

Müller-BBM GmbH
Niederlassung BFB Stuttgart
Schwieberdinger Str. 62
70435 Stuttgart

Telefon +49(711)136757 0
Telefax +49(711)136757 9

www.MuellerBBM.com

Dipl.-Ing. Friederike Busch
Telefon +49(711)136757 12
Friederike.Busch@mbbm.com

29. Mai 2019
M143533/01 BSF/EZR

Verkehrsbetriebe Karlsruhe GmbH

Erschütterungstechnische Untersuchungen zum barrierefreien Umbau der innerstädtischen Straßenbahnhaltestelle „Kußmaulstraße“ im Bereich des Städtischen Klinikums

Bericht Nr. M143533/01

Auftraggeber:	Verkehrsbetriebe Karlsruhe GmbH Abteilung: V2-PL1-Planung- Verkehrsanlagen Postfach 11 40 76001 Karlsruhe
Auftragsnummer:	070/5001058524
Bearbeitet von:	Dipl.-Ing. Friederike Busch Timo Pietz
Berichtsumfang:	Insgesamt 18 Seiten

Müller-BBM GmbH
Niederlassung BFB Stuttgart
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk, Dr. Alexander Ropertz,
Stefan Schierer, Elmar Schröder

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Situation und Aufgabenstellung	5
2 Unterlagen	6
3 Beurteilungskriterien	7
3.1 Erschütterungen	7
3.2 Sekundärer Luftschall	7
4 Schwingungsmessungen	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Erschütterungsquelle, Immissionsort	8
4.3 Messpunkte	8
4.4 Messausrüstung	11
4.5 Aufbereitung der Messdaten	11
4.6 Messergebnisse	12
5 Prognose der Veränderung der Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen	14
5.1 Vorgehensweise	14
5.2 Ergebnisse der <i>KB</i> -Wert-Berechnung	14
5.3 Ergebnisse der Sekundärluftschall-Prognose	16
6 Beurteilung der prognostizierten Differenzen	17
6.1 Vorbemerkungen	17
6.2 Erschütterungen	17
6.3 Sekundärer Luftschall	17
7 Hinweis hinsichtlich Erschütterungseinwirkungen während der Bauphase	18

Zusammenfassung

In der Karlsruher Weststadt sollen drei Straßenbahnhaltestellen barrierefrei umgebaut und dabei die Gleise verlegt werden. Im Bereich der Haltestelle „Städtisches Klinikum/Kußmaulstraße“ werden die Gleise um ca. 1,00 m nach Süden verlegt. Sie rücken damit näher an die dort gelegene Wohnbebauung. Anhand von Schwingungsmessungen im Gebäude „Moltkestraße 119“ sowie auf einer Grünfläche an der Kreuzung „Moltkestraße/Felix-Mottl-Straße“ sollte die zu erwartende Veränderung der potentiell spürbaren Erschütterungen sowie der Sekundärluftschallpegel prognostiziert werden.

Untersuchungen haben gezeigt, dass der Mensch im Regelfall eine Veränderung der Erschütterungen erst ab einer Veränderung der Immissionen von $\pm 25\%$ wahrnehmen kann. Eine Veränderung von Luftschallimmissionen kann durch den Menschen ab ± 3 dB registriert werden.

Die hier dokumentierte Beurteilung geht von den Bedingungen und dem Planungsstand aus, die bei den Messungen (05.09.2018) vorgelegen haben (Verlegung der Gleise um 1,70 m nach Süden). Die aktuelle Planung (Stand: 29.10.2018) sieht eine Verlegung um lediglich 1,0 m vor. Es sind dadurch geringere Unterschiede der Erschütterungen bzw. Sekundärluftschallpegel zu erwarten als dargestellt.

Die Ergebnisse der Schwingungsmessungen sowie der Prognoseberechnungen zeigen, dass gegenüber dem Ist-Zustand durch die Verlegung der Bahngleise der Haltestelle „Kußmaulstraße“ sowohl mit einer geringfügigen Erhöhung der spürbaren Erschütterungen als auch der Sekundärluftschallpegel zu rechnen ist. Diese Erhöhungen liegen bei ca. 10 % (Erschütterungen, $\Delta KB = +0,01$) bzw. 5 % (Sekundärluftschallpegel, $\Delta v(f_{\text{Tierz}}) = +2,6$ dB). Damit liegen sie unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle für Veränderungen von Erschütterungs- bzw. Luftschallimmissionen von 25 % (Erschütterungen) bzw. 3 dB (Luftschall).

Die zu erwartende Veränderung durch die Verlegung der Gleisanlagen der Haltestelle „Kußmaulstraße“ um 1,0 m in südlicher Richtung ist daher als unkritisch einzuschätzen.



Dipl.-Ing. Friederike Busch
Telefon +49 (0)711 136757 -12
Projektverantwortliche

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände.



Durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH
nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

1 Situation und Aufgabenstellung

In der Karlsruher Weststadt werden drei Straßenbahnhaltestellen barrierefrei umgebaut, für die eine erschütterungstechnische Bewertung erfolgen sollte. Nachfolgend wird die Haltestelle „Städtisches Klinikum/Kußmaulstraße“ betrachtet.

Die Bahngleise im Bereich der Haltestellen sollen erneuert und in diesem Zuge auch um ca. 1,00 m in Richtung der südlich gelegenen Wohngebäude verlegt werden (Abbildung 1). Für die Erschütterungsimmissionen ist, bei prinzipiell gleichbleibendem Fahrwegsaufbau, der Abstand zwischen Quelle und Empfänger der wesentliche Faktor.

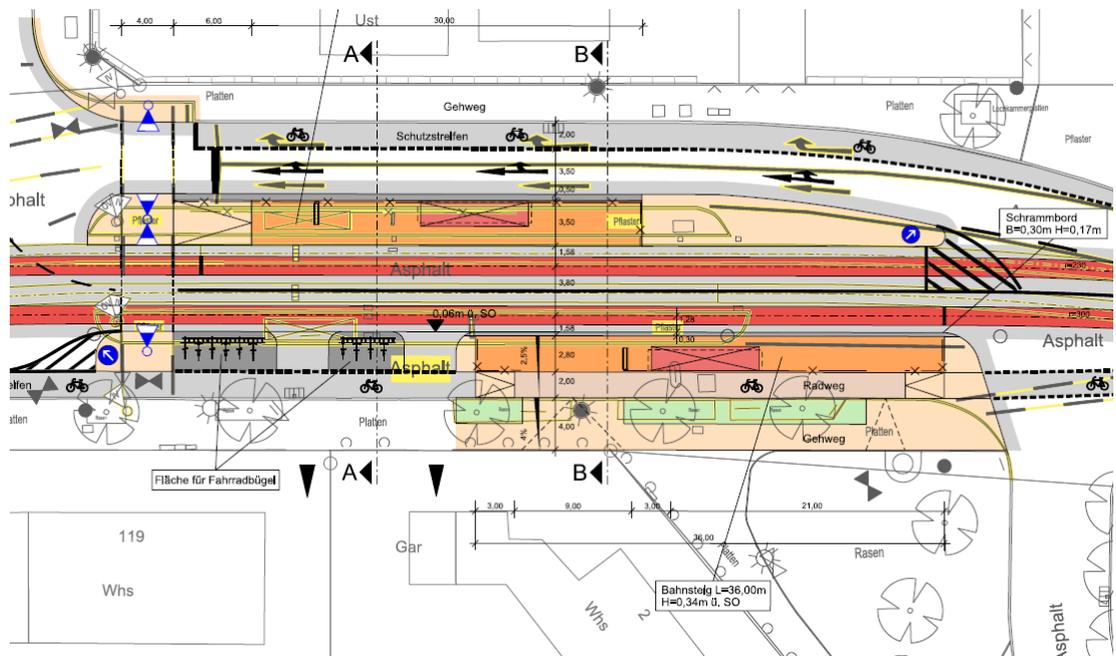


Abbildung 1. Überblick Veränderungen Haltestelle „Kußmaulstraße“ [9].

Erschütterungsimmissionen aus gleisgebundenem Verkehr äußern sich abhängig vom Frequenzbereich sowohl in spürbaren Schwingungen als auch in der Abstrahlung von sekundärem Luftschall. Im Gegensatz zum primären Luftschall, der über die Außenbauteile eindringt, erfolgt beim Sekundärluftschall eine Weiterleitung der von den Zügen abgestrahlten Erschütterungen über den Baugrund und die Gründungen der anliegenden Gebäude. Diese als Körperschall eingetragenen Erschütterungen werden je nach Tragstruktur im Frequenzbereich gefaltet und v. a. von Deckenkonstruktionen hörbar (sekundär) abgestrahlt.

Für eine gleichzeitige Sicherung des Ist-Zustands und eine Bewertung des zukünftigen Zustands sollten Schwingungsmessungen durchgeführt und anschließend bewertet werden.

2 Unterlagen

- [1] DIN 45669 – Messung von Schwingungsimmissionen –
Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfungen. September 2010
- [2] DIN 45669 – Messung von Schwingungsimmissionen –
Teil 2: Messverfahren. Juni 2005
- [3] DIN°45672 – Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenver-
kehrswegen. Dezember 2009
- [4] DIN 4150-2: Erschütterungen im Bauwesen –
Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Juni 1999
- [5] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissions-
schutzgesetzes, 04.02.1997
- [6] „Forschungsvorhaben, Laborversuche zur Ermittlung von Unterschiedsschwel-
len bei der Wahrnehmung von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr
(spürbare Erhöhung – wesentliche Änderung)“, OPB Bericht Nr. 12842-1, Said,
A.; Fleischer, D.; Fastl, H., August 1999 (unveröffentlicht)
- [7] „Zur Bewertung von Erschütterungsimmissionen aus dem Schienenverkehr“,
Zeitschrift für Lärmbekämpfung 48, Said, A.; Fleischer, D.; Kilcher, H.; Fastl, H.;
Grütz, H, November 2001
- [8] Urteil des Verwaltungsgerichtshofes Baden-Württemberg vom 21.10.1997, AZ:
5 S 2298/97
- [9] Lageplan Entwurf „Moltkestraße Knielingen Lassallestraße; Knoten
Klinikum/Moltkestraße – Neureuter Straße Wendeschleife; Barrierefreier
Ausbau Hst Kußmaulstraße“, VBK GmbH, Karlsruhe, 08.08.2018

3 Beurteilungskriterien

3.1 Erschütterungen

Zur Bewertung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden wird die DIN 4150, Teil 2 [4] herangezogen. Sie liefert Anforderungen und Anhaltswerte, „bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden.“ (DIN 4150-2, Kap. 1) Es ist zu beachten, dass die Norm kein Gesetz darstellt, jedoch in Streitfällen von den Gerichten im Regelfall zur Entscheidungsfindung herangezogen wird.

Die Beurteilung nach DIN 4150-2 erfordert einen Vergleich von messtechnisch bestimmten oder anhand von Prognoseberechnungen für Fußböden ermittelten KB -Werten mit den Schwingstärke-Anhaltswerten A aus der Norm. Unterschieden wird dabei der zwischen sogenannte Taktmaximalwert $KB_{F_{max}}$ und der gemittelten Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$. Der $KB_{F_{max}}$ -Wert berücksichtigt dabei die maximal zu erwartende, spürbare Erschütterung. Der $KB_{F_{Tr}}$ -Wert beschreibt die über die Beurteilungszeit (tags 16h, nachts 8h) energetisch gemittelte Schwingstärke, wobei die tatsächliche Einwirkungsdauer berücksichtigt wird.

Die DIN 4150-2 enthält keine konkreten Regelungen bezüglich der Beurteilung bestehender Bahnstrecken, da es sich um Einwirkungen auf vorbelastete Bebauungen handelt. Es wird allerdings festgestellt, dass den Anwohnern an bestehenden Schienenverkehrsstrecken häufig Erschütterungsimmissionen zugemutet werden müssen, die oberhalb des Niveaus liegen, ab dem mit zunehmender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten können (also oberhalb der Anhaltswerte). Die Grenze der Zumutbarkeit kann nicht pauschal, sondern nur unter Berücksichtigung bestimmter Beurteilungskriterien im Einzelfall festgelegt werden (historische Entwicklung der Belastungssituation, Höhe und Häufigkeit der Anhaltswertüberschreitungen etc., s. a. DIN 4150-2, Abschnitt 6.5.3.4). Sie wird aber im Allgemeinen mit dem 1,5-fachen der Anhaltswerte A_u und A_r der Tabelle 1, DIN 4150-2 angesetzt.

Untersuchungen [5],[7] haben gezeigt, dass Probanden erst ab einer Differenz von mehr als 25 % zwischen zwei unterschiedlichen Erschütterungssignalen einen Unterschied wahrnehmen konnten. Diese Differenz steigt bei zunehmenden Pausen zwischen den Einwirkungen weiter an. In der Rechtsprechung wurden in der Vergangenheit auch schon Zunahmen von 40 % der Erschütterungseinwirkung als tolerabel angesetzt [8].

3.2 Sekundärer Luftschall

Auch für den sekundären Luftschall gilt, dass an bestehenden Verkehrsanlagen eine bereits vorhandene Belastung bei Änderungen im Betriebszustand schutzmindernd zu berücksichtigen ist. Analog zu den Erschütterungen darf es dabei nicht zu einer erheblichen Verschlechterung kommen, wobei bei Luftschallimmissionen hierbei eine Pegelerhöhung ab 3 dB(A) (Wahrnehmbarkeitsschwelle des Menschen infolge einer Veränderung der Lautstärke) als wesentliche Änderung anzusehen ist, wenn die aus der 24. BImSchV [5] abgeleiteten Anhaltswerte überschritten werden sollten.

4 Schwingungsmessungen

4.1 Allgemeines

Es wurden Schwingungsmessungen auf der Grünfläche östlich der Wohngebäude an der Haltestelle „Kußmaulstraße“ durchgeführt. Zusätzlich wurde ein Messpunkt im Wohngebäude „Moltkestraße 119“ auf der Bodenplatte im UG installiert. Die Anordnung der Messsensoren orientierte sich an der den Bahngleisen nächstgelegenen Gebäudekante sowie der geplanten Verschiebung der Gleisanlagen. Die Erschütterungsmessungen wurden nach DIN 45669-1 [1], -2 [2] und DIN 45672/1 [3] durchgeführt.

- Ort: Ecke Moltkestraße/Felix-Mottl-Straße sowie im Wohnhaus „Moltkestr. 119“ in 76187 Karlsruhe
- Datum: 05. September 2018
- Uhrzeit/Messzeit: 09:40 Uhr bis 11:15 Uhr
- Messdurchführung: Dipl.-Ing. Friederike Busch,
Timo Pietz

Umgebungsbedingungen:

- Messumgebung: ebenes Gelände, Grasfläche (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4) sowie Bodenplatte (siehe Abbildung 5), Messsensoren auf Messspießen bzw. direkt auf der Bodenplatte
- Meteorologie: trocken, ca. 20°C

4.2 Erschütterungsquelle, Immissionsort

Mittig auf der Moltkestraße verlaufen die Gleise der Straßenbahnlinie 2. Unmittelbar vor den Wohngebäuden „Moltkestr. 119“ und „Felix-Mottl-Straße 2“ befindet sich die Haltestelle „Kußmaulstraße“. Die Erschütterungen infolge der Zugvorbeifahrten wurden auf der Grünfläche östlich des Wohngebäudes „Felix-Mottl-Straße 2“ sowie auf der Bodenplatte des Wohngebäudes „Moltkestr. 119“ südlich der Haltestelle erfasst. Die Sensoren auf der Grünfläche wurden auf Messspießen installiert. Der Sensor im Wohngebäude benötigt aufgrund seines Eigengewichtes keine zusätzliche Befestigung auf der Bodenplatte.

4.3 Messpunkte

Zum Zeitpunkt der Messungen am 05.09.2018 war lt. Planungsstand vorgesehen, die Gleise um 1,70 m nach Süden zu verlegen. Zum 29.10.2018 wurde bekannt, dass die Verlegung auf 1,00 m reduziert wird. Die Auswertung erfolgt also für einen ungünstigeren Fall, da der Prognoseabstand zur Quelle geringer ist als inzwischen lt. Planungsstand zu erwarten.

Um die Änderung der Erschütterungsimmissionen durch den verringerten Abstand feststellen zu können, wurden auf der Grünfläche die Sensoren paarweise in einem

Abstand von 1,70 m angeordnet. Beim ersten Paar befand sich der hintere Sensor auf Höhe der Gebäudeaußenkante, der vordere näher an den Gleisen.

Die Schwingungen am Messpunkt MP3 im Wohngebäude wurden zur Bestimmung des derzeitigen Zustands mit erfasst. So kann ggf. zu einem späteren Zeitpunkt die tatsächliche Veränderung der in das Gebäude eingeleiteten Erschütterungen mit denen der hier dokumentierten Ergebnisse verglichen werden.

Die Position der Messpunkte ist in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Tabelle 1 enthält Informationen zur Lage der Messpunkte.

Tabelle 1. Lage der Messpunkte.

MP.	Abstand [m] zum Gleis*	Messrichtung**	Befestigung/Ankopplungsvorrichtung
MP1N (neu)	15,3 m	x,y,z	auf Erdspieß
MP1A (alt)	17,0 m	x,y,z	auf Erdspieß
MP2N (neu)	23,3 m	x,y,z	auf Erdspieß
MP2A (alt)	25,0 m	x,y,z	auf Erdspieß
MP3	17,0 m	x,y,z	auf Bodenplatte, UG

* Planungsstand: 05.09.2018 ** Messrichtung: z: vertikal - x, y: horizontal

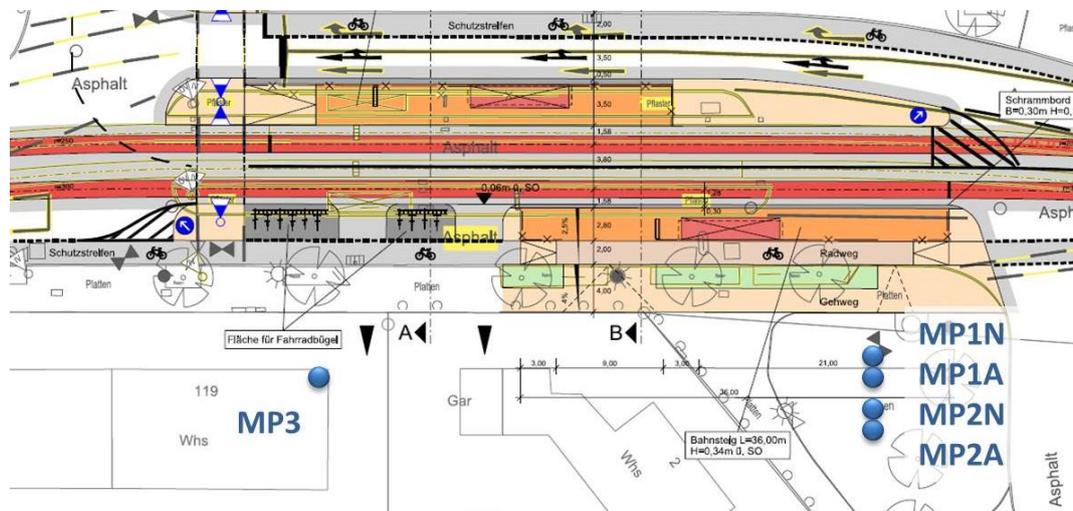


Abbildung 2. Position der Messpunkte (blau) in Bezug auf die Gleisanlagen (rot/grau) [9].



Abbildung 3. Messpunkte MP1 A auf einem Erdspieß.



Abbildung 4. Messpunkte MP2 N/A (vorne/hinten).



Abbildung 5. Messpunkt MP3 im Wohngebäude „Moltkestr. 119“.

4.4 Messausrüstung

Die für die Schwingungsmessungen eingesetzten Geräte entsprechen den Vorgaben für Schwingungsmesser nach DIN 45669-1. Durch die Erfüllung der in DIN 45669-1 festgelegten Einzelanforderungen an Schwingungsmesser können gerätetechnisch bedingte Messabweichungen klein gehalten werden. Aufgrund der in DIN 45669-1 erlaubten Einzelabweichungen ist zu erwarten, dass die Messabweichung einer einzelnen Anzeigegröße unabhängig von der Signalart die Vertrauensgrenze von 15 % für effektivwertbasierte Messwerte und 20 % für Spitzenwerte mit hohem statistischen Vertrauensniveau einhält.

In der folgenden Tabelle ist die verwendete Messausrüstung zusammengestellt:

Tabelle 2. Messausrüstung.

Beschreibung	Hersteller	Typ	SN/MP
Triaxialer Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer	Lennartz electronics	Le3D-DIN	A-056 / 1N zxy B-063 / 1A zxy B-066 / 2N zxy A-055 / 2A zxy B-067 / 3 zxy
Mehrkanalmesssystem für Vibrationsmessungen bestehend aus:	MECALC / Müller-BBM VAS	PAK Mobile MKII	
Controller (MKII12-7927)		PQ12	0109M6186
Messdateneingangskarte		SC42	1008M5264
Messkarteneingangsmodule		ICP429	0610M9762
		ICP429	0610M9763
		ICP429	0610M9769
		ICP429	0610M9844
Messwerteerfassungs- und Auswertesoftware	Müller-BBM VAS Microsoft	PAK Excel	Version 5.10 SR1 2010

Die Messapparatur wurde mit folgenden Einstellungen betrieben:

- Abtastrate: 1.024 s⁻¹
- Messkanalanzahl: 15 Kanäle
- Auflösung: 16 Bit

Durch die gewählte Abtastrate wird in Abhängigkeit von den eingesetzten Schwingungssensoren jeweils eine Registrierung der Schwingungssignale im Frequenzbereich von ca. 1 Hz bis mindestens 315 Hz gewährleistet.

4.5 Aufbereitung der Messdaten

- Erschütterungen:

Für die Berechnung der KB_{Fmax} -Werte wurden die Zeitsignale der Vorbeifahrten in Richtung Innenstadt herausgeschnitten und weiterverwendet (siehe auch Abschnitt 5.1).

- Sekundärluftschall:

Für die Auswertung wurden die Zeitsignale der Vorbeifahrten herausgeschnitten und mit folgenden Einstellungen weiterverarbeitet:

- Abtastrate $f_A = 1.024$ Hz; maximale darstellbare Frequenz $f_{max} = 400$ Hz
- Online-Analyse: Terzfilter im Zeitbereich:
 - Startfrequenz: 4 Hz
 - Stoppfrequenz: 315 Hz
 - Mittelungsart: exponentiell
 - Zeitkonstante: 0,125 s („Fast“)
 - Schrittweite: 0,0625 s

Für die weiteren Berechnungen wurden Schwinggeschwindigkeiten in Pegel [dB] (ref $5 \cdot 10^{-8}$ m/s) umgerechnet.

Die als Terzspektren vorliegenden Schwinggeschwindigkeiten je Vorbeifahrt wurden innerhalb dieser Zeitfenster in Form von Max-Hold-Terzspektren zusammengefasst. Hierbei erfolgt eine Trennung nach Zugtyp (NET2010 bzw. GT6/8N) und Messpunkt. Insgesamt wurden 8 Vorbeifahrten (3x NET2010 & 5x GT6/8N) verwendet, und die ermittelten Terzbandspektren je Bahntyp quadratisch gemittelt. Dadurch liegt je Bahntyp und Messpunkt ein Anregungsspektrum als Terzpegelspektrum vor, welches für die weiteren Berechnungen der Sekundärluftschallpegel weiterverwendet wird (siehe auch Abbildung 7).

Hinweis:

Für die hier weiter dokumentierte Bewertung wurden lediglich die Vorbeifahrten der Straßenbahnen in Richtung Innenstadt an den Messpunkten MP1N/A und MP2N/A berücksichtigt. Während dieser Vorbeifahrten befanden sich die Straßenbahnen in der Beschleunigungsphase nach der Haltestelle. Diese Einwirkungen sind als Worst-Case der vertikalen Erschütterungseinwirkungen zu betrachten. Im Bereich der eigentlichen Haltestelle fahren die Bahnen mit einer deutlich geringeren Geschwindigkeit, so dass im Bereich der Wohnhäuser absolut gesehen mit einer geringeren Einwirkung zu rechnen ist.

Es wurden u. a. auch die Bremsvorgänge vor der Haltestelle in Richtung „Siemensallee“ erfasst. Jedoch sind diese von der Fahrweise des jeweiligen Zugführers abhängig und damit einer unbekannteren Streuung unterworfen.

Zusätzlich wurden auch die Erschütterungen auf der Bodenplatte im Wohngebäude „Moltkestraße 119“ (Messpunkt MP3) registriert. Dieser Sensor dient als Referenz für eventuell später notwendige Schwingungsmessungen nach Verlegung der Gleisanlagen. Er wird nachfolgend nicht weiter betrachtet.

4.6 Messergebnisse

Anhand der Messpunkte MP1 N/A und MP2 N/A wird die zu erwartende Veränderung bedingt durch eine Verlegung der Bahngleise berechnet.

Die Abbildung 6 zeigt beispielhaft den Zeitverlauf der Schwingschnelle für die Messpunkte MP1N und MP1A in vertikaler Richtung während der Zugvorbeifahrt in Richtung Innenstadt. Sie sind die Datengrundlage für die weitere Beurteilung der möglichen Veränderung infolge der Gleisverlegung.

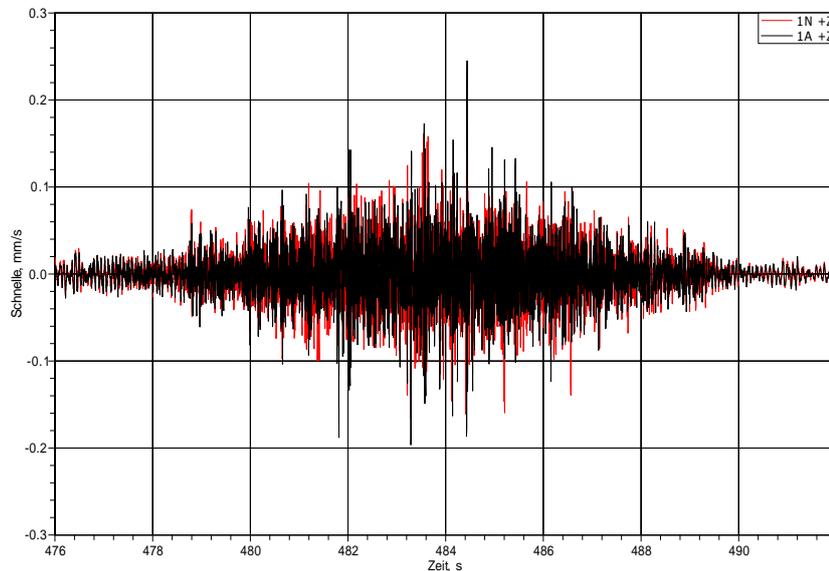


Abbildung 6. Beispielhafter Zeitverlauf der Schwingschnellen einer Zugvorbeifahrt der Messpunkte MP1N (rot) und MP1A (schwarz) in [mm/s].

Abbildung 7 zeigt die Max-Hold Schnellepegel der Messpunkte MP1N/A und MP2N/A im Frequenzbereich zwischen 4 Hz und 315 Hz für die Zugvorbeifahrten in Richtung Wolfartsweier. Alle Messergebnisse weisen im immissionsrelevanten Frequenzbereich einen ausreichenden Grundgeräuschabstand auf.

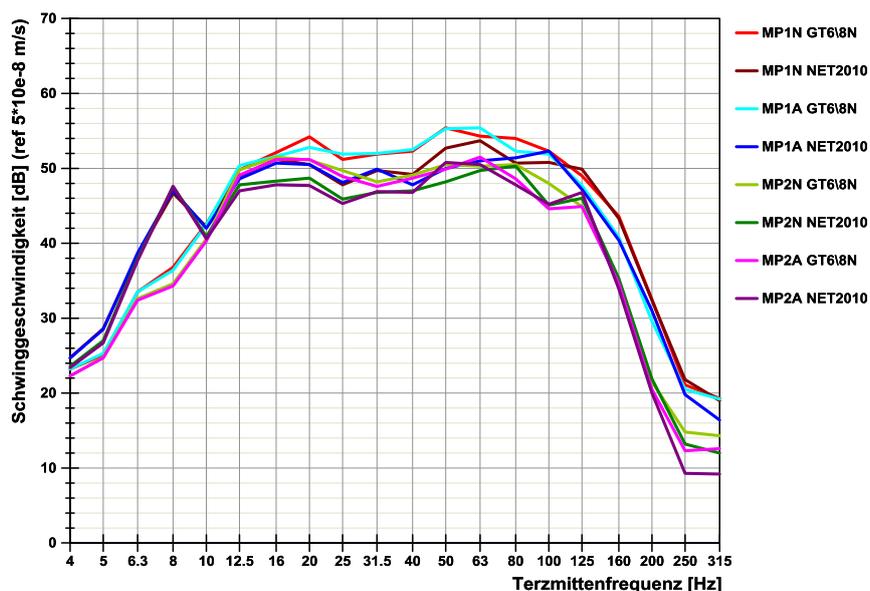


Abbildung 7. Terzspektren der mittleren Maximalpegel der Bahnvorbeifahrten in [dB] in Richtung Wolfartsweier für MP1 N/A und MP2 N/A.

5 Prognose der Veränderung der Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen

5.1 Vorgehensweise

- Erschütterungsimmisionen

Die Bestimmung der $KB_{F_{\max}}$ -Werte erfolgt aus den Schwinggeschwindigkeiten $v(t)$ entsprechend der DIN 45669-1 [1] durch:

1. Frequenzbewertung

$$|H_{KB}(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (f_0/f)^2}} \quad (1)$$

mit: $|H_{KB}(f)|$ Amplitudenfrequenzgang
 $f_0 = 5,6\text{Hz}$ Grenzfrequenz des Hochpasses
 f Frequenz in [Hz]

2. Berechnung gleitender Effektivwerte mit einer Zeitkonstante $\tau = 0,125\text{s}$:

$$v_{\text{eff}}(t) = KB_{FTI} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^t e^{-\frac{t-\xi}{\tau}} v(\xi)^2 d\xi} \quad (2)$$

3. Ermittlung der Maxima aus den gleitenden Effektivwerten KB_{FTI} für Zeittakte mit jeweils 30 s Dauer und Bestimmung der maximalen bewerteten Schwingstärke $KB_{F_{\max}}$ als Maximum aus allen KB_{FTI} -Werten.

- Sekundäre Luftschallimmissionen

Die Berechnung der Sekundären Luftschallimmissionen basiert auf Terz-Spektren der erfassten Schwinggeschwindigkeiten während der Zugvorbeifahrten. Diese werden im Zeitbereich mit den in Abschnitt 4.5 beschriebenen Einstellungen berechnet. Nachfolgend werden die gemittelten Max-Hold-Terzspektren in dB (ref. $5 \cdot 10^{-8}$ m/s) für jeden Zugtyp und Messpunkt getrennt betrachtet (Abbildung 7).

5.2 Ergebnisse der KB-Wert-Berechnung

Die für die Beurteilung maßgebenden KB -Werte sind in Tabelle 3 aufgelistet. In der Tabelle sind jeweils die Minima und Maxima jedes Zugtyps und für jeden Messpunkt getrennt angegeben. Diese Werte sind somit als Unter- bzw. Obergrenze der erfassten Immissionen zu verstehen und stellen eine Bandbreite der möglichen Erschütterungen infolge der Vorbeifahrten dar.

Zusätzlich wurde die Differenz zwischen den Messpunkten „Alt“ (Ist-Abstand Gleise-Gebäude) und „Neu“ (Abstand nach Verlegung der Gleise) bestimmt. Sie ist ein Maß für die Veränderung der potentiell spürbaren Erschütterungen.

Die Abbildung 8 zeigt den zeitlichen Verlauf der KB -Werte während einer Zugvorbeifahrt eines Zugtyps NET2010 in Richtung Innenstadt an den Messpunkten MP1N/A und MP2N/A. Zusätzlich sind die Maxima der jeweiligen Kurven markiert.

Tabelle 3. Minima/Maxima der KB-Werte infolge Vorbeifahrten in Rtg. Innenstadt.

Messpunkte	Abstand [m]*	Zugtyp	
		GT6/8N (min/max)	NET2010 (min/max)
MP1N	15,3	0,04/0,07	0,04/0,04
MP1A	17,0	0,04/0,08	0,04/0,04
MP2N	23,3	0,03/0,05	0,03/0,04
MP2A	25,0	0,03/0,05	0,03/0,03
Differenz MP1N/A	---	0,00/-0,01	0,00/0,00
Differenz MP2N/A	---	0,00/0,00	0,00/0,01

* Der Abstand bezieht sich auf das nächstgelegene Bahngleis,
Planungsstand: 05.09.2018

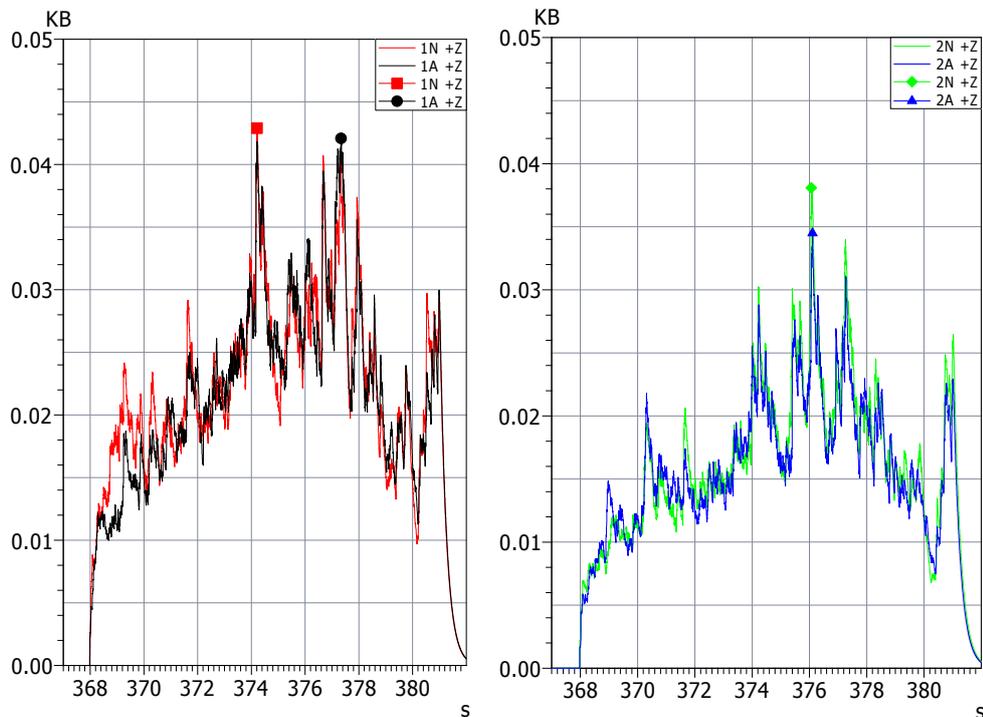


Abbildung 8. KB-Werte für eine Zugvorbeifahrt in Richtung Innenstadt, Zugtyp NET2010.

5.3 Ergebnisse der Sekundärluftschall-Prognose

Die für die Beurteilung maßgebenden Gesamtpegel der gemittelten Max-Hold-Spektren sind in Tabelle 4 aufgelistet, getrennt nach Zugtyp und für jeden Messpunkt einzeln angegeben.

Zusätzlich wurde die Differenz zum einen der Gesamtpegel als auch der hörbaren Terzbänder (Abbildung 9) zwischen den Messpunkten „Alt“ (Ist-Abstand Gleise-Gebäude) und „Neu“ (Abstand nach Verlegung der Gleise) bestimmt. Sie sind ein Maß für die Veränderung der potentiell hörbaren Sekundärluftschallimmissionen.

Tabelle 4. Gesamtpegel der gemittelten Max-Hold-Spektren in dB (ref v(t) = 5*10⁻⁸ m/s).

Messpunkte	Abstand [m]*	Zugtyp	
		GT6/8N	NET2010
MP1N	15,3	63,3	61,5
MP1A	17,0	63,1	60,8
MP2N	23,3	60,2	58,8
MP2A	25,0	59,8	58,8
Differenz der Gesamtpegel			
Differenz MP1N/A	---	+0,2	+0,8
Differenz MP2N/A	---	+0,4	+0,0
max. Differenz der Terzbänder			
Differenz MP1N/A	---	+1,1	+1,5
Differenz MP2N/A	---	+1,2	+2,6

* Der Abstand bezieht sich auf das nächstgelegene Bahngleis, Planungsstand: 05.09.2018

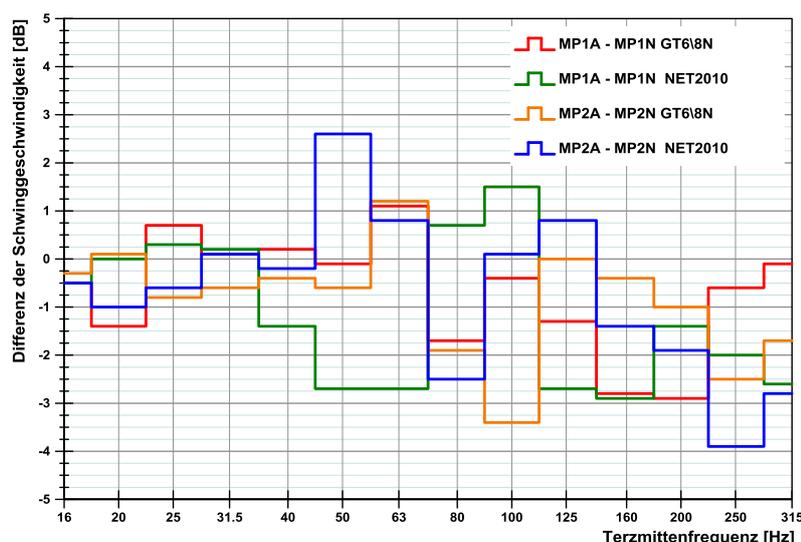


Abbildung 9. Differenz der einzelnen Terzbänder im hörbaren Bereich (>16 Hz) der mittleren Maximalpegel der Bahnvorbeifahrten in [dB] in Richtung Wolfartsweier für MP1 N/A und MP2 N/A.

6 Beurteilung der prognostizierten Differenzen

6.1 Vorbemerkungen

Die folgende Beurteilung geht von den Bedingungen und dem Planungsstand aus, die bei den Messungen (05.09.2018) vorgelegen haben. Zum Zeitpunkt der Messungen sollten die Gleise um 1,70 m nach Süden verlegt werden. Die aktuelle Planung (Stand: 29.10.2018) sieht eine Verlegung um lediglich 1,0 m vor. Die Gleise werden damit einen etwas größeren Abstand zum Gebäude aufweisen als in der hier vorliegenden Untersuchung angenommen. Es ist daher davon auszugehen, dass die hier dargestellten Abweichungen höher als in Realität zu erwarten sind. Die hier diskutierten Ergebnisse liegen also auf der „sicheren Seite“.

Zur Berechnung und zur Beurteilung der Erschütterungsimmissionen (KB-Werte) wurden die messtechnisch ermittelten Schwingungsgeschwindigkeits-Zeitverläufe herangezogen. Für die Veränderung der Sekundärluftschallpegel wurden aus den gemessenen Geschwindigkeits-Terzspektren die berechneten Gesamtpegel sowie die maximalen Abweichungen pro Terzband herangezogen. Diese Unterscheidung wurde getroffen, falls bei den Immissionsorten der Schallpegel durch die Resonanzüberhöhung z. B. in einer Decken-Eigenfrequenz in einem begrenzten Frequenzbereich maßgebend werden sollte. Durch einzelne Zugfahrten können jedoch gelegentlich auch höhere Immissionswerte (z. B. bei schadhaftem Zugmaterial mit Flachstellen der Räder etc.) erreicht werden.

6.2 Erschütterungen

Auf der Basis der Messdaten wurden die zu erwartenden Veränderungen der Erschütterungsimmissionen aufgrund der Gleisverschiebung bestimmt. Dazu wurden die Messpunkte MP1N und MP2N herangezogen.

Die Differenz zwischen MP1A und MP1N bzw. MP2A und MP2N zeigt, dass der geplante Umbau der Haltestelle „Kußmaulstraße“ mit einer Erhöhung der Erschütterungen zwischen 0,00 und 0,01 (Veränderung der *KB*-Werte) zu erwarten ist. Dies entspricht einer Zunahme von max. 10 % (Verhältnis der nicht gerundeten *KB*-Werte).

Die Veränderung der Erschütterungsimmissionen aufgrund der Gleisverschiebung liegen unterhalb der laut Literatur für den Menschen wahrnehmbaren Wahrnehmbarkeitsschwelle von 25 % (siehe auch Abschnitt 3.1). Sie ist daher als unkritisch einzuordnen.

6.3 Sekundärer Luftschall

Analog zur Veränderung der Erschütterungen durch den geplanten Umbau der Haltestelle werden die berechneten Terzschnelle-Spektren (siehe Abschnitt 0) bewertet.

Die Erhöhung, berechnet aus der Differenz der Messpunkte „Alt“ zu „Neu“ liegt dabei für die Gesamtpegel zwischen 0,0 dB und 0,8 dB. Dies entspricht einer maximalen Erhöhung von ca. 1 %. In den einzelnen Terzbändern liegt die Erhöhung bei max. 2,6 dB, welches einer Veränderung von ca. 5 % entspricht. Die zu erwartende Veränderung durch die Verlegung der Bahngleise näher an die Wohngebäude ist daher auch bzgl. des Sekundärluftschalls als unkritisch einzuschätzen.

7 Hinweis hinsichtlich Erschütterungseinwirkungen während der Bauphase

Während der Umbaumaßnahmen ist je nach den gewählten Bauverfahren zu erwarten, dass es zu für den Menschen spürbaren Erschütterungen kommt. Es ist daher darauf zu achten, die Bauverfahren sowie die eingesetzten Baugeräte geeignet zu wählen, um den Eintrag von Erschütterungen in den Baugrund auf ein Minimum zu reduzieren. Erfahrungsgemäß sind dabei die Abbrucharbeiten sowie später notwendige Verdichtungsarbeiten besonders kritisch zu bewerten.