

IC 215273

Schlussbericht – Erschütterungsprognose nach DIN 4150

Prognose der Erschütterungen für die neu geplante Trasse

Binger Straße

Mainz

Auftraggeber: **Mainzer Mobilität**
Betriebsanlagen und Gebäude
Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH
Mozartstraße 8
55118 Mainz

Messzeitraum: 09.08.2021, 10.08.2021, 07.12.2022 und 18.01.2023

Aufgestellt: April 2023

Revision

Rev.	Datum	Seiten	Inhalt / Bemerkungen	Aufsteller
01	24.02.2023	1 - 93	Schlussbericht - Prognose der Erschütterungen für die neu geplante Trasse gemäß DIN 4150	HLe
02	06.04.2023	1 - 93	Aktualisierung der Grenzwerte nach Bebauungsplan	HLe / Lev

INHALTSVERZEICHNIS

Revision..... I

INHALTSVERZEICHNIS..... I

1 **Aufgabenstellung**..... 1

2 **Berechnungsgrundlagen**..... 2

 2.1 Planungsunterlagen2

 2.2 Technische Regelwerke2

3 **Objektbeschreibung:**..... 3

 3.1 Streckenführung:.....3

 3.2 Objektbeschreibung der angrenzenden Bebauung:.....5

4 **Messorte**..... 8

 Messungen 01 – 09.08.2021 und 10.08.20218

 Messort 1 – Bahnhofstraße, Haltestelle Münsterplatz vom 09.08.2021..... 8

 Messort 2 – am Wildgraben, Haltestelle Zahlbach vom 10.08.2021..... 9

 Messort 3 – am Ostergraben, Haltestelle Ludwig-Nauth-Str. vom 10.08.2021..... 9

 Messort 4 – Wittichweg, Haltestelle Friedrich-von-Pfeifer-Weg vom 10.08.2021..... 10

 Messungen 02 – 07.12.2022 12

 Messungen 03 – 18.01.2023..... 13

5 **Messdurchführung**..... 14

6 **Auswertung**.....18

 Auswertung nach DIN 4150-3..... 19

 Auswertung der Messdaten vom 09.08.2021 und 10.08.2021:.....19

 Auswertung der Messdaten vom 18.01.2023:24

 Auswertung nach DIN 4150-2..... 29

 Auswertung der Messdaten vom 09.08.2021, 10.08.2021 und 07.12.2021:.....29

Auswertung der Messdaten vom 18.01.2023:	38
7 Erläuterungen zur Aufzeichnung, der Messdaten und Beurteilung	46
7.1 Erläuterungen zu den Messdaten	46
7.2 Erläuterungen zur DIN 4150 Teil 2	47
7.3 Erläuterungen zur DIN 4150 Teil 3	49
8 Zusammenfassung.....	51
 ANHÄNGE	 53
Anhang I: Messprotokoll Nr. 1 vom 09.08.2021 und 10.08.2021	54
Anhang II: Messprotokoll Nr. 2 vom 07.12.2022	58
Anhang III: Messprotokoll Nr. 3 vom 18.01.2023	60
Anhang IV: Messdaten vom 09.08.2021 und 10.08.2021.....	62
Anhang V: Messdaten / Auswertung der Messdaten vom 07.12.2022	66
Anhang VI: Messdaten / Auswertung der Messdaten vom 07.12.2022.....	82

1 Aufgabenstellung

Die Mainzer Mobilität plant den Neubau einer Straßenbahntrasse in der Binger Straße in 55122 Mainz. Zur Umsetzung der neuen Straßenbahntrasse wurden eine Trassenführung mit einem Gleiskörper ausschließlich im Asphalt entwickelt. Die neue Streckenführung verbindet die bereits vorhandenen Gleise vom Schillerplatz mit denen zum Hauptbahnhof West und verläuft unmittelbar zur Nachbarschaft befindlichen schutzbedürftigen Bebauung (siehe Abbildung 1 unten).

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für den neu geplanten Streckenabschnitt ist zunächst zu prüfen, welche Immissionen aus Erschütterungen beim zukünftigen Betrieb der Strecke zu erwarten sind und ob diese zu erheblichen Belästigungen von Menschen in Gebäuden und oder zu Schäden an den angrenzenden Bauwerken führen können. Dazu sind die vom Straßenbahnbetrieb auf der Neubaustrecke zu erwartenden Erschütterungen in der angrenzenden Bebauung auf Basis von Referenzmessungen zu prognostizieren und nach den einschlägigen Regelwerken zu beurteilen.

Soweit relevante Konfliktpotenziale festgestellt werden, sind geeignete Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung bzw. zur Minimierung der Immissionskonflikte zu erarbeiten bzw. zu benennen.

Das Ingenieurbüro IBC Ingenieurbau-Consult GmbH wurde damit beauftragt, die Erschütterungseinwirkungen zu messen, zu dokumentieren und zu bewerten.

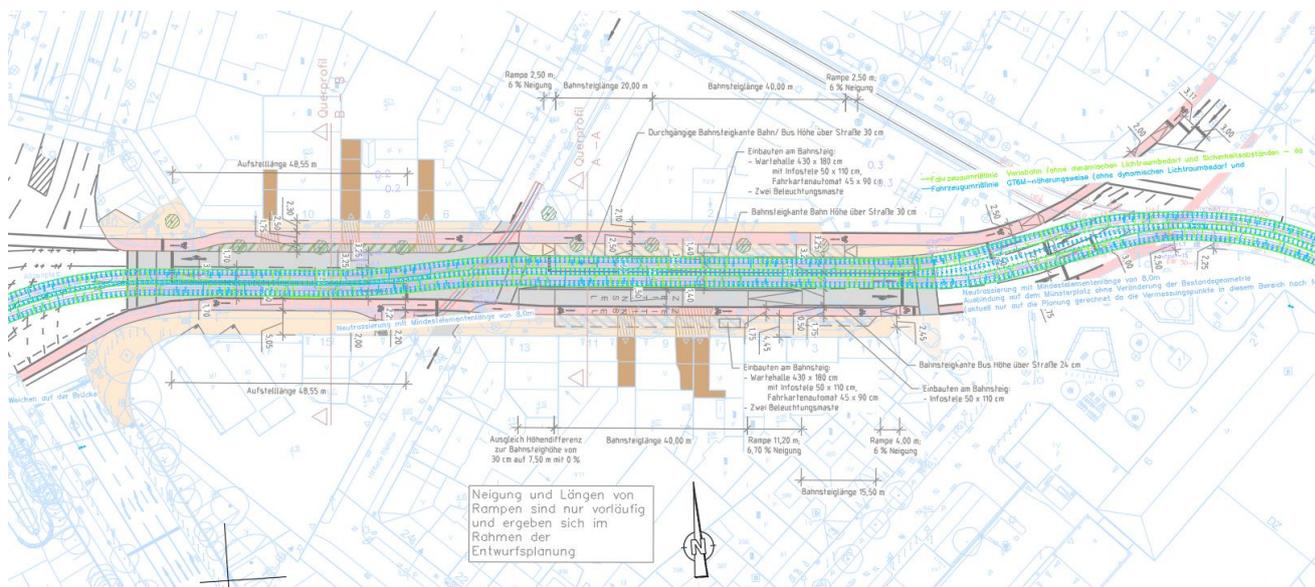


Abbildung 1: Auszug der geplanten Ausführungsvariante

2 Berechnungsgrundlagen

2.1 Planungsunterlagen

- /U1/ Lageplan Binger Straße Trassierung für den Straßenbahnausbau Mainz 2030
Abschnitt Innenstadt vom 15.07.2022 (geplante Ausführung)
- /U2/ Akteneinsicht der Baupläne in der Binger Str.
- /U3/ Angaben zum Verkehrsaufkommen der Straßenbahnfahrzeuge, MVG – Mainzer
Verkehrsgesellschaft mbH

2.2 Technische Regelwerke

- /T1/ DIN 4150-1, Erschütterungen im Bauwesen - Vorermittlung von Schwingungsgrößen
(Ausgabe 2001)
- /T2/ DIN 4150-2: Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in
Gebäuden (Ausgabe 1999-06)
- /T3/ DIN 4150-3: Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche
Anlagen (Ausgabe 2016-12)

3 Objektbeschreibung:

3.1 Streckenführung:

Die Mainzer Mobilität plant den Neubau einer Straßenbahntrasse in der Binger Straße in 55122 Mainz. Zur Umsetzung der neuen Straßenbahntrasse wurden eine zweigleisige Trassenführung mit einem Gleiskörper ausschließlich im Asphalt entwickelt. Die neue Streckenführung verbindet die bereits vorhandenen Gleise vom Schillerplatz mit denen zum Hauptbahnhof West bzw. entsprechend umgekehrt. Abbildung 1 (siehe oben) und Abbildung 2 zeigen die geplante Trassenführung, die unmittelbar zur schutzbedürftigen Bebauung, in der befindlichen Nachbarschaft verläuft. Der Standardoberbau ist für beide Richtungsgleise ein straßenbündiger, geschlossener Oberbau.

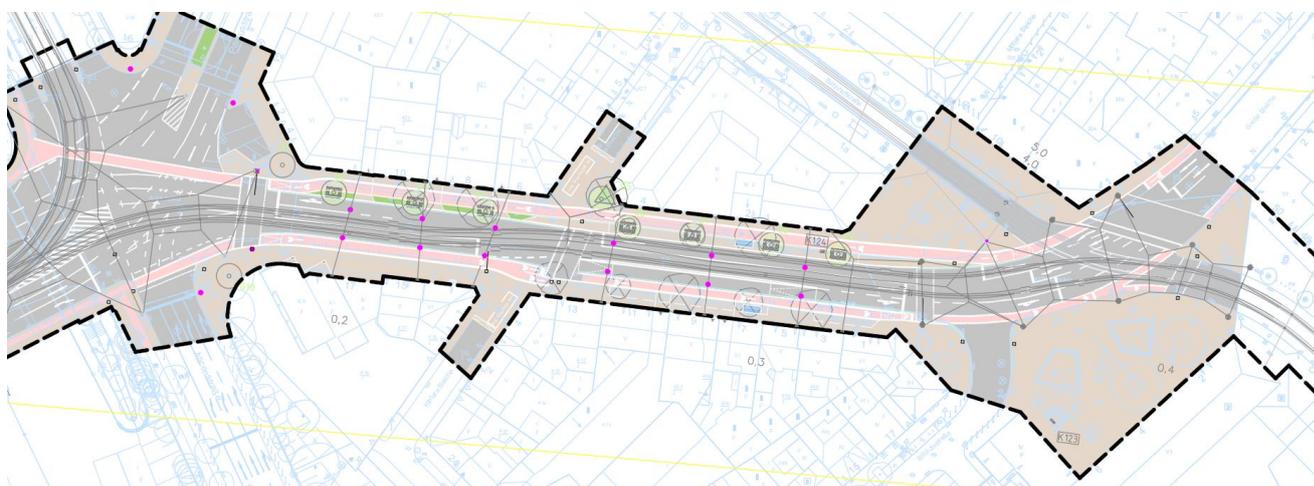


Abbildung 2: Lageplan aus der Ausführungsplanung / U 1 /

In Abbildung 3 ist die geplante Oberbauform für die straßenbündigen Streckenabschnitte dargestellt. Die Planung sieht Rillenschienen auf einer Betonschwelle vor. Der Zwischenraum zu den Betonschwellen wird mit Beton ausgegossen. Der Bereich unterhalb der Tragschicht wird mit 20 cm Gleisschotter oberhalb der Frostschutzschicht verfüllt.

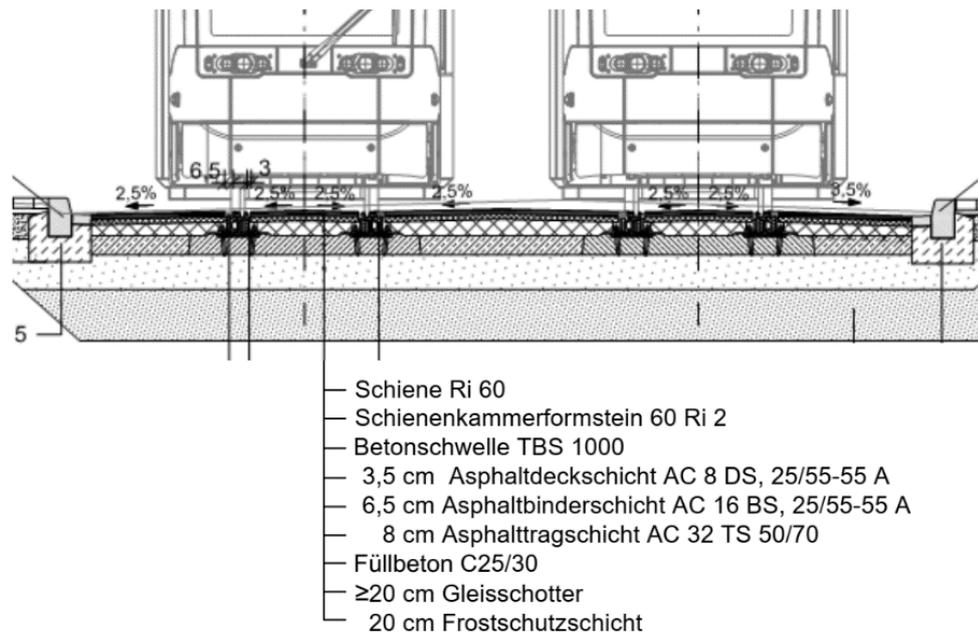


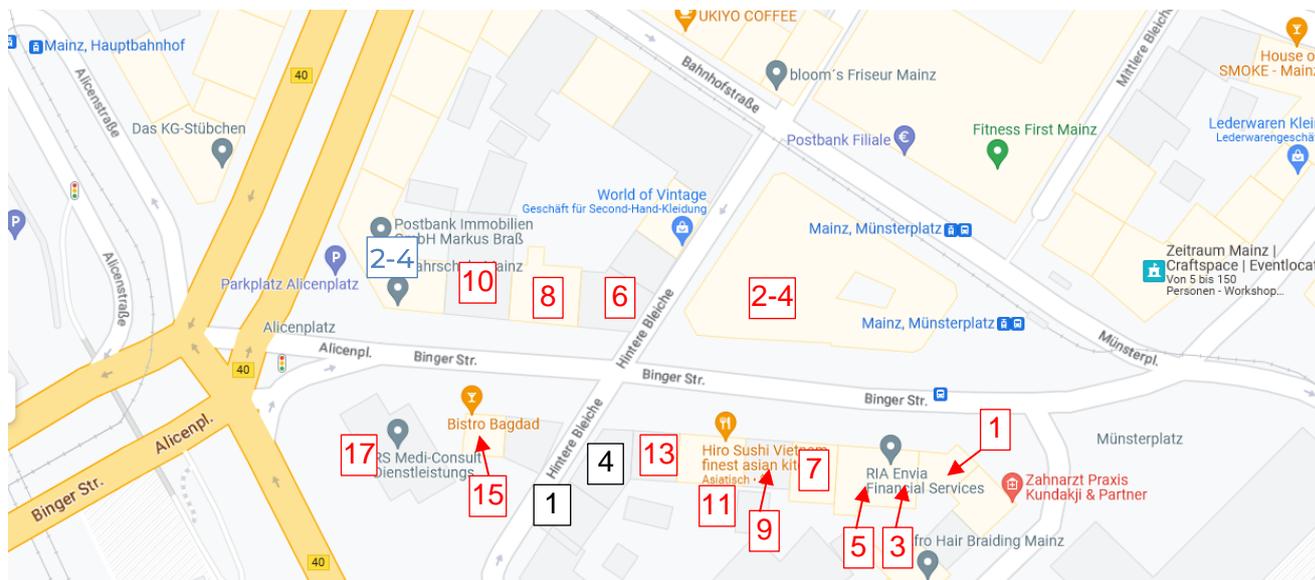
Abbildung 3: Standardoberbau im straßenbündigen Bereich

3.2 Objektbeschreibung der angrenzenden Bebauung:

Die Gebäude, die sich in der Binger Straße befinden, werden als Bürogebäude, Gewerbegebäude, Restaurant und als Wohngebäude genutzt. Es sind überwiegend vier- bis sechsgeschossige und ein zwölfgeschossiges Gebäude vorhanden. Es handelt sich sowohl um reine Stahlbetongebäude als auch bei älteren Gebäuden um Gebäude mit Mauerwerkswänden und Holzbalken- oder Stahlträgerdecken. Nach den Bebauungsplänen sind in der Binger Straße allgemeine Wohngebiete vorgesehen. In der nachfolgenden Planauszügen bzw. Tabelle sind die Abstände der einzelnen Gebäude zur Gleisachse, Geschosszahl und der Gebäudetyp aufgeführt.

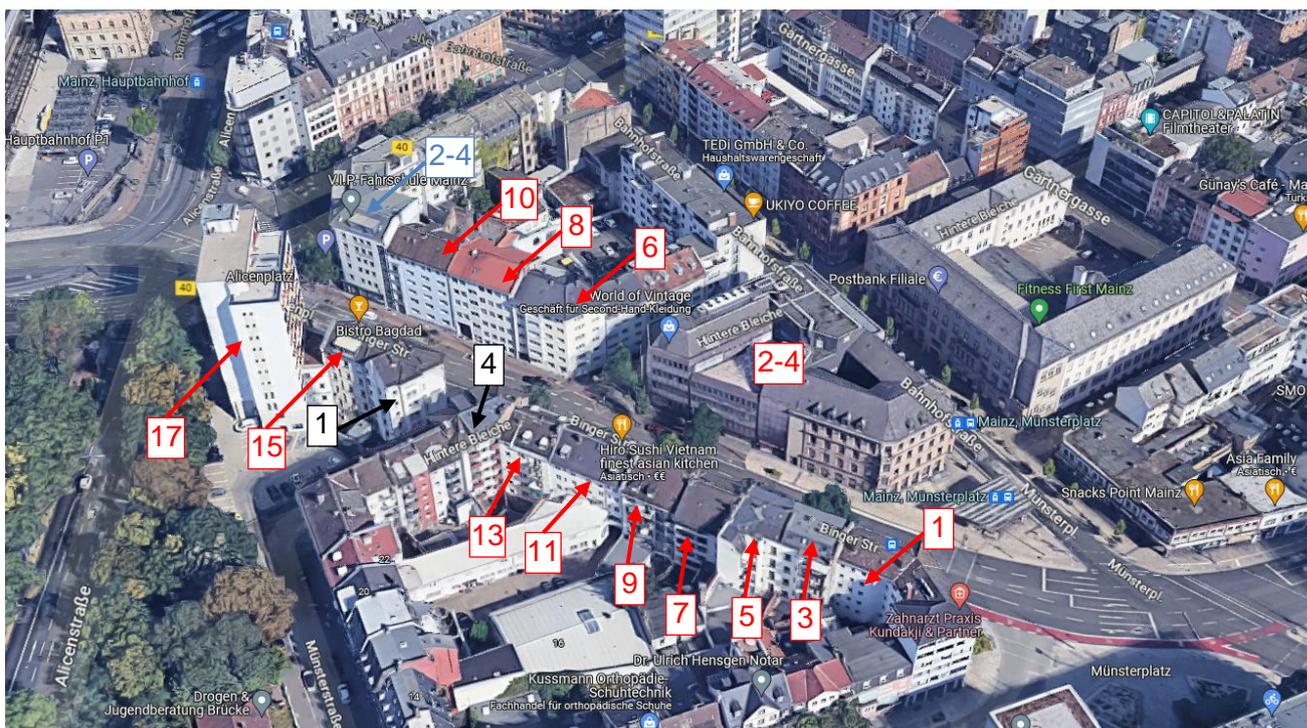


Abbildung 4: Lageplan aus der Ausführungsplanung / U1/



*rot – Binger Straße, *schwarz – Hinterer Bleiche, *blau - Alicenplatz

Abbildung 5: Auszug aus Google Maps



*rot – Binger Straße, *schwarz – Hintere Bleiche, *blau - Alicaenplatz

Abbildung 6: Vogelperspektive von Norden



*rot – Binger Straße, *schwarz – Hintere Bleiche, *blau - Alicaenplatz

Abbildung 7: Vogelperspektive von Süden

Adresse:	Baujahr:	Geschossanzahl	UG	Vermutlicher Gebäudetyp:	Abstand zur Gleisachse
Alicienplatz 2-4	vor 1994	6+DG	ja	W: MW D: Stahlbeton	
Binger Str. 1	1956	6+DG	ja	W: MW D: Stahlbeton	
Binger Str. 2-4	1958	5+DG	k.A.	W: Massiv D: Stahlbeton	
Binger Str. 3-5	vor 1978	5+DG	ja	W: MW D: Holzbalken	
Binger Str. 6	1954	6+DG	ja	W: Massiv D: Stahlbeton	
Binger Str. 7	1958	6+DG	ja	W: MW D: Stahlbeton	
Binger Str. 8	1961	6+DG	ja	W: MW D: Stahlbeton	
Binger Str. 9	1951	5+DG	ja	W: MW D: Stahlträger + Aufbeton, Hohlsteindecke	
Binger Str. 10	1953	6+DG	ja	W: MW D: Stahlbeton	
Binger Str. 11	1961	5+DG	ja	W: Massiv D: Stahlbeton	
Binger Str. 13	1959	5+DG	ja	W: Massiv D: Stahlbeton	
Binger Str. 15	k.A.	5+DG	k.A.	W: MW D: Holzbalken	
Binger Str. 17	1992	12	k.A.	W: Massiv D: Stahlbeton	
Hintere Bleiche 1	1953	6+DG	ja	W: Massiv D: Stahlträger + Aufbeton, Hohlsteindecke	
Hintere Bleiche 4	1954	6+DG	ja	W: MW D: Stahlbeton	

W = Wände ; D = Decken ; DG bei allen Gebäuden vermutlich als Holzkonstruktion

Tabelle 1: Übersicht der zu untersuchenden Gebäude

Der minimale Gebäudeabstand zur ersten Schiene ergibt sich aus Abbildung 2 zu 8,6 m.

In den oben aufgeführten Streckenbereich ist nach derzeitigem Kenntnisstand über das Vorhandensein empfindlicher technischer Geräte nichts bekannt. Es wird in den vorliegenden Bericht davon ausgegangen, dass solche Geräte in dem geplanten Neubaugebiet nicht vorhanden sind.

4 Messorte

Messungen 01 – 09.08.2021 und 10.08.2021

Messort 1 – Bahnhofstraße, Haltestelle Münsterplatz vom 09.08.2021

Die Messungen werden an den Gleisen der Straßenbahnhaltestelle am Münsterplatz in der Bahnhofstraße durchgeführt. Der Gleiskörper ist im Asphalt verlegt. Abbildung 8 zeigt die Lage der Messpunkte am Messort 1 (MP01 bis MP03), sowie die Erschütterungsquelle. Die Messungen wurden an den Messpunkten 1 und 2 in einem Abstand von 8,0 m und im Messpunkt 3 in einem Abstand von 5,0 m zur Erschütterungsquelle, auf einem befestigten Untergrund, durchgeführt.

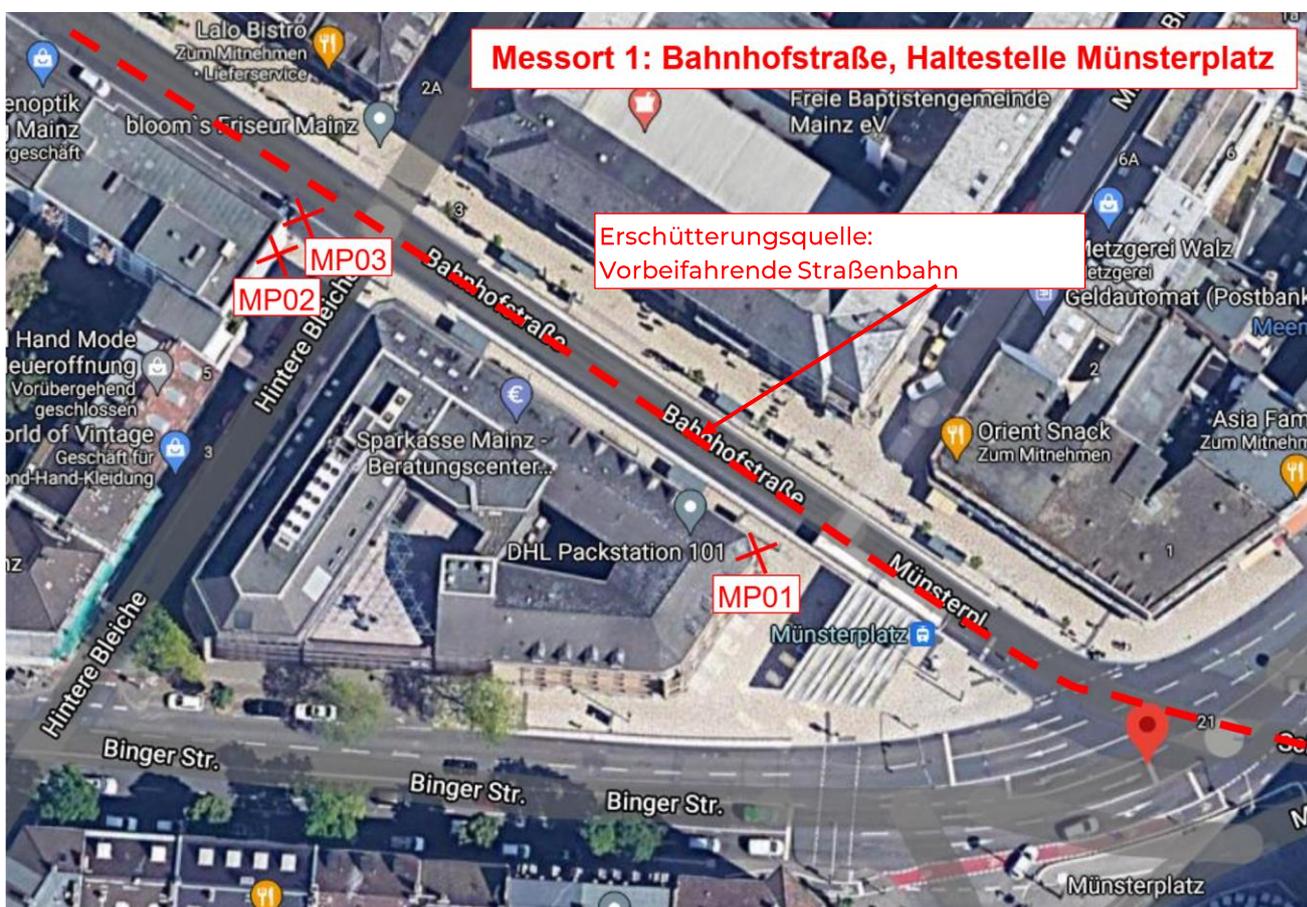


Abbildung 8: Übersicht der Messpunkte am Messort 1, Auszug aus Google Maps

In der Abbildung 8 ist ebenfalls die Binger Straße dargestellt, in der der geplante Straßenbaunetzausbau erfolgen soll.

Messort 2 – am Wildgraben, Haltestelle Zahlbach vom 10.08.2021

Die Messungen werden an den Gleisen der Straßenbahnhaltestelle Zahlbach am Wildgraben durchgeführt. Der Gleiskörper ist im Asphalt verlegt. Abbildung 9 zeigt die Lage der Messpunkte am Messort 2 (MP04), sowie die Erschütterungsquelle. Die Messung wurde am Messpunkt 4 in einem Abstand von 8,0 bis 9,0 m zur Erschütterungsquelle, auf einem befestigten Untergrund, durchgeführt.

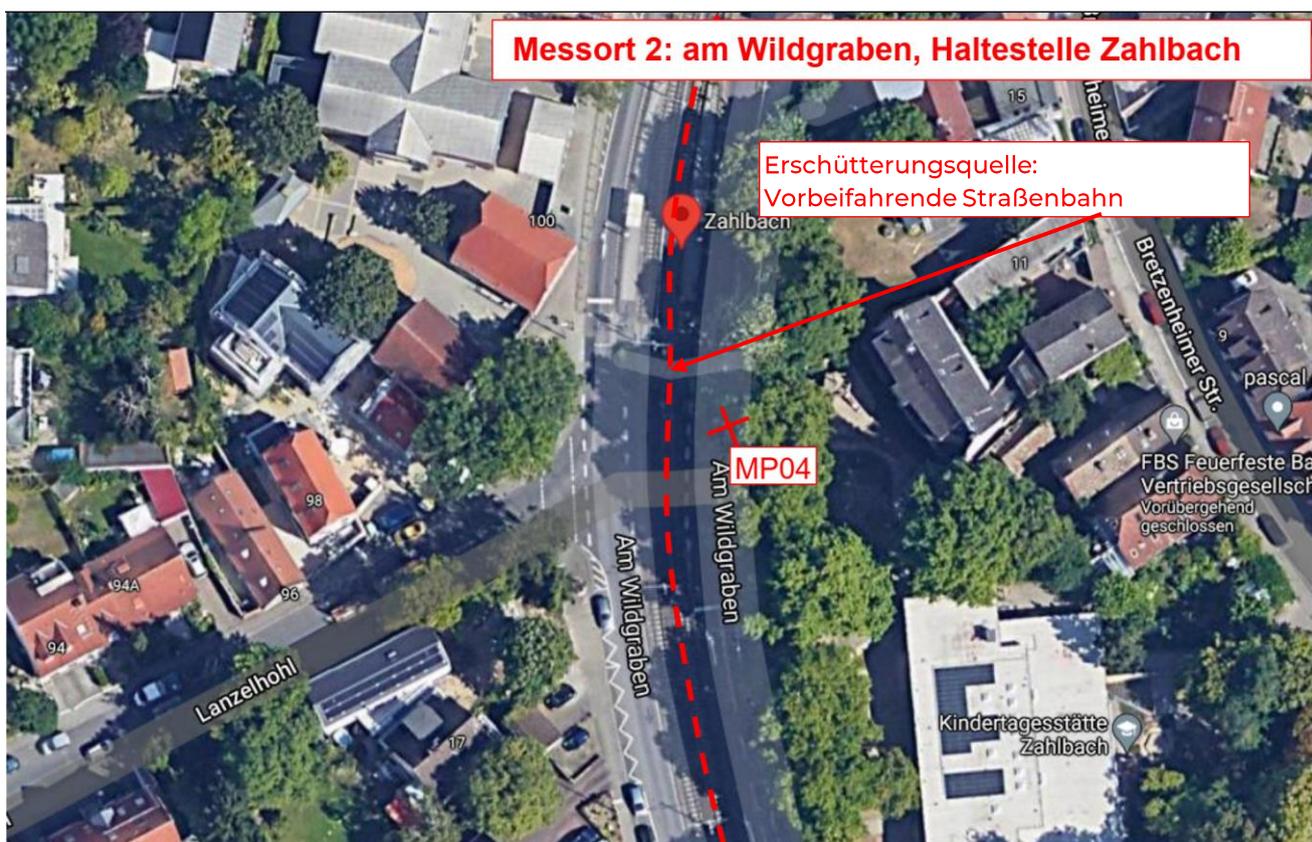


Abbildung 9: Übersicht der Messpunkte am Messort 2, Auszug aus Google Maps

Messort 3 – am Ostergraben, Haltestelle Ludwig-Nauth-Str. vom 10.08.2021

Die Messungen werden an den Gleisen der Straßenbahnhaltestelle Ludwig-von-Nauth-Str. am Ostergraben durchgeführt. Der Gleiskörper ist im Rasen verlegt. Abbildung 10 zeigt die Lage der Messpunkte am Messort 3 (MP05 und MP06), sowie die Erschütterungsquelle. Die Messungen wurden am Messpunkt 5 in einem Abstand von 6,0 m und im Messpunkt 6 in einem Abstand von 8,0 m zur Erschütterungsquelle, auf einem befestigten Untergrund, durchgeführt.

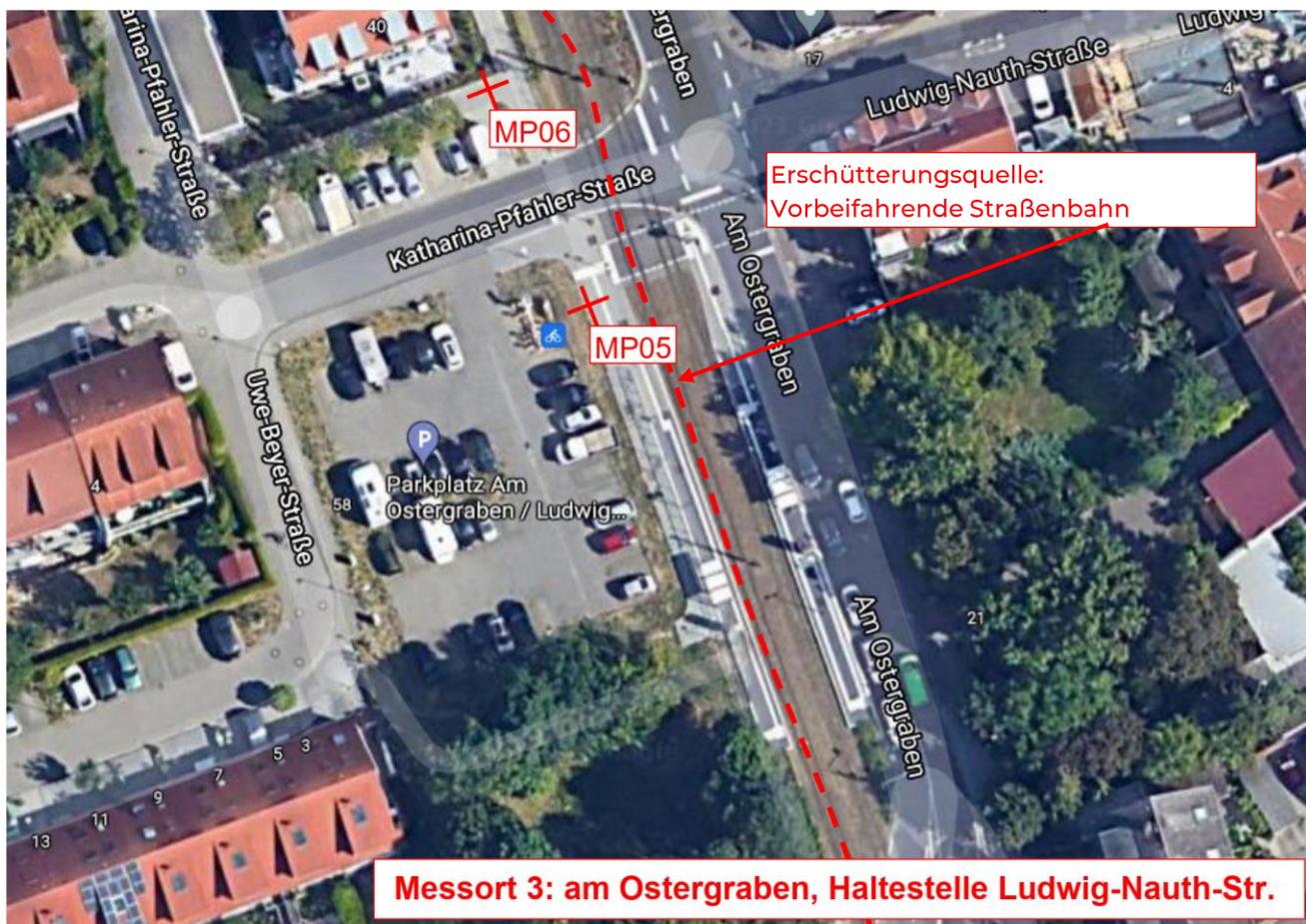


Abbildung 10: Übersicht der Messpunkte am Messort 3, Auszug aus Google Maps

Messort 4 – Wittichweg, Haltestelle Friedrich-von-Pfeifer-Weg vom 10.08.2021

Die Messungen werden an den Gleisen der Straßenbahnhaltestelle Friedrich-von-Pfeifer-Weg im Wittichweg durchgeführt. Die innere Gleisschiene ist im Asphalt und die äußere Gleisschiene ist im Rasen verlegt. Abbildung 11 zeigt die Lage der Messpunkte am Messort 4 (MP07), sowie die Erschütterungsquelle. Die Messung wurde am Messpunkt 7 in einem Abstand von 8,0 m zur Erschütterungsquelle, auf einem befestigten Untergrund durchgeführt.



Abbildung 11: Übersicht der Messpunkte am Messort 4, Auszug aus Google Maps

Messungen 02 – 07.12.2022

Die Messungen werden an den Gleisen der Straßenbahnhaltestelle am Münsterplatz in der Bahnhofstraße durchgeführt. Der Gleiskörper ist im Asphalt verlegt. Abbildung 12 zeigt die Lage der Messpunkte am Messort (MP01 bis MP08), sowie die Erschütterungsquelle. Die Messungen wurden an den Messpunkten 1 bis 8 in einem Abstand von min. 8,0 m zur Erschütterungsquelle, auf einem befestigten Untergrund, durchgeführt. Hierbei wurden die Messungen MP01, MP04 und MP06 an einem außenliegenden Fundament bzw. auf einer Fensterbank der angrenzenden Gebäude, die Messungen MP02, MP05, MP07 und MP08 vor den angrenzenden Gebäuden und die Messung MP03 in einem angrenzenden Gebäude durchgeführt.

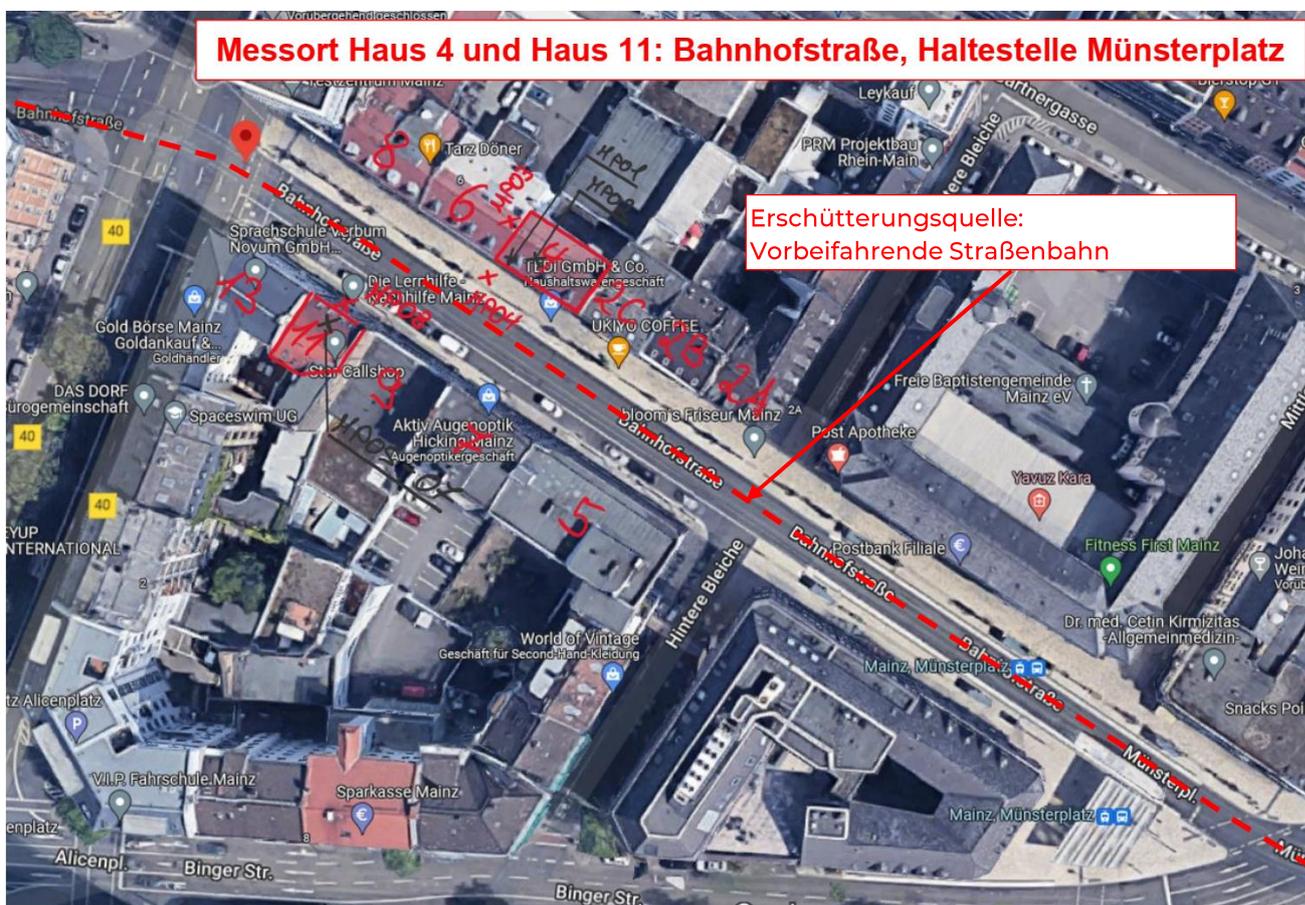


Abbildung 12: Übersicht der Messpunkte am Messort 1, Auszug aus Google Maps

Messungen 03 – 18.01.2023

Die Messungen wurden an den Wohn- bzw. Gewerblich genutzten Gebäuden der Hausnummer 4 und 11 in der Binger Straße durchgeführt. Der Gleiskörper ist im Asphalt verlegt. Abbildung 13 zeigt die Lage der Messpunkte am Messort (MP01 bis MP08), sowie die Erschütterungsquelle.

Das Gebäude Hausnummer 4 wurde ca. 1955 in Massivbauweise (Mauerwerkswände und Stahlbetondecken) erbaut und verfügt über 6 aufgehenden Vollgeschosse und ein Untergeschoss. Das Gebäude der Hausnummer 11 verfügt über 6 aufgehende Vollgeschosse und ein Untergeschoss. Die Geschossdecken sind als einachsige gespannte Holzbalkendecke konzipiert. Die tragenden Wände sind aus Mauerwerk. Die Messungen wurden an den Messpunkten 1 bis 8 in einem Abstand von min. 8,0 m zur Erschütterungsquelle, auf einem befestigten Untergrund, durchgeführt. Hierbei wurden die Messungen MP01 bis MP04 im Haus 4 und die Messungen MP05 bis MP08 am Haus 11 durchgeführt.



 vor dem Gebäude  im Gebäude

Abbildung 13: Übersicht der Messpunkte am Messort 1, Auszug aus Google Maps

5 Messdurchführung

Zur Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Gesamtbauwerke muss zum einen die Schwinggeschwindigkeit am Fundament und zum anderen der größere Wert der beiden Horizontalkomponenten der Schwinggeschwindigkeit, in der Ebene der obersten Decke, aufgenommen werden. Zur Beurteilung der Geschossdecken muss die maximale vertikale Schwinggeschwindigkeit erfasst werden.

Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden müssen die Schwinggröße in vertikaler Richtung (z) und zwei zueinander rechtwinkligen, horizontalen Richtungen (x und y) gemessen werden. Die Messpositionen sind dort zu wählen, wo die höchsten Erschütterungen zu erwarten sind. Dies ist bei Erschütterungen in vertikaler Richtung meistens die Mitte des Deckenfeldes (in der Regel die Decken mit der größten Spannweite).

In den horizontalen Richtungen darf auch in oder dicht an aufgehenden Bauteilen, z. B. Wänden mit Tür- oder Fensternischen, gemessen werden.

Um einen Anhaltswert zur Auswirkung der Erschütterungseinwirkungen auf die angrenzenden Bauwerke und hinsichtlich der Einwirkungen auf Menschen in den angrenzenden Gebäuden, durch die neu geplanten Trasse in der Binger Straße zu erhalten, wurden die Erschütterungsmessungen zunächst an äquivalenten Gleiskörper (Gleiskörper im Asphalt und Gleiskörper im Rasen) und im Anschluss in zwei exemplarischen Gebäuden zur angrenzenden Parallelstraße, in der bereits eine Straßenbahntrasse verläuft, unter den unten aufgeführten Messparametern durchgeführt. Die Messungen erfolgte an insgesamt 23 Messpunkten und wurde im minimalen Abstand der neu geplanten Trasse zur Außenkante der angrenzenden Bauwerke von ca. 8 m aufgenommen.

Messzeitraum: 09.08.2021, 10.08.2021, 07.12.2022 und 18.01.2023

Emissionsquelle: Straßenbahn

Die Messpunkte vom 09.08.2021 und 10.08.2021 (MP) sind im Folgenden zusammengestellt:

MP1	Lage:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene auf einem befestigten Untergrund (gepflasterter Weg)
	Erreger:	Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt
	Entfernung:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene

MP2	Lage:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene auf einem befestigten Untergrund (gepflasterter Weg)
	Erreger:	Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt
	Entfernung:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene

MP3	Lage: Erreger: Entfernung:	ca. 5,0 m zur ersten Gleisschiene auf einem befestigten Untergrund (gepflasterter Weg) Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 5,0 m zur ersten Gleisschiene
MP4	Lage: Erreger: Entfernung:	8,0 bis 9,0 m zur ersten Gleisschiene auf einem befestigten Untergrund (gepflasterter Weg) Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt 8,0 bis 9,0 m zur ersten Gleisschiene
MP5	Lage: Erreger: Entfernung:	ca. 6,0 m zur ersten Gleisschiene auf einem befestigten Untergrund (gepflasterter Weg) Straßenbahn, Gleiskörper im Rasen ca. 6,0 m zur ersten Gleisschiene
MP6	Lage: Erreger: Entfernung:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene auf einem befestigten Untergrund (gepflasterter Weg) Straßenbahn, Gleiskörper im Rasen ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP7	Lage: Erreger: Entfernung:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene auf einem befestigten Untergrund (gepflasterter Weg) Straßenbahn, Gleiskörper im Rasen / Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene

Die Messpunkte vom 07.12.2022 (MP) sind im Folgenden zusammengestellt:

MP1	Lage: Erreger: Entfernung:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene auf dem außenliegenden Fundament des angrenzenden Gebäudes Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP2	Lage: Erreger: Entfernung:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene auf einem befestigten Untergrund (gepflasterter Weg) Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP3	Lage: Erreger: Entfernung:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene auf der Decke im Innenraum des angrenzenden Gebäudes Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP4	Lage: Erreger: Entfernung:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene auf der außenliegenden Fensterbank des angrenzenden Gebäudes Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene

MP5	Lage: Erreger: Entfernung:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene auf einem befestigten Untergrund (gepflasterter Weg) Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP6	Lage: Erreger: Entfernung:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene auf dem außenliegenden Treppenpodest des angrenzenden Gebäudes Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP7	Lage: Erreger: Entfernung:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene auf einem befestigten Untergrund (gepflasterter Weg) Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP8	Lage: Erreger: Entfernung:	ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene auf einem befestigten Untergrund (gepflasterter Weg) Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene

Die Messpunkte vom 18.01.2023 (MP) sind im Folgenden zusammengestellt:

MP1	Lage: Erreger: Entfernung:	Haus 4, Fundament angrenzend an der Außenwand Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP2	Lage: Erreger: Entfernung:	Haus 4, oberste Geschossdecke ca. 4m zur Hauskante Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP3	Lage: Erreger: Entfernung:	Haus 4, Eingang ca. 5,5 m zur Hauskante Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP4	Lage: Erreger: Entfernung:	Haus 4, vor dem Gebäude ca. 9m zur EQ Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP5	Lage: Erreger: Entfernung:	Haus 11, Decke 2.OG Feldmitte im ersten Deckenfeld Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP6	Lage: Erreger: Entfernung:	Haus 11, oberste Geschossdecke ca. 5m zur Hauskante Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene

MP7	Lage: Erreger: Entfernung:	Haus 11, Fundament angrenzend an der Außenwand Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene
MP8	Lage: Erreger: Entfernung:	Haus 11, vor dem Gebäude ca. 6m zur EQ Straßenbahn, Gleiskörper im Asphalt ca. 8,0 m zur ersten Gleisschiene

Für die Beurteilung der Auswirkung der neu geplanten Trasse in der Binger Straße auf die Erschütterungseinwirkungen von vorbeifahrenden Straßenbahnen, wurde das Messsystem an den oben aufgeführten Messpunkten installiert.

Es wurde ein triaxialer Schwingungsgeschwindigkeitssensoren gemäß DIN 45669 verwendet, der auf drei Stellschrauben aufgestellt wurde, um eine optimale Ausrichtung der Geophone zu gewährleisten. Die Ankopplung der Messsensoren erfolgt gemäß DIN 415669 Teil 2. Bei der Vorliegenden Messung waren der Unterzeichner Herr Legran (ehem. Wagner) von IBC und Herr Levato von IBC dauerhaft am Messort. Weitere Angaben zur Durchführung der Messungen und der verwendeten Messtechnik sind im Anhang I bis III (zugehörige Messprotokolle) zu entnehmen.

6 Auswertung

Die Ermittlung der zu erwartenden Erschütterungseinwirkungen erfolgt in einem zweistufigen Verfahren. Zunächst wurden zur Abschätzung der Erschütterereinwirkungen, durch die neu geplante Trasse auf die angrenzenden Bauwerke und hinsichtlich der Einwirkungen auf Menschen in den angrenzenden Gebäuden, vergleichende Erschütterungsmessungen an äquivalenten Gleiskörpern im Asphalt und Rasen (Simulation des zukünftigen Zustandes, Messort 1 bis 4) durchgeführt und nach DIN 4150-3 („Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf bauliche Anlagen“) und DIN 4150-2 („Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“) bewertet.

Um die zuvor prognostizierten Erschütterungseinwirkungen auf die angrenzenden Gebäude in der Binger Straße weiter zu verifizieren, wurden im zweiten Schritt in/an zwei ausgewählten Referenzgebäuden Messungen durchgeführt. Um möglichst direkte und konkrete Rückschlüsse zu den möglichen Erschütterungseinwirkungen auf die angrenzende Bebauung und das Wohlbefinden der Menschen zu erhalten, wurden die Messungen in der Parallelstraße, zur Lage der neu geplanten Trassen in der Bahnhofsstraße, durchgeführt. Die Referenzgebäude wurden hierbei entspricht der Beschreibung der Gebäudetypen nach 3.2 Objektbeschreibung der angrenzenden Bebauung: festgelegt. Hierbei wurde die Messungen in einem Gebäude mit einer massiven Tragkonstruktion (Wände aus Mauerwerk bzw. Stahlbeton und Stahlbetondecken) und einer Mischkonstruktion (Wände aus Mauerwerk und Holzbalkendecken) durchgeführt.

Die gemessenen Erschütterungsimmissionen sind im Detail dem Anhang IV bis VI (zugehörige Messdaten) zu entnehmen. Ausgewertet wurden nur Zeitabschnitte, in denen keine Störungen durch andere Erschütterungen, z.B. durch vorbeilaufende Personen, auftraten und die eindeutig den Vorbeifahrten von Straßenbahnen zuzuordnen sind. Die Auswertung der Messergebnisse erfolgt mit der Software MEDA von Wölfel.

Auswertung nach DIN 4150-3

In der Norm werden Anhaltswerte vorgegeben, die eine Beurteilung der Erschütterungen hinsichtlich der möglichen Schäden an bauliche Anlagen ermöglichen. Werden die Anhaltswerte nicht überschritten, kann eine Schädigung durch den Erreger auf die bauliche Anlage praktisch ausgeschlossen werden. Die Anhaltswerte sind dabei gemäß der Gebäudeart gestaffelt.

Die vorhandenen Gebäudearten (Bürogebäude, Gewerbegebäude, Restaurant und Wohngebäude) lassen sich nach den Grenzkriterien gemäß DIN 4150-3 in Zeile 2 (Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten) einordnen. Die nach den Bebauungsplänen allgemeine Wohngebiete lassen sich auch in Zeile 2 einordnen.

Im Zuge der Beweissicherung durch einen öffentlich bestellten Sachverständigen, sowie eventueller Vorortmessungen während der Baumaßnahmen, ist der Zustand der Gebäude zu bewerten und die Einstufung der einzuhaltenden Grenzwerte anhand des tatsächlich vorgefunden Gebäudezustandes zu verifizieren (evtl. Zeile 3). Da die Erschütterungseinwirkung nur von kurzer Dauer sind kann davon ausgegangen werden, dass diese weder zu Materialermüdungserscheinung, noch zu einem Resonanzerscheinen führt. Daher werden die Anhaltswerte der Schwinggeschwindigkeiten für kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen der Beurteilung zugrunde gelegt.

Auswertung der Messdaten vom 09.08.2021 und 10.08.2021:

Es wurden während der Messung die folgenden relevanten Maximalwerte aufgezeichnet:

Gleiskörper im Asphalt

	max v _z	max v _x	max v _y	Messung
	1,19	1,57	1,18	01
	2,33	1,22	1,13	02
	1,47	1,46	1,13	03
	1,66	1,14	1,30	04
	1,91	1,71	2,45	07
Ø Asphalt	1,71	1,42	1,44	

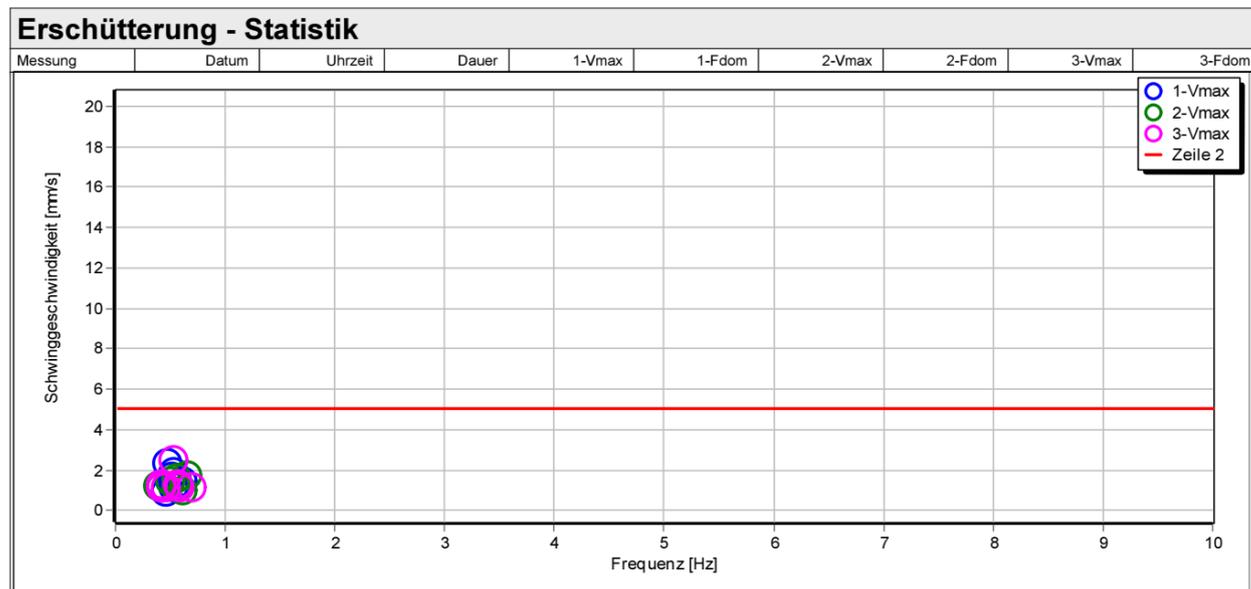
Gleiskörper im Rasen

	max v _z	max v _y	max v _x	Messung
	0,91	0,99	1,33	05
	1,11	1,18	1,15	06
	1,65	1,71	1,54	07
Ø Rasen	1,23	1,29	1,34	

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt in den nachfolgenden Diagrammen und Tabellen. Die rote Linie kennzeichnet den oberen Anhaltswert der Normvorgabe.

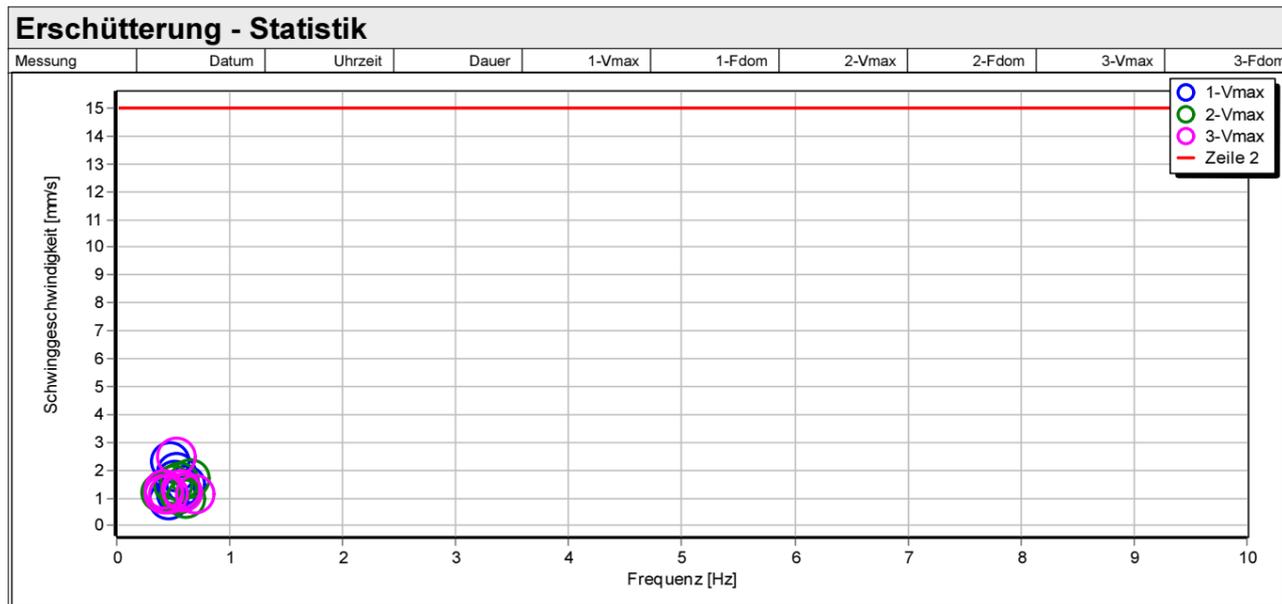
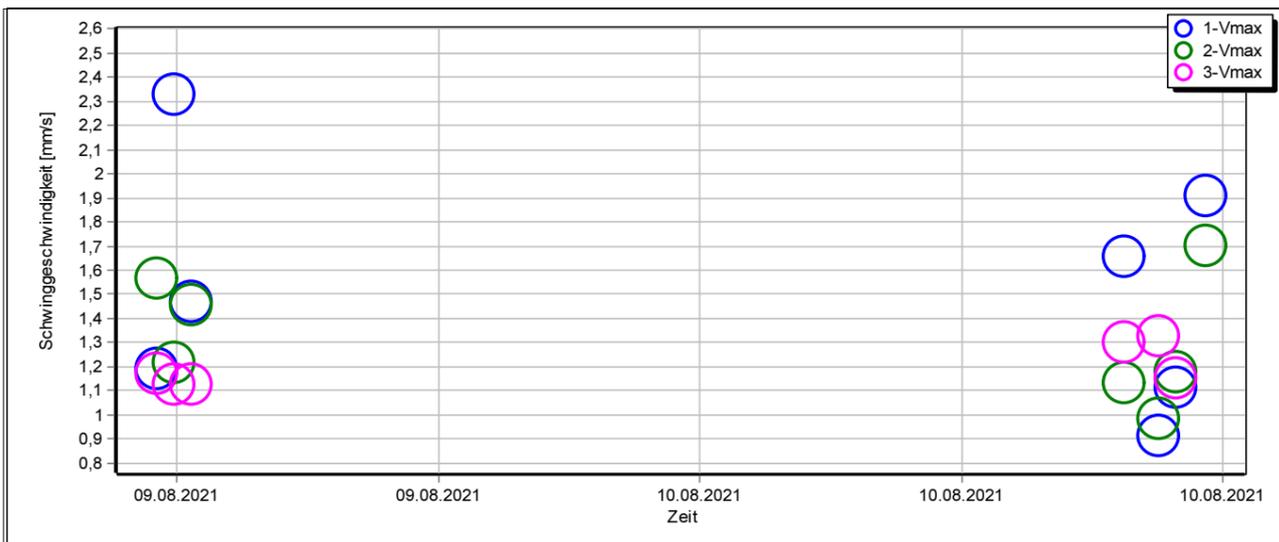
Auswertung der Erschütterungseinwirkungen bezogen auf die Grenzwerte am Fundament:

Erschütterung - Statistik										
Messung	Datum	Uhrzeit	Dauer	1-Vmax	1-Fdom	2-Vmax	2-Fdom	3-Vmax	3-Fdom	
			s	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	
01-MP01-1 2021-	2021-08-09	11:30:48	1200	1,191	0,413	1,569	0,553	1,177	0,584	
02-MP02-1 2021-	2021-08-09	11:55:04	1200	2,330	0,470	1,222	0,395	1,129	0,463	
03-MP03-1 2021-	2021-08-09	12:19:51	1200	1,471	0,611	1,459	0,502	1,131	0,419	
04-MP04-1 2021-	2021-08-10	09:43:55	1630	1,660	0,508	1,135	0,557	1,304	0,417	
05-MP05-1 2021-	2021-08-10	10:31:09	1200	0,913	0,463	0,986	0,607	1,327	0,568	
06-MP06-1 2021-	2021-08-10	10:54:46	900	1,114	0,521	1,178	0,414	1,153	0,693	
07-MP07-1 2021-	2021-08-10	11:36:19	1200	1,911	0,521	1,706	0,646	2,454	0,525	



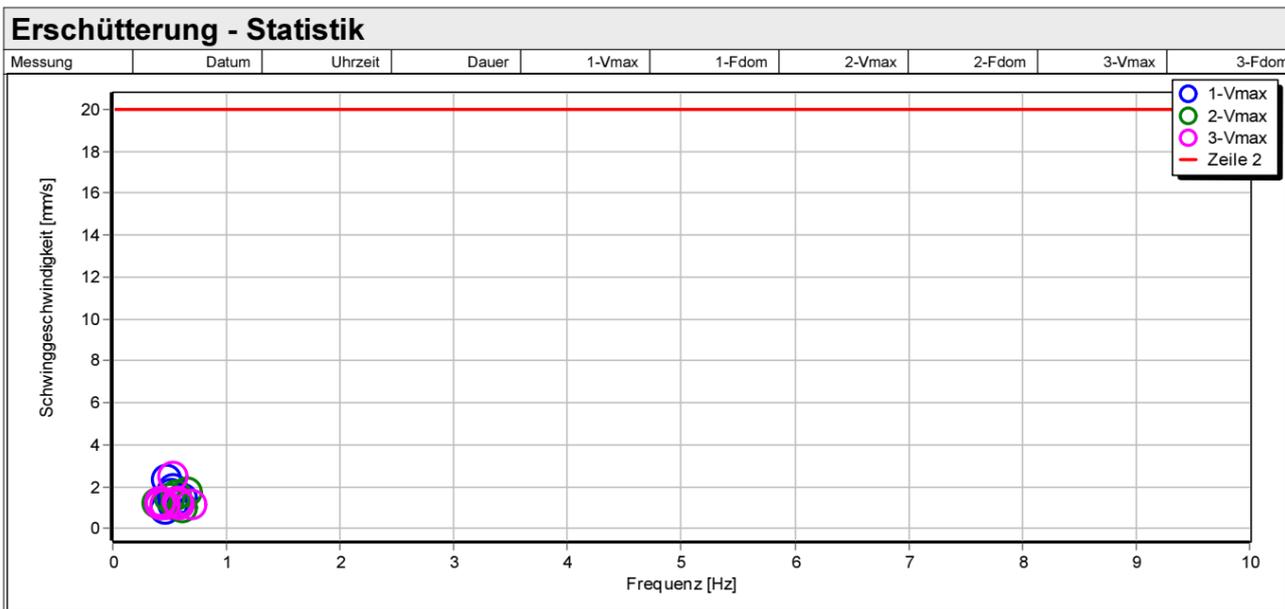
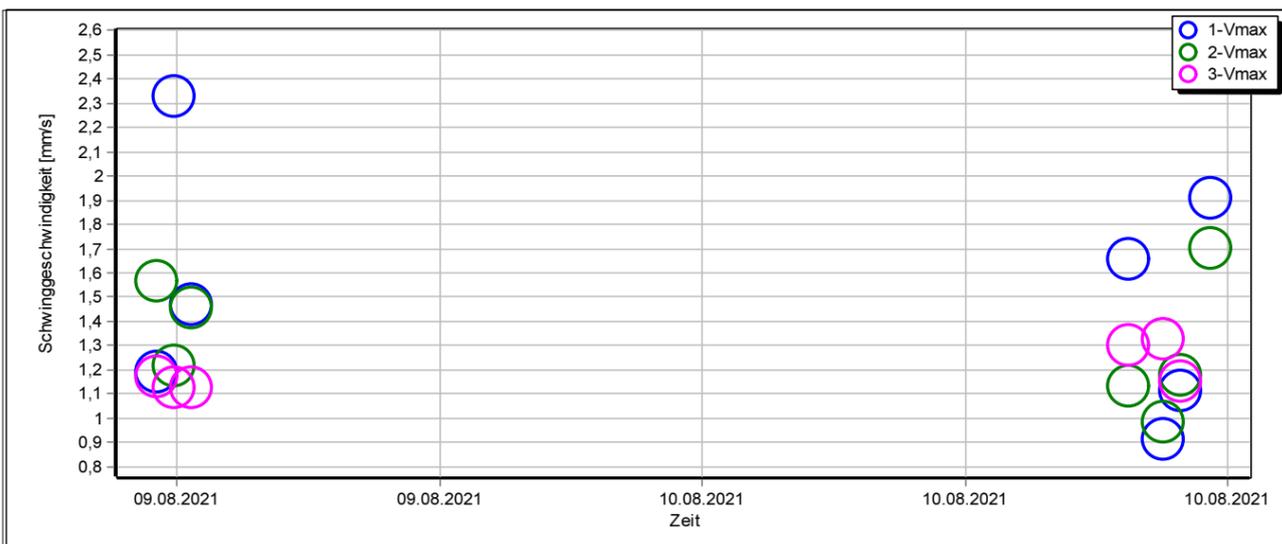
Auswertung der Erschütterungseinwirkungen bezogen auf die Grenzwerte der Decke horizontal:

Erschütterung - Statistik										
Messung	Datum	Uhrzeit	Dauer	1-Vmax	1-Fdom	2-Vmax	2-Fdom	3-Vmax	3-Fdom	
			s	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	
01-MP01-1 2021-	2021-08-09	11:30:48	1200	1,191	0,413	1,569	0,553	1,177	0,584	
02-MP02-1 2021-	2021-08-09	11:55:04	1200	2,330	0,470	1,222	0,395	1,129	0,463	
03-MP03-1 2021-	2021-08-09	12:19:51	1200	1,471	0,611	1,459	0,502	1,131	0,419	
04-MP04-1 2021-	2021-08-10	09:43:55	1630	1,660	0,508	1,135	0,557	1,304	0,417	
05-MP05-1 2021-	2021-08-10	10:31:09	1200	0,913	0,463	0,986	0,607	1,327	0,568	
06-MP06-1 2021-	2021-08-10	10:54:46	900	1,114	0,521	1,178	0,414	1,153	0,693	
07-MP07-1 2021-	2021-08-10	11:36:19	1200	1,911	0,521	1,706	0,646	2,454	0,525	



Auswertung der Erschütterungseinwirkungen bezogen auf die Grenzwerte der Decke vertikal:

Erschütterung - Statistik										
Messung	Datum	Uhrzeit	Dauer	1-Vmax	1-Fdom	2-Vmax	2-Fdom	3-Vmax	3-Fdom	
			s	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	
01-MP01-1 2021-	2021-08-09	11:30:48	1200	1,191	0,413	1,569	0,553	1,177	0,584	
02-MP02-1 2021-	2021-08-09	11:55:04	1200	2,330	0,470	1,222	0,395	1,129	0,463	
03-MP03-1 2021-	2021-08-09	12:19:51	1200	1,471	0,611	1,459	0,502	1,131	0,419	
04-MP04-1 2021-	2021-08-10	09:43:55	1630	1,660	0,508	1,135	0,557	1,304	0,417	
05-MP05-1 2021-	2021-08-10	10:31:09	1200	0,913	0,463	0,986	0,607	1,327	0,568	
06-MP06-1 2021-	2021-08-10	10:54:46	900	1,114	0,521	1,178	0,414	1,153	0,693	
07-MP07-1 2021-	2021-08-10	11:36:19	1200	1,911	0,521	1,706	0,646	2,454	0,525	



Zur Beurteilung der Auswirkung der Erschütterungseinwirkungen auf die angrenzenden Bauwerke, durch die neu geplanten Trasse in der Binger Straße, werden die maßgebenden Messergebnisse auf die angrenzenden Bauwerke abgeschätzt und mit den Anhaltswerten der Norm verglichen. Hierbei werden die maßgebenden gemessenen Erschütterungseinwirkungen über Übertragungsfaktoren in das Bauwerk überführt.

Die Übertragung der Erschütterungseinwirkungen vom Boden auf das Gebäude wird mit Übertragungsfaktoren beschrieben. Bei der Auswertung wurden der vertikale Übertragungsfaktor zwischen Boden und Fundament mit dem Maximalwert bei resonanznaher Erregung im Lockergestein mit 2,0 angesetzt. Der horizontale Übertragungsfaktor liegt erfahrungsgemäß zwischen 0,1 bis 0,3. Hier wird auf der sicheren Seite liegend 1,0 angesetzt. Für die Übertragung der Fundamentalschwingungen auf die Decken werden die Übertragungsfaktoren bei der Berechnung für die vertikalen Schwingungen mit 1,5 angesetzt. Erfahrungsgemäß ist dieser Übertragungsfaktor nicht größer, sofern die Eigenfrequenzen der Decken mind. 5 Hz unter den Erregerfrequenzen liegen. Dies ist im Normalfall hier gegeben. Der horizontale Übertragungsfaktor von der Erregerquelle auf die Wände liegt erfahrungsgemäß zwischen 0,5–1,0. Lediglich bei sehr weichem Baugrund kann er bis etwa 2,0 ansteigen. Hier wird auf der sicheren Seite liegend 1,25 angesetzt. Der Übertragungsfaktor vom Boden auf das Fundament und vom Fundament auf die Decke ergibt sich somit für die vertikale Richtung zu $2,0 \cdot 1,5 = 3,0$ und für die horizontale Richtung zu $1,0 \cdot 1,25 = 1,25$.

Die prognostizierten Erschütterungseinwirkungen auf die angrenzenden Bauwerke ergeben sich durch die nachfolgende Berechnung.

Gleiskörper im Asphalt:

Auswertung am Fundament, für kurzzeitige Erschütterungen nach Zeile 2:

$$\max v_{\text{horizontal}}^F = 2,45 \text{ mm/s} \cdot 1,0 = 2,45 \leq 5,0 \text{ mm/s (für eine Frequenz } \geq 10 \text{ Hz)}$$

$$\max v_{\text{vertikal}}^F = 2,33 \text{ mm/s} \cdot 2,0 = 4,66 \leq 5,0 \text{ mm/s (für eine Frequenz } \geq 10 \text{ Hz)}$$

Auswertung an der Decke, für kurzzeitige Erschütterungen nach Zeile 2:

$$\max v_{\text{horizontal}}^D = 2,45 \text{ mm/s} \cdot 1,25 = 3,06 \leq 15,0 \text{ mm/s}$$

$$\max v_{\text{vertikal}}^D = 2,33 \text{ mm/s} \cdot 3,00 = 6,99 \leq 20,0 \text{ mm/s}$$

Gleiskörper im Rasen:

Auswertung am Fundament, für kurzzeitige Erschütterungen nach Zeile 2:

$$\max v_{\text{horizontal}}^F = 1,71 \text{ mm/s} \cdot 1,0 = 1,71 \leq 5,0 \text{ mm/s (für eine Frequenz } \geq 10 \text{ Hz)}$$

$$\max v_{\text{vertikal}}^F = 1,65 \text{ mm/s} \cdot 2,0 = 3,30 \leq 5,0 \text{ mm/s (für eine Frequenz } \geq 10 \text{ Hz)}$$

Auswertung an der Decke, für kurzzeitige Erschütterungen nach Zeile 2:

$$\begin{aligned} \max v_{\text{horizontal}}^D &= 1,71 \text{ mm/s} * 1,25 = 2,14 \leq 15,0 \text{ mm/s} \\ \max v_{\text{vertikal}}^D &= 1,65 \text{ mm/s} * 3,00 = 4,95 \leq 20,0 \text{ mm/s} \end{aligned}$$

Die Erschütterungseinwirkungen sind stark vom Baugrundgrund abhängig und können daher nur als Prognose für den geplanten Standort herangezogen werden. Die tatsächlichen Erschütterungseinwirkungen können ggf. aufgrund der Untergrundverhältnisse abweichen.

Beurteilung:

Die errechneten Erschütterungen liegen alle unter den Normvorgaben für kurzzeitige Erschütterungen nach Zeile 2 (Asphalt/Rasen: oberste Decke: $\max v_{\text{horizontal}} = 3,06/2,14 \text{ mm/s} \leq 15,0 \text{ mm/s}$ und $\max v_{\text{vertikal}} = 6,99/4,95 \text{ mm/s} \leq 20,0 \text{ mm/s}$; Fundament: $\max v = 4,66/3,30 \text{ mm/s} \leq 5,0 \text{ mm/s}$). Auch die Anhaltswerte für Dauererschütterungen nach Zeile 2 werden deutlich eingehalten (Asphalt/Rasen: $\max v_{\text{horizontal}} = 3,06/2,14 \text{ mm/s} \leq 5,0 \text{ mm/s}$ und $\max v_{\text{vertikal}} = 6,99/4,95 \text{ mm/s} \leq 10,0 \text{ mm/s}$).

Auswertung der Messdaten vom 18.01.2023:

Um die zuvor prognostizierten Erschütterungseinwirkungen auf die angrenzenden Gebäude in der Binger Straße weiter zu verifizieren, wurden weitere Messungen in zwei repräsentativen Gebäude (Haus 4, Gebäude in Massivbau und Haus 11, Gebäude mit Holzbalkendecken) in der Parallelstraße zur Lage der neu geplanten Trassen in der Bahnhofsstraße durchgeführt.

Es wurden während der Messungen die folgenden relevanten Maximalwerte aufgezeichnet

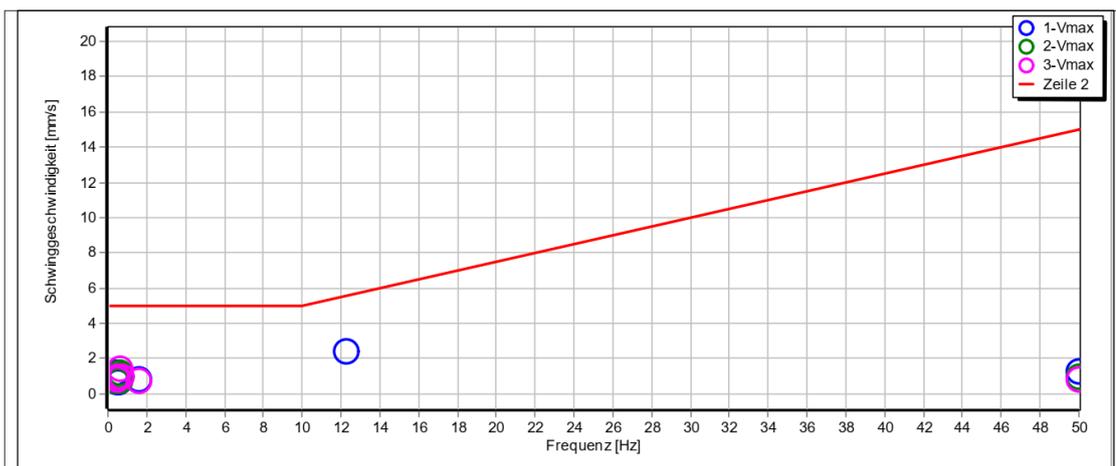
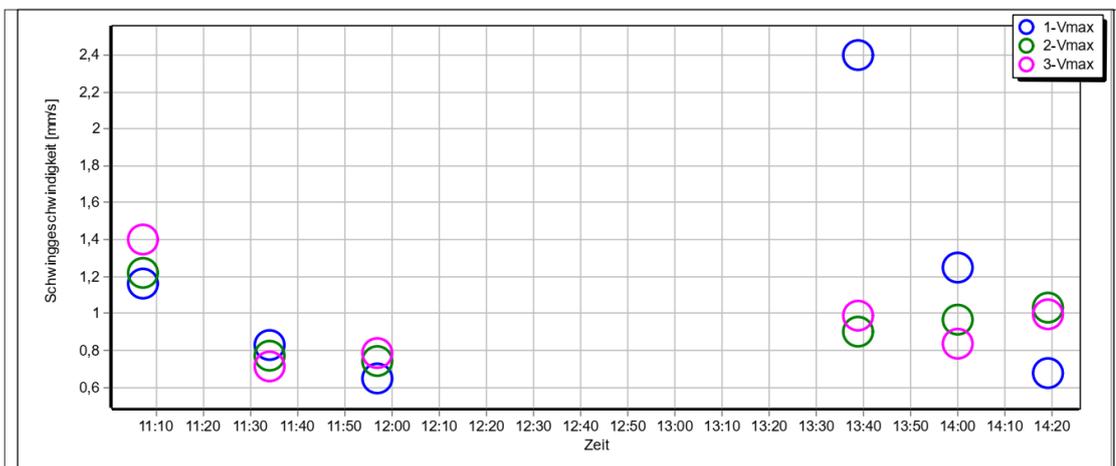
Gleiskörper im Asphalt - Messung 18.01.2023

	Messort	max v _z	max v _x	max v _y	Messung
Haus Nr. 4	Straße	0,955	0,662	1,097	MP04
	Eingang	0,648	0,739	0,784	MP03
	Fundamnet	1,164	1,217	1,403	MP01
	oberste Decke	0,831	0,774	0,714	MP02
	Ø Asphalt	0,900	0,848	1,000	
Haus Nr. 11	Straße	3,300	3,800	6,109	MP08
	Fundmanet	0,680	1,031	0,997	MP07
	D.2.OG	2,399	0,904	0,988	MP05
	oberse Decke	1,247	0,967	0,833	MP06
		Ø Asphalt	1,907	1,676	2,232

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt in den nachfolgenden Diagrammen und Tabellen. Die rote Linie kennzeichnet den oberen Anhaltswert der Normvorgabe.

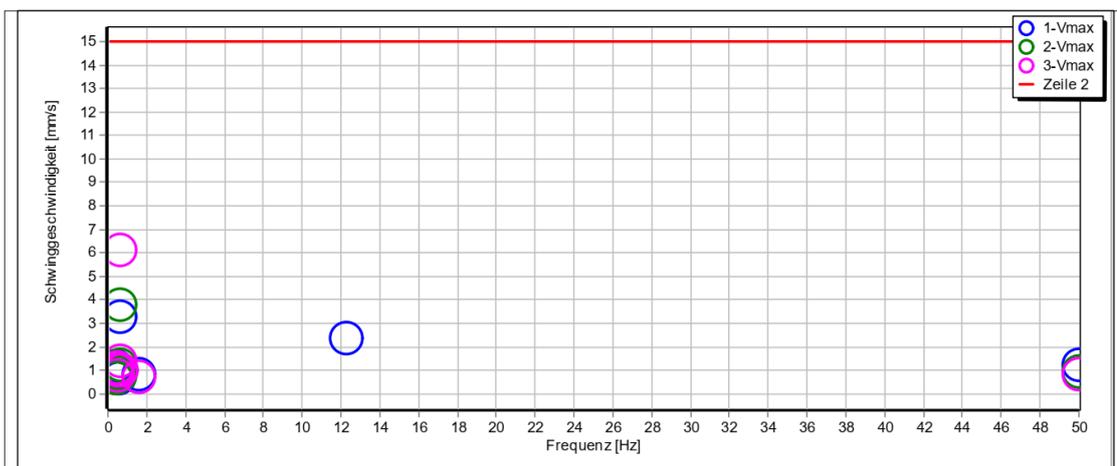
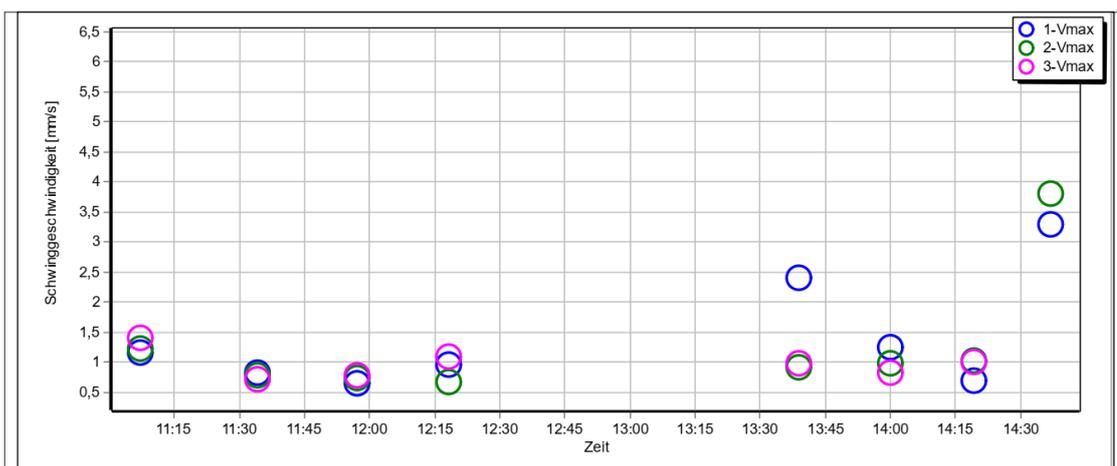
Auswertung der Erschütterungseinwirkungen bezogen auf die Grenzwerte am Fundament:

Erschütterung - Statistik										
Messung	Datum	Uhrzeit	Dauer	1-Vmax	1-Fdom	2-Vmax	2-Fdom	3-Vmax	3-Fdom	
			s	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	
2023-01-18_11-05	2023-01-18	11:07:04	900	1,164	0,410	1,217	0,605	1,403	0,617	
2023-01-18_11-32	2023-01-18	11:34:01	900	0,831	1,594	0,774	0,598	0,714	1,594	
2023-01-18_11-56	2023-01-18	11:57:01	900	0,648	0,555	0,739	0,400	0,784	0,490	
2023-01-18_13-38	2023-01-18	13:39:00	900	2,399	12,283	0,904	0,590	0,988	0,496	
2023-01-18_13-58	2023-01-18	14:00:01	900	1,247	49,979	0,967	49,979	0,833	49,979	
2023-01-18_14-19	2023-01-18	14:19:18	900	0,680	0,506	1,031	0,615	0,997	0,668	



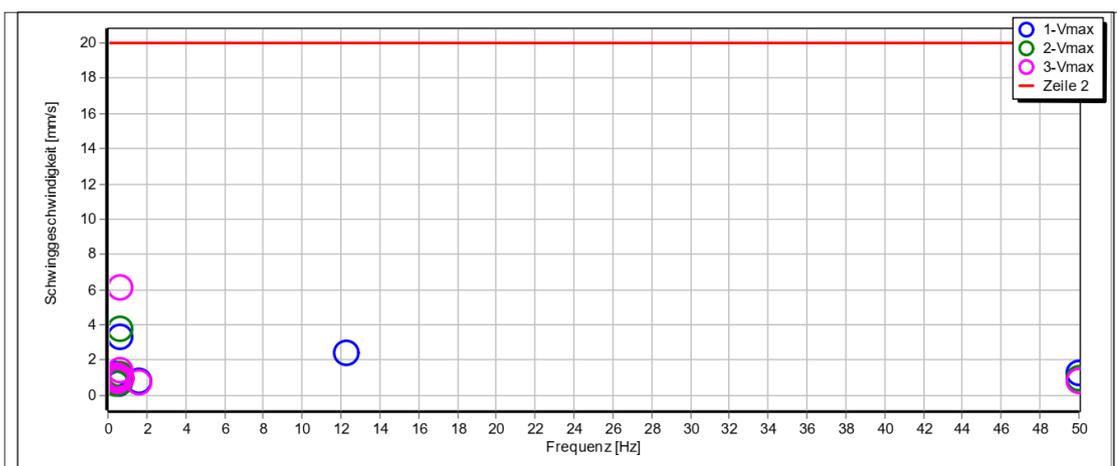
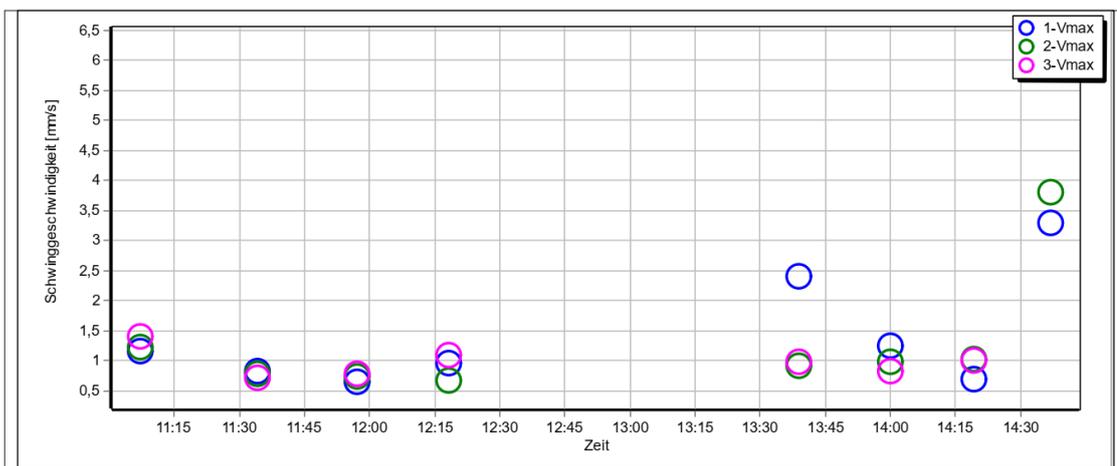
Auswertung der Erschütterungseinwirkungen bezogen auf die Grenzwerte der Decke horizontal:

Erschütterung - Statistik										
Messung	Datum	Uhrzeit	Dauer	1-Vmax	1-Fdom	2-Vmax	2-Fdom	3-Vmax	3-Fdom	
			s	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	
2023-01-18_11-05	2023-01-18	11:07:04	900	1,164	0,410	1,217	0,605	1,403	0,617	
2023-01-18_11-32	2023-01-18	11:34:01	900	0,831	1,594	0,774	0,598	0,714	1,594	
2023-01-18_11-56	2023-01-18	11:57:01	900	0,648	0,555	0,739	0,400	0,784	0,490	
2023-01-18_12-18	2023-01-18	12:18:20	900	0,955	0,496	0,662	0,422	1,097	0,479	
2023-01-18_13-38	2023-01-18	13:39:00	900	2,399	12,283	0,904	0,590	0,988	0,496	
2023-01-18_13-58	2023-01-18	14:00:01	900	1,247	49,979	0,967	49,979	0,833	49,979	
2023-01-18_14-15	2023-01-18	14:19:18	900	0,680	0,506	1,031	0,615	0,997	0,668	
2023-01-18_14-36	2023-01-18	14:37:00	900	3,300	0,643	3,800	0,604	6,109	0,604	



Auswertung der Erschütterungseinwirkungen bezogen auf die Grenzwerte der Decke vertikal:

Erschütterung - Statistik									
Messung	Datum	Uhrzeit	Dauer	1-Vmax	1-Fdom	2-Vmax	2-Fdom	3-Vmax	3-Fdom
			s	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz
2023-01-18_11-05	2023-01-18	11:07:04	900	1,164	0,410	1,217	0,605	1,403	0,617
2023-01-18_11-32	2023-01-18	11:34:01	900	0,831	1,594	0,774	0,598	0,714	1,594
2023-01-18_11-56	2023-01-18	11:57:01	900	0,648	0,555	0,739	0,400	0,784	0,490
2023-01-18_12-18	2023-01-18	12:18:20	900	0,955	0,496	0,662	0,422	1,097	0,479
2023-01-18_13-36	2023-01-18	13:39:00	900	2,399	12,283	0,904	0,590	0,988	0,496
2023-01-18_13-58	2023-01-18	14:00:01	900	1,247	49,979	0,967	49,979	0,833	49,979
2023-01-18_14-19	2023-01-18	14:19:18	900	0,680	0,506	1,031	0,615	0,997	0,668
2023-01-18_14-36	2023-01-18	14:37:00	900	3,300	0,643	3,800	0,604	6,109	0,604



Zur Beurteilung der Auswirkung der Erschütterungseinwirkungen auf die angrenzenden Bauwerke, durch die neu geplanten Trasse in der Binger Straße, werden die maßgebenden Messergebnisse auf die angrenzenden Bauwerke abgeschätzt und mit den Anhaltswerten der Norm verglichen.

Gleiskörper im Asphalt:

Auswertung am Fundament, für kurzzeitige Erschütterungen nach Zeile 2:

$$\begin{aligned} \max v_{\text{horizontal}}^F &= 1,41 \text{ mm/s} && \leq 5,0 \text{ mm/s (für eine Frequenz } \geq 10 \text{ Hz)} \\ \max v_{\text{vertikal}}^F &= 1,17 \text{ mm/s} && \leq 5,0 \text{ mm/s (für eine Frequenz } \geq 10 \text{ Hz)} \end{aligned}$$

Auswertung an der Decke, für kurzzeitige Erschütterungen nach Zeile 2:

$$\begin{aligned} \max v_{\text{horizontal}}^D &= 1,00 \text{ mm/s} && \leq 15,0 \text{ mm/s} \\ \max v_{\text{vertikal}}^D &= 2,40 \text{ mm/s} && \leq 20,0 \text{ mm/s} \end{aligned}$$

Die Erschütterungseinwirkungen sind stark vom Baugrundgrund abhängig und können daher nur als Prognose für den geplanten Standort herangezogen werden. Die tatsächlichen Erschütterungseinwirkungen können ggf. aufgrund der Untergrundverhältnisse abweichen.

Beurteilung:

Die gemessenen Erschütterungen liegen alle unter den Normvorgaben für kurzzeitige Erschütterungen nach Zeile 2 (oberste Decke: $\max v_{\text{horizontal}} = 1,00 \text{ mm/s} \leq 15,0 \text{ mm/s}$ und $\max v_{\text{vertikal}} = 2,40 \text{ mm/s} \leq 20,0 \text{ mm/s}$; Fundament: $\max v = 1,41 \text{ mm/s} \leq 5,0 \text{ mm/s}$). Auch die Anhaltswerte für Dauererschütterungen nach Zeile 2 werden deutlich eingehalten ($\max v_{\text{horizontal}} = 1,41 \text{ mm/s} \leq 5,0 \text{ mm/s}$ und $\max v_{\text{vertikal}} = 2,40 \text{ mm/s} \leq 10,0 \text{ mm/s}$).

Auswertung nach DIN 4150-2

In der Norm werden Anhaltswerte vorgegeben, die eine Beurteilung der Erschütterungen hinsichtlich der möglichen Belästigung von Personen in Gebäuden ermöglichen. Werden die Anhaltswerte unterschritten, kann eine erhebliche Belästigung von Personen praktisch ausgeschlossen werden. Die Anhaltswerte sind dabei gemäß der Gebietseinstufung gestaffelt. Die Gebäude, die sich in der Binger Straße befinden, werden als Bürogebäude, Gewerbegebäude, Restaurant und als Wohngebäude genutzt. Es sind sowohl vier- bis sechsgeschossige Gebäude vorhanden. Nach den Bebauungsplänen sind in der Binger Straße allgemeine Wohngebiete vorgesehen. Somit werden für die Beurteilung auf der sicheren Seite liegend die Grenzkriterien gemäß DIN 4150-2 für allgemeine Wohngebiete gem. §4 BauNVO (Zeile 4 Tabelle 1) herangezogen werden.

Für die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärke ist die Kenntnis der Intensität von Schwingungsimmissionen sowie deren Einwirkungsdauer erforderlich. Die vorliegende Untersuchung wurde auf der Grundlage eines prognostizierten Betriebszenarios / U 3 / mit dem Prognosehorizont 2035 erstellt. Demnach wird für die Neubaustrecke von folgenden Fahrzeugaufkommen im Tag- bzw. Nachtzeitraum ausgegangen:

$$M = 256 / 60$$

Diese Zahlen stellen jeweils die Summe aus den Verkehrszahlen für beide Richtungsgleise dar.

Auswertung der Messdaten vom 09.08.2021, 10.08.2021 und 07.12.2021:

Es wurden während der Messung folgende relevanten Maximalwerte (v_i in mm/s) aufgezeichnet:

Gleiskörper im Asphalt - Messungen 07.12.2022

Messort	max v_z	max v_x	max v_y	Messung
Fundament	1,308	1,417	1,362	01
Straße	1,410	1,431	1,435	02
im Gebäude	0,771	0,812	0,712	03
Fundament	0,951	1,332	0,946	04
Straße	1,241	1,161	1,150	05
Fundament	0,722	0,597	0,659	06
Straße	2,330	1,222	1,129	07
Straße	1,191	1,569	1,177	08
Ø Asphalt	1,241	1,193	1,071	

Die Erschütterungen wurden an acht Messpunkte zu je ~ 20 min im Bereich der zu beurteilenden Gebäude aufgenommen. Es wird angenommen, dass der erfasste Zeitverlauf repräsentativ für den ganzen Tag sei.

Bei der Berechnung der bewerteten Schwingstärke (KB_{FTi}) wurde eine kontinuierliche Erfassung des Taktmaximalwertes KB_{FTi} aktiviert. Hierbei wurde für Takte von 30 Sekunden der jeweilige Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_{F(t)}$ ermittelt.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt in den nachfolgenden Diagrammen und Tabellen. Die roten Linien kennzeichnen die Grenzwerte (A_u und A_o) der Normvorgabe. Die Norm differenziert hierbei Grenzwerte für den Tag (6:00 bis 22:00 Uhr) und für die Nacht (22:00 bis 6:00 Uhr). Der obere Grenzwert am Tag ($A_o = 3,0$) ist nicht maßgebend und wird nicht dargestellt. Die Schwarze Line kennzeichnet den oberen Anhaltswert $A_o = 0,6$.

Die Grenzwerte A_u und A_r der Tabelle 1 werden nach 6.5.3.3 der DIN 4150 Teil 2 um den Faktor 1,5 angehoben.

Damit ergeben sich folgende Grenzwerte:

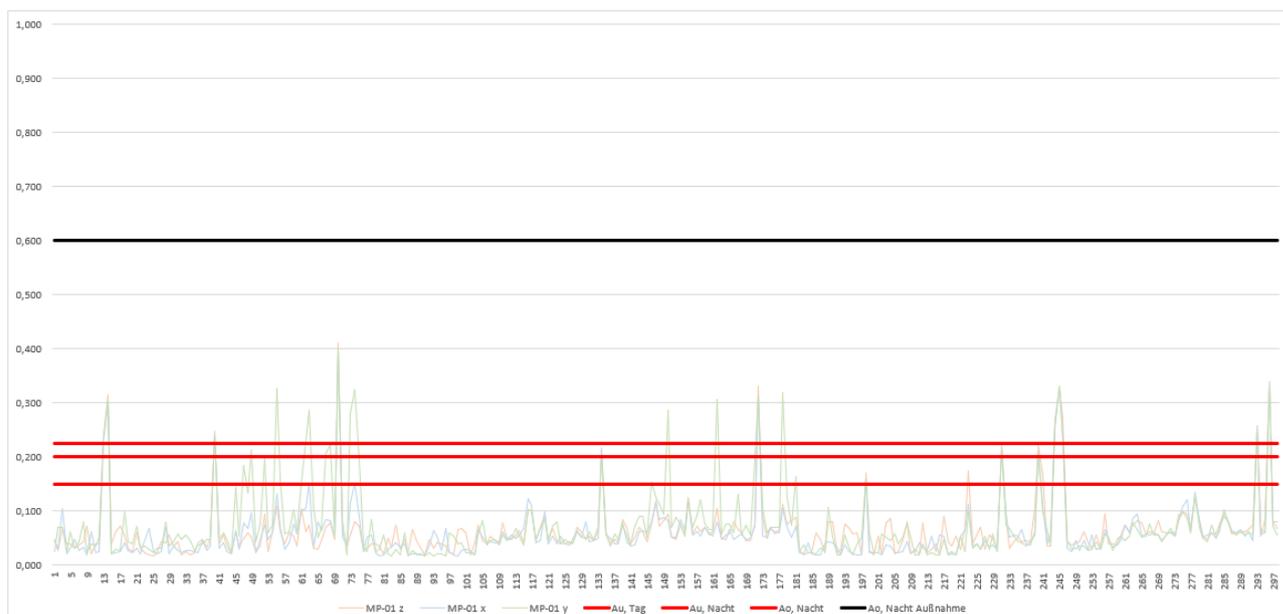
Tags: $A_u = 0,15 \times 1,5 = 0,225 / A_o = 3 / A_r = 0,07 \times 1,5 = 0,105$

Nachts: $A_u = 0,1 \times 1,5 = 0,15 / A_o = 0,2 / A_r = 0,05 \times 1,5 = 0,075$

Relevanten Messdaten (maßgebende bewertete Schwingstärke KB_{FTi}):

		z	x	y											
MP-01		3	0,068	0,105	0,069	MP-04	130	0,102	0,122	0,103	MP-06	203	0,081	0,044	0,106
		13	0,237	0,230	0,237		131	0,100	0,110	0,100		212	0,169	0,159	0,159
		14	0,314	0,304	0,303		148	0,216	0,213	0,203		237	0,174	0,113	0,099
		40	0,247	0,243	0,242		160	0,076	0,081	0,154		245	0,222	0,215	0,215
		45	0,061	0,064	0,144		161	0,118	0,114	0,125		253	0,109	0,064	0,056
MP-02 maßgebende Takte		47	0,049	0,077	0,184	162	0,072	0,085	0,113	254	0,221	0,211	0,209		
		48	0,060	0,068	0,134	164	0,095	0,082	0,287	255	0,167	0,109	0,098		
		49	0,051	0,097	0,213	169	0,124	0,121	0,118	258	0,270	0,260	0,255		
		52	0,094	0,074	0,196	172	0,062	0,054	0,120	259	0,327	0,327	0,330		
		55	0,108	0,132	0,327	176	0,104	0,080	0,306	260	0,272	0,235	0,235		
		61	0,104	0,101	0,152	181	0,065	0,053	0,131	278	0,083	0,094	0,066		
		62	0,061	0,104	0,229	185	0,076	0,072	0,197	289	0,098	0,109	0,098		
		63	0,074	0,151	0,287	186	0,330	0,309	0,313	290	0,094	0,120	0,087		
		67	0,070	0,085	0,207	187	0,089	0,054	0,105	292	0,121	0,135	0,128		
		68	0,077	0,082	0,223	192	0,113	0,104	0,318	299	0,096	0,090	0,102		
		70	0,410	0,397	0,399	193	0,075	0,070	0,124	307	0,250	0,257	0,253		
		73	0,056	0,115	0,279	195	0,089	0,072	0,163	310	0,340	0,335	0,329		
		74	0,081	0,151	0,325										
		75	0,071	0,091	0,197										

Auswertung der Erschütterungseinwirkungen $KB_{FT,i}$ ohne Ansatz der Übertragungsfaktoren:



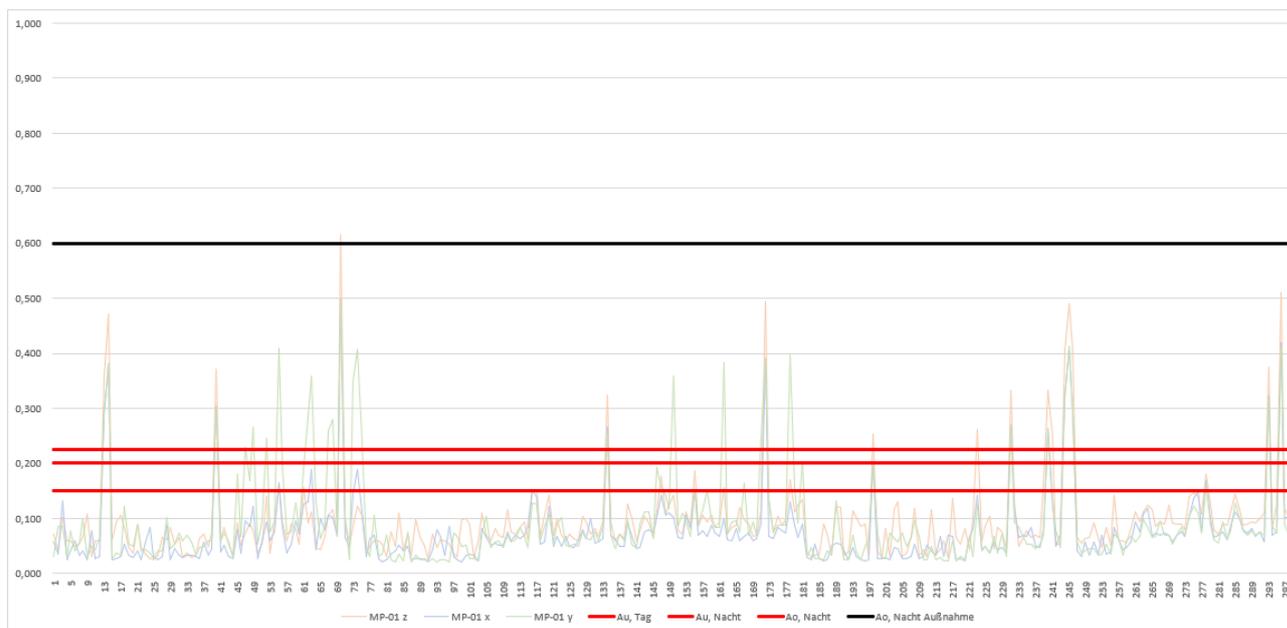
Zur Beurteilung der Erschütterungen hinsichtlich der möglichen Belästigung von Personen in Gebäuden, durch die neu geplanten Trasse in der Binger Straße, werden die maßgebenden Messergebnisse auf die angrenzenden Bauwerke abgeschätzt und mit den Anhaltswerten der Norm verglichen. Hierbei werden die maßgebenden gemessenen Erschütterungseinwirkungen über Übertragungsfaktoren in das Bauwerk überführt.

Die Übertragung der Erschütterungseinwirkungen vom Boden auf das Gebäude wird mit Übertragungsfaktoren beschrieben. Bei der Auswertung wurden der vertikale Übertragungsfaktor zwischen Boden und Fundament anhand der Messergebnisse (MP01 zu MP02, MP04 zu MP05 und MP06 zu MP07) berechnet und auf der sicheren Seite liegend mit 1,0 angesetzt. Der horizontale Übertragungsfaktor liegt erfahrungsgemäß zwischen 0,1 bis 0,3. Hier wird auf der sicheren Seite liegend anhand der Messergebnisse mit 1,0 angesetzt.

Für die Übertragung der Fundamentalschwingungen auf die Decken werden die Übertragungsfaktoren bei der Berechnung für die vertikalen Schwingungen mit 1,5 angesetzt. Erfahrungsgemäß ist dieser Übertragungsfaktor nicht größer, sofern die Eigenfrequenzen der Decken mind. 5 Hz unter den Erregerfrequenzen liegen. Dies ist im Normalfall hier gegeben.

Der horizontale Übertragungsfaktor von der Erregerquelle auf die Wände liegt erfahrungsgemäß zwischen 0,5–1,0. Lediglich bei sehr weichem Baugrund kann er bis etwa 2,0 ansteigen. Hier wird auf der sicheren Seite liegend 1,25 angesetzt. Der Übertragungsfaktor vom Boden auf das Fundament und vom Fundament auf die Decke ergibt sich somit für die vertikale Richtung zu $1,0 * 1,5 = 1,5$ und für die horizontale Richtung zu $1,0 * 1,25 = 1,25$.

Auswertung der Erschütterungseinwirkungen $KB_{FT,i}$ mit Ansatz der Übertragungsfaktoren:



Die prognostizierten Erschütterungseinwirkungen auf die angrenzenden Bauwerke zur Beurteilung der Erschütterungen hinsichtlich der möglichen Belästigung von Personen in Gebäuden ergeben sich durch die nachfolgende Berechnung.

Bei der messtechnischen Ermittlung von Schwinggeschwindigkeiten oder KB-Werten treten erfahrungsgemäß Unsicherheiten von bis zu $\pm 15\%$ auf. In den angegebenen Ergebnissen ist kein Abzug dieser Messunsicherheiten erfolgt.

Berechnung der maßgebenden bewerteten Schwingstärke und Beurteilungs-Schwingstärke:

maßgebende bewertete Schwingstärke KB Ft,i aus MP-01 bis MP-08

	z	Ü-Faktor		Ü-Faktor		Ü-Faktor	
		*1,5	x	*1,25	y	*1,25	
MP-01	3	0,068	0,102	0,105	0,131	0,069	0,086
	13	0,237	0,356	0,230	0,288	0,237	0,296
	14	0,314	0,471	0,304	0,380	0,303	0,379
MP-02 maßgebende Takte	40	0,247	0,371	0,243	0,304	0,242	0,303
	45	0,061	0,092	0,064	0,080	0,144	0,180
	47	0,049	0,074	0,077	0,096	0,184	0,230
	48	0,060	0,090	0,068	0,085	0,134	0,168
	49	0,051	0,077	0,097	0,121	0,213	0,266
	52	0,094	0,141	0,074	0,093	0,196	0,245
	55	0,108	0,162	0,132	0,165	0,327	0,409
	61	0,104	0,156	0,101	0,126	0,152	0,190
	62	0,061	0,092	0,104	0,130	0,229	0,286
	63	0,074	0,111	0,151	0,189	0,287	0,359
	67	0,070	0,105	0,085	0,106	0,207	0,259
	68	0,077	0,116	0,082	0,103	0,223	0,279
	70	0,410	0,615	0,397	0,496	0,399	0,499
	73	0,056	0,084	0,115	0,144	0,279	0,349
	74	0,081	0,122	0,151	0,189	0,325	0,406
75	0,071	0,107	0,091	0,114	0,197	0,246	
MP-04	130	0,102	0,153	0,122	0,153	0,103	0,129
	131	0,100	0,150	0,110	0,138	0,100	0,125
	148	0,216	0,324	0,213	0,266	0,203	0,254
MP-05 maßgebende Takte	160	0,076	0,114	0,081	0,101	0,154	0,193
	161	0,118	0,177	0,114	0,143	0,125	0,156
	162	0,072	0,108	0,085	0,106	0,113	0,141
	164	0,095	0,143	0,082	0,103	0,287	0,359
	169	0,124	0,186	0,121	0,151	0,118	0,148
	172	0,062	0,093	0,054	0,068	0,120	0,150
	176	0,104	0,156	0,080	0,100	0,306	0,383
	181	0,065	0,098	0,053	0,066	0,131	0,164
	185	0,076	0,114	0,072	0,090	0,197	0,246
	186	0,330	0,495	0,309	0,386	0,313	0,391
	187	0,089	0,134	0,054	0,068	0,105	0,131
	192	0,113	0,170	0,104	0,130	0,318	0,398
193	0,075	0,113	0,070	0,088	0,124	0,155	
195	0,089	0,134	0,072	0,090	0,163	0,204	
MP-06	203	0,081	0,122	0,044	0,055	0,106	0,133
	212	0,169	0,254	0,159	0,199	0,159	0,199
MP-07 maßgebende Takte	237	0,174	0,261	0,113	0,141	0,099	0,124
	245	0,222	0,333	0,215	0,269	0,215	0,269
	253	0,109	0,164	0,064	0,080	0,056	0,070
	254	0,221	0,332	0,211	0,264	0,209	0,261
	255	0,167	0,251	0,109	0,136	0,098	0,123
	258	0,270	0,405	0,260	0,325	0,255	0,319
	259	0,327	0,491	0,327	0,409	0,330	0,413
	260	0,272	0,408	0,235	0,294	0,235	0,294
MP-08 maßgebende Takte	278	0,083	0,125	0,094	0,118	0,066	0,083
	289	0,098	0,147	0,109	0,136	0,098	0,123
	290	0,094	0,141	0,120	0,150	0,087	0,109
	292	0,121	0,182	0,135	0,169	0,128	0,160
	299	0,096	0,144	0,090	0,113	0,102	0,128
	307	0,250	0,750	0,257	0,321	0,253	0,316
	310	0,340	1,020	0,335	0,419	0,329	0,411

Σ = 53 M (Zugtakete) → auf 16 h Tag 6:00 bis 22:00 Uhr → 334 Gesamtzahl
 auf 8 h Nacht 22:00 bis 6:00 Uhr → 167 Gesamtzahl

Berechnung der maßgebenden Beurteilungswerte bezogen auf MP-01 bis MP-08:

Effektivwert der Taktmaximalwerte KB FTm

	z	Ü-Faktor *1,5	x	Ü-Faktor *1,25	y	Ü-Faktor *1,25
KB _{FTm}	0,155	0,287	0,155	0,199	0,208	0,261

Beurteilungs-Schwingstärke KB FTr, bezogen auf die Hochrechnung der gemessenen Bahnfahren [334 Bahnen am Tag ; 167 Bahnen in der Nacht]

	z	Ü-Faktor *1,5	x	Ü-Faktor *1,25	y	Ü-Faktor *1,25
KB _{FTr, Tag}	0,065	0,120	0,065	0,083	0,087	0,109
KB _{FTr, Nacht}	0,065	0,120	0,065	0,083	0,087	0,109

Beurteilungs-Schwingstärke KB FTr, bezogen auf die Anzahl der Zugfahrtenprognose von 2035 [256 Bahnen am Tag ; 60 Bahnen in der Nacht]

	z	Ü-Faktor *1,5	x	Ü-Faktor *1,25	y	Ü-Faktor *1,25
KB _{FTr, Tag}	0,057	0,105	0,057	0,073	0,076	0,095
KB _{FTr, Nacht}	0,039	0,072	0,039	0,050	0,052	0,065

Nachfolgend werden die maßgebenden Beurteilungswerte nur auf die maßgebenden Messpunkte der außenliegenden Fundamente bzw. Fensterbänke bezogen.

Berechnung der maßgebenden Beurteilungswerte bezogen auf MP-01, MP-04 und MP-06:

Effektivwert der Taktmaximalwerte KB FTm

	z	Ü-Faktor *1,5	x	Ü-Faktor *1,25	y	Ü-Faktor *1,25
KB _{FTm}	0,177	0,271	0,178	0,223	0,175	0,219

Beurteilungs-Schwingstärke KB FTr, bezogen auf die Hochrechnung der gemessenen Bahnfahren [334 Bahnen am Tag ; 167 Bahnen in der Nacht]

	z	Ü-Faktor *1,5	x	Ü-Faktor *1,25	y	Ü-Faktor *1,25
KB _{FTr, Tag}	0,046	0,070	0,046	0,058	0,045	0,057
KB _{FTr, Nacht}	0,046	0,070	0,046	0,058	0,045	0,057

Beurteilungs-Schwingstärke KB FTr, bezogen auf die Anzahl der Zugfahrtenprognose von 2035 [256 Bahnen am Tag ; 60 Bahnen in der Nacht]

	z	Ü-Faktor *1,5	x	Ü-Faktor *1,25	y	Ü-Faktor *1,25
KB _{FTr, Tag}	0,046	0,070	0,046	0,058	0,045	0,057
KB _{FTr, Nacht}	0,044	0,068	0,045	0,056	0,044	0,055

Auswertung am Tag:

Auswertung am Tag in z-Richtung										
	KB _{Fmax}		Au	Ao	Hochrechnung der gemessenen Bahnfahrten		Zugfahrtenprognose von 2035		Ar	Beurteilung
	aus Messung	mit Ü-Faktor			KB _{FTr}	KB _{FTr}	KB _{FTr}	KB _{FTr}		
					aus Messung	mit Ü-Faktor	aus Messung	mit Ü-Faktor		
MP-01	0,31	0,47	0,225	3	0,06	0,10	0,06	0,10	0,105	
MP-02	0,41	0,62	0,225	3	0,08	0,13	0,05	0,07	0,105	
MP-03	0,07	0,11	0,225	3	0,00	0,03	0,00	0,03	0,105	
MP-04	0,22	0,32	0,225	3	0,04	0,06	0,04	0,06	0,105	
MP-05	0,33	0,50	0,225	3	0,06	0,11	0,04	0,07	0,105	
MP-06	0,17	0,25	0,225	3	0,03	0,04	0,03	0,04	0,105	
MP-07	0,33	0,49	0,225	3	0,10	0,15	0,08	0,13	0,105	
MP-08	0,34	0,51	0,225	3	0,07	0,11	0,06	0,10	0,105	
MP-01 - 08	0,41	0,62	0,225	3	0,07	0,12	0,06	0,10	0,105	
MP-01,04,06	0,31	0,47	0,225	3	0,05	0,07	0,05	0,07	0,105	

Auswertung am Tag in x/y-Richtung										
	KB _{Fmax}		Au	Ao	Hochrechnung der gemessenen Bahnfahrten		Zugfahrtenprognose von 2035		Ar	Beurteilung
	aus Messung	mit Ü-Faktor			KB _{FTr}	KB _{FTr}	KB _{FTr}	KB _{FTr}		
					aus Messung	mit Ü-Faktor	aus Messung	mit Ü-Faktor		
MP-01	0,30	0,38	0,225	3	0,06	0,08	0,06	0,08	0,105	
MP-02	0,40	0,50	0,225	3	0,15	0,19	0,09	0,11	0,105	
MP-03	0,07	0,09	0,225	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,105	
MP-04	0,21	0,27	0,225	3	0,04	0,05	0,04	0,05	0,105	
MP-05	0,32	0,40	0,225	3	0,12	0,15	0,07	0,09	0,105	
MP-06	0,16	0,20	0,225	3	0,03	0,04	0,03	0,04	0,105	
MP-07	0,33	0,41	0,225	3	0,09	0,12	0,08	0,10	0,105	
MP-08	0,34	0,42	0,225	3	0,08	0,10	0,07	0,08	0,105	
MP-01 - 08	0,40	0,50	0,225	3	0,09	0,11	0,08	0,10	0,105	
MP-01,04,06	0,30	0,38	0,225	3	0,05	0,06	0,05	0,06	0,105	

■ Anhaltswerte Ao / Ar erreicht/unterschritten

■ Anhaltswerte Ao ≤ 0,6

■ Anhaltswerte Ao / Ar überschritten

Beurteilung:

- KB_{Ftmax} ist größer als Au, d.h., es müssen die Vergleiche mit Ao und Ar durchgeführt werden!
- KB_{Ftmax} ist kleiner als Ao, d.h. das Grenzkriterium ist erfüllt!
- KB_{FTr} ist für die Zugfahrtprognose von 2035 in den Berechnungen über alle Messpunkte (ØMP-01 bis MP-08) sowie in der Betrachtung der Messpunkte der außenliegenden Fundamente bzw. Fensterbänke (ØMP-01, MP-04 und MP-06) kleiner als Ar, d.h. das Grenzkriterium ist erfüllt! Lediglich in der Einzelauswertung werden die Grenzwerte nach DIN 4150-2 für ein Mischgebiete nach Zeile 3 Tabelle 1 teilweise leicht überschritten.

Auswertung in der Nacht:

Auswertung am Nacht in z-Richtung										
	KB _{Fmax}		Au	Ao	Hochrechnung der gemessenen Bahnfahrten		Zugfahrtenprognose von 2035		Ar	Beurteilung
	aus Messung	mit Ü-Faktor			KB _{FTr}	KB _{FTr}	KB _{FTr}	KB _{FTr}		
					aus Messung	mit Ü-Faktor	aus Messung	mit Ü-Faktor		
MP-01	0,31	0,47	0,15	0,2 / 0,6	0,06	0,10	0,06	0,08	0,075	
MP-02	0,41	0,62	0,15	0,2 / 0,6	0,08	0,13	0,03	0,05	0,075	
MP-03	0,07	0,11	0,15	0,2 / 0,6	0,00	0,03	0,00	0,03	0,075	
MP-04	0,22	0,32	0,15	0,2 / 0,6	0,04	0,06	0,04	0,06	0,075	
MP-05	0,33	0,50	0,15	0,2 / 0,6	0,06	0,11	0,03	0,05	0,075	
MP-06	0,17	0,25	0,15	0,2 / 0,6	0,03	0,04	0,03	0,04	0,075	
MP-07	0,33	0,49	0,15	0,2 / 0,6	0,10	0,15	0,06	0,08	0,075	
MP-08	0,34	0,51	0,15	0,2 / 0,6	0,07	0,11	0,04	0,07	0,075	
MP-01 - 08	0,41	0,62	0,15	0,2 / 0,6	0,07	0,12	0,04	0,07	0,075	
MP-01,04,06	0,31	0,47	0,15	0,2 / 0,6	0,05	0,07	0,05	0,07	0,075	

Auswertung am Nacht in x/y-Richtung										
	KB _{Fmax}		Au	Ao	Hochrechnung der gemessenen Bahnfahrten		Zugfahrtenprognose von 2035		Ar	Beurteilung
	aus Messung	mit Ü-Faktor			KB _{FTr}	KB _{FTr}	KB _{FTr}	KB _{FTr}		
					aus Messung	mit Ü-Faktor	aus Messung	mit Ü-Faktor		
MP-01	0,30	0,38	0,15	0,2 / 0,6	0,06	0,08	0,06	0,07	0,075	
MP-02	0,40	0,50	0,15	0,2 / 0,6	0,15	0,19	0,06	0,07	0,075	
MP-03	0,07	0,09	0,15	0,2 / 0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,075	
MP-04	0,21	0,27	0,15	0,2 / 0,6	0,04	0,05	0,04	0,05	0,075	
MP-05	0,32	0,40	0,15	0,2 / 0,6	0,12	0,15	0,05	0,06	0,075	
MP-06	0,16	0,20	0,15	0,2 / 0,6	0,03	0,04	0,03	0,04	0,075	
MP-07	0,33	0,41	0,15	0,2 / 0,6	0,09	0,12	0,05	0,07	0,075	
MP-08	0,34	0,42	0,15	0,2 / 0,6	0,08	0,10	0,05	0,06	0,075	
MP-01 - 08	0,40	0,50	0,15	0,2 / 0,6	0,09	0,11	0,05	0,07	0,075	
MP-01,04,06	0,30	0,38	0,15	0,2 / 0,6	0,05	0,06	0,05	0,06	0,075	

■ Anhaltswerte Ao / Ar erreicht/unterschritten

■ Anhaltswerte Ao ≤ 0,6

■ Anhaltswerte Ao / Ar überschritten

Beurteilung:

- KB_{Ftmax} ist größer als Au, d.h., es müssen die Vergleiche mit Ao und Ar durchgeführt werden!
- KB_{Ftmax} ist teilweise größer als Ao, d.h. das Grenzkriterium wird teilweise nicht erfüllt.! Unter Beachtung von Nr. 6.5.3.5 der DIN 4150-2 (Ao in Ausnahmefällen = 0,6) wird das Grenzkriterium Ao erfüllt!
- KB_{FTr} ist für die Zugfahrtprognose von 2035 in den Berechnungen über alle Messpunkte (ØMP-01 bis MP-08) sowie in der Betrachtung der Messpunkte der außenliegenden Fundamente bzw. Fensterbänke (ØMP-01, MP-04 und MP-06) kleiner als Ar, d.h. das Grenzkriterium ist erfüllt!

Schlussfolgerung:

Unter Beachtung der Zugfahrtprognose von 2035 liegen die berechneten Prognosewerte in der Betrachtung über alle Messpunkte (MP-01 bis MP-08) sowie in der Betrachtung der Messpunkte der außenliegenden Fundamente bzw. Fensterbänke (MP-01, MP-04 und MP-06) unter den Grenzkriterien der Normvorgabe für ein allgemeines Wohngebiet nach Zeile 4 Tabelle 1 und Beachtung von Absatz 6.5.3.3. Lediglich in der Einzelauswertung werden die Grenzwerte nach DIN 4150-2 für ein allgemeines Wohngebiet nach Zeile 4 Tabelle 1 teilweise leicht überschritten.

Die Erschütterungseinwirkungen sind stark vom Baugrundgrund abhängig und können daher nur als Prognose für den geplanten Standort herangezogen werden. Die tatsächlichen Erschütterungseinwirkungen können ggf. aufgrund der Untergrundverhältnisse abweichen.

Bei der messtechnischen Ermittlung von Schwinggeschwindigkeiten oder KB-Werten treten erfahrungsgemäß Unsicherheiten von bis zu $\pm 15\%$ auf. In den angegebenen Ergebnissen ist kein Abzug dieser Messunsicherheiten erfolgt.

Auswertung der Messdaten vom 18.01.2023:

Um die zuvor prognostizierten Erschütterungseinwirkungen auf die angrenzenden Gebäude in der Binger Straße weiter zu verifizieren, wurden weitere Messungen in zwei repräsentativen Gebäude (Haus 4 und Haus 11) in der Parallelstraße zur Lage der neu geplanten Trassen in der Bahnhofsstraße durchgeführt.

Die Erschütterungen wurden an acht Messpunkte zu 15 min im Bereich der zu beurteilenden Gebäude aufgenommen. Es wird angenommen, dass der erfasste Zeitverlauf repräsentativ für den ganzen Tag sei.

Bei der Berechnung der bewerteten Schwingstärke ($KB_{FT,i}$) wurde eine kontinuierliche Erfassung des Taktmaximalwertes KB_{FT} aktiviert. Hierbei wurde für Takte von 30 Sekunden der jeweilige Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_{F(t)}$ ermittelt.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt in den nachfolgenden Diagrammen und Tabellen. Die roten Linien kennzeichnen die Grenzwerte (A_u und A_o) der Normvorgabe. Die Norm differenziert hierbei Grenzwerte für den Tag (6:00 bis 22:00 Uhr) und für die Nacht (22:00 bis 6:00 Uhr). Der obere Grenzwert am Tag ($A_o = 3,0$) ist nicht maßgebend und wird nicht dargestellt. Die Schwarze Line kennzeichnet den oberen Anhaltswert $A_o = 0,6$.

Die Grenzwerte A_u und A_r der Tabelle 1 werden nach 6.5.3.3 der DIN 4150 Teil 2 um den Faktor 1,5 angehoben.

Damit ergeben sich folgende Grenzwerte:

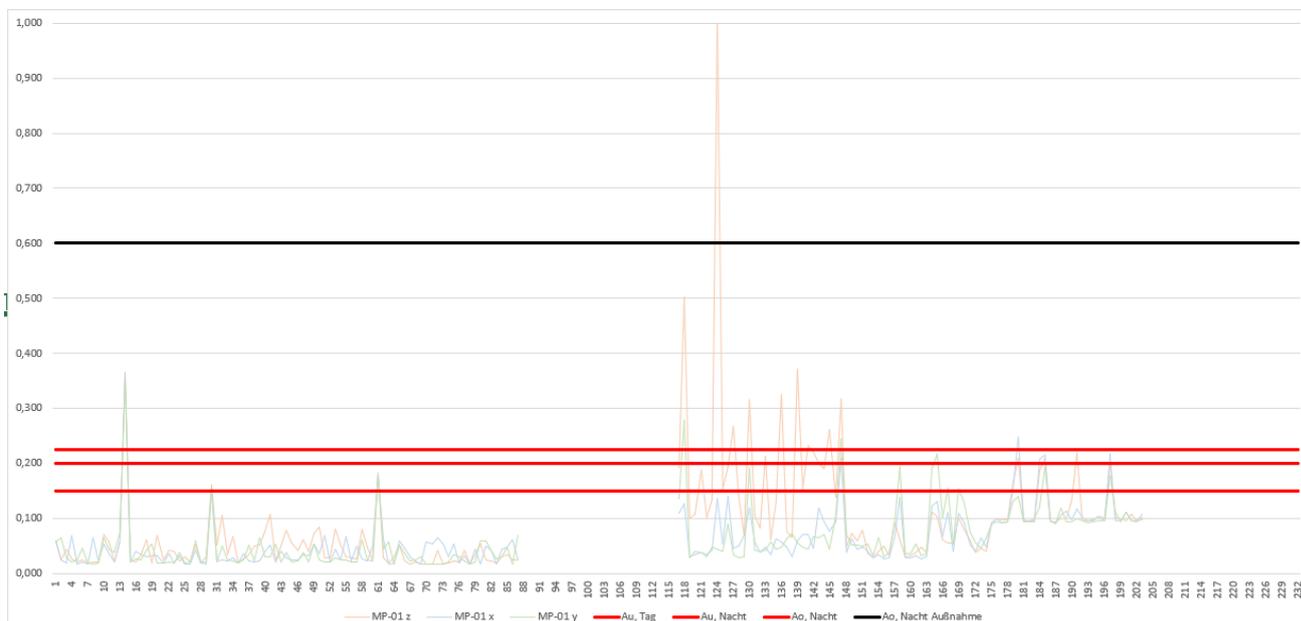
Tags: $A_u = 0,15 \times 1,5 = 0,225$ / $A_o = 3$ / $A_r = 0,07 \times 1,5 = 0,105$

Nachts: $A_u = 0,1 \times 1,5 = 0,15$ / $A_o = 0,2$ / $A_r = 0,05 \times 1,5 = 0,075$

Relevanten Messdaten (maßgebende bewertete Schwingstärke KB_{FTi}):

		z	x	y									
MP-01 maßgebende Takte	14	0,365	0,363	0,349	MP-05 maßgebende Takte	117	0,190	0,109	0,135				
						118	0,503	0,127	0,279				
						121	0,189	0,038	0,038				
MP-02 maßgebende Takte	30	0,161	0,148	0,157		126	0,194	0,141	0,090				
	32	0,105	0,024	0,049		127	0,267	0,046	0,034				
	41	0,107	0,052	0,030		128	0,140	0,050	0,029				
						130	0,315	0,119	0,192				
MP-03 maßgebende Takte	61	0,183	0,178	0,178		133	0,214	0,047	0,042				
						135	0,130	0,064	0,045				
						136	0,326	0,058	0,048				
									MP-06 maßgebende Takte	146	0,139	0,095	0,105
				147	0,317	0,210	0,244						
				158	0,061	0,138	0,194						
				164	0,112	0,123	0,190						
									MP-07 maßgebende Takte	165	0,103	0,130	0,217
				167	0,055	0,111	0,155						
				169	0,102	0,109	0,154						
				170	0,080	0,094	0,130						
				179	0,165	0,151	0,131						
				180	0,210	0,248	0,140						
				184	0,186	0,208	0,121						
				185	0,209	0,216	0,195						
				188	0,100	0,105	0,119						
				189	0,100	0,113	0,094						
				190	0,133	0,098	0,095						
				191	0,219	0,117	0,100						
				197	0,201	0,218	0,177						
				198	0,101	0,097	0,111						
				200	0,097	0,111	0,111						
				201	0,107	0,096	0,097						
				203	0,098	0,107	0,101						

Auswertung der Erschütterungseinwirkungen KB_{FTi} ohne Ansatz der Übertragungsfaktoren:



Zur Beurteilung der Erschütterungen hinsichtlich der möglichen Belästigung von Personen in Gebäuden, durch die neu geplanten Trasse in der Binger Straße, werden die maßgebenden Messergebnisse auf die angrenzenden Bauwerke abgeschätzt und mit den Anhaltswerten der Norm verglichen.

Die prognostizierten Erschütterungseinwirkungen auf die angrenzenden Bauwerke zur Beurteilung der Erschütterungen hinsichtlich der möglichen Belästigung von Personen in Gebäuden ergeben sich durch die nachfolgende Berechnung.

Bei der messtechnischen Ermittlung von Schwinggeschwindigkeiten oder KB-Werten treten erfahrungsgemäß Unsicherheiten von bis zu $\pm 15\%$ auf. In den angegebenen Ergebnissen ist kein Abzug dieser Messunsicherheiten erfolgt.

Berechnung der maßgebenden bewerteten Schwingstärke und Beurteilungs-Schwingstärke:

maßgebende bewertete Schwingstärke KB Ft,i aus MP-01 bis MP-08

		Ü-Faktor		Ü-Faktor		Ü-Faktor	
		z	1,00	x	1,00	y	1,00
MP-01 maßgebende Takte	14	0,365	0,365	0,363	0,363	0,349	0,349
MP-02 maßgebende Takte	30	0,161	0,161	0,148	0,148	0,157	0,157
	32	0,105	0,105	0,024	0,024	0,049	0,049
	41	0,107	0,107	0,052	0,052	0,030	0,030
MP-03 maßgebende Takte	61	0,183	0,183	0,178	0,178	0,178	0,178
MP-05 maßgebende Takte	117	0,190	0,190	0,109	0,109	0,135	0,135
	118	0,503	0,503	0,127	0,127	0,279	0,279
	121	0,189	0,189	0,038	0,038	0,038	0,038
	126	0,194	0,194	0,141	0,141	0,090	0,090
	127	0,267	0,267	0,046	0,046	0,034	0,034
	128	0,140	0,140	0,050	0,050	0,029	0,029
	130	0,315	0,315	0,119	0,119	0,192	0,192
	133	0,214	0,214	0,047	0,047	0,042	0,042
	135	0,130	0,130	0,064	0,064	0,045	0,045
	136	0,326	0,326	0,058	0,058	0,048	0,048
	141	0,233	0,233	0,072	0,072	0,044	0,044
	142	0,221	0,221	0,046	0,046	0,067	0,067
	143	0,200	0,200	0,119	0,119	0,066	0,066
MP-06 maßgebende Takte	146	0,139	0,139	0,095	0,095	0,105	0,105
	147	0,317	0,317	0,210	0,210	0,244	0,244
	158	0,061	0,061	0,138	0,138	0,194	0,194
	164	0,112	0,112	0,123	0,123	0,190	0,190
	165	0,103	0,103	0,130	0,130	0,217	0,217
	167	0,055	0,055	0,111	0,111	0,155	0,155
	169	0,102	0,102	0,109	0,109	0,154	0,154
	170	0,080	0,080	0,094	0,094	0,130	0,130
MP-07 maßgebende Takte	179	0,165	0,165	0,151	0,151	0,131	0,131
	180	0,210	0,210	0,248	0,248	0,140	0,140
	184	0,186	0,186	0,208	0,208	0,121	0,121
	185	0,209	0,209	0,216	0,216	0,195	0,195
	188	0,100	0,100	0,105	0,105	0,119	0,119
	189	0,100	0,100	0,113	0,113	0,094	0,094
	190	0,133	0,133	0,098	0,098	0,095	0,095
	191	0,219	0,219	0,117	0,117	0,100	0,100
	197	0,201	0,201	0,218	0,218	0,177	0,177
	198	0,101	0,101	0,097	0,097	0,111	0,111
	200	0,097	0,097	0,111	0,111	0,111	0,111
	201	0,107	0,107	0,096	0,096	0,097	0,097
203	0,098	0,098	0,107	0,107	0,101	0,101	

Σ = 39 M (Zugakte) → 416 Gesamtzahl 341 Bahnen
 208 Gesamtzahl 171 Bahnen

Berechnung der maßgebenden Beurteilungswerte bezogen auf MP-01 bis MP-08:

Effektivwert der Taktmaximalwerte KB FTm

		Ü-Faktor		Ü-Faktor		Ü-Faktor
	z	*1,0	x	*1,00	y	*1,00
KB _{FTm}	0,198	0,198	0,130	0,130	0,138	0,138

Beurteilungs-Schwingstärke KB FTr, bezogen auf die Hochrechnung der gemessenen Bahnfahren [341 Bahnen am Tag ; 171 Bahnen in der Nacht]

		Ü-Faktor		Ü-Faktor		Ü-Faktor
	z	*1,0	x	*1,00	y	*1,00
KB _{FTr} Tag	0,092	0,092	0,061	0,061	0,064	0,064
KB _{FTr} Nacht	0,092	0,092	0,061	0,061	0,064	0,064

Beurteilungs-Schwingstärke KB FTr, bezogen auf die Anzahl der Zugfahrtenprognose von 2035 [256 Bahnen am Tag ; 60 Bahnen in der Nacht]

		Ü-Faktor		Ü-Faktor		Ü-Faktor
	z	*1,0	x	*1,00	y	*1,00
KB _{FTr} Tag	0,080	0,080	0,053	0,053	0,056	0,056
KB _{FTr} Nacht	0,055	0,055	0,036	0,036	0,038	0,038

Auswertung am Tag:

Auswertung am Tag in z-Richtung								
		KB _{Fmax} aus Messung	Au	Ao	Hochrechnung	Zugfahrtenprog	Ar	Beurteilung
					gemessener	nose von 2035		
					Bahnfahrten			
					KB _{FTr} aus Messung	KB _{FTr} aus Messung		
	MP-01	0,37	0,225	3	0,07	0,06	0,105	
	MP-02	0,16	0,225	3	0,04	0,04	0,105	
	MP-03	0,19	0,225	3	0,04	0,03	0,105	
	MP-05	0,50	0,225	3	0,17	0,14	0,105	
	MP-06	0,32	0,225	3	0,08	0,06	0,105	
	MP-07	0,22	0,225	3	0,10	0,09	0,105	
	ØMP-01-03	0,37	0,225	3	0,05	0,04	0,105	
	ØMP-05-07	0,50	0,225	3	0,12	0,10	0,105	
	ØMP-01-07	0,50	0,225	3	0,10	0,08	0,105	

Auswertung am Tag in x/y-Richtung								
		KB _{Fmax} aus Messung	Au	Ao	Hochrechnung	Zugfahrtenprog	Ar	Beurteilung
					gemessener	nose von 2035		
					Bahnfahrten			
					KB _{FTr} aus Messung	KB _{FTr} aus Messung		
	MP-01	0,37	0,225	3	0,07	0,06	0,105	
	MP-02	0,16	0,225	3	0,03	0,03	0,105	
	MP-03	0,18	0,225	3	0,04	0,03	0,105	
	MP-05	0,28	0,225	3	0,07	0,06	0,105	
	MP-06	0,25	0,225	3	0,10	0,08	0,105	
	MP-07	0,25	0,225	3	0,10	0,09	0,105	
	ØMP-01-03	0,37	0,225	3	0,05	0,04	0,105	
	ØMP-05-07	0,28	0,225	3	0,08	0,07	0,105	
	ØMP-01-07	0,37	0,225	3	0,07	0,06	0,105	

- Anhaltswerte Ao / Ar erreicht/unterschritten
- Anhaltswerte Ao ≤ 0,6
- Anhaltswerte Ao / Ar überschritten

Beurteilung:

- KB_{Ftmax} ist größer als Au, d.h., es müssen die Vergleiche mit Ao und Ar durchgeführt werden!
- KB_{Ftmax} ist kleiner als Ao, d.h. das Grenzkriterium ist erfüllt!
- KB_{FTr} ist für die Zugfahrtprognose von 2035 in den Berechnungen über alle Messpunkte (ØMP-01-03, ØMP-05-07 und ØMP-01-07) sowie in der Betrachtung der Einzelauswertung (mit Ausnahme von MP-05) kleiner als Ar, d.h. das Grenzkriterium ist erfüllt!

Auswertung in der Nacht:

Auswertung am Nacht in z-Richtung							
	KB _{Fmax} aus Messung	Au	Ao	Hochrechnung gemessener Bahnfahrten	Zugfahrtenprog nose von 2035	Ar	Beurteilung
				KB _{FTr} aus Messung	KB _{FTr} aus Messung		
MP-01	0,37	0,15	0,2 / 0,6	0,07	0,04	0,075	
MP-02	0,16	0,15	0,2 / 0,6	0,04	0,03	0,075	
MP-03	0,19	0,15	0,2 / 0,6	0,04	0,02	0,075	
MP-05	0,50	0,15	0,2 / 0,6	0,17	0,09	0,075	
MP-06	0,32	0,15	0,2 / 0,6	0,08	0,05	0,075	
MP-07	0,22	0,15	0,2 / 0,6	0,10	0,06	0,075	
ØMP-01-03	0,37	0,15	0,2 / 0,6	0,05	0,03	0,075	
ØMP-05-07	0,50	0,15	0,2 / 0,6	0,12	0,07	0,075	
ØMP-01-07	0,50	0,15	0,2 / 0,6	0,10	0,06	0,075	

Auswertung am Nacht in x/y-Richtung							
	KB _{Fmax} aus Messung	Au	Ao	Hochrechnung gemessener Bahnfahrten	Zugfahrtenprog nose von 2035	Ar	Beurteilung
				KB _{FTr} aus Messung	KB _{FTr} aus Messung		
MP-01	0,37	0,15	0,2 / 0,6	0,07	0,04	0,075	
MP-02	0,16	0,15	0,2 / 0,6	0,03	0,02	0,075	
MP-03	0,18	0,15	0,2 / 0,6	0,04	0,02	0,075	
MP-05	0,28	0,15	0,2 / 0,6	0,07	0,04	0,075	
MP-06	0,25	0,15	0,2 / 0,6	0,10	0,06	0,075	
MP-07	0,25	0,15	0,2 / 0,6	0,10	0,06	0,075	
ØMP-01-03	0,37	0,15	0,2 / 0,6	0,05	0,03	0,075	
ØMP-05-07	0,28	0,15	0,2 / 0,6	0,08	0,05	0,075	
ØMP-01-07	0,37	0,15	0,2 / 0,6	0,07	0,04	0,075	

■ Anhaltswerte Ao / Ar erreicht/unterschritten
■ Anhaltswerte Ao ≤ 0,6
■ Anhaltswerte Ao / Ar überschritten

Beurteilung:

- KB_{Ftmax} ist größer als Au, d.h., es müssen die Vergleiche mit Ao und Ar durchgeführt werden!
- KB_{Ftmax} ist teilweise größer als Ao, d.h. das Grenzkriterium wird teilweise nicht erfüllt! Unter Beachtung von Nr. 6.5.3.5 der DIN 4150-2 (Ao in Ausnahmefällen = 0,6) wird das Grenzkriterium Ao erfüllt!
- KB_{FTr} ist für die Zugfahrtpgnose von 2035 in den Berechnungen über alle Messpunkte (ØMP-01-03, ØMP-05-07 und ØMP-01-07) sowie in der Betrachtung der Einzelauswertung (mit Ausnahme von MP-05) kleiner als Ar, d.h. das Grenzkriterium ist erfüllt!

Schlussfolgerung:

Unter Beachtung der Zugfahrtprognose von 2035 liegen die berechneten Prognosewerte in der Betrachtung über alle Messpunkte (ØMP-01-03, ØMP-05-07 und ØMP-01-07) sowie in der Betrachtung der Einzelauswertung (mit Ausnahme von MP-05 – Messung an Hausnummer 11, Gebäude mit Holzbalkendecke) unter den Grenzkriterien der Normvorgabe für ein allgemeines Wohngebiet nach Zeile 4 Tabelle 1 und Beachtung von Absatz 6.5.3.3. Aus diesem Grund wird empfohlen, im Bereich von angrenzenden Häusern mit einer Holzbalkendecke weitere bauliche Maßnahmen zur Reduktion der Erschütterungsmaßnahmen zu treffen.

In Bezug auf die neu geplante Trassenführung in der Binger Straße und der Gebäudetypen entsprechend der Beschreibung nach 3.2 Objektbeschreibung der angrenzenden Bebauung: wird empfohlen die baulichen Maßnahmen auf den nachfolgenden Streckenabschnitten vorzusehen:

- Gebäude in der Binger Straße 3, 5, 7, 9
- Gebäude in der Binger Straße 15 und der Hintern Bleiche 1

Für die oben genannten Streckenabschnitte sind oberbautechnische Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungseinwirkungen aus den Bahnanlagen vorzusehen. Die Gleisanlage ist über den Standardoberbau hinausgehend mit elastischen Elementen auszuführen und je Seite über mindestens 5m über die Gebäudekante vorzusehen.

Die Erschütterungseinwirkungen sind stark vom Baugrundgrund abhängig und können daher nur als Prognose für den geplanten Standort herangezogen werden. Die tatsächlichen Erschütterungseinwirkungen können ggf. aufgrund der Untergrundverhältnisse abweichen.

Bei der messtechnischen Ermittlung von Schwinggeschwindigkeiten oder KB-Werten treten erfahrungsgemäß Unsicherheiten von bis zu $\pm 15\%$ auf. In den angegebenen Ergebnissen ist kein Abzug dieser Messunsicherheiten erfolgt.

7 Erläuterungen zur Aufzeichnung, der Messdaten und Beurteilung

Die Erschütterungsmessungen wurde mit Messsystem durchgeführt, welches die Anforderungen der DIN 45669 erfüllt und speziell für Messungen nach DIN 4150 entwickelt wurde. Die verwendeten Geräte sind auf dem aktuellen Stand der Technik.

7.1 Erläuterungen zu den Messdaten

Bei den Messungen wird die vorbeifahrende Straßenbahn mit einer 15 bis 30-minütigen Langzeitmessung erfasst. Die Aufzeichnungen werden nach den Messorten untergliedert. Die Schwingungen werden in 3 Achsrichtungen zeitgleich gemessen. Die horizontalen Schwingungskomponenten sind im Messbericht mit X und Y-Achsen (bzw. 2-Vmax und 3-Vmax) bezeichnet, die vertikale Achse mit Z (bzw. 1-Vmax).

Geschwindigkeits-Zeitverlauf (Z)

Im Geschwindigkeits-Zeitverlauf sind die Signalverläufe der Einzelkomponenten X, Y und Z dargestellt. Die Ordinate zeigt die Schwinggeschwindigkeit in mm/s, die Abszisse zeigt die Aufzeichnungsdauer ab Startzeit in Sekunden. Die Messdauer der aufgezeichneten Ereignisse beträgt je nach Messung 900 bis 1800 Sekunden. Die Messdaten der drei Messkanäle werden untereinander dargestellt. In der Kopfzeile sind das Projekt, der Name der Messung, sowie die Startzeit und das Datum der Aufzeichnung protokolliert.

Frequenzspektrum (Z+S)

Bei der Darstellung der Frequenzanalyse wird das oben beschriebene Zeitdiagramm in seine Frequenzanteile zerlegt und entsprechend der einzelnen Messkomponenten X, Y und Z neben dem zugehörigen Geschwindigkeits-Zeitverlauf dargestellt. Die Abszisse zeigt den Frequenzbereich in Hz, die Ordinate die entsprechenden Schwingungsanteile in mm/s. Die Messdaten der drei Messkanäle werden untereinander dargestellt. In der Kopfzeile sind das Projekt, der Name der Messung, sowie die Startzeit und das Datum der Aufzeichnung protokolliert.

7.2 Erläuterungen zur DIN 4150 Teil 2

Hinweise für die Beurteilung:

Zur Bewertung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen wird die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ herangezogen. Die Beurteilung erfolgt anhand von zwei Beurteilungsgrößen:

- $KB_{F_{max}}$, die maximale bewertete Schwingstärke
- $KB_{F_{Tr}}$, die Beurteilungsschwingstärke.

Die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ ist der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$, der während der jeweiligen Beurteilungszeit auftritt. Die Beurteilungsschwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ berücksichtigt die Häufigkeit und Dauer der Erschütterungsereignisse.

In Tabelle 1 sind für verschiedene Einwirkungsorte / Gebiete Anhaltswerte vorgegeben, die eine Beurteilung der Erschütterungen hinsichtlich der möglichen Belästigung von Personen in Gebäuden ermöglicht.

Werden die folgenden Anhaltswerte eingehalten, so kann eine erhebliche Belästigung von Personen, dessen Ursache auf Erschütterungen zurückzuführen wäre, nach den bisherigen Erfahrungen praktisch ausgeschlossen werden. Für oberirdisch geführten Schienenverkehr des ÖPNV dürfen gemäß Ziffer 6.5.3.3 die A_u - und A_r -Werte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2 um den Faktor 1,5 angehoben werden.

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

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

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Die Beurteilung der Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden erfolgt gemäß DIN 4150-2 mit Hilfe der Tabelle 1 auf folgende Weise:

Im ersten Schritt werden die gemessenen Schwingschnellen (v_i in mm/s) in die maximal bewerteten Schwingstärken ($KB_{FT,i}$) für die drei Richtungskomponenten x, y und z umgerechnet. Der größte dieser drei Werte ist mit den Anhaltswerten A_u und A_o zu vergleichen.

- Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u , dann ist die Anforderung dieser Richtlinie eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der (obere) Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung dieser Richtlinie nicht eingehalten.

Für häufige Einwirkungen, bei denen KB_{Fmax} größer als A_u , aber kleiner als A_o ist, ist in besonderen Fällen ein weiterer Prüfschritt für die Entscheidung erforderlich, nämlich die Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} nach 6.4 der DIN 4150-2. Ist KB_{FT} nicht größer als der Anhaltswert A_r (A_r ist der Anhaltswert zum Vergleich mit Beurteilungs-Schwingstärken KB_{FT} nach Tabelle 1), dann sind die Anforderungen der Norm ebenfalls eingehalten; in anderem Fall sind sie nicht eingehalten.

Nach Nr. 6.5.3.5 der DIN 4150-2 hat der obere Anhaltswert A_o für den Schienenverkehr nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne KB_{FT} Werte bei oberirdischen Strecken gebietsunabhängig über $A_o = 0,6$ so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen und diese möglichst rasch zu beheben.

7.3 Erläuterungen zur DIN 4150 Teil 3

Anhaltswerte für kurzzeitige Erschütterungen

In Tabelle 1 sind für verschiedene Gebäudearten Anhaltswerte für die maximale Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s am Fundament sowie der obersten Geschossdecke unter kurzzeitiger Einwirkung von Erschütterungen auf bauliche Anlagen aufgeführt.

Werden die folgenden Anhaltswerte eingehalten, so treten Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes deren Ursachen auf Erschütterungen zurückzuführen wären, nach bisherigen Erfahrungen nicht auf. Werden trotzdem Schäden beobachtet, ist davon auszugehen, dass andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind. Werden die Anhaltswerte überschritten, so folgt daraus nicht, dass Schäden auftreten müssen.

Tabelle 1 — Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Gebäude

-	Gebäudeart	Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ in mm/s				
		Fundament, alle Richtungen, $i = x, y, z$ Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal, $i = x, y$	Decken, vertikal, $i = z$
		1 Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 50 Hz	50 Hz bis 100 Hz ^a	alle Frequenzen	alle Frequenzen
Spalte Zeile	1	2	3	4	5	6
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40	20
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15	20
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 bis 8	8 bis 10	8	20 ^b
ANMERKUNG Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalten 2 bis 5 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.						
^a Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden. ^b Unterabschnitt 5.1.2 Absatz 2 ist zu beachten.						

Kurzzeitige Erschütterungen sind Erschütterungen, deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen, und deren zeitliche Abfolge und Dauer nicht geeignet ist, um in der betroffenen Struktur eine wesentliche Vergrößerung der Schwingungen durch Resonanzerscheinungen zu erzeugen.

Anhaltswerte für Dauererschütterungen

In Tabelle 2 sind für verschiedene Gebäudearten Anhaltswerte für die maximalen Schwinggeschwindigkeiten v_i in mm/s für die oberste Geschossdecke der beiden horizontalen Richtungskomponenten (X, Y), sowie für Geschossdecken allgemein in vertikaler Richtung (Z) unter Dauererschütterungen auf bauliche Anlagen aufgeführt.

Werden die folgenden Anhaltswerte eingehalten, so treten Schäden nach bisherigen Erfahrungen nicht auf. Werden trotzdem Schäden beobachtet, ist davon auszugehen, dass andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind. Werden die Anhaltswerte überschritten, so folgt daraus nicht, dass Schäden auftreten müssen.

Werden Bauwerke in Oberschwingung angeregt, können die Höchstwerte auch in anderen Deckenebenen oder in der Fundamentebene auftreten. Für die Beurteilung dieser Erschütterungen dürfen ebenfalls diese Anhaltswerte herangezogen werden. Bei Gebäuden mit bis zu 3 Vollgeschossen oberhalb der Geländeoberkante genügt in der Regel die Messung in der obersten Deckenebene.

Tabelle 2 – Anhaltswerte für $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Gebäude

Spalte Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für $v_{i,max}$ in mm/s	
		Oberste Deckenebene, horizontal, alle Frequenzen	Decken, vertikal, alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	10
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5	10 ^a
ANMERKUNG Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalte 2 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.			
^a Unterabschnitt 6.1.2 ist zu beachten.			

Dauererschütterungen sind alle Erschütterungen, auf die die Definition der kurzzeitigen Erschütterungen nicht zutrifft.

Vertikale Schwinggeschwindigkeiten bis 10 mm/s führen bei Geschossdecken in Gebäuden nach Tabelle 2 Zeile 1 und 2 erfahrungsgemäß nicht zu Schäden, selbst wenn bei der statischen Bemessung zulässige Spannungen voll in Anspruch genommen sind. Diese Schwingungen sind sehr stark spürbar. Bei Gebäuden nach Tabelle 2, Zeile 3 kann zur Verhinderung leichter Schäden eine deutliche Abminderung dieses Anhaltswertes notwendig werden.

Etwa auftretende leichte Schäden können nicht ohne weiteres der Erschütterungseinwirkung zugeordnet werden, es müssen vielmehr die näheren Umstände untersucht werden.

8 Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit dem geplanten Neubau der Straßenbahntrasse in der Binger Straße wurde geprüft, ob die Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen auf die angrenzenden Bauwerke und hinsichtlich der Einwirkungen auf Menschen in den angrenzenden Gebäuden gemäß der DIN 4150-2 und 4150-3 eingehalten werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die maximal errechneten prognostizierten Erschütterungen liegen alle unter den Grenzwerten der DIN 4150-3 für kurzzeitige Erschütterungen nach Zeile 2. **Somit lässt sich eine Schädigung im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes, deren Ursachen auf Erschütterungen zurückzuführen wären, nach den bisherigen Erfahrungen mit hoher Wahrscheinlichkeit ausschließen.** Werden trotzdem Schäden beobachtet, ist davon auszugehen, dass andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind.

Unter Beachtung der Zufahrtprognose von 2035 liegen die berechneten Prognosewerte für die zusammengefassten Betrachtungen (ØMP-01-03, ØMP-05-07 und ØMP-01-07) sowie in der Betrachtung der Einzelauswertung (mit Ausnahme von MP-05 – Messung an Hausnummer 11, Gebäude mit Holzbalkendecke) unter den Grenzwerten der DIN 4150-2 nach Tabelle 1 Zeile 4. **Somit lässt sich eine Belästigung von Personen in Gebäuden, deren Ursachen auf Erschütterungen zurückzuführen wären, nach den bisherigen Erfahrungen weitestgehend ausschließen.** Um die Grenzwerte auch für die angrenzenden Bauwerke mit einer Holzbalkendecke einzuhalten, wird empfohlen, im Trassenbereich vor den betroffenen Gebäuden weitere bauliche Maßnahmen zur Reduktion der Erschütterungsmaßnahmen zu treffen.

In Bezug auf die neu geplante Trassenführung in der Binger Straße und der Gebäudetypen entsprechend der Beschreibung nach 3.2 Objektbeschreibung der angrenzenden Bebauung: wird empfohlen die baulichen Maßnahmen auf den nachfolgenden Streckenabschnitten vorzusehen:

- Gebäude in der Binger Straße 3, 5, 7, 9
- Gebäude in der Binger Straße 15 und der Hintern Bleiche 1

Für die oben genannten Streckenabschnitte sind oberbautechnische Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungseinwirkungen aus den Bahnanlagen vorzusehen. Die Gleisanlage ist über den Standardoberbau hinausgehend mit elastischen Elementen auszuführen und je Seite über mindestens 5m über die Gebäudekante vorzusehen.

Die Erschütterungseinwirkungen sind stark vom Baugrund abhängig und können daher nur als Prognose für den geplanten Standort herangezogen werden. Die tatsächlichen Erschütterungseinwirkungen können ggf. aufgrund der Untergrundverhältnisse abweichen.

Die Ausführungen des Messberichtes sind nur in ihrer Gesamtheit und stets nur in Verbindung mit den zuvor benannten Unterlagen verbindlich.

Die in unserem Messbericht stehenden Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die zum Zeitpunkt der Messung erfassten Daten. Für etwaige Sinneswahrnehmung, die bei der Einzelbetrachtung auftreten können, übernehmen wir keinerlei Gewähr.

Änderungen in den Ausgangsbedingungen und von der Untersuchung abweichende Grundlagen bedürfen deshalb stets einer neuen Überprüfung.

Jede Art der Vervielfältigung dieses Messberichtes, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Ingenieurbüro IBC Ingenieurbau Consult GmbH gestattet. Sofern sich Änderungen bzw. Unstimmigkeiten ergeben wird um Benachrichtigung gebeten.

Aufgestellt am 06.04.2023

M. Eng. Hendrik Legran
IBC Ingenieurbau Consult GmbH

Dipl. Ing. Domenico Levato
IBC Ingenieurbau Consult GmbH