



TROMBIK INGENIEURE AG

Dipl. Ing. ETH/SIA/suisse.ing

Limmattalstrasse 344

CH - 8049 Zürich

Tel: +41 44 344 41 71

Mail: trombik@trombik.ch

Web: www.trombik.ch

MWST: CHE-103.468.676

**Weyermannshaus West, Bern
Erschütterungs- und Körperschallimmissionen
infolge Bahnbetriebs (offene Strecke)**

EKS-Schutzmassnahmen: Voruntersuchungen

Vibrationsmessungen, Prognoseberechnungen, Beurteilung

Bericht Nr.: 23.04464.EDS.001.0

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG.....	3
2.	BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN.....	5
2.1.	Belästigung des Menschen	5
2.2.	Wohnkomfort	7
2.3.	Erhöht erschütterungsempfindliche Nutzer / Geräte	8
2.4.	Erschütterungsempfindliche Geräte	8
2.5.	Schäden an Bauwerken	8
3.	MESSKAMPAGNE UND MESSAUSWERTUNGEN.....	9
3.1.	Messpunkte.....	9
3.2.	Technische Angaben zu den Messungen und Auswertungen	9
3.3.	Messresultate	9
4.	MODELL UND PROGNOSEN.....	13
4.1.	Ausbreitungsmodell.....	13
4.2.	Prognoseberechnungen.....	14
4.3.	Streckenausbau.....	14
4.4.	Baubereiche	14
4.5.	Modell- / Berechnungsparameter	15
4.6.	Zugsdaten	16
5.	BEURTEILUNG.....	17
5.1.	Einstufung	17
5.2.	Beurteilung nach BEKS	17
5.3.	Behaglichkeit des Menschen und Wertschöpfung	19
5.4.	Sensitivitätsbetrachtungen.....	21
6.	MÖGLICHE MASSNAHMEN	22
6.1.	Bauliche Massnahmen an der Quelle	22
6.2.	Bodenschlitze	22
6.3.	Massnahmen empfängerseits.....	22
6.4.	Innenausbau.....	23
6.5.	Mögliche Massnahmen Baubereich A.II – in Weichennähe.....	23
7.	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	25
8.	BEILAGENVERZEICHNIS	26

1. EINLEITUNG

Das Gebiet Ausserholligen in der Stadt Bern gilt als Entwicklungsschwerpunkt. Ein zentrales Teilgebiet davon ist das heute gewerblich bzw. industriell genutzte "Weyermannshaus West-Areal" nördlich der Station Bern Stöckacker. Die Stadt Bern und die Grundeigentümerinnen Bürgergemeinde Bern (BGB) und Post Immobilien verfolgen die Absicht, das Areal zu einem dichten, gemischt genutzten und öffentlich zugänglichen Quartier weiterzuentwickeln.



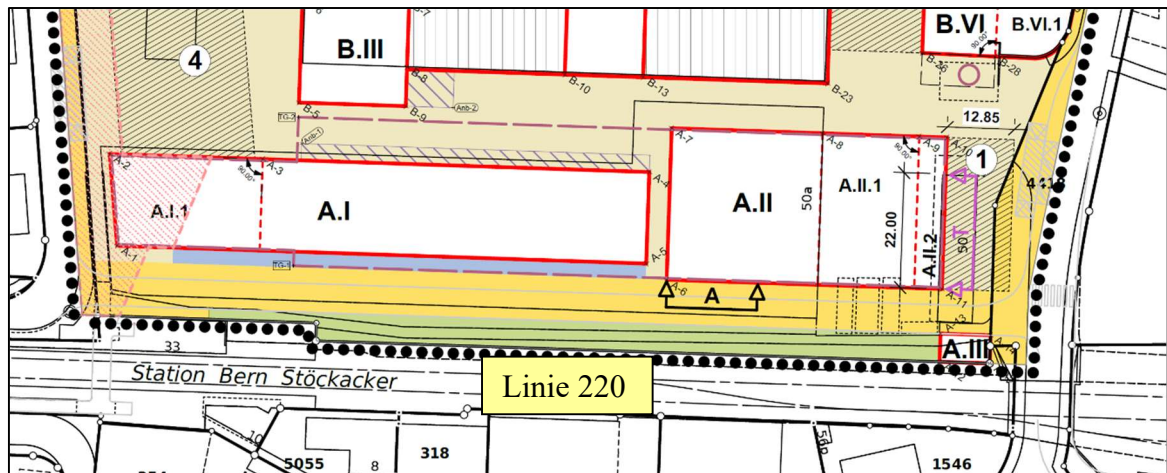
Modell Überbauung "Weyermannshaus West, Bern"

Zum Planungsperimeter gehört unter anderen die Parzelle Nr. 1885 im Besitz der Post Immobilien AG, auf welcher sich die geplanten Baubereiche A.I, A.II und A.III befinden. Die Baukörper mit zum Teil sensiblen Nutzungen (u.a. Wohnungen) werden somit auf einem erschütterungsvorbelasteten Grundstück errichtet. Das Baugelände soll daher auf seine Vorbelastung in Bezug auf Erschütterungs- und Körperschallimmissionen voruntersucht werden: Basierend auf Erschütterungsmessungen und Prognoseberechnungen soll die Vorbelastung als Folge von der angrenzenden Bahn-Erschütterungsquelle hochgerechnet und mit gängigen Richtwerten verglichen werden. Falls sich Erschütterungs- und Körperschallprobleme abzeichnen, sind mögliche Verbesserungsmassnahmen vorzuschlagen.

Die Firma TROMBIK Ingenieure AG, Zürich wurde von den Bauherren (Post Immobilien AG) beauftragt, entsprechende Untersuchungen durchzuführen. Die Untersuchungsergebnisse sind im vorliegenden Bericht in Kurzform zusammengefasst. Für weitergehende Betrachtungen stehen die Unterlagen im Büro zur Verfügung.

Das "Weyermannshaus West-Areal, Bern" grenzt an folgenden schienengebundenen Verkehrsträger:

- Bern Holligen – Bern Stöckacker (Linie 220)



2. BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN

Nachfolgend werden die Anforderungen hinsichtlich der durch die Bahn verursachten Erschütterungs- und Körperschallimmissionen in Kurzform zusammengefasst.

Nach geltender Rechtspraxis sind zur Erteilung der Baubewilligung durch die Behörden die Anforderungen der BEKS (Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen (BEKS) vom 20.12.1999, herausgegeben von BAV und BUWAL) einzuhalten. Zur Beurteilung der Erschütterungen verweist die BEKS auf die DIN 4150-2 (Juni 1999). Beim Körperschall gelten die Richtwerte der BEKS, die sich auf den L_{eq} des Tages, bzw. den L_{eq} der maximalen Nachtstunde beziehen. Vgl. Kap. 2.1.

Im Weiteren werden in diesem Kapitel weitere informative Beurteilungswerte angegeben, die zur Erhöhung der Behaglichkeit der Anwohner und Wertschöpfung für den Bauherrn dienen. Vgl. Kap. 2.2.

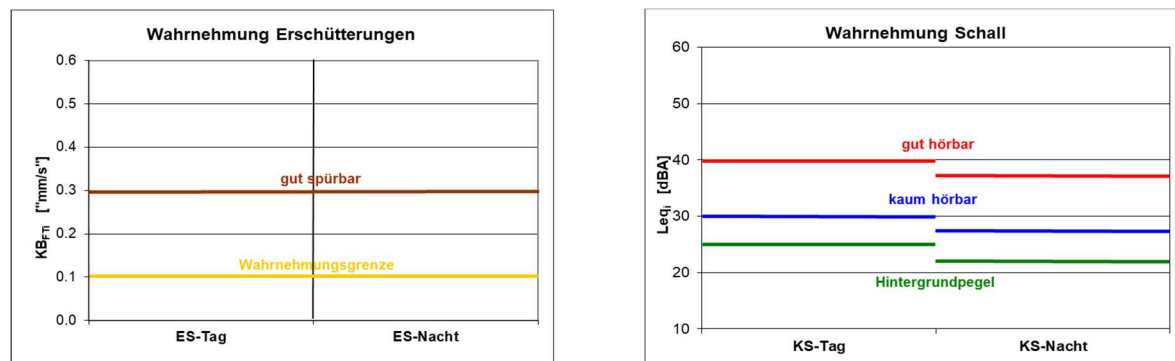
2.1. Belästigung des Menschen

Beurteilt wird bei Erschütterungs- und Körperschallimmissionen der vorliegenden Art in erster Linie die „Belästigung des Menschen“. Die „gesundheitliche Gefährdung des Menschen“ (siehe u. a. Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz) muss selten genauer untersucht werden. Auszug aus der Verordnung 3 des Arbeitsgesetzes:

Art. 22 Lärm und Erschütterungen

- 1 Lärm und Erschütterungen sind zu vermeiden oder zu bekämpfen.
- 2 Zum Schutz der Arbeitnehmer sind insbesondere folgende Vorkehrungen zu treffen:
 - a. bauliche Massnahmen;
 - b. Massnahmen an Betriebseinrichtungen;
 - c. Isolation oder örtliche Abtrennung der Lärmquelle;
 - d. Massnahmen der Arbeitsorganisation.

2.1.1 Wahrnehmung



Wahrnehmungsgrenzen Erschütterungen und Schall

Die Grafik versucht die Wahrnehmung der Immissionen für den „durchschnittlichen“ Menschen darzustellen. Nachts werden die Zugsdurchfahrten - wegen des tieferen Hintergrundpegels – eher wahrgenommen.

2.1.2 Beurteilung nach BEKS

Bahnbetrieb: Immissionsrichtwerte abgestrahlter Körperschall

Diese BEKS-Weisung definiert Richtwerte bezüglich **Körperschall** sowohl für Neu- (Planungsrichtwerte), als auch für Um- und Ausbauten bestehender Bahnanlagen (Immissionsrichtwerte).

Planungsrichtwerte (dBA)	Tag 16 Std. L_{eq}	Nacht 1 Std. L_{eq}
Reine Wohnzonen, Zonen für öffentl. Nutzung	35	25
Mischzonen, städtische Kernzonen, ländl. Dorfzonen	40	30

Immissionsrichtwerte (dBA)	Tag 16 Std. L_{eq}	Nacht 1 Std. L_{eq}
Reine Wohnzonen, Zonen für öffentl. Nutzung	40	30
Mischzonen, städtische Kernzonen, ländl. Dorfzonen	45	35

L_{eq} = durch Zugverkehr erzeugter, sekundär abgestrahlter, energieäquivalenter Dauerschallpegel am Immissionsort (energetischer Mittelungspegel im Innenraum), gemessen in Raummitte bei geschlossenen Fenstern. Mittelungsdauer: Ganzer Tag (16 Std. L_{eq}), bzw. die massgebende Nachtstunde (1 Std. L_{eq}).

Beurteilungszeiten: Tag = 06:00 – 22:00 Uhr (16h); Nacht = 22:00 – 06:00 Uhr (8h)
 Bezugswerte für dB-Angaben (Körperschall): Schalldruckpegel $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa.

Für die Beurteilung von **Erschütterungsbelastungen** verweist die BEKS auf die DIN-Norm Nr. 4150-2 vom Juni 1999. Für die Beurteilung von Projekten betreffend oberirdischen und bestehenden Eisenbahnanlagen gelten die um einen Faktor 1.5 angehobenen Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2. Zu der BEKS-Weisung ist zu erwähnen, dass eine Beurteilung der Erschütterungs- und Körperschallsituation anhand dieser Richtlinie strenggenommen „freiwillig“ geschieht, da die BEKS-Weisung eigentlich nicht für den vorliegenden Fall anwendbar ist, sondern nur für die SBB selber als Verursacher gilt. Die Anforderungen der BEKS gelten aber im Normalfall trotzdem für die Bewilligung des Bauvorhabens durch die Behörden, da damit für die Anwohner eine erhebliche Störung in ihrem Wohlbefinden im Sinne des Umweltschutzgesetzes (USG) Art. 15 vermieden werden kann.

Bahnbetrieb: Anhaltswerte Erschütterungen

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} , KB_{Fmax} [-]	Anhaltswerte A_r		Anhaltswerte A_o	
Beurteilungszeit	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Nutzungsart:				
- W: Wohngebiete	0.07	0.05	3.0	0.6
- M: Mischgebiete, Kerngebiete, Dorfgebiete	0.10	0.07	5.0	0.6
- G: Gewerbegebiet	0.15	0.10	6.0	0.6
- I: Industriegebiet	0.20	0.15	6.0	0.6

Anhaltswerte A_r , A_o bei Neuanlagen für Erschütterungen nach BEKS

Beurteilungszeiten:	Tag = 06 ⁰⁰ - 22 ⁰⁰ Uhr (16h); Nacht = 22 ⁰⁰ - 06 ⁰⁰ Uhr (8h)
Anhaltswerte:	Die Werte basieren auf der DIN 4150“ Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen im Gebäude“, Ausgabe vom Juni 1999. Als Beurteilungsgrundlage dienen die Anhaltswerte der Tabelle 1 angepasst an die Verhältnisse für die Erweiterung bestehender Schienenverkehrswege (DIN 4150, Teil 2, Ziffer 6.5.3.4, Ziffer 6.5.3.5).

Bei der Anwendung der DIN 4150-2 werden die ermittelten Schwingungsgrößen frequenzbewertet; es entstehen dadurch sogenannte "KB-Werte". Jede Zugsvorbeifahrt wird durch (mindestens) einen Taktmaximalwert KB_{FTi} charakterisiert (30-Sekunden Takt); der Maximalwert aller Zugsvorbeifahrten KB_{Fmax} (maximale bewertete Schwingstärke) wird zunächst mit den Anhaltswerten A_u (unterer Anhaltswert) und A_o (oberer Anhaltswert) verglichen. Ist $KB_{Fmax} < A_u$, so sind die Anforderungen der Norm erfüllt. Ist $KB_{Fmax} > A_o$, so sind die Anforderungen der Norm nicht erfüllt, wobei bei Bahnlinien dieser Punkt nicht von primärem Belang ist (siehe Ziffer 6.5.3.5). Liegt KB_{Fmax} zwischen A_u und A_o , dann ist eine Mittelwertbildung KB_{FTm} vorzunehmen, welche als Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTe} (über die Beurteilungszeit) mit Anhaltswerten A_r verglichen wird.

2.2. Wohnkomfort

2.2.1 Abgestrahlter Körperschall: SIA 181:2020

In Anlehnung an die SIA 181 wird für abgestrahlten Körperschall infolge Schienenverkehrs empfohlen, die Anforderungen für „Geräusche haustechnischer Anlagen und fester Einrichtungen im Gebäude“ beizuziehen:

emissionsseitige Geräuschart (Senderraum)	Einzelgeräusche		Dauergeräusche Funktions- oder Benutzungsger.
	Funktionsgeräusche	Benutzungsgeräusche	
Lärmempfindlichkeit	Anforderungswerte L_H [dBA]		
gering	38	43	33
mittel	33	38	28
hoch	28	33	25

SIA 181:2020, Tabelle 6: Mindestanforderungen an den Schutz gegen Geräusche haustechnischer Anlagen und fester Einrichtungen in Gebäuden.

Bei erhöhten Anforderungen gelten gemäss SIA 181:2020, Art. 3.4.1 die um 4 dBA verringerten Werte. Dazu gilt 25 dBA als Kleinstwert.

2.2.2 Beurteilung nach VDI 2038

Mit der VDI 2038 kann die Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen beurteilt werden. Für Geschossdecken im Wohn- und Industriebau werden in Anlehnung an DIN 4150-2 die folgenden KB-Werte angegeben (VDI 2038 Blatt 2, Januar 2013, Kap. 7.2.3.2):

Komfortniveau	KB _{Fmax} -Werte
Hoher Komfort	KB _{Fmax} < 0.2
Mittlerer Komfort	$0.2 \leq \text{KB}_{\text{Fmax}} \leq 1.0$
Geringer Komfort / Unwohlsein	$1.0 \leq \text{KB}_{\text{Fmax}} \leq 2.5$

2.2.3 Möglichkeit von Vorgaben durch die Bauherrschaft

Bauherren, Käufer und Mieter von Arbeits- und Wohnraum stellen oft höhere Anforderungen, als sie im USG bzw. in den oben erwähnten Normen und Richtlinien beschrieben sind. Hier geht es um die Behaglichkeit von Menschen im Gebäude und die Wertschöpfung für den Ersteller des Gebäudes. Für die Beurteilung der Immissionen werden deshalb oft Zielwerte für Erschütterungen und Körperschall von Einzelvorbeifahrten zusammen mit der Bauherrschaft festgelegt, die den Anforderungen der VDI 2038 (Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen) bzw. SIA 181 (Schallschutz im Hochbau) angeglichen sind (zulässige Immissionen einer typischen (Mittelwert) Zugsvorbeifahrt auf dem massgebenden Gleis). Unterschieden wird bei der Festlegung objektspezifischer Zielwerte auch, ob es sich um eine offene Strecke handelt oder die Trasseeführung unterirdisch verläuft (Verschärfung der Anforderungen da die Bahn nicht sichtbar ist).

2.3. Erhöht erschütterungsempfindliche Nutzer / Geräte

Es wurden keine erhöht erschütterungsempfindlichen Nutzer und/oder Geräte ausgeschieden.

2.4. Erschütterungsempfindliche Geräte

Grenzwerte sind von Maschine zu Maschine stark unterschiedlich und müssen spezifisch definiert werden (zulässige Schwinggeschwindigkeiten bezüglich des Frequenzbereichs: Zulässiges Amplitudenspektrum).

2.5. Schäden an Bauwerken

Die Beurteilung „Schäden an Bauwerken“ gemäss VSS 40 312:2019 „Erschütterungseinwirkung auf Bauwerke“ beinhaltet Richtwerte, die gewährleisten, dass bei ihrer Einhaltung in der Regel Schäden infolge Erschütterungseinwirkungen an Bauwerken vermieden werden und war primär nicht Gegenstand dieser Untersuchung, da schienenverkehrsinduzierte Erschütterungen selten Schädigungspotential aufweisen.

3. MESSKAMPAGNE UND MESSAUSWERTUNGEN

3.1. Messpunkte

Die Aufnahme der heutigen Erschütterungssituation bezüglich des Bahntrassees wurde anhand von mehreren Fundament- und Freifeldmesspunkten (z-Richtung) durchgeführt. Bei der Wahl der Messpunkte wurde darauf geachtet, dass die maximalen Erschütterungen von Durchfahrten, die üblicherweise nahe von Weichen, Schienenstössen und Fugenübergängen gemessen werden, erfasst wurden:

- MP 1 vertikal: Messpunkt auf Betonplatte, Projekt Standort A.II.1 (IST-Zustand ohne Weiche)
- MP2 vertikal: Messpunkt auf Betonplatte, Projekt Standort A.II (IST-Zustand bei Weichenherz)
- MP3 vertikal: Messpunkt auf Betonplatte, Projekt Standort A.I
- MP4 vertikal: Messpunkt auf Betonplatte
- MP5 vertikal: Freifeldmesspunkt

Die Messkampagne zur Erfassung der durch die Bahn verursachten Schwinggeschwindigkeiten [mm/s] fand am 30. Mai 2023 statt, während ca. drei Stunden wurden insgesamt 37 Zugvorbeifahrten registriert.

Eine Übersicht der Messpositionen ist in → **Beilage N°1** dargestellt, Fotos der Messorte finden sich in → **Beilage N°2**. Das Messprotokoll findet sich in → **Beilage N°3**.

3.2. Technische Angaben zu den Messungen und Auswertungen

Die Messungen und Resultatauswertungen fanden mit Hilfe von hochwertigen Messgeräten und unter Beachtung der gängigen Verfahren statt. Eine Liste des verwendeten Geräteparks findet sich in → **Beilage N°5**.

3.3. Messresultate

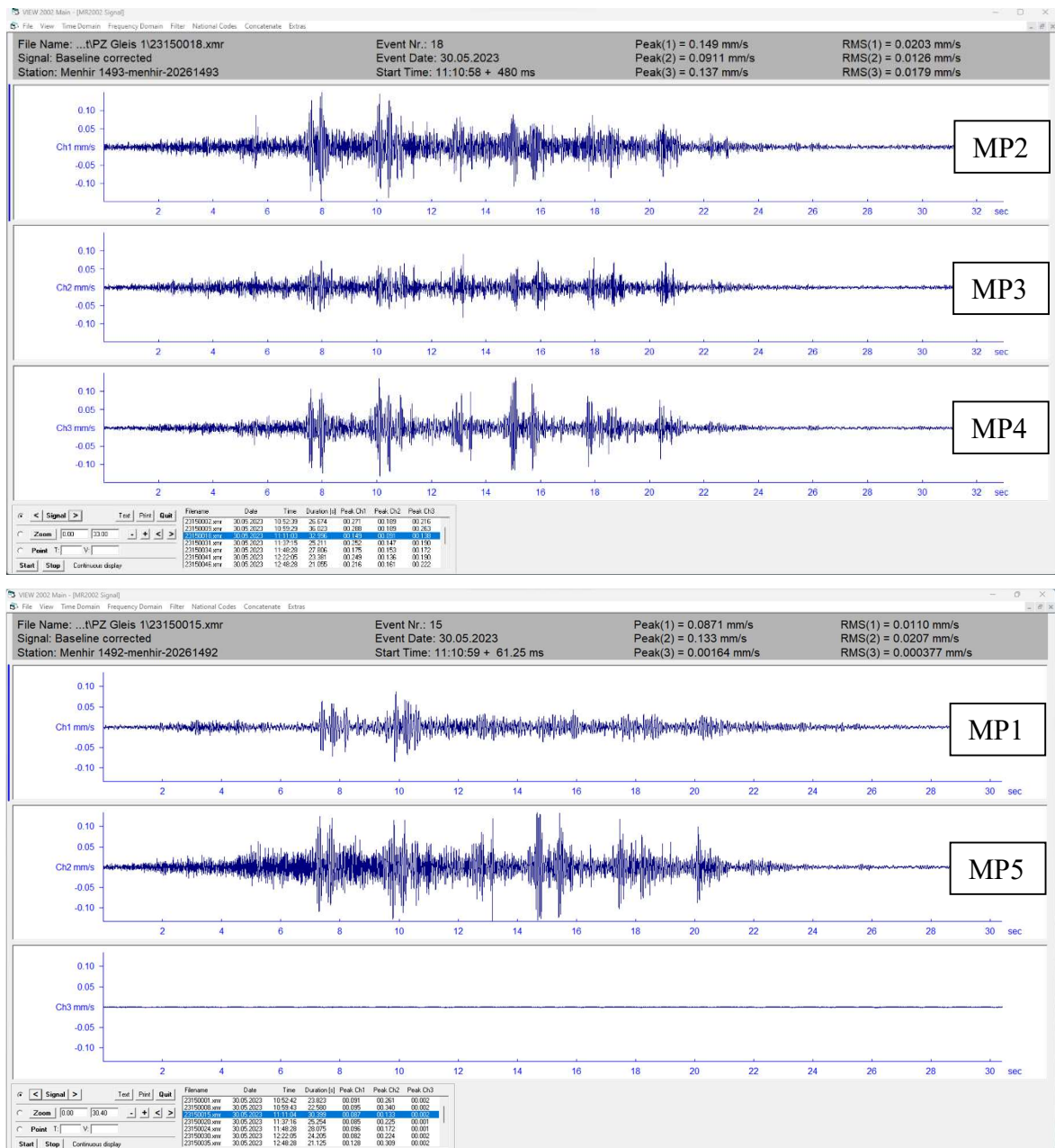
3.3.1 Ausgewählte Messdaten und Messauswertungen

In den folgenden Unterkapiteln werden typische Messaufzeichnungen von Zugvorbeifahrten dargestellt. Da für die Immissionsprognosen Emissionsspektren benötigt werden, wurden alle Zugvorbeifahrten frequenzanalysiert und energetisch gemittelt. Anschliessend an die typischen Messaufzeichnungen werden als Extrakt die massgebenden Emissionsspektren dargestellt.

3.3.2 Zugvorbeifahrten

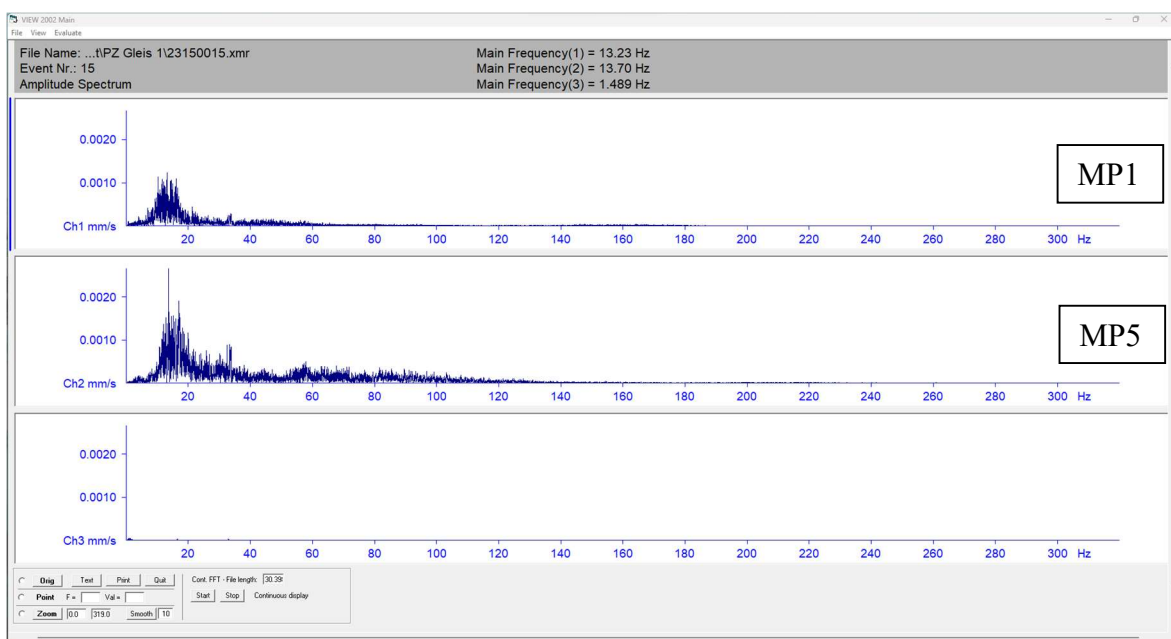
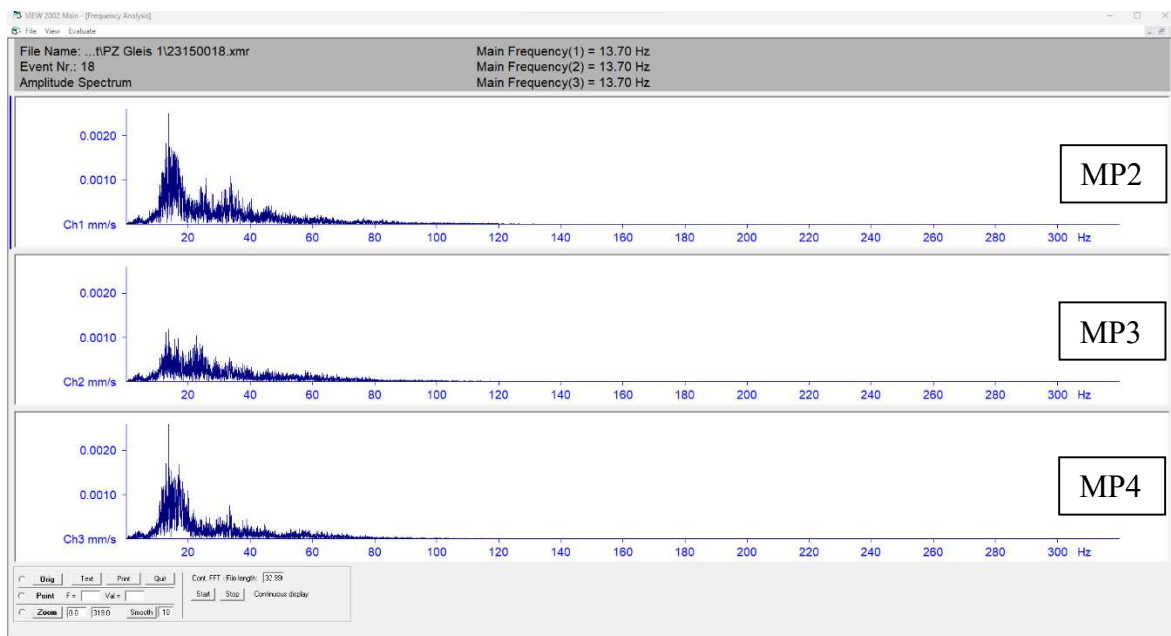
Es werden Zeitverläufe und Schmalband-Frequenzspektren einer typischen Zugvorbeifahrt (Personenzug mit 5 Wagen) aufgeführt.

Personenzugvorbeifahrt Gleis 1



Zeitverlauf Zugvorbeifahrt (Amplituden in mm/s Schwinggeschwindigkeit)

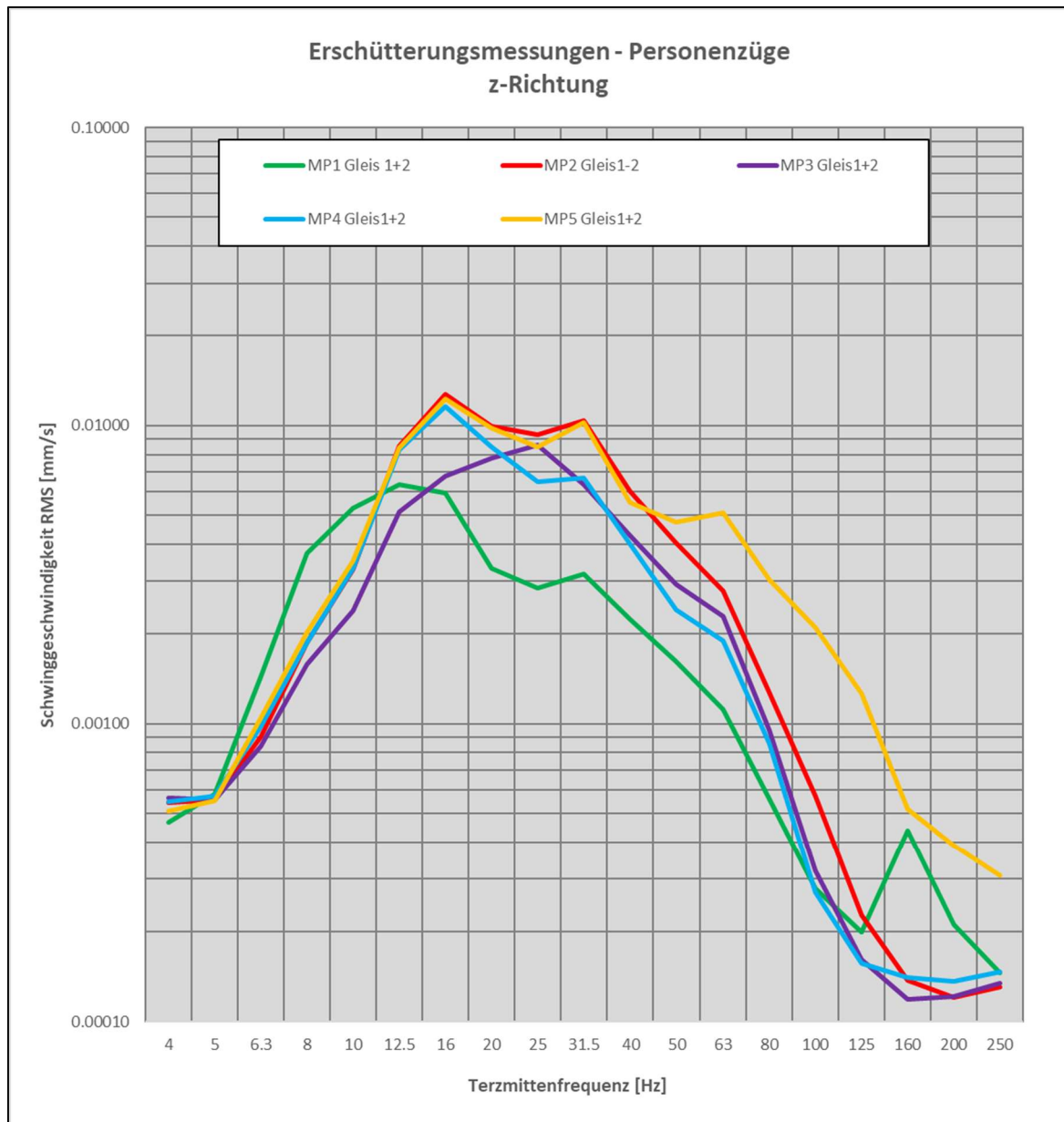
Personenzugvorbeifahrt Gleis 1



Schmalband-Frequenzspektrum Zugsvorbeifahrt

3.3.3 Terzbandspektren

Das Ziel der Messkampagne mit Erschütterungsmessungen in situ ist, ortsspezifische Erschütterungs-Emissionsspektren zu ermitteln, mit denen die Erschütterungs- und Körperschallimmissionen im geplanten Neubau prognostiziert werden können. Aus dem Zeitverlauf der Schwinggeschwindigkeit werden energetisch gemittelte Terzbandspektren gebildet. (siehe auch → *Beilage N°4*).

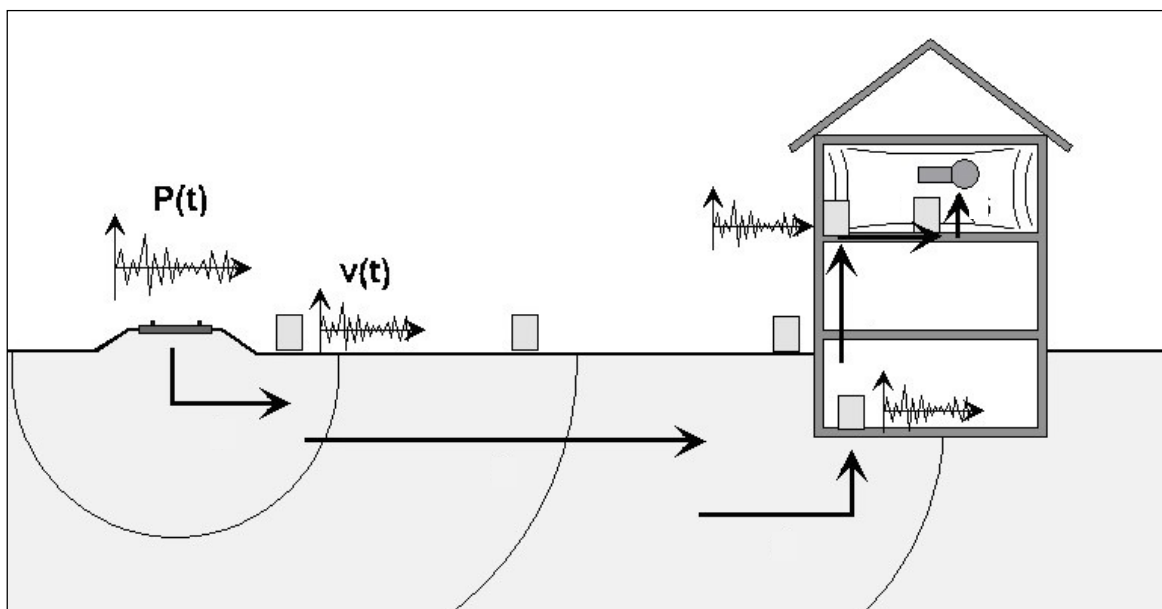


Erschütterungs – Terzbandspektren

4. MODELL UND PROGNOSEN

4.1. Ausbreitungsmodell

Die am Geleise je nach Fahrzeug, Oberbauart, -lage und -ausführung als Emission verursachte **Erschütterung** wird über Oberbaukonstruktion und Boden auf ein naheliegendes Gebäudefundament und von hier über die Mauern auf die Wohnräume bzw. deren Geschossdecken übertragen. Auf dem Weg vom Geleise zum Gebäudefundament schwächt sich die Erschütterung infolge Ausbreitungs- und Materialdämpfung ab. Beim Übergang vom Boden auf das Fundament erfährt die Erschütterung eine weitere Reduktion als Folge des sogenannten Ankoppelungseffekts. Die Erschütterung des Gebäudefundamentes erreicht praktisch unverändert die oberen Stockwerke, kann aber durch das Eigenschwingungsverhalten der Geschossdecken mehr oder weniger verstärkt werden.



Modellvorstellung Erschütterungsausbreitung

Durch die Vibrationen von Fussboden und Decke, und zu einem geringeren Teil auch durch die Vibrationen der Wände, wird in einem Raum wiederum hörbarer Schall verursacht, der sogenannte **abgestrahlte Körperschall**. Der Zusammenhang zwischen Erschütterungsamplitude und abgestrahltem Körperschall ist sehr komplex. Mit verschiedenen Gleichungen kann man zeigen, dass zwischen dem abgestrahlten Schall und der Vibration ein Zusammenhang besteht.

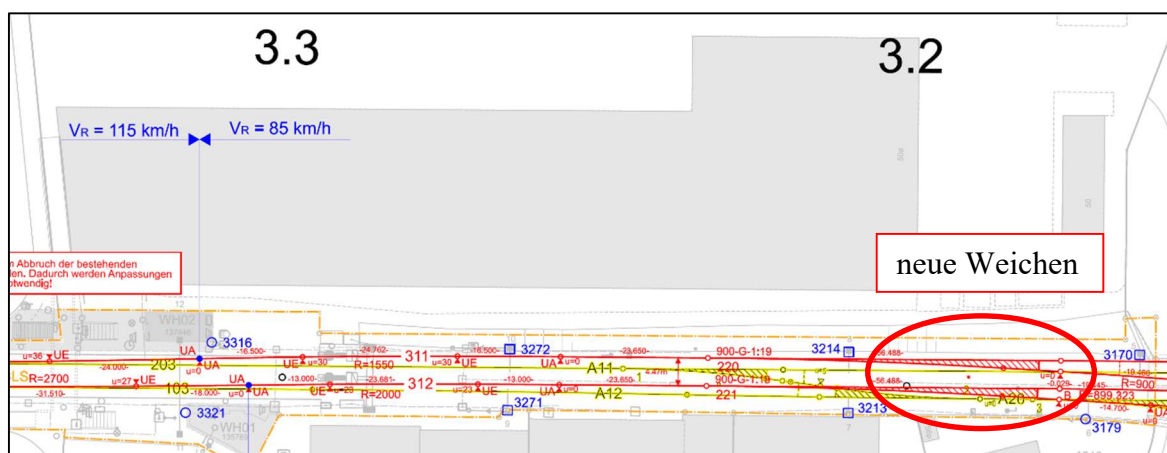
Bei einem frequenzabhängigen Ausbreitungsmodell wird dieser stufenweise Ausbreitungs- und Abstrahlvorgang nicht mit jeweils einer einzigen Zahl beschrieben, sondern es wird eine Spektraldarstellung verwendet; die Schwingung wird als Funktion der Frequenz erfasst. Die Ausgangsgrösse ist somit nicht eine einfache Anregungsamplitude, sondern ein Anregungsspektrum, und an die Stelle von Abminderungs- und/oder Ankoppelungsfunktionen treten Transferfunktionen und/oder Transferspektren.

4.2. Prognoseberechnungen

Die Abschätzung und Beurteilung der in den geplanten Gebäuden zu erwartenden Erschütterungs- und Körperschallimmissionen infolge Bahnverkehrs basiert auf den Messdaten, Erfahrungswerten und den durchgeführten Ausbreitungsberechnungen. Die durch Bahnverkehr verursachten Erschütterungs- und Körperschallimmissionen wurden mit einem semiempirischen, frequenzabhängigen Ausbreitungsmodell (VIBRA-2) berechnet: Rechnerische Prognose unter Anwendung von teilweise durch die Messungen normalisierten Standardparametern.

4.3. Streckenausbau

Der geplante Streckenausbau seitens der SBB / Veränderung der Bahntrassees gemäss «AS25, Leistungssteigerung Bern West» wurde in den Prognoseberechnungen berücksichtigt. Durch die Verschiebung der Geleise sowie der neuen Weichen in unmittelbarer Nähe zum Baubereich A.II ist von einer deutlichen Erhöhung der Erschütterungs- und Körperschall-Immissionen auszugehen.



AS25, Leistungssteigerung Bern West, Ausschnitt

4.4. Baubereiche

Die Prognoseberechnungen werden für die folgenden zwei Baubereiche durchgeführt:

- Baubereich A.I, ohne Weiche: Linie 220 Abstand 1. Gleisachse = 20.1m (AS25)
- Baubereich A.II, mit Weiche: Linie 220 Abstand 1. Gleisachse = 17.3m (AS25)

Da auf dem Baubereich A.III kein Gebäude vorgesehen ist, sondern nur eine temporäre Nutzung für Food Trucks, Glace Stand etc. wird für diesen Bereich keine gesonderte Prognose erstellt.

4.5. Modell- / Berechnungsparameter

Die für die vorliegende Situation verwendeten Daten basieren einerseits auf den vorgehend beschriebenen Messungen, andererseits auf einer Grosszahl von früheren Erschütterungsmessungen, kombiniert mit theoretischen Ansätzen über die Erschütterungsausbreitung, sowie auf Literaturangaben.

Emissionen:	- gemäss Messungen. Entfernung zur Gleisachse entsprechend Position Messsensor. Offene Streckenführung.
Lokale Gleis- besonderheit:	- gemäss Messungen, bestehende Weichen in den Messdaten enthalten (keine Anpassung auf "Schnellfahrweichen").
Korrekturen:	- keine (alles Standard), auch keine Geschwindigkeitskorrekturen (Geschwindigkeiten gemäss Messungen)
Ausbreitung:	- Lockergestein
Gebäudean- koppelung & Gebäudeaus- breitung:	- MFH, 1 Untergeschoss - Deckentypen Beton 12 – 40 Hz - sonst keine Besonderheiten
Körperschall- umwandlung:	- KS-Berechnung nach VIBRA2

Für eine Untersuchung werden üblicherweise aus der Vielzahl von möglichen Parametervariationen betreffend den schienenengebundenen Verkehr, der Gleisführung, dem Baugrund und der Bauweise der Gebäude entlang der Gleisstrecke einige „typische Kategorien“ definiert, anhand welcher die Erschütterungs- und Körperschallimmissionen berechnet werden. Dank den Messpositionen am Fundament und im Freifeld sind in den Messresultaten die Parameter „Emission“ (Bahntyp, Gleisart, Gleisunterbau, usw.) und „Ausbreitung“ (Transferfunktion im Baugrund) bereits enthalten, so dass diese relativ genau berücksichtigt werden konnten. Für die Gebäudeübertragungsfunktion werden verschiedene Geschossdeckentypen durchgerechnet und ein Mittelwert gebildet.

4.6. Zugdaten

Die für die Berechnungen notwendigen Zugzahlen wurden gemäss Angabe SBB verwendet (Streckenabschnitt 220: BNST-HOL). Für die massgebende Nachtstunde wurde der über die ganze Nacht gemittelte stündliche Wert für Personenzüge verdoppelt; für Güterzüge um 50% erhöht.

Strecke	Zugtyp		Tag		Nacht			ZugArt	Gleise	Tag	Nacht
Abschnitt	Vibra	Fahrgeschw.	Z/h tags	Länge tags	Z/h nachts	Länge nachts	Zmax/h Nacht	P/G/D	Anzahl	Z/Tag	Z/Nacht
Linie 220: Bern Holligen - Bern Stöckacker											
HOL - BNST	R, S-Bahn	77	12.000	175.00	3.000	157.50	6.000	P	2	192.00	24.00
	NAG	68	0.313	242.00	0.250	242.00	0.375	G	2	5.01	2.00
	NG	68	0.250	180.00	0.250	180.00	0.375	G	2	4.00	2.00
	D	77	1.875	150.00	1.500	150.00	3.000	D_P	2	30.00	12.00
	D	68	0.125	136.00	0.125	136.00	0.188	D_G	2	2.00	1.00
	PZ	77	13.875	171.62	4.500	155.00	9.000	PZ	2	222.000	36.00
	GZ	68	0.688	200.21	0.625	196.00	0.938	GZ	2	11.008	5.00

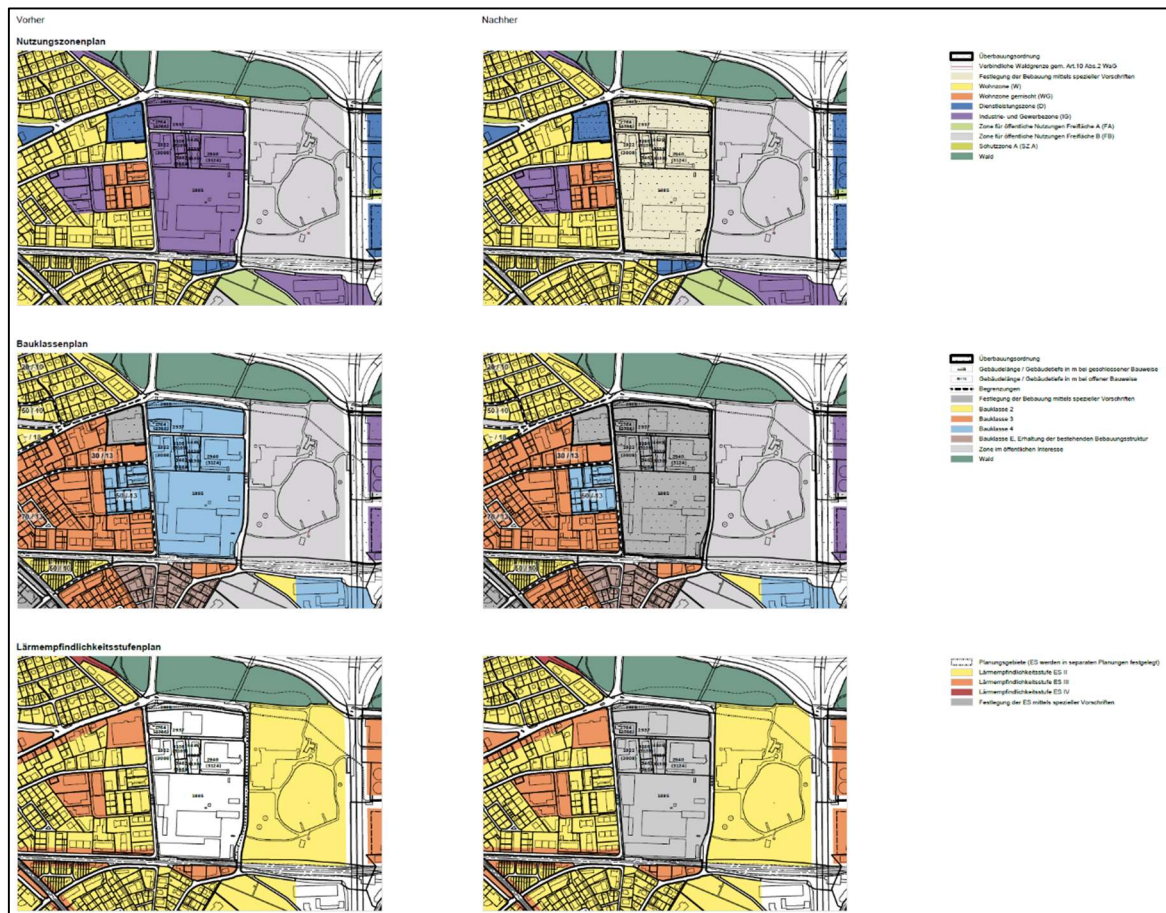
Zugzahlen AS25 (gemäss Angabe SBB)

Die verwendeten Zugzahlen (Zugstyp, mittlere Fahrgeschwindigkeit, Zugslänge, etc.) sind auch in → **Beilage N°7** (VIBRA-2-Berechnungen) ersichtlich.

5. BEURTEILUNG

5.1. Einstufung

Immissionsort(e):	Wohnungen
Zone:	Festlegung der Bebauung mittels spezieller Vorschriften
Empfindlichkeitsstufe:	Annahme: Mischzone
Erschütterungsquelle(n):	Annahme: III Bahn



Ausschnitt Überbauungsordnung

5.2. Beurteilung nach BEKS

BEKS: Die Beurteilung der Erschütterungs- und Körperschallsituation erfolgt mittels der „Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen vom 20.12.1999 (BEKS, herausgegeben vom BAV und BUWAL)“. Da es sich um eine Neuprojektierung handelt, gelangen beim Körperschall die Planungsrichtwerte zur Anwendung, bei den Erschütterungen die einheitlichen Richtwerte der DIN 4150/2. Zonenmässig wird von einer **Mischzone** ausgegangen.

Die Erschütterungsprognosen gelten für die jeweils nächstgelegenen Gebäudeteile mit erschütterungsempfindlicher Nutzung.

Zur BEKS-Weisung ist zu erwähnen, dass eine Beurteilung der Erschütterungs- und Körperschallsituation anhand dieser Richtlinie streng genommen „freiwillig“ geschieht, da die BEKS-Weisung eigentlich nicht für den vorliegenden Fall anwendbar ist, sondern nur für die SBB selber als Verursacher gilt, jedoch normalerweise auch von den Behörden zur Bewilligung des Bauprojektes herangezogen wird.

Richtwerte gemäss BEKS/DIN

Neue Anlagen (Neuanlagen / Planungsrichtwerte)	Industriezone	I	0.200	-	0.150	-	0.6
	Gewerbezone	G	0.150	-	0.100	-	0.4
	Mischzone	M	0.100	40	0.070	30	0.3
	Wohnzone	W	0.070	35	0.050	25	0.2

Farbcodes (Schattierungen):	Maximalwerte	Richtwertüberschreitungen	A _o nachts gemäss DIN4150-2 überschritten
-----------------------------	--------------	---------------------------	--

5.2.1 Baubereich A.I – ohne Weiche

Immissionsort	Zone	Tag (16h)		Nacht (8h)		KB _{Fmax}
		KB _{FTr}	16h L _{eq}	KB _{FTr}	1h L _{eq}	
Wohnen, Betondecken 12 Hz	M	0.032	7.0	0.020	5.4	0.176
Wohnen, Betondecken 16 Hz	M	0.028	7.0	0.017	5.4	0.153
Wohnen, Betondecken 20 Hz	M	0.015	7.2	0.009	5.6	0.080
Wohnen, Betondecken 25 Hz	M	0.011	7.6	0.007	6.0	0.058
Wohnen, Betondecken 32 Hz	M	0.009	8.2	0.006	6.6	0.051
Wohnen, Betondecken 40 Hz	M	0.009	8.6	0.005	7.0	0.047

→ Die Anhaltswerte nach BEKS-Weisung werden hinsichtlich Erschütterungen und Körperschall eingehalten.

5.2.2 Baubereich A.II - Weichennähe

Immissionsort	Zone	Tag (16h)		Nacht (8h)		KB _{Fmax}
		KB _{FTr}	16h L _{eq}	KB _{FTr}	1h L _{eq}	
Wohnen, Betondecken 12 Hz	M	0.049	8.4	0.030	6.8	0.299
Wohnen, Betondecken 16 Hz	M	0.063	8.8	0.039	7.2	0.384
Wohnen, Betondecken 20 Hz	M	0.037	9.4	0.023	7.8	0.229
Wohnen, Betondecken 25 Hz	M	0.026	9.8	0.016	8.2	0.161
Wohnen, Betondecken 32 Hz	M	0.021	10.3	0.013	8.7	0.133
Wohnen, Betondecken 40 Hz	M	0.017	10.9	0.010	9.3	0.105

→ Die Anhaltswerte nach BEKS-Weisung werden hinsichtlich Erschütterungen und Körperschall grundsätzlich eingehalten (KB_{max} Nacht wird teilweise gemäss DIN4150-2 überschritten).

5.3. Behaglichkeit des Menschen und Wertschöpfung

Beurteilt wird bei Erschütterungsimmissionen und Körperschallimmissionen der vorliegenden Art in erster Linie die „Belästigung des Menschen“. Als massgebend für diese Belästigung wird der Maximalwert/-pegel einer einzelnen Zugsvorbeifahrt postuliert. Die „gesundheitliche Gefährdung des Menschen“ (siehe u. a. Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz) muss selten genauer untersucht werden. In zweiter Linie geht es auch um die Wertschöpfung für den Ersteller des Gebäudes.

ERSCHÜTTERUNGEN: VDI 2038

Im vorliegenden Fall empfehlen wir folgende **Zielwerte**:

- Eigentumswohnungen $KB < 0.2$ (hoher Komfort)
- Mietwohnungen $KB < 0.2$ (hoher Komfort)
- Mietwohnungen $KB < 1.0$ (mittlerer Komfort)

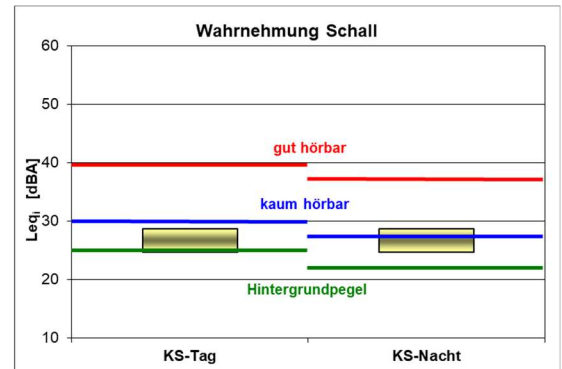
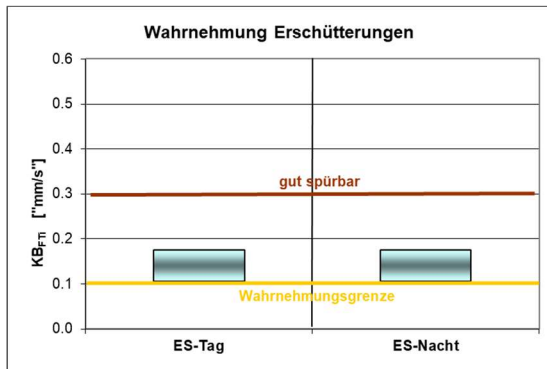
ABGESTRAHLTER KÖRPERSCHALL: SIA 181:2020

Es wurden keine Räume mit sehr hoher Lärmempfindlichkeit (Benutzer mit besonders hohem Ruhebedürfnis) ausgeschieden. Als **Richtwert** wird für Mietwohnungen (normale Anforderungen) im Allgemeinen / bei offener Streckenführung ein Wert von 38 dBA empfohlen und bei Eigentumswohnungen / ruhebedürftiger Nutzung (erhöhte Anforderungen) ein Wert von 34 dBA:

- Eigentumswohnungen $Leq < 34$ dBA (hoher Komfort)
- Mietwohnungen $Leq < 34$ dBA (hoher Komfort)
- Mietwohnungen $Leq < 38$ dBA (mittlerer Komfort)

5.3.1 Baubereich A.I – ohne Weichen

WAHRNEHMUNG



→ Die Erschütterungen sind gemäss Prognose im Bereich 'spürbar'. Der abgestrahlte Körperschall liegt im Bereich 'kaum hörbar'.

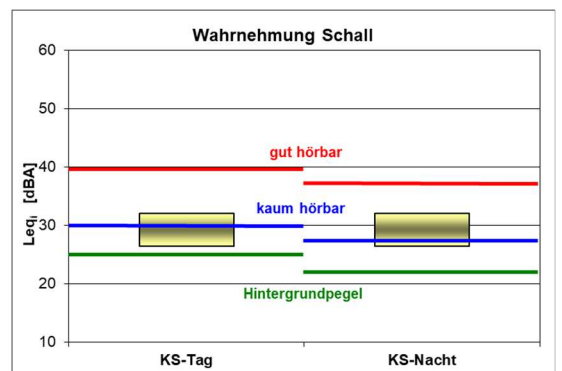
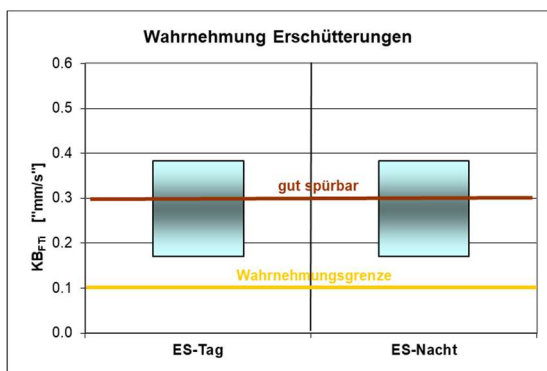
PROGNOSEWERTE:

Einzelne Zugsvorbeifahrt	Erschütterungen	Körperschall
Maximalwert (95%-Fraktile)	[KB _{F95%}]	[Leq _{95%}]
Massgebendes Gleis	0.18	28.7

→ Der empfohlene Zielwert für Erschütterungen und der Richtwert für abgestrahlten Körperschall werden eingehalten.

5.3.2 Baubereich A II - Weichennähe

WAHRNEHMUNG



→ Die Erschütterungen sind gemäss Prognose im Bereich 'gut spürbar'. Der abgestrahlte Körperschall liegt im Bereich 'hörbar'.

PROGNOSEWERTE:

Einzelne Zugsvorbeifahrt	Erschütterungen	Körperschall
Maximalwert (95%-Fraktile)	[KB _{F95%}]	[Leq _{95%}]
Massgebendes Gleis	0.38	32.0

→ Der empfohlene Zielwert für Erschütterungen wird für hohe Komfortansprüche überschritten.

→ Der Richtwert für abgestrahlten Körperschall wird eingehalten.

5.4. Sensitivitätsbetrachtungen

Es muss betont werden, dass die einzelnen Parameter der Modellrechnung eine grosse Variabilität aufweisen. Die grösste Streuung findet sich beim Verstärkungsfaktor für die Ausbreitung der Erschütterungen innerhalb von Gebäuden. Für Holzdecken und schlanke, weitgespannte Betondecken kann z.B. ein Wert von 8 angenommen werden. Messungen zeigen aber, dass dieser Wert zwischen 4 und 30 variiert! Für Betondecken variiert er zwischen 2 und 8. Zudem weist auch die Umrechnung der Erschütterungen in den abgestrahlten Körperschall eine beträchtliche Streuung auf. Etwas geringer sind die Streuungen bei den übrigen Parametern, doch sind auch hier Variationen zwischen 50 % und 200 % der verwendeten Werte möglich.

Die für die Immissionsberechnungen verwendeten Parametersätze beruhen auf den Erfahrungen einer Vielzahl von Messungen für ähnliche Situationen, und stehen für eine „vernünftige“, d.h. weder zu konservativer noch zu optimistischer Modellrechnung.

6. MÖGLICHE MASSNAHMEN

In Anbetracht des vorliegenden Bauvorhabens und den prognostizierten Erschütterungs- und Körperschallimmissionen können folgende Massnahmen zur Anwendung gelangen:

6.1. Bauliche Massnahmen an der Quelle

Am effizientesten sind Massnahmen an der Quelle, d.h. nebst sorgfältig gewartetem und modernem Rollmaterial reduzieren vor allem Massnahmen am Gleisoberbau die zu erwartenden Immissionen. Solche umfassen insbesondere elastische Zwischenschichten jeglicher Art im Aufbau des Gleiskörpers, wie z. B. Unterschottermatten oder Schwellenbesohlungen (bei Schotteroberbau), elastische Schienen- und/oder Schwellenlagerungen (bei festem Oberbau), oder allenfalls ganze Masse-Feder-Systeme. Diese Massnahmen liegen allerdings nicht im Einflussbereich der Projektierenden, sondern bei der SBB Infrastruktur, und werden deshalb nicht weiterverfolgt.

6.2. Bodenschlitze

Da bei oberflächennaher Schwingungsanregung etwa 67% der Gesamtenergie in Form von Rayleigh-Wellen (Oberflächenwellen) transportiert werden, ist es naheliegend, bei Massnahmen auf dem Übertragungsweg die Oberfläche zu unterbrechen. Dies kann z.B. durch offene, permanent elastische, bzw. ausbetonierte Schlitze erfolgen. Solche Bodenschlitze haben sich jedoch in der Praxis bislang mit wechselndem Erfolg bewährt; eine Prognose, der im Vergleich zu den anderen Massnahmen geringen Dämmwirkung, ist zudem schwierig.

6.3. Massnahmen empfängerseits

Bereits recht gut erprobt sind Massnahmen auf der Empfängerseite. In der Regel handelt es sich um elastische Trennschichten, z.B. ein elastisches „Abtrennen“ der an das Erdreich anstossenden Strukturteile (Bodenplatte, Stützenfundamente, Aussenwände). Solche Massnahmen können das ganze Gebäude oder allenfalls Teilbereiche umfassen und werden vor allem bei Neubauten angewandt. Auch eine elastische Trennschicht innerhalb des Gebäudes ist schon an manchen Orten eingesetzt worden. Damit können auch gebäudeinterne Quellen reduziert werden, z. B. bei Wohnnutzung über Gewerbenutzungen. Planung und Ausführung sind allerdings wesentlich aufwändiger als Trennungen gegenüber dem Erdreich. Die Fläche der elastischen Trennschicht ist jedoch meist geringer als bei der Flächenlagerung. Ist eine tieffrequente Abstimmung der Massnahme notwendig, kommen auch Federelemente innerhalb des Gebäudes zum Einsatz.

Die einzelnen Vorbeifahrtspegel werden durch die Lagerung stark reduziert und erfahrungsgemäss kann bei guter Entkoppelung eine Verringerung des abgestrahlten Körperschalls um bis zu 10.0 dB und mehr (je nach realer Situation) erreicht werden. Die einzelne Vorbeifahrt

ist dann auch bei ruhiger Umgebung durch den Menschen in der Regel kaum mehr wahrnehmbar. Die Wirkung auf die Erschütterungen ist allerdings wegen der höheren Abstimmungsfrequenz bei Elastomeren beschränkt.

6.4. Innenausbau

Für empfindliche Räume (und auch Geräte) können lokal (zusätzliche) Massnahmen vorgesehen werden. Diese sind einzeln in Bezug auf eine allenfalls vorhandene elastische Gebäudelagerung und insbesondere auch auf vorhandene, gebäudeinterne Erschütterungsquellen abzustimmen. Die Abstrahlung von Körperschall kann durch Vorschalten von Strömungswiderständen (Mineralfaserplatten) oder Verkleidungen reduziert werden. Diese Abstrahlreduktion sollte an allen Raumbegrenzungsflächen erfolgen. Kahle / glatte Wände führen zu erhöhten Körperschallabstrahlwerten und ebenfalls zu einer Erhöhung der Nachhallzeit. Die Nachhallzeit ist analog durch Wand- und Deckenbekleidungen sowie auch absorbierende Möblierung auf eine minimale Grösse zu reduzieren. Dadurch wird auch der Schallpegel reduziert.

6.5. Mögliche Massnahmen Baubereich A.II – in Weichennähe

Ohne Massnahmen werden die Erschütterungsenergien direkt über die Seitenwände der Untergeschosse und die Bodenplatte ins Gebäude eingeleitet. Die empfohlenen Zielwerte (Erschütterungen und Körperschall) für Mietwohnungen mit normalem Komfort werden jedoch auch ohne Massnahmen erreicht. Falls seitens Bauherrschaft ein höherer Komfort gewünscht wird, wären folgende Massnahmen zu empfehlen:

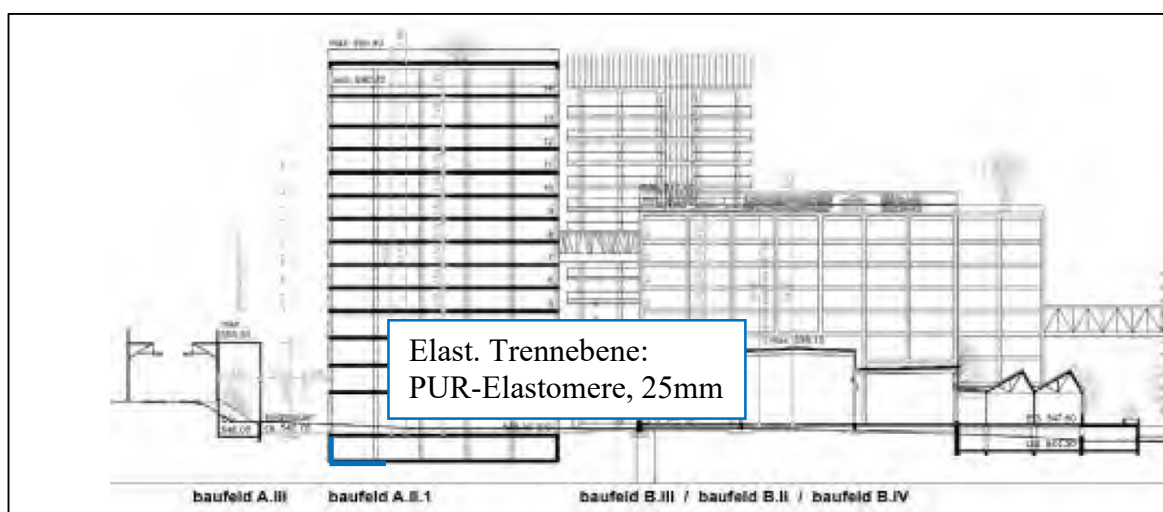
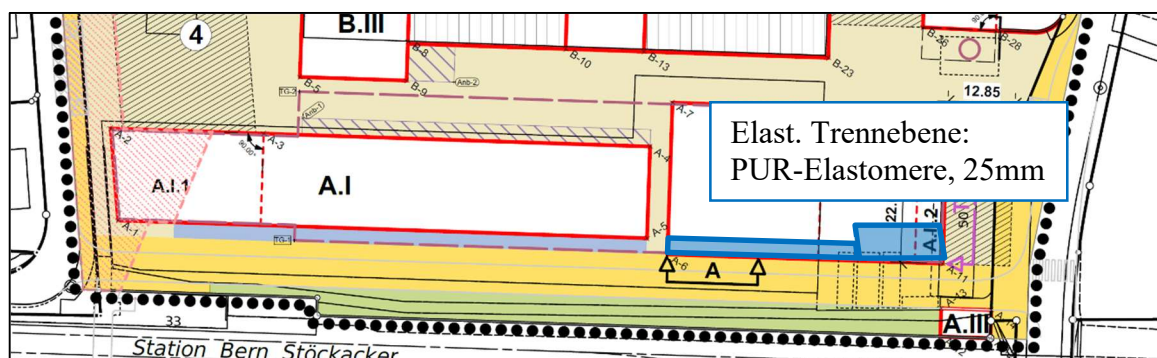
Massnahme 1: Elastische Trennung gegenüber Erdreich (siehe Skizze)

- **Bahnseitig: Elastische (Teil-)Entkoppelung der Aussenwände und unterhalb der Bodenplatte (und falls vorhanden: inkl. Trennung der Pfähle) im vorderen Gebäudeteil gegen die Bahnanlagen** (25mm starke elastische Trennebene, Abstimmungsfrequenz < 15 Hz). Auf eine **durchgehende Entkoppelung** vom Untergrund ist zu achten: Leitungen, Durchbrüche, etc. sind ebenfalls zu entkoppeln.

Massnahme 2: Deckenversteifung / Überprüfen der massg. Deckeneigenfrequenzen

- In Bezug zu den Eigenschaften der elastischen Teilentkoppelung wird empfohlen, sofern technisch machbar und wirtschaftlich vertretbar, die **Decken-Grundeigenfrequenzen auf einen Wert von mind. 25 Hz** auszulegen.

In der jetzigen Planungsphase sind noch nicht alle Details bekannt. Für eine detaillierte Auslegung der Massnahmen (Entkoppelungstiefe der elastischen Lagerung) bedarf es einer gesonderten Untersuchung.

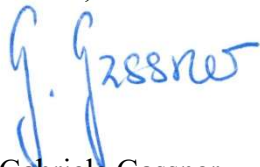


*Mögliche EKS-Schutzmassnahmen Baufeld A.II:
 Elastische Trennung Bodenplatte und Aussenwände UG*

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

- **Es ist davon auszugehen, dass die als Emission verursachten Erschütterungen und Körperschallwellen der Bahnstrecke über die erdberührten Aussenwände und von der Bodenplatte auf die Wohnräume bzw. deren Geschossdecken übertragen werden. Weitere Erschütterungsquellen z.B. infolge Strassenverkehrs können als nicht massgebend betrachtet werden.**
- **Basierend auf den vor Ort durchgeführten Messungen und dem Prognosemodell liegen die berechneten Prognosewerte für Erschütterungen und Körperschall unterhalb der Richtwerte der Weisung BEKS (Anforderungen hinsichtlich 'Belästigung').**
- **Die prognostizierten Erschütterungen infolge der Personen- und Güterzugvorbeifahrten sind für den Menschen teils gut spürbar, dies betrifft vor allem den Baubereich A.II in Weichennähe. Der abgestrahlte Körperschall ist in den Wohnungen im Baubereich A.II vor allem nachts hörbar.**
- **Die Anforderungen an die Behaglichkeit und Wertschöpfung insbesondere in Anlehnung an die SIA 181:2020 werden für Normalanforderungen (Mietwohnungen) eingehalten: Der empfohlene Zielwert für Erschütterungen bei erhöhtem Komfort wird im Baubereich A.II (in Weichennähe) jedoch überschritten.**
- **Empfehlung: Die Decken-Grundeigenfrequenzen für den Baubereich A.II sind zu überprüfen und - sofern technisch machbar und wirtschaftlich vertretbar – auf eine Grundeigenfrequenz von mind. 25 Hz auszulegen.**
- **Für die untersuchten Baubereiche wurden keine erhöht erschütterungsempfindlichen Nutzer und/oder Geräte ausgeschieden.**

Zürich, 03.07.2023



Gabriela Gassner
Dipl. Natw. ETH, Geophysikerin
Trombik Ingenieure AG

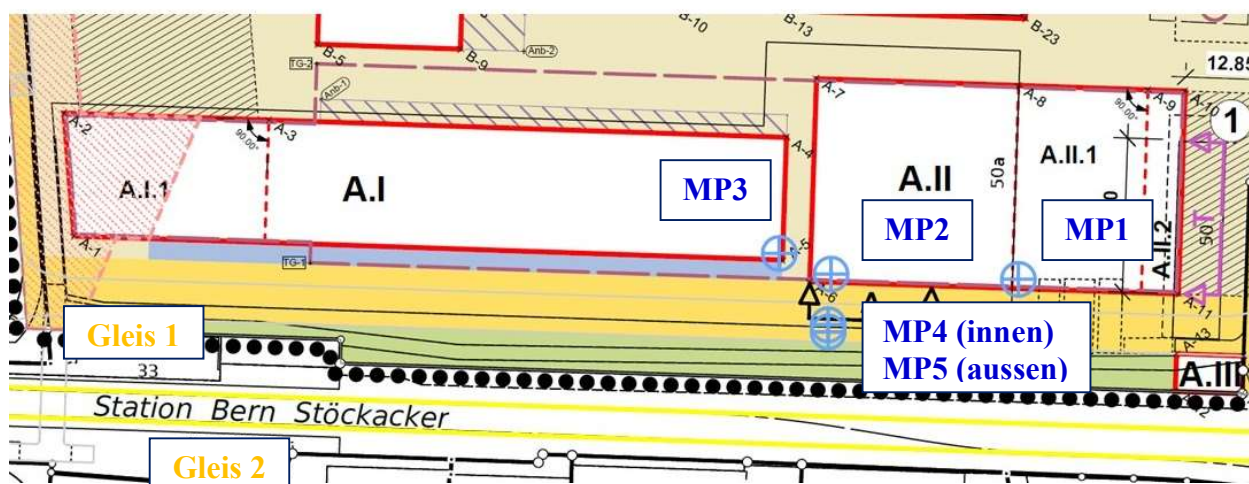
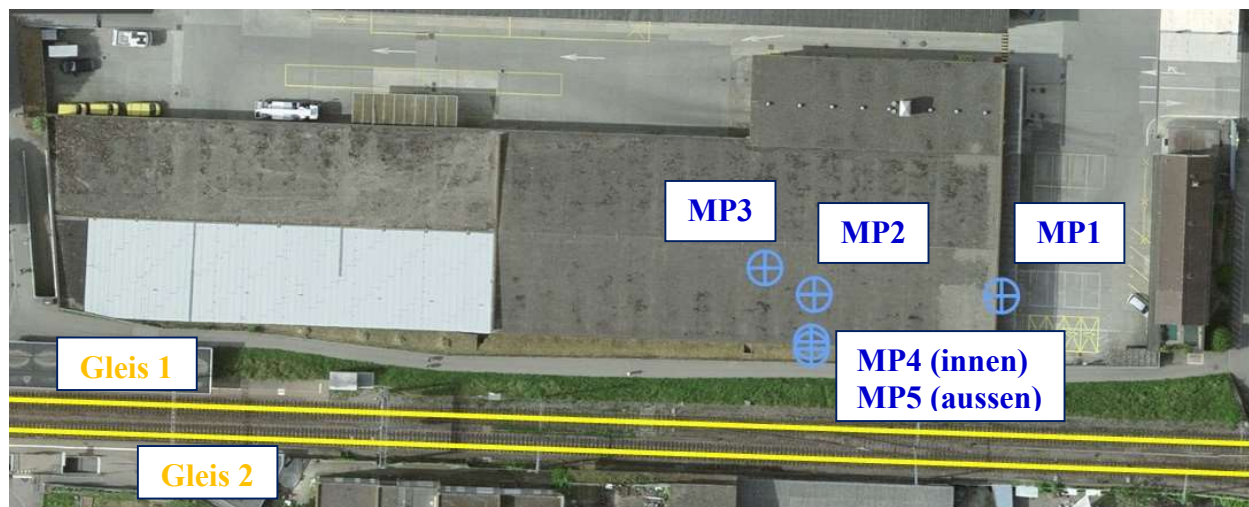
8. BEILAGENVERZEICHNIS

Beilage 1:	Übersicht Messpositionen
Beilage 2:	Fotos
Beilage 3:	Messprotokoll
Beilage 4:	Erschütterungsspektren
Beilage 5:	Kurzbeschreibung Messgeräte
Beilage 6:	Grundlagen / Theorie
Beilage 7:	Prognoseberechnungen Baubereich A.I und Baubereich A.II

Beilage 1:

Übersicht Messpositionen

Übersicht Messpositionen



oben: Situation heutiger Zustand; unten: Projekt

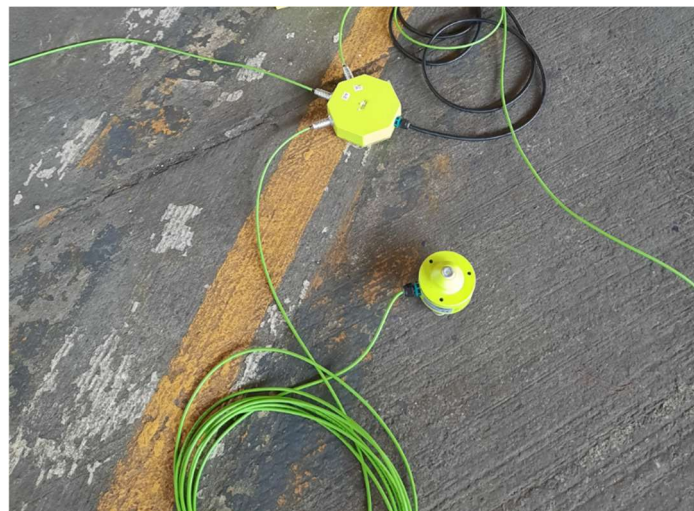
Beilage 2:

Fotos

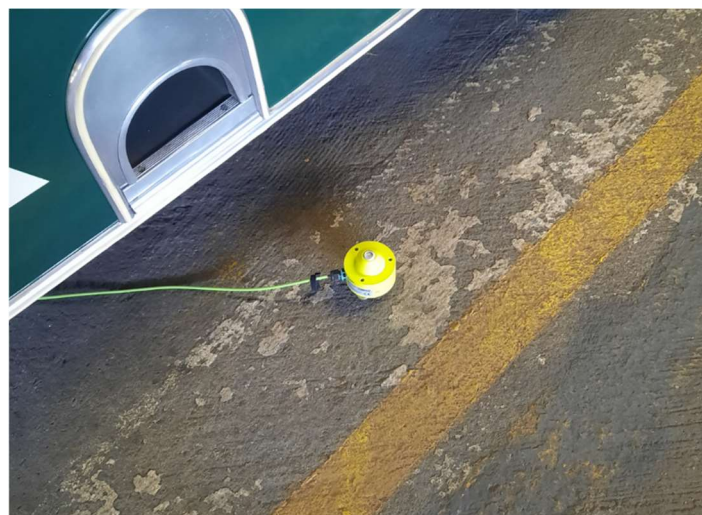
Fotos Messkampagne



MP1 (Projekt: A.II.1)



MP2 (Projekt: A.II)



MP3 (Projekt: A.I)



MP4 (Messpunkt innen)



MP5 (Freifeldmesspunkt)

Beilage 3:

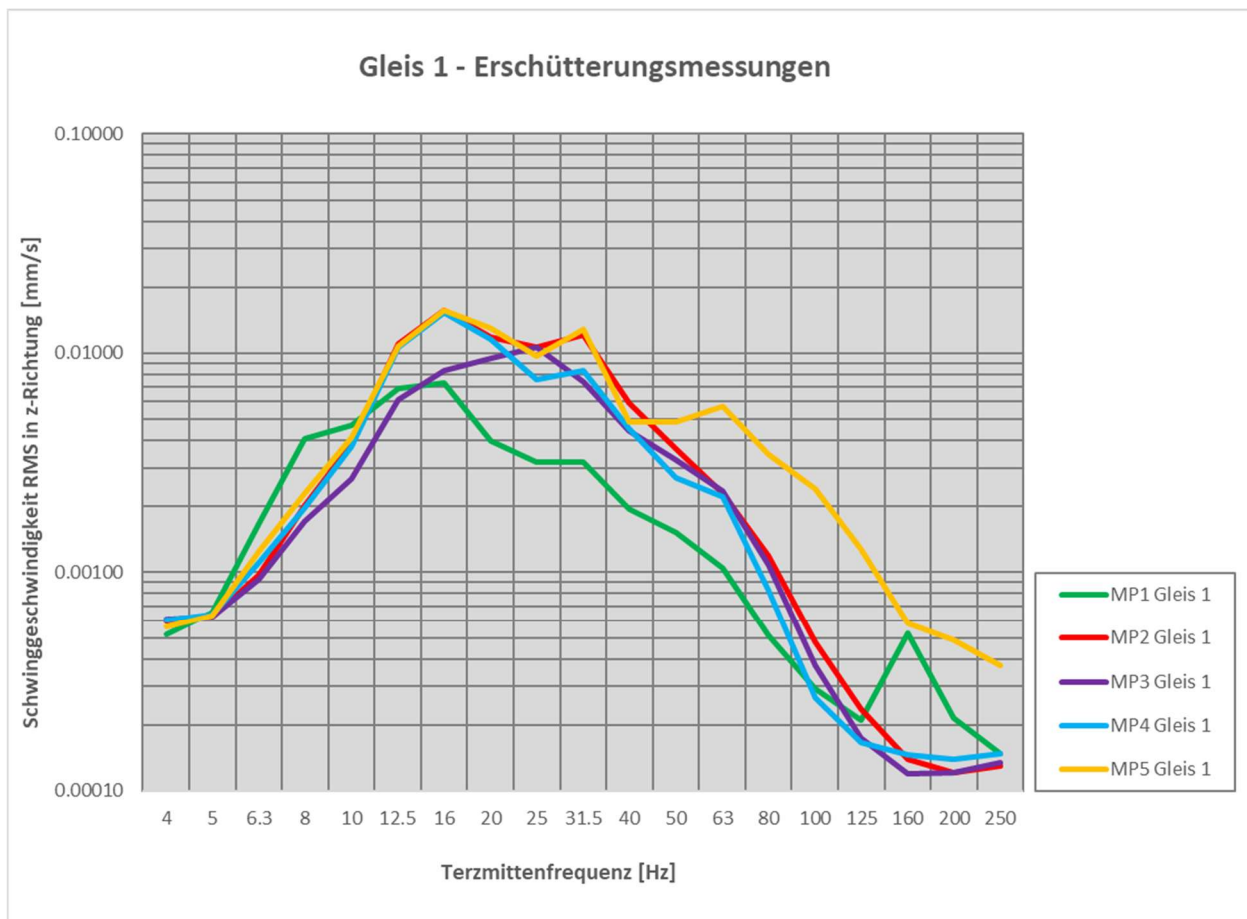
Messprotokoll

MESSPROTOKOLL VOM 30.05.2023				Name: GS		Seite 1/1	
Wetter: Windig							
Zug Nr.	Uhrzeit	Ost	West	Gleis Nr.	Geschw. [km/h]	Zugstyp	Bemerkungen (Zug, Anz. Wagen, etc.)
1	10:52:00	x		1		PZ	
2	10:53:00		x	2		PZ	
3	10:56:00		x	2		PZ	
4	10:59:00	x		1		PZ	
5	11:01:00		x	2		GZ	2 Wagen
6	11:03:00	x		2		GZ	2 Wagen
7	11:10:00	x		1		PZ	5 Wagen
8	11:13:00		x	2	47	PZ	5 Wagen
9	11:20:00	x		1	8	PZ	4 Wagen
10	11:23:00		x	2	35	PZ	5 Wagen
11	11:36:00	x		1	25	PZ	4 Wagen
12	11:40:00		x	2	28	PZ	4 Wagen
13	11:49:00	x		1	35	PZ	6 Wagen
14	11:55:00		x	2	24	PZ	6 Wagen
15	11:59:00	x		1	0	PZ	5 Wagen (sehr langsam)
16	12:00:00		x	2	87	PZ	6 Wagen
17	12:15:00	x		1	20	PZ	5 Wagen
18	12:15:00		x	2		PZ	gleichzeitig mit Zug 17 gefahren
19	12:22:00	x		1	35	PZ	4 Wagen
20	12:25:00		x	2	30	PZ	5 Wagen
21	12:37:00	x		1	35	PZ	5 Wagen
22	12:37:00		x	2	40	PZ	5 Wagen
23	12:48:00	x		1	75	PZ	6 Wagen
24	12:53:00		x	2	32	PZ	6 Wagen
25	12:57:00		x	2	55	PZ	5 Wagen
26	13:00:00	x		1	60	PZ	6 Wagen
27	13:11:00	x		1	35	PZ	5 Wagen
28	13:12:00		x	2	62	PZ	6 Wagen
29	13:21:00	x		1	25	PZ	4 Wagen
30	13:23:00		x	2	45	PZ	5 Wagen
31	13:37:00	x		1	35	PZ	5 Wagen
32	13:37:00		x	2	30	PZ	4 Wagen
33	13:53:00	x		1	31	PZ	5 Wagen
34	13:54:00		x	2	40	PZ	6 Wagen
35	13:57:00		x	2	70	PZ	6 Wagen
36	13:58:00		x	2	30	GZ	1 Lok
37	13:59:00	x		1	69	PZ	6 Wagen

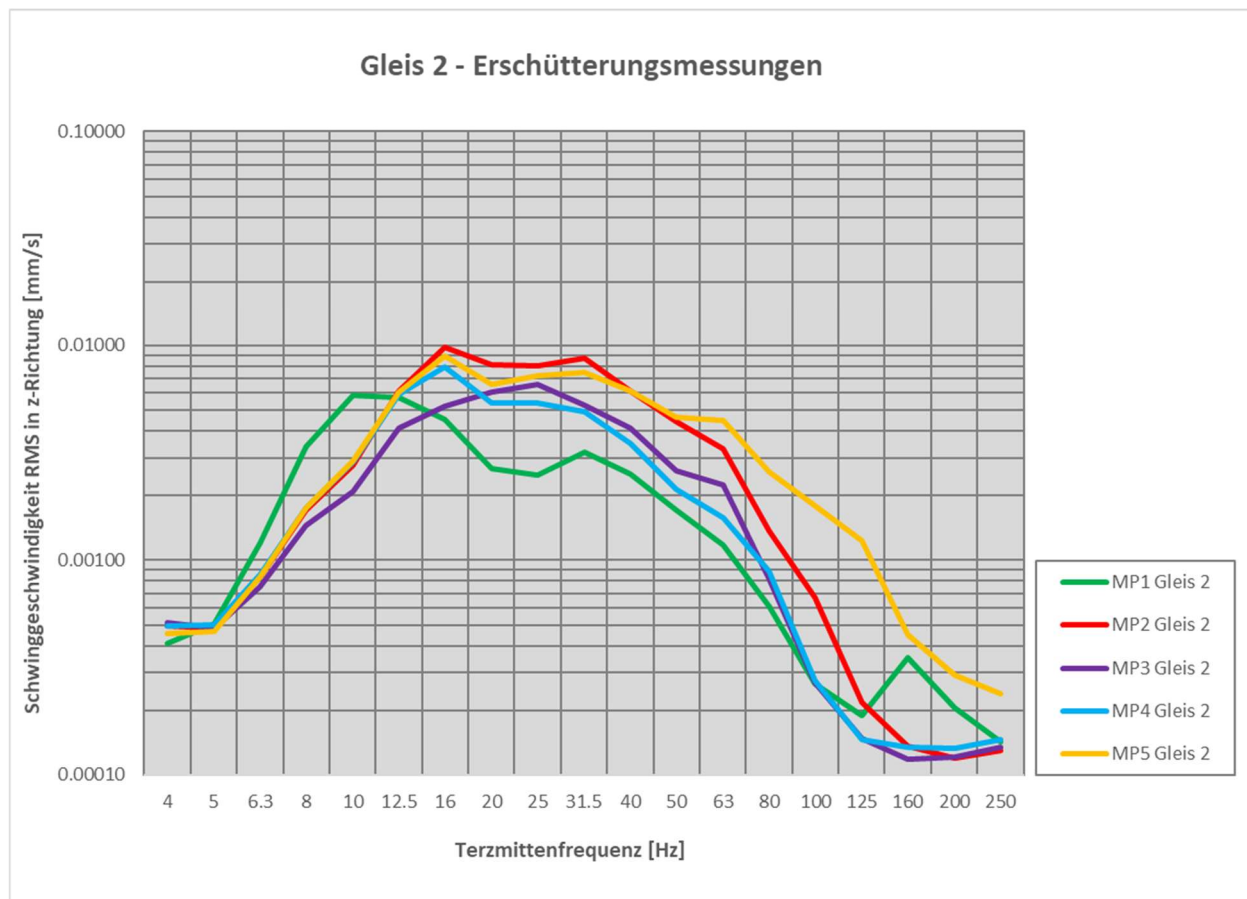
Beilage 4:

Erschütterungs- und Körperschallmessungen: Ausgewählte Terzbandspektren

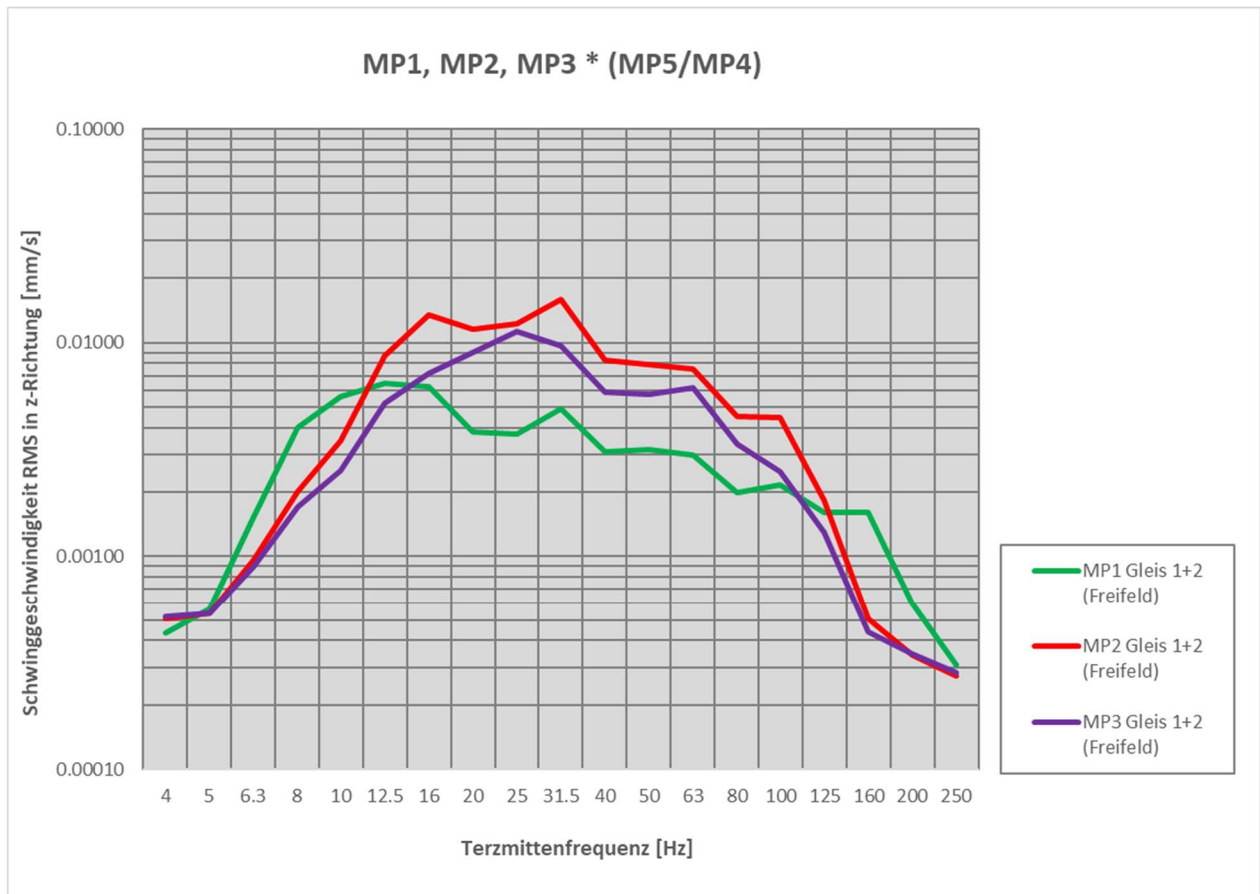
Erschütterungen: Terzbandspektren Gleis 1



Erschütterungen: Terzbandspektren Gleis 2



Erschütterungen: Terzbandspektren "Freifeld"



Beilage 5:

Kurzbeschreibung Messgeräte

Messeinrichtung für Erschütterungsmessungen

Normalausrüstung Typ MENHIR CE, bestehend aus:

- elektronisches Erfassungsgerät mit dreikanaligem Seismometer, zur Messung der drei Schwingungsrichtungen X (horizontal, Kanal 1), Y (horizontal, Kanal 2) und Z (vertikal, Kanal 3):
 - Übertragung Seismometer → Erfassungsgerät: analog
 - Übertragung Erfassungsgerät → Lesestation: digital
- Seismometer mit einer schwinggeschwindigkeits-proportionalen Messspule, zur Erfassung der Schwinggeschwindigkeit in mm/s
- Digitale Speicherung der Messdaten auf SDHC Speicherkarte im Erfassungsgerät und in der Cloud
- Bedienung/Ablesung/Auswertung per PC/Laptop:
 - Integrieren (Schwingweg) / Differenzieren (Schwingbeschleunigung)
 - Mittelwertbildung (verschiedene Zeitkonstanten)
 - Frequenzanalysen (Schmalband / Terzband)
 - statistische Funktionen
 - grafische Auswertungen
 - usw.

Beilage 6:

Grundlagen / Theorie:

- Berechnung der Erschütterungsimmissionen**
- Schallpegel dB(A): Vergleichsgeräusche**

Berechnung der Erschütterungsimmissionen (DIN 4150-2)

Objektspezifische Zusammenfassung (nicht näher bezeichnete Abkürzungen: siehe Norm)

Erschütterungsimmissionen durch Schienenverkehr

Bei der Anwendung der DIN 4150-2 auf Schienenverkehr wird eine Einteilung der Zugsdurchfahrten in **Schichten „j“** empfohlen. Die Schichtung erfolgt so, dass je Gleis und vorkommender Zugsart (Güterzug, Reisezug, ...) eine Schicht gebildet wird. Diese Schichten werden je durch einen **Taktmaximal-Effektivwert $KB_{FTm,j}$** beschrieben:

$$KB_{FTm,j} = \sqrt{\frac{1}{M_j} \sum_{i=1}^{M_j} KB_{FTi,j}^2}$$

Dabei ist:

M_j die Anzahl der durch die Schicht j während der Beurteilungszeit belegten Takte

Der $KB_{FTm,j}$ -Wert kann als schichttypische Grösse (Mittelwert) angesehen werden: eine typische Zugsdurchfahrt mit einem bestimmten Gleisabstand. Sie sagt aber nichts über die Anzahl der Zugsdurchfahrten aus. Liegt eine bestimmte Anzahl Messungen Z_j vor (mind. 5 Messungen pro Schicht j), so kann er folgenderweise bestimmt werden:

$$KB_{FTm,j} = \sqrt{\frac{1}{Z_j} \sum_{i=1}^{Z_j} KB_{FTi,j}^2}$$

Die **Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr}** wird alsdann aus diesen Mittelwerten der einzelnen Schichten ($KB_{FTm,j}$) und der Anzahl der während der gesamten Beurteilungszeit in den einzelnen Schichten belegten Takte M_j (Anzahl der in der Beurteilungszeit fahrenden Züge dieser Schicht) nach folgender Gleichung berechnet:

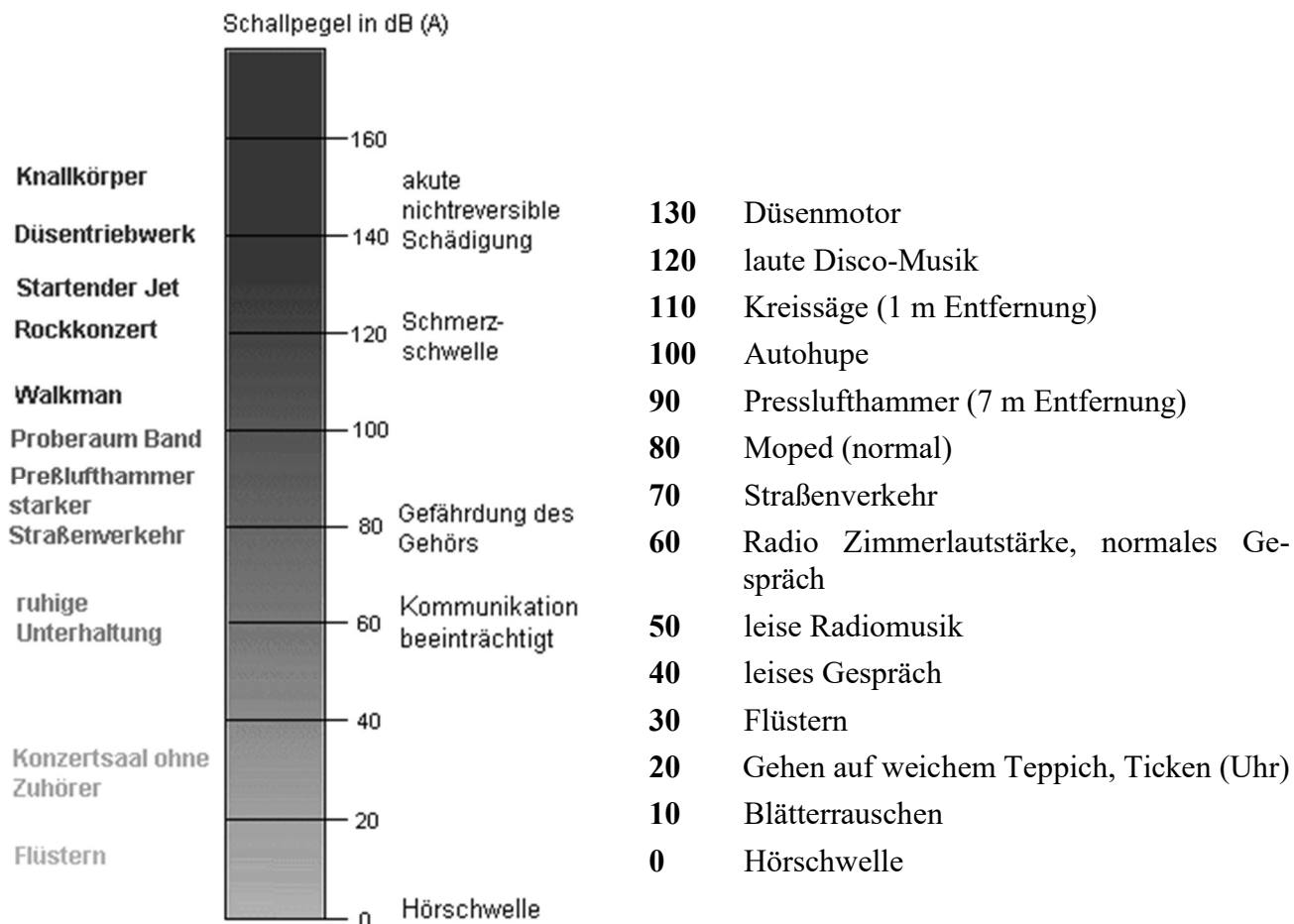
$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{N_r} \sum_{j=1}^L M_j \cdot KB_{FTm,j}^2}$$

Dabei ist:

N_r die Anzahl der Takte im Beurteilungszeitraum (tags: $N_r = 1920$, nachts: $N_r = 960$)

L die Anzahl der unterschiedlichen Schichten

Schallpegel dB(A): Vergleichsgeräusche



Beilage 7:

VIBRA-2 Berechnungen

Gesamtbericht für Projekt: Weyermannshaus West, Baufeld A.I

Zugtypen-Gruppe: TRIAG Nach ES-Norm: DIN 4150/2 Einflussbereich für Weichen: 10 / 50 m
Transferfaktoren-Gruppe: ZC Nach KS-Norm: BEKS

Gleise und Züge

Gleis	Name:	Strecke	Zug-Nr	Zugtyp	Fahrtgeschw	Freq tags	Länge tags	Freq nachts	Länge nachts	Freq nachts max	
1	Gleis 01	Linie 220	1	PZ	Weyer PZ	77	6.9375	171.6216	2.25	155	4.5
1	Gleis 01	Linie 220	2	GZ	Weyer GZ	68	0.344	200.2122	0.3125	196	0.46875
2	Gleis 02	Linie 220	1	PZ	Weyer PZ	77	6.9375	171.6216	2.25	155	4.5
2	Gleis 02	Linie 220	2	GZ	Weyer GZ	68	0.344	200.2122	0.3125	196	0.46875
Summe:						14.56		5.13		9.9	

Gebäude, Gleise und Weichen

Gebäude	Name:	Ort	Gleis	Kommentar	Distanz	Ausbreitung	Weiche etc.	Distanz	Boden	Gleisisolation	D	VB
1	Baufeld A.I	Weyermannshaus	1		20.1	ZC-Modell	NULL	0	NULL	NULL	0	300
			2		24.7	ZC-Modell	NULL	0	NULL	NULL	0	300

Gebäude und Räume

Gebäude	Name	Ort	Ankoppplung	Gebäudeisolation	Nr.	Raum	Geschossdecke	KS-Typ	ES-GW-Gruppe und -Zone		KS-GW-Gruppe und -Zone	
1	Baufeld A.I	Weyermannshaus	MFH	NULL	1	Raum 01	DB Decke 12 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			MFH	NULL	2	Raum 02	DB Decke 16 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			MFH	NULL	3	Raum 03	DB Decke 20 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			MFH	NULL	4	Raum 04	DB Decke 25 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			MFH	NULL	5	Raum 05	DB Decke 32 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			MFH	NULL	6	Raum 06	DB Decke 40 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ

VIBRA-2: Erschütterungs- und Körperschall-Immissionen

Projekt: Weyermannshaus West, Baufeld A.I

Datum: 13.06.2023

Nach ES-Norm: DIN 4150/2

Nach KS-Norm: BEKS

	Erschütterung				Körperschall				Vorbeifahrtszeit			
	Tag		Nacht		Tag		Nacht		Tag		Nacht	
	KBF-95%	KBFtr	KBF-95%	KBFtr	Leq 95% (1Z): dBA	Leq (16h): dBA	Leq 95% (1Z): dBA	Leq (1h): dBA	Vbf-max: s	Vbf-mittel: s	Vbf-max: s	Vbf-mittel: s
Baufeld A.I												
Raum 01	0.176	0.032	0.176	0.020	27.0	7.0	27.0	5.4	13.6	11.1	13.4	10.6
Raum 02	0.153	0.028	0.153	0.017	27.1	7.0	27.1	5.4	13.6	11.1	13.4	10.6
Raum 03	0.080	0.015	0.080	0.009	27.2	7.2	27.2	5.6	13.6	11.1	13.4	10.6
Raum 04	0.058	0.011	0.058	0.007	27.6	7.6	27.6	6.0	13.6	11.1	13.4	10.6
Raum 05	0.051	0.009	0.051	0.006	28.3	8.2	28.3	6.6	13.6	11.1	13.4	10.6
Raum 06	0.047	0.009	0.047	0.005	28.7	8.6	28.7	7.0	13.6	11.1	13.4	10.6

Gesamtbericht für Projekt: Weyermannshaus West, Baufeld A.II

Zugtypen-Gruppe: TRIAG Nach ES-Norm: DIN 4150/2 Einflussbereich für Weichen: 10 / 50 m
Transferfaktoren-Gruppe: ZC Nach KS-Norm: BEKS

Gleise und Züge

Gleis	Name:	Strecke	Zug-Nr	Zugtyp	Fahrgeschw	Freq tags	Länge tags	Freq nachts	Länge nachts	Freq nachts max	
1	Gleis 01	Linie 220	1	PZ	Veyer PZ Weich	77	6.9375	171.6216	2.25	155	4.5
1	Gleis 01	Linie 220	2	GZ	Veyer GZ Weich	68	0.344	200.2122	0.3125	196	0.46875
2	Gleis 02	Linie 220	1	PZ	Veyer PZ Weich	77	6.9375	171.6216	2.25	155	4.5
2	Gleis 02	Linie 220	2	GZ	Veyer GZ Weich	68	0.344	200.2122	0.3125	196	0.46875
Summe:						14.56		5.13		9.9	

Gebäude, Gleise und Weichen

Gebäude	Name:	Ort	Gleis	Kommentar	Distanz	Ausbreitung	Weiche etc.	Distanz	Boden	Gleisolation	D	VB
1	Baufeld A.II	Weyermannshaus W	1		17.3	ZC-Modell	NULL	20	NULL	NULL	0	300
			2		21.9	ZC-Modell	NULL	20	NULL	NULL	0	300

Gebäude und Räume

Gebäude	Name	Ort	Ankoppplung	Gebäudeisolation	Nr.	Raum	Geschossdecke	KS-Typ	ES-GW-Gruppe und -Zone		KS-GW-Gruppe und -Zone	
1	Baufeld A.II	Weyermannshaus	MFH	NULL	1	Raum 01	DB Decke 12 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			MFH	NULL	2	Raum 02	DB Decke 16 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			MFH	NULL	3	Raum 03	DB Decke 20 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			MFH	NULL	4	Raum 04	DB Decke 25 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			MFH	NULL	5	Raum 05	DB Decke 32 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			MFH	NULL	6	Raum 06	DB Decke 40 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ

VIBRA-2: Erschütterungs- und Körperschall-Immissionen

Projekt: Weyermannshaus West, Baufeld A.II

Datum: 13.06.2023

Nach ES-Norm: DIN 4150/2

Nach KS-Norm: BEKS

	Erschütterung				Körperschall				Vorbeifahrtszeit			
	Tag		Nacht		Tag		Nacht		Tag		Nacht	
	KBF-95%	KBFtr	KBF-95%	KBFtr	Leq 95% (1Z): dBA	Leq (16h): dBA	Leq 95% (1Z): dBA	Leq (1h): dBA	Vbf-max: s	Vbf-mittel: s	Vbf-max: s	Vbf-mittel: s
Baufeld A.II												
Raum 01	0.299	0.049	0.299	0.030	29.5	8.4	29.5	6.8	13.6	11.1	13.4	10.6
Raum 02	0.384	0.063	0.384	0.039	29.9	8.8	29.9	7.2	13.6	11.1	13.4	10.6
Raum 03	0.229	0.037	0.229	0.023	30.5	9.4	30.5	7.8	13.6	11.1	13.4	10.6
Raum 04	0.161	0.026	0.161	0.016	30.8	9.8	30.8	8.2	13.6	11.1	13.4	10.6
Raum 05	0.133	0.021	0.133	0.013	31.3	10.3	31.3	8.7	13.6	11.1	13.4	10.6
Raum 06	0.105	0.017	0.105	0.010	32.0	10.9	32.0	9.3	13.6	11.1	13.4	10.6