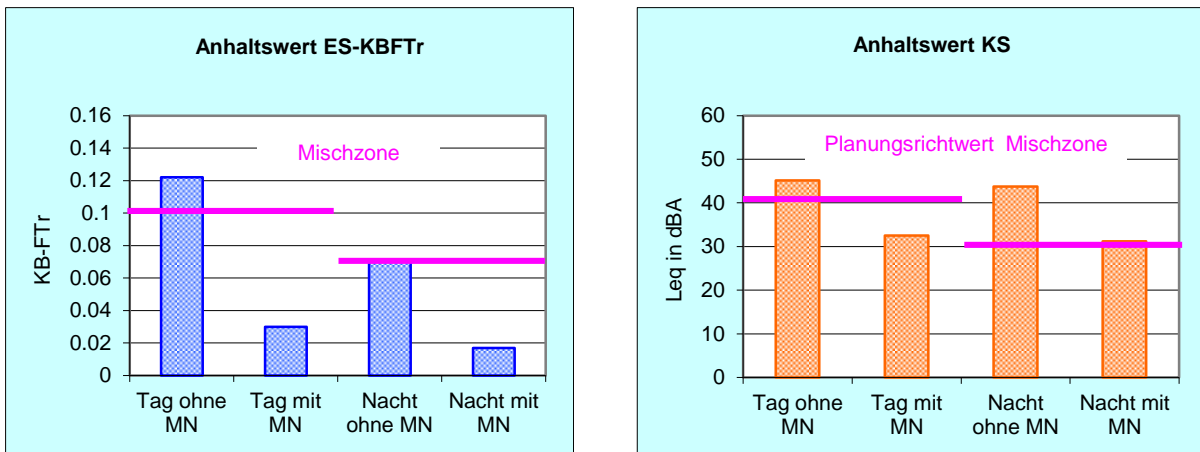


Fig. 4.2 Vergleich mit den Richtwerten der DIN 4150/2 bzw. der BEKS für Erschütterungen und Körperschall

Der Vergleich mit den Normen führt zu folgenden Ergebnissen:

- Ohne Massnahmen werden weder die Anhaltswerte für Erschütterungen noch diejenigen für Körperschall eingehalten.
- Mit einer elastischen Lagerung können die Anhaltswerte der Erschütterungen für Wohn- und Mischzone gut eingehalten werden. Die Anhaltswerte des Körperschalls für Mischzonen werden in grossen und mittleren Räumen nur knapp eingehalten. Für kleine Räume werden sie eventuell leicht überschritten.

Die Möglichkeiten für die elastische Lagerung von Gebäuden werden stark durch die Randbedingungen bestimmt. Im vorliegenden Fall wäre eine vollflächige Trennlage aus PU-Schaum mit einer Abstimmung auf 12 Hz angebracht. Die Kosten hierfür liegen in der Regel zwischen 5 und 10 % der Rohbausumme.

Für eine noch stärkere Reduktion der Immissionen müsste eine noch tiefere Abstimmung gewählt werden. Eventuell sind dann elastisch gelagerte Abfangträger erforderlich.

Zürich, 31.5.2016

ZIEGLER CONSULTANTS

Dr. A. Ziegler