



Öffentlich bestellter und vereidigter
Sachverständiger für Erschütterungen
im Bauwesen und in der Sprengtechnik
Dr.-Ing. Ulf Lichte, IHK München

Sachverständigen- und Ingenieurbüro
Dr.-Ing. Ulf Lichte
Heimteichstraße 6
04179 Leipzig

Telefon: 0341 / 4413523
Telefax: 0341 / 4511606
Email: info@Lichte.de
Internet: www.Lichte.de

Gutachten

Erschütterungseinwirkungen infolge des Schienenverkehrs

Objekt:

Speyer - "Am Rabensteiner Weg"

Auftraggeber:

GeRo Ludwigsgarten Speyer
Entwicklungsgesellschaft mbH & Co.KG

**Erschütterungstechnisches Gutachten auf Grundlage von
Unterlagen, Erfahrungen und Messdaten**

Bauvorhaben: Wohnungsneubau Ludwigsgarten

Objekt: Speyer - "Am Rabensteiner Weg"

Auftrags/Kunden-Nr: F346 / KE81

Bericht Nr F346_GA_001

Auftraggeber: GeRo Ludwigsgarten Speyer
Entwicklungsgesellschaft mbH & Co.KG
Mittlere Ortsstraße 79
60313 76761 Rülzheim

Ortsbesichtigung: 05.05.2020

Messung: 05.05.2020 durch Dr.-Ing. Ulf Lichte und Tom Kaminski

Ort und Datum: Leipzig, den 8. Juni 2020

Ulf Lichte

Dr.-Ing. Ulf Lichte



Revisionen

Rev	Datum	Dokument-Nr	Bemerkung
0	08.05.2020	F346_GA_001	Erschütterungsprognose
1	08.06.2020	F346_GA_002	Einarbeitung kleinerer Text-Korrekturen



Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabe	5
2	Situation und Veranlassung	5
3	Beurteilung der Erschütterungswirkung	7
3.1	Einwirkungen auf Bauwerke	7
3.2	Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	7
3.3	Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken	8
3.4	Sekundärer Luftschall	11
4	Anlage und Durchführung der Schwingungsmessungen	13
4.1	Erschütterungsquellen	13
4.2	Messgeräte	13
4.3	Messorte und Messpunkte	13
5	Grundlagen Prognose	14
6	Messergebnisse, Berechnungen und Begutachtung	16

Unterlagen

Tabelle U – Verträge, Pläne, Berichte

U(1)	Auftrag 27.04.2020
U(2)	Geotechnischer Vorbericht zu Baugrund und Gründung Firma ISK
U(3)	Verkehrstechnische Untersuchung Ludwigsgarten
U(4)	Bebauungsplan: Webseite der Stadt Speyer, Bebauungsplan_Internetfassung.pdf

Tabelle R – Gesetze, Normen, Richtlinien, Vorschriften

[BImSchG]	BImSchG:2013-05-17 Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge
[TA Lärm]	TA Lärm:1998-08 Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz
[DIN 4150-1]	DIN 4150-1:2001-06 Erschütterungen im Bauwesen – Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen
[DIN 4150-2]	DIN 4150-2:1999-06 Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
[DIN 45669-1]	DIN 45669-1:2010-09 Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 1: Schwingungsmesser-Anforderungen und Prüfungen
[DIN 45669-2]	DIN 45669-2:2005-06 Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 2: Messverfahren
[DIN 45672-1]	DIN 45672-1:2009-12 Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen – Teil 1: Messverfahren
[DIN 45672-2]	DIN 45672-2:1995-07 Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen – Teil 2: Auswerteverfahren
[VDI 2038 Blatt 1]	VDI 2038 Blatt 1:2012-06 Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik – Grundlagen – Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen
[VDI 2038 Blatt 2]	VDI 2038 Blatt 2:2013-01 Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik – Schwingungen und Erschütterungen – Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung
[VDI 2038 Blatt 3]	VDI 2038 Blatt 3:2013-11 Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik – Sekundärer Luftschall – Grundlagen, Prognose, Messung sowie Beurteilung und Minderung
[VDI 3837]	VDI 3837:2013-01 Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen - Spektrales Prognoseverfahren
[DB Leitfaden Planer]	Körperschall- und Erschütterungsschutz - Leitfaden für den Planer, DB AG, August 1996

1 Aufgabe

- Erstellen eines erschütterungstechnischen Gutachtens für die Errichtung eines Wohngebäudekomplexes Am Rabensteinweg in Speyer zur Sicherstellung eines ausreichenden Erschütterungsschutzes unter besonderer Berücksichtigung der am Grundstück vorbeiführenden eingleisigen Bahnstrecke;
- Durchführung von Schwingungsmessungen auf dem Grundstück Am Rabensteinweg in Speyer zur Erfassung der Erschütterungsimmissionen infolge des Eisenbahnverkehrs
- Erschütterungsprognose und Begutachtung der auftretenden Erschütterungen in den geplanten mehrgeschossigen Wohngebäuden;
- Erarbeitung von Hinweisen für einen ausreichenden Immissionsschutz infolge der Erschütterungseinwirkungen aus dem Zugverkehr

2 Situation und Veranlassung

Auf dem Grundstück zwischen der Wormser Landstraße, der Straße Am Rabensteinweg und dem nördlich befindlichen Bahngleis ist unter dem Namen *Ludwigsgarten Speyer* die Errichtung mehrerer Wohngebäude geplant. Für die Errichtung sind hinsichtlich des Immissionsschutzes neben dem Lärmschutz auch die Erschütterungseinwirkungen und der Sekundärschall zu betrachten. Das vorliegende Gutachten befasst sich mit beiden letztgenannten Thematiken hinsichtlich der geplanten Wohnbauten.

Auf dem Grundstück befinden sich derzeit u.a. noch gewerblich genutzte Gebäude, ein dazugehöriger Parkplatz, ein Garagenkomplex und ein leerstehendes Wohngebäude. Diese werden im Zuge der Baumaßnahme rückgebaut. Es entstehen fünf am Bahngleis befindliche Wohnhäuser und fünf zurückgesetzte Wohnhäuser.

Die örtlichen Gegebenheiten und die Lage der Messpunkte sind in Abbildung 1 dargestellt.

Da von Schienenverkehr Erschütterungen emittiert werden, die potentiell spürbar sein können und über Sekundärschall wahrnehmbar sein können, ist eine Untersuchung erforderlich, inwieweit in der gegebenen Einwirkungssituation erschütterungsmindernde Maßnahmen notwendig sind. Hierzu wurden vor Ort repräsentative Schwingungsmessungen durchgeführt, auf deren Basis die rechnerische Beurteilung erfolgen soll.

Nach Recherche wird das Bahngleis privat betrieben und endet im südwestlich zum Grundstück gelegenen Tanklager der Firma TanQuid am neuen Hafen Speyer. Hinsichtlich der Zugbelegung wurde bei einer mündlichen Vor-Ort-Anfrage von einem Zug pro Tag gesprochen. Nach Auskunft des Fahrdienstleiters DB Speyer ist von maximal fünf Zugfahrten pro Tag auszugehen. Die Zuglänge beträgt maximal 300 m und die Geschwindigkeit 20 km/h.

Abbildung 1 Lageplan mit Messpunkten



3 Beurteilung der Erschütterungswirkung

3.1 Einwirkungen auf Bauwerke

Von Schienenverkehr verursachte Erschütterungen sind für Bauwerke schadlos aufnehmbar. Auf die Darstellung der entsprechenden Beurteilungsgrundlagen wird an dieser Stelle deshalb verzichtet.

3.2 Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

In der [DIN 4150-2] werden Anforderungen und Anhaltswerte genannt, „bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden“.

Der Bewertung dienen die Anhaltswerte

- A_u unterer Anhaltswert
- A_o oberer Anhaltswert
- A_r zeitbewerteter Anhaltswert

In Tabelle 1 sind diese Anhaltswerte zusammengestellt. Dabei gilt die Norm grundsätzlich als eingehalten, wenn $KB_{Fmax} \leq A_u$ oder

$$KB_{Fmax} \leq A_o \quad \text{und} \quad KB_{FTr} \leq A_r$$

als nicht eingehalten, wenn $KB_{Fmax} \geq A_o$ ist.

Für die Beurteilung des geplanten Gebäudekomplexes erfolgt die Eingruppierung in die Zeile 4 der Tabelle 1.

Tabelle 1 Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen nach [DIN 4150-2]

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A_u	A_r	A_o	A_u	A_r	A_o
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete §9 BauNVO)	0,4	0,2	6	0,3	0,15	0,6
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete §8 BauNVO)	0,3	0,15	6	0,2	0,1	0,4
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete §7 BauNVO, Mischgebiete §6 BauNVO, Dorfgebiete §5 BauNVO)	0,2	0,1	5	0,15	0,07	0,3
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet §3 BauNVO, allgemeines Wohngebiet §4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete §2 BauNVO)	0,15	0,07	3	0,1	0,05	0,2
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	0,05	3	0,1	0,05	0,15

3.3 Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken

Für die Planung von Gebäuden stehen in der [VDI 2038 Blatt 2] „Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen“ Anhaltswerte für Geschosdecken im Wohn- und Industriebau. Die Anhaltswertfestlegung beginnt über die Zuordnung der Geschosdecke zu einer sogenannten Bedeutungskategorie (BK 0..III), welche in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Nutzung festgelegt wird. Nach Tabelle 2 sind Wohnräume in die Bedeutungskategorie II einzuordnen.

Bei der Bemessung nach dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird zwischen drei Einwirkungssituationen/-häufigkeiten unterschieden: „quasi ständig“, „häufig“ und „selten“. Die Einwirkungssituation in einem Aufenthaltsbereich hat entweder „geringen Komfort“, „mittleren Komfort“ oder einen „hohen Komfort“. In Tabelle 3 ist zugeordnet, in welcher dieser Einwirkungssituationen eine Geschosdecke mit einer bestimmten Bedeutungskategorie welches Komfortniveau einhalten muss. Der Versuch einer verbalen Übersetzung der dann vorherrschenden Bedingungen ist in Tabelle 5 gegeben.

Wohn- und Schlafräume (BKII) sollten selbst bei häufig auftretenden Ereignissen immer noch einen hohen Komfort aufweisen ($KB_{Fmax} < 0,2$). In seltenen Situationen ist ein mittlerer Komfort ($0,2 \leq KB_{Fmax} \leq 1,0$) zulässig.

In Tabelle 6 sind die anzuwendenden Anhaltswerte in den geplanten Wohn- und Schlafbereichen zusammengestellt.

Tabelle 2 Bedeutungskategorien von Bauwerken im Hinblick auf Komfort aus [VDI 2038 Blatt 2]

Bedeutungskategorie (BK)		Bauwerkstypen				
Geschossdecken im Wohn- und Industriebau		Geschossdecken in öffentlichen Gebäuden	Stadien und temporäre Tribünen	Brücken	Treppen	
Hohe Bedeutung → geringe Bedeutung	0	Werkstätten	Flächen mit sehr geringen Anforderungen	temporäre Tribünen	-	-
	I	Arbeitsbereiche mit überwiegend geistiger Tätigkeit (Büros)	Sakralbauten, Konzertsäle, Bibliotheken, Kantinen	Steh- und Sitztribünen in Stadien	Brücken in ländlichen Gebieten mit geringer Nutzung	Treppen in öffentlichen Gebäuden
	II	Wohnräume, Schlafräume	Museen, Kultur- und Mehrzweckräume, Schulen, Diskotheken	Tribünen mit erhöhten Anforderungen	Brücken in geschlossenen Siedlungen	Treppen mit Aufenthaltsmöglichkeit (z.B. Podeste)
	III	Sanitätsräume, Operationsräume, Ruhrräume (Krankenhaus, Kurklinik)	Flächen mit sehr hohen Anforderungen	-	Verkehrswege zu Einrichtungen, deren Nutzer eingeschränkte Beweglichkeit haben (z.B. Krankenhäuser)	Sondertreppen

Tabelle 3 Zuordnung der Bedeutungskategorien (BK) zum Komfortniveau und der Bemessungssituation im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG), aus [VDI 2038 Blatt 2]

Komfortniveau Bemessungssituation GZG	Hoher Komfort	Mittlerer Komfort	Geringer Komfort / Unwohlsein
	$KB_{Fmax} < 0,2$	$0,2 \leq KB_{Fmax} \leq 1,0$	$1,0 \leq KB_{Fmax} \leq 2,5$
Quasiständig	BKI	BK0	
Häufig	BKII	BKI	BK0
Selten (reversible Ausw.)	BKIII	BKII	BKI

Tabelle 4 Anhaltswerte für Geschosdecken im Wohn- und Industriebau, aus [VDI 2038 Blatt 2]

Komfortniveau	KB _{Fmax} -Werte
Hoher Komfort	KB _{Fmax} < 0,2
Mittlerer Komfort	0,2 ≤ KB _{Fmax} ≤ 1,0
Geringer Komfort/Unwohlsein	1,0 ≤ KB _{Fmax} ≤ 2,5

Tabelle 5 Verbale Beschreibung der Anforderungen an Flächen der unterschiedlichen Bedeutungskategorien 0 bis III

Bedeutungs-Kategorie (BK)	Beschreibung der Anforderung
Allgemein	Jede bauliche Fläche mit einer Nutzung wird einer <i>Bedeutungskategorie 0...III</i> zugeordnet. Erschütterungen bieten je nach Intensität <i>geringen Komfort, mittleren Komfort</i> oder <i>hohen Komfort</i> . Vom zeitlichen Auftreten her können Erschütterungsintensitäten (a) <i>quasi ständig</i> innerhalb eines gewissen Niveaus sein - oder (b) <i>häufig</i> ein gewisses höheres Niveau erreichen – oder (c) <i>selten</i> ein noch höheres Niveau überschreiten. Die zu schaffenden Mindestanforderungen werden über das Zusammenspiel der vorgenannten Aspekte Bedeutungskategorie, Komfortniveau und Auftretenshäufigkeit definiert. Die dann planmäßig vorherrschende Situation wird nachfolgend beschrieben.
III	Für einen Bereich mit einer Nutzung nach der Bedeutungskategorie III (z.B. Krankenhaus) muss stets ein Umfeld mit hohem Komfort vorherrschen. Nur selten (Bemessungssituation im Grenzzustand „selten“) darf die Einwirkung größer sein. Sie darf in keinem Fall ein Maß mit geringen Komfort oder Unwohlsein erreichen.
II	Für einen Bereich mit einer Nutzung nach der Bedeutungskategorie II (z.B. Wohnen, Schlafen) muss ein hoher Komfort vorherrschen. Es dürfen aber häufiger auch Ereignisse mit mittlerem Komfort auftreten. Erschütterungen, die geringen Komfort oder gar Unwohlsein hervorrufen, dürfen nur selten auftreten.
I	Bereiche mit einer Nutzung nach der Bedeutungskategorie I können zwar auch derart gestaltet sein, dass sie hohen Komfort bieten. Es ist aber zulässig, dass quasi ständig die hierfür erforderlichen Grenzen überschritten werden. Ferner dürfen häufig auch Einwirkungen auftreten, die nicht mehr dem mittleren Komfort zuzuordnen sind, sondern geringen Komfort haben und ggf. Unwohlsein hervorrufen. In seltenen Situationen dürfen Ereignisse unkomfortabel und belästigend sein.
0	Bereiche, die der Bedeutungskategorie 0 zugeordnet sind, können zwar auch so sein, dass sie hohen Komfort oder auf mittleren Komfort aufweisen. Es darf aber quasi ständig auch ein nur geringer Komfort vorherrschen. Häufig dürfte es auch zu belästigenden Einwirkungssituationen kommen, die allgemein Unwohlsein hervorrufen können.

Tabelle 6 Einzuhaltende Anhaltswerte für die geplanten Wohngebäude nach [DIN 4150-2]

	[DIN 4150-2] Wohn- und Bürogebäude		[VDI 2038 Blatt 2]	
	Tags	Nachts	häufig BKII	selten BKI BKII
A _u unterer Anhaltswert	0,15	0,10		
A _o oberer Anhaltswert	3,00	0,2	0,2	1,0
A _r zeitbewerteter Anhaltswert	0,07	0,05		

3.4 Sekundärer Luftschall

Für die Beurteilung der Einwirkungen aus dem sekundären Luftschall gibt es keine einheitlichen Richtwerte. Eine Beurteilungsmöglichkeit ist in dem Leitfaden für den Planer [DB Leitfaden Planer] mit Tabelle 7 gegebenen, wobei die Zeile 3 anzusetzen wäre. Geräuschspitzen max L_{sek} dürfen 10 dB(A) über dem Immissionsrichtwert liegen. In vielen Fällen, so bei oberirdischen Eisenbahnstrecken überwiegt in der Regel der gleichzeitig direkt einfallende Luftschall. Unter bestimmten Umständen z.B. hinter einer Lärmschutzwand oder bei Tunnels kann der sekundäre Luftschall, der von den Raumbegrenzungsflächen abgestrahlt wird, einen beträchtlichen Anteil am gesamten Innenraumpegel einnehmen. Die Beurteilung erfolgt daher in den meisten Fällen gemeinsam mit dem primären Luftschall mit folgender Tendenz: überwiegt der primäre Luftschall kann der Richtwert für den sekundären Luftschall höher gewählt werden, ohne dass es zu Belästigungen kommt. Dominiert wegen einer starken Minderung des primären Luftschalls der sekundäre Luftschall, können schon geringe Werte des sekundären Luftschallpegels störend sein.

Nach der [TA Lärm] sollte in Wohn- und Schlafräumen während der Nachtzeit der Beurteilungspegel 25 dB(A) nicht überschreiten und Schallpegelspitzen nicht über 35 dB(A) liegen. Diese Abstufung ist für Büroräume nicht erforderlich, da hier eine nächtliche Nutzung eher die Ausnahme und dann zum Zwecke der Arbeit gegeben ist.

Tabelle 7 Immissionsrichtwerte für zumutbare Innenraumpegel L_{sek} (Mittelungspegel) bei geschlossenem Fenster bei Neubau-Strecken (ohne Vorbelastung), [DB Leitfaden Planer]

Zeile	Nutzung	Wohnräume/Tag L_{sek} (in dB(A))	Schlafräume/Nacht L_{sek} (in dB(A))
1	Krankenhäuser, Schulen, Kurheime, Altenheime	33	28
2	reine und allg. Wohngebiete u. Kleinsiedlungsgebiete	35	30
3	Kern-, Dorf- und Mischgebiete	40	35
4	Gewerbegebiete	45	40

Tabelle 8 Immissionsrichtwerte nach [TA Lärm]

Zeile	Nutzung	Immissionsorte außerhalb von Gebäuden		Immissionsorte innerhalb von Gebäuden oder bei Körperschallübertragung	
		dB(A)		dB(A)	
		tags	nachts	tags	nachts
A	Industriegebiete	70	70	35	25
B	Gewerbegebiete	65	50		
C	Kerngebiete, Dorfgebiete und Mischgebiete	60	45		
D	Allgemeine Wohngebiete und Kleinsiedlungsgebiete	55	40		
E	Reine Wohngebiete	50	35		
F	Kurgebiete, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45	35		
	Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen	30	20	10	10

4 Anlage und Durchführung der Schwingungsmessungen

4.1 Erschütterungsquellen

Für die kurzfristige Begutachtung wurden am 05. April 2020 Schwingungsmessungen durchgeführt, mit dem Ziel, eine Erschütterungsprognose auf Basis der örtlichen Gegebenheiten durchzuführen. Während des Messaufbaus fuhr ein Güterzug in langsamer Geschwindigkeit in Richtung neuem Hafen. Nach fertiggestelltem und in Betrieb genommenem Messaufbau wurde die Rückfahrt der Lokomotive gemessen. Da zu dem Zeitpunkt keine Aussagen über die Zugbelegung vorlagen, wurde eine Recherche durchgeführt. Diese führte zum Ergebnis, dass dieses Bahngleis durch die Firma TanQuid privat betrieben mit Güterzügen (Tankwagen) betrieben wird. Der nicht gemessene Güterzug war der einzige am Messtag verkehrende Zug. Die Messung wurde daraufhin eingestellt.

Die Erschütterungsprognose und Begutachtung erfolgt auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse und wird zu präzisieren sein.

4.2 Messgeräte

Die Messungen erfolgten mit zwei 8-kanaligen Präzisions-Schwingungsmessern SMK-4812 der Dr. Kebe Scientific Instruments GmbH und Registrierung auf einem Rechner vom Typ HP Elitebook 8560p unter Verwendung eines 16-bit A/D-Wandlers des Herstellers National Instruments mit der Software MEDA 2018 der Wölfel Messsysteme Software GmbH + Co. KG.

Die Apparaturen entsprechen den Anforderungen der DIN 45669-1 und liefern schwinggeschwindigkeitsproportionale Signale mit einer Bandbegrenzung von 1-315 Hz.

Für die Erschütterungsbeurteilung wurde nur der Frequenzanteil 4-80 Hz berücksichtigt. Für die Beurteilung des sekundären Luftschalls wird der Frequenzbereich 20-250 Hz berücksichtigt.

4.3 Messorte und Messpunkte

Auf dem künftigen Baugrundstück befinden sich derzeit noch diverse Gewerbebauten (Einkaufsmärkte), ein zugehöriger Parkplatz, eine Garagenkomplex sowie ein leerstehendes Einfamilienhaus. Für die Messungen wurde im Abstand von 10 m zur Bahnachse ein Messpunkt in der Außenwandebene einer Gewerbehalle und rund 4 m daneben ein Messpunkt auf dem Asphalt des Parkplatzes aufgebaut. Eine Messung auf Gründungsniveau ist wegen der Nutzung nicht möglich gewesen. Ferner wurde in 50 m Entfernung auf der Türschwelle zum Kellereingang des leerstehenden Wohnhauses ein weiterer Messpunkt aufgebaut, um Aussagen über die Erschütterungsausbreitung zu erhalten.

Die Lage der Messpunkte ist im Lageplan in Abbildung 1 eingetragen und in Tabelle 9 beschrieben.

Tabelle 9 Messort und Messpunkte

Messpunkt und Komp.	Messort	Standort	Aufnehmer letzte Kalibrierung	Ankopplung
A xz	Am Rabensteiner Weg 7	Kellergeschoss, Türschwelle Kellereingang ca. 50 m Abstand vom Bahngleis	SM6 SN 3K3 17.05.2017	3-Punkt-Rundfuß
B xyz	Am Rabensteiner Weg 7	ebenerdig, Toreinfahrt zur Gewerbehalle, Außenwandebene, ca. 10 m Abstand vom Bahngleis	SM 6 SN 0909-61 30.11.2018	3-Punkt-Rundfuß
C xyz	Parkplatz vor Am Rabensteiner Weg 7	ebenerdig, Parkplatzasphalt, 4 m neben Messpunkt B ca. 10 m Abstand vom Bahngleis	SM 6 SN 0909-62 30.11.2018	3-Punkt-Rundfuß

x-Komponente: horizontal in Richtung zur Bahn-Strecke, siehe Abbildung 1

y-Komponente: horizontal, senkrecht zu x

z-Komponente: vertikal

5 Grundlagen Prognose

Die Erschütterungsprognose erfolgt auf der Basis der [VDI 3837] und dem [DB Leitfadener Planer]. In den dort beschriebenen Verfahren wird die Übertragung der Erschütterungsemissionen in mehrere Teilsysteme unterteilt. Diese Teilsysteme bilden die Ausbreitung der Erschütterungen vom Emissionsort zum Immissionsort modellhaft nach. Die Berechnungen erfolgen mit den energetisch gemittelten Terz-Max-Hold-Spektren.

Tabelle 10 Kurzbeschreibung des Berechnungsverfahrens

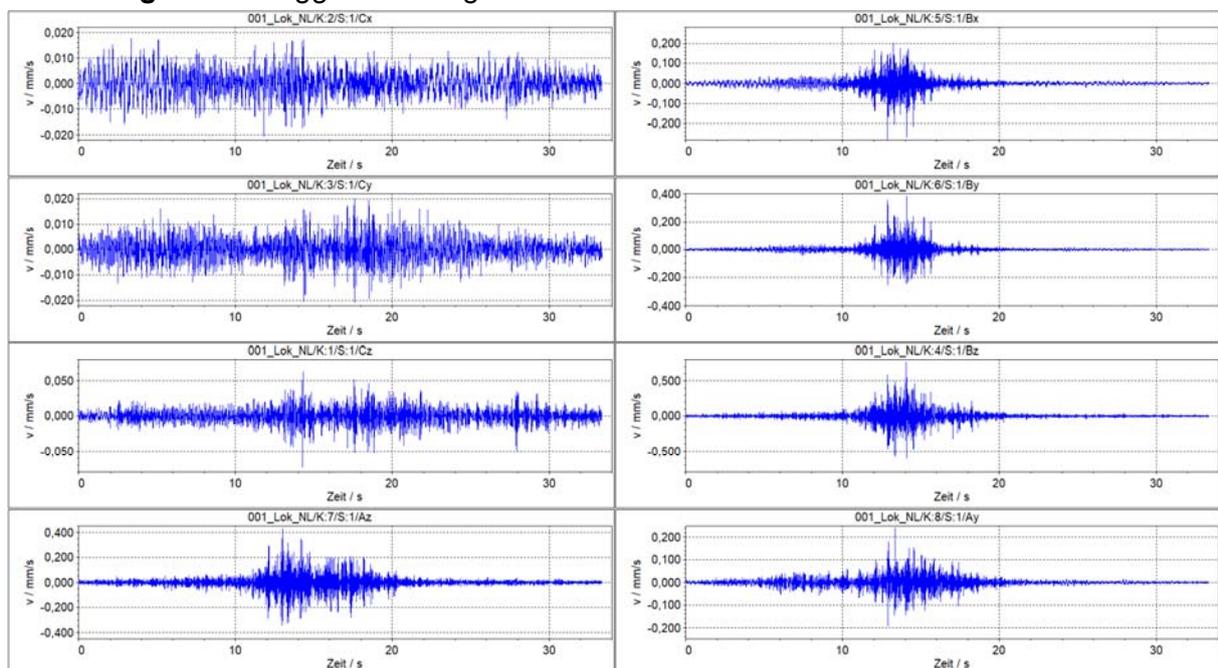
Emissionssystem	$L_{v1}(f_{Tn})$	Ausgehend vom Emissionsspektrum (Terz-Max-Hold)
Transmissionssystem	$+L_{H2}(f_{Tn})$	breiten sich die Erschütterungen im Boden aus
Primäres Immissions-system	$+L_{H3}(f_{Tn})$	werden auf das Gebäudefundament übertragen
Sekundäres Immissi-onssystem	$+L_{H4}(f_{Tn})$	Danach erfolgt die Übertragung vom Fundament zur Gebäudedecke
Immission Geschoss-decke	$=L_{V4}(f_{Tn})$	Die Einwirkungen auf der Decke werden ...
Beurteilungssystem KB	$+L_{KB}(f_{Tn})$ $=L_{vKB}(f_{Tn})$	KB-bewertet und der
Bewertete Schwing-stärke	L_{vges}	Schwingschnelle-Summenpegel
	KB_{FTi}	Über den Taktmaximal-Effektivwert
	$KB_{FTm,j}$ KB_{Fmax} KB_{FTr}	erfolgt die weitere Beurteilung erfolgt mit den Verfahren der [DIN 4150-2] über die Berechnung der Taktmaximal-Effektivwerte für jede Schicht (Fahrzeuggattung, Gleis) und anschließend zusammenfassend die Beurteilungsschwingstärke für die Beurteilungszeiträume tag und nacht.
Beurteilungssystem L_{sek}	$L_{vges}(f_{Tn}) + L_A(f_{Tn})$ $=L_{v(A)}(f_{Tn})$	Der Schwingschnelle-Summenpegel wird A-bewertet und
	$L_{v(A)}$	aus dem Spektralbereich 20 Hz bis 315 Hz der energetische Summenpegel ermittelt.
	L_{sek}	Daraus wird über eine Regressionsbeziehung der Mittelungsgesamtpegel in dB(A) berechnet, bezogen auf die jeweilige Schicht (Fahrzeuggattung, Gleis). Das Maximum wird mit dem Immissionsrichtwert verglichen.

6 Messergebnisse, Berechnungen und Begutachtung

Die Messergebnisse der Schwingungsmessungen sind vom Umfang her ein erster Anhaltspunkt, jedoch von der erfassten Zugzahl nicht repräsentativ. Auf der Strecke finden täglich zwei bis fünf Zugbewegungen statt. Gemessen wurde die Vorbeifahrt einer Lok. Abbildung 2 zeigt den Schwinggeschwindigkeits-Zeit-Verlauf der Vorbeifahrt.

Abbildung 3 zeigt die Terzspektren der vertikalen Erschütterungen an den drei Messpunkten A, B und C. Messpunkt B(rot) und A(blau) geben die Spektren im Fundamentbereich der Gewerbehalle bzw. des Wohnhauses wieder.

Abbildung 2 Schwinggeschwindigkeit-Zeit-Verlauf



Diese beiden Spektren werden für die Prognoserechnung verwendet. Wegen fehlender weiterer Messdaten wird mit einem Sicherheitsfaktor 6,0 gerechnet. Dieser Sicherheitsfaktor wurde geschätzt. Er soll die fehlenden Zugvorbeifahrten von gefüllten Kesselwaggons überkompensieren. Eine Sortierung nach sogenannten Schichten und eine Mittelwertbildung ist mit dem Datenkollektiv nicht möglich.

Während die Vorbeifahrt der Lok ein Ereignis von rund 4 Sekunden ist, wird bei maximal 300 m langen Kesselzügen mit langsamer Geschwindigkeit von 20 km/h eine Vorbeifahrt-dauer von 54 s vorherrschen.

Abbildung 3 Terzspektrum

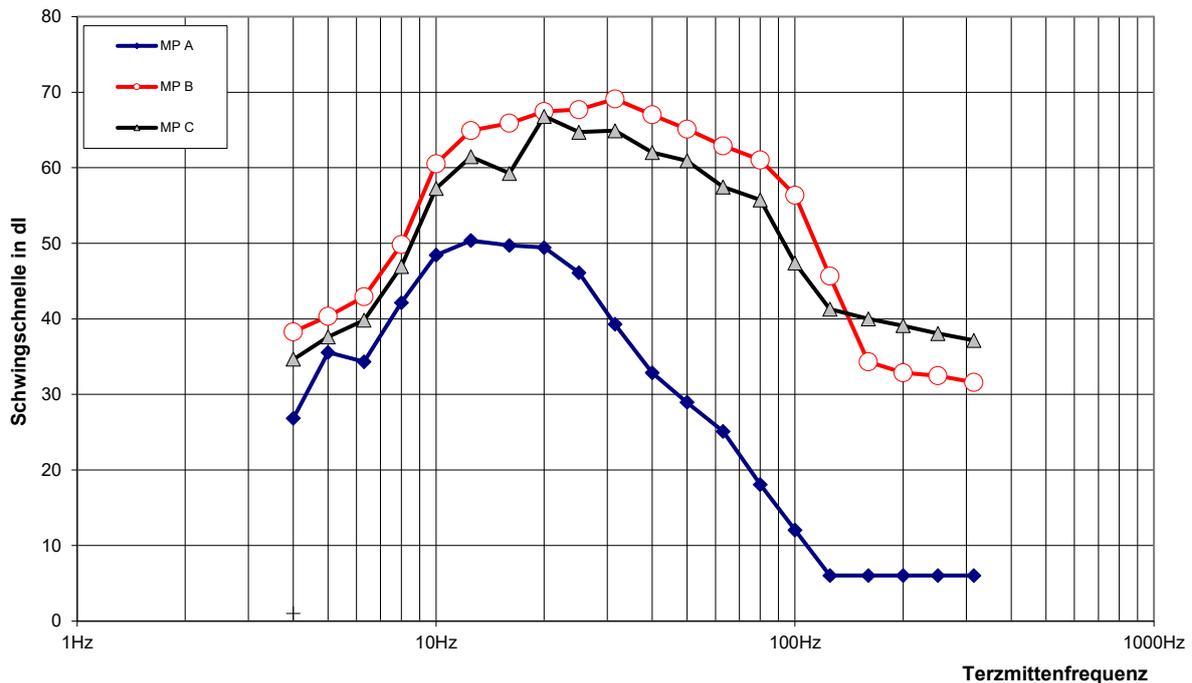


Tabelle 10a Ergebnisse der Erschütterungsprognose 10 m
Sicherheitsfaktor 6,0

Nr	Gebäude	tags		nachts		Beurteilung tags / nachts				Beurteilungspegel			
		KBFmax	KBFTr	KBFmax	KBFTr	A _U	Nachweis	A _r	Nachweis	A _O	Nachweis	A _O	Nachweis
1	B25	2,6126	0,0281	2,6126	0,0199	0,225 0,15	err err	0,105 0,075	OK OK	3 0,6	OK err	35 25	42,7 48,7
2	B32	5,9844	0,0644	5,9844	0,0455	0,225 0,15	err err	0,105 0,075	OK OK	3 0,6	err err	35 25	47,5 53,5
3	B40	2,5279	0,0272	2,5279	0,0192	0,225 0,15	err err	0,105 0,075	OK OK	3 0,6	OK err	35 25	45 51

Tabelle 10b Ergebnisse der Erschütterungsprognose 50 m
Sicherheitsfaktor 6,0

Nr	Gebäude	tags		nachts		Beurteilung tags / nachts				Beurteilungspegel			
		KBFmax	KBFTr	KBFmax	KBFTr	A _U	Nachweis	A _r	Nachweis	A _O	Nachweis	A _O	Nachweis
1	B25	0,2417	0,0026	0,2417	0,0018	0,225 0,15	err err	0,105 0,075	OK OK	3 0,6	OK OK	35 25	27,5 33,5
2	B32	0,2356	0,0025	0,2356	0,0018	0,225 0,15	err err	0,105 0,075	OK OK	3 0,6	OK OK	35 25	30,4 36,4
3	B40	0,1375	0,0015	0,1375	0,0010	0,225 0,15	OK OK	0,105 0,075	OK OK	3 0,6	OK OK	35 25	26,6 32,7

Aus der durchgeführten Prognoserechnung und Begutachtung ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Die Häufigkeit der Zugfahren ist mit einem bis fünf Zugfahrten sehr gering, aber als langsam fahrender Güterzug mit Vorbeifahrtdauern zwischen 4 Sekunden (Lok) und 54 s (Güterzug mit Kesselwagen) mitunter sehr lang andauernd und intensiv.
- Nach VDI 2038 gilt für Wohnräume (=Bedeutungskategorie II) Für einen Bereich mit einer Nutzung nach der Bedeutungskategorie II (z.B. Wohnen, Schlafen) muss ein hoher Komfort vorherrschen. Es dürfen aber häufiger auch Ereignisse mit mittlerem Komfort auftreten. Erschütterungen, die geringen Komfort oder gar Unwohlsein hervorrufen, dürfen nur selten auftreten.
- Wegen der sehr geringen Zugzahl ist eine sorgfältige Abwägung zwischen dem einzuhaltenden Schutzbedarf und dem konstruktiven Aufwand durchzuführen.
- In einem Teil der Gebäude muss mit hoher Wahrscheinlichkeit mit schwingungsmindernden Maßnahmen gerechnet werden.
In den Gebäuden mit größerer Entfernung als 30 m sind nach gegenwärtigem Kenntnisstand keine Schwingungsisolierenden Maßnahmen erforderlich. Das sind die Gebäude 1, 3, 6 und 7.1.



- Für die Gebäude mit geringerem Abstand zum Bahngleis (Gebäude 2, 3.1, 4.1, 4.2, 5.2, 7.2) ist einzuplanen, dass (wahrscheinlich) eine Schwingungsisolierung zwischen Kellerdecke und darüber aufsteigenden Wänden einzubauen ist. Die Berechnungsergebnisse zeigen KBF_{max}-Werte für unterschiedliche Deckeneigenfrequenzen Werte 2,5. Da diese Entscheidung mit Baukosten verbunden ist, sollte die messtechnische Untersuchung mit folgenden Randbedingungen präzisiert werden:
 - Messung in Schürfen auf Gründungsniveau an drei ausgewählten Punkten im Baufeld
 - Absprache mit der Firma TankQuid über einen Tag mit mehr als drei Zugbewegungen mit
 - Präzisierung über das ob tatsächlich schwingungsmindernde Maßnahmen notwendig sind und wenn ja, mit welcher Isolierwirkung eine solche auszuführen ist.
- Die Errichtung der Wohngebäude entlang der Bahnstrecke ist aus erschütterungstechnischer Sicht möglich. Hierfür erforderliche Maßnahmen sind vor der Bauausführung weiter zu präzisieren.