

Auftraggeber: Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH

Mozartstraße 8
55118 Mainz

Objekt: Stadtbahnausbau Mainz 2030

Binger Straße

Titel: Fachtechnische Beratung

Teil 1: Prognose und Beurteilung der Körperschallimmissionen unter
Betrieb

Auftrag-Nr.: 23-7046

Erstfassung: 10.11.2023

Umfang: 15 Dokumentseiten inkl. Verzeichnisse und Deckblatt
- Anlagen

Bearbeitet:
Essen, den 10.11.2023

Geprüft und freigegeben:
Essen, den 14.11.2023

FCP IBU GmbH
Ladenspelderstraße 61
45147 Essen
0201-87445-0
10.11.2023

Dipl.-Ing. Udo Lenz

FCP IBU GmbH
Ladenspelderstraße 61
45147 Essen
0201-87445-0

Dr.-Ing. Alexander Martha

Referenz / Auftrag-Nr.:
23-7046
Dateiname:
23-7046-G1.docx



ÄNDERUNGSINDEX

Index	Datum	Bearbeitet	Freigegeben	Bemerkungen

ZUSAMMENFASSUNG

Die Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH plant im Hinblick auf den Straßenbahnausbau Mainz 2030 eine Streckenführung in der Binger Straße in Mainz. Für diesen Streckenabschnitt wurde bereits eine erschütterungstechnische Untersuchung zur Beurteilung der Immissionen des Straßenbahnbetriebs auf den geplanten Gleisen durchgeführt. Das Ergebnis dieser Untersuchung weist darauf hin, dass eine Maßnahme zur Minderung der Erschütterungsimmissionen der Gleisanlage erforderlich ist. Entsprechend wurde vorgesehen eine ein Masse-Feder-System in dem Streckenabschnitt anzuordnen. Die bisher durchgeführten Betrachtungen beschränken sich auf die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen. Folgend wird ergänzend eine Betrachtung der Körperschallimmissionen durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung werden die physikalischen Rahmenbedingungen zur Festlegung des Masse Feder System in Form der Abstimmfrequenz des Systems beschrieben.

Insgesamt ist festzustellen, dass Maßnahmen erforderlich sind, die eine Minderung der Schwingungsimmissionen bewirken. Basierend auf den Ergebnissen der Erschütterungstechnischen Untersuchung wurde bereits festgelegt, dass ein Masse-Feder-System entsprechend DIN 45673 – Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 7: Labor-Prüfverfahren für elastische Elemente von Masse-Feder-Systemen - vorzusehen ist. Ausgehend von den Ergebnissen der Immissionsprognose Körperschall ist eine Abstimmfrequenz von ≤ 20 Hz zu wählen.

INHALTSVERZEICHNIS

Änderungsindex.....	ii
Zusammenfassung	iii
1 Aufgabenstellung	1
2 Grundlagen.....	2
2.1 Planungsunterlagen.....	2
2.2 Lage und Gebietsausweisung.....	2
2.3 Gleisoberbau	2
2.4 Fahrzeuge	2
2.5 Fahrplansituation	2
2.6 Gebäudestruktur	2
3 Immissionskennwerte	4
3.1 Erschütterungen	4
3.2 Körperschall.....	4
4 Beurteilungskriterium	5
5 Immissionsprognose.....	7
6 Prognoseergebnisse und Beurteilung	9
7 Massnahmen	10

1 AUFGABENSTELLUNG

Die Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH plant im Hinblick auf den Straßenbahnausbau Mainz 2030 eine Streckenführung in der Binger Straße in Mainz. Für diesen Streckenabschnitt wurde bereits eine erschütterungstechnische Untersuchung zur Beurteilung der Immissionen des Straßenbahnbetriebs auf den geplanten Gleisen durchgeführt. Das Ergebnis dieser Untersuchung weist darauf hin, dass eine Maßnahme zur Minderung der Erschütterungsimmissionen der Gleisanlage erforderlich ist. Entsprechend wurde vorgesehen eine ein Masse-Feder-System in dem Streckenabschnitt anzuordnen.

Die bisher durchgeführten Betrachtungen beschränken sich auf die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen. Folgend wird ergänzend eine Betrachtung der Körperschallimmissionen durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung werden die physikalischen Rahmenbedingungen zur Festlegung des Masse Feder System in Form der Abstimmfrequenz des Systems beschrieben.

Die FCP IBU GmbH wurde mit der entsprechenden Bearbeitung beauftragt. Dem vorliegenden Bericht sind die Ergebnisse dieser Untersuchung zu entnehmen.

2 GRUNDLAGEN

2.1 PLANUNGSUNTERLAGEN

Für die Bearbeitung wurden die für die Beantragung der Planfeststellung zusammengestellten Planungsunterlagen in Form von pdf-Files (230411_Einreichung_Dateicode_LBM mit Datum von 27.10.2023) zur Verfügung gestellt.

2.2 LAGE UND GEBIETSAUSWEISUNG

Vorgesehen ist der Neubau von Gleisanlagen in der Binger Straße zwischen Alicenstraße und Schillerstraße/Große Bleiche.

2.3 GLEISOBERBAU

Vorgesehen ist eine zweigleisige Trassenführung mit einem Rillenschienenoberbau und einer Asphalteindeckung.

2.4 FAHRZEUGE

Die geplante Gleisanlage wird zukünftig von den bei den Mainzer Verkehrsbetrieben vorhandenen Straßenbahnfahrzeugen befahren. Die Gleise befinden sich in einen innerstädtischen Bereich im Straßenraum, so dass von einer Maximalgeschwindigkeit von 50 km/h auszugehen ist.

2.5 FAHRPLANSITUATION

Nach derzeitiger Kenntnis ist davon auszugehen, dass die zukünftige Nutzung der Gleisanlagen mit Straßenbahnen der Linie 50 erfolgt. Damit ergibt sich folgende Anzahl von Straßenbahnfahrten:

- tags: 126 für beide Richtungen
- nachts: 26 für beide Richtungen

2.6 GEBÄUDESTRUKTUR

Die Gebäudestruktur wurde der vorliegenden schüttungstechnischen Untersuchung entnommen und ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Gebäude	Deckenkonstruktion
Alicenplatz 2-4	Betondecke
Binger Str. 1	Betondecke
Binger Str. 2-4	Stahlbetondecke
Binger Str. 3-5	Holzbalkendecke
Binger Str. 6	Betondecke
Binger Str. 7	Betondecke
Binger Str. 8	Betondecke
Binger Str. 9	Betondecke
Binger Str. 10	Betondecke
Binger Str. 11	Betondecke
Binger Str. 13	Betondecke
Binger Str. 15	Holzbalkendecke
Binger Str. 17	Betondecke
Hintere Bleiche 1	Holzbalkendecke
Hintere Bleiche 4	Betondecke

Tabelle 1: Relevante Deckenkonstruktion der Anliegergebäude im Hinblick auf die Immissionsprognose

Bei den Berechnungen wurden die Deckeneigenfrequenzen für die Betondecken mit 20, 25, 31,5 und 63 Hz und für die Holzbalkendecken mit 12,5, 16, 20 und 40 Hz berücksichtigt.

3 IMMISSIONSKENNWERTE

3.1 ERSCHÜTTERUNGEN

Als Erschütterungen werden solche Schwingungen bezeichnet, die sich mit Frequenzen zwischen 1 Hz und 80 Hz in festen Medien (Erdreich, Gebäude) ausbreiten. Die zu messenden Erschütterungssignale sind die Schwinggeschwindigkeit $\hat{v}(t)$ des angeregten Mediums in mm/s und die Erregerfrequenz f_e in Hz. Auf der Grundlage dieser Basiswerte werden die, für die Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf Menschen in Gebäuden maßgebenden Immissionsgrößen ermittelt. Hierbei handelt es sich um die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} bzw. die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTT} in der Definition nach der DIN 4150, Teil 2, von Juni 1999 -Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkung auf Menschen in Gebäuden.

3.2 KÖRPERSCHALL

Als Körperschall werden solche Schwingungen bezeichnet, die sich mit Frequenzen im Hörbereich in festen Medien (Erdreich, Gebäude) ausbreiten.

Die messbaren Körperschallsignale sind die Schwinggeschwindigkeit v des angeregten Mediums in mm/s und der vom Medium abgestrahlte Schallwechseldruck p in N/m² (Sekundärluftschall oder auch Körperschall-Schalldruckpegel).

Der aus der Körperschallübertragung entstehende Innenraumpegel (Sekundärluftschall) wird als hörbarer Luftschall dem frequenzabhängigen menschlichen Hörvermögen mit der sogenannten A-Bewertung nach DIN 45633 der Signale angepasst. Dieser Schallpegel wird zur Beurteilung der Körperschallimmissionen herangezogen.

4 **BEURTEILUNGSKRITERIUM**

Bei der geplanten Gleisanlage in der Binger Straße handelt es sich um einen Neubau. Für die Beurteilung der von neuen Schienenverkehrswegen ausgehenden Körperschallimmissionen existiert kein rechtlich bindender Immissionsrichtwert. Ein technisches Regelwerk zur Beurteilung der Körperschallimmissionen von Schienenverkehrswegen ist weder in einer DIN-Norm noch einer VDI-Richtlinie angegeben. In der Genehmigungspraxis hat sich für die Beurteilung der Körperschallimmissionen von neuen Schienenverkehrswegen folgend beschriebenes Beurteilungskriterium bewährt. Hierbei werden die durch Körperschallübertragungen innerhalb von Gebäuden entstehenden Innenraumpegel (Sekundärluftschall) beurteilt.

In der VDI-Richtlinie 2719 – Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen - werden in der Tabelle 6 (hier Tabelle 2) Anhaltswerte für von außen in Aufenthaltsräume eindringendem Schall genannt, die nicht überschritten werden sollten. Diese Werte gelten in strenger Anwendung der VDI 2719 nur für Luftschallübertragungen. Im Rahmen von Planfeststellungsverfahren für Schienenverkehrswege erfolgt häufig eine Orientierung an dem Maximalwertkriterium.

Raumart	mittlere Maximalpegel \bar{L}_{max} in dB(A)
Schlafräume nachts	
in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten	35 bis 40
in allen übrigen Gebieten	40 bis 45
Wohnräume tagsüber	
in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten	40 bis 45
in allen übrigen Gebieten	45 bis 50
Kommunikations- und Arbeitsräume tagsüber	
Unterrichtsräume, ruhebedürftige Einzelbüros, wissenschaftliche Arbeitsräume, Bibliotheken, Konferenz- und Vortragsräume, Arztpraxen, Operationsräume, Kirchen Aulen	40 bis 50
Büros für mehrere Personen	45 bis 55
Großraumbüros, Gaststätten, Schalterräume, Läden	50 bis 60

Tabelle 2: Anhaltswerte für zulässige Innenpegel nach VDI 2719

Der 7. Senat des Bundesverwaltungsgerichts hat zu einer Eisenbahnplanung folgende Festlegungen zur Beurteilung der Körperschallimmissionen (sekundärer Luftschall) getroffen:

Ein spezielles Regelwerk zur Bestimmung der Zumutbarkeitsschwelle beim sekundären Luftschall gibt es bislang nicht. Zur Schließung dieser Lücke ist auf Regelungen zurück-zugreifen, die auf von der Immissionscharakteristik vergleichbare Sachlagen zugeschnitten sind. Dabei ist in erster Linie dem Umstand Rechnung zu tragen, dass es sich bei dem hier auftretenden sekundären Luftschall um einen verkehrsinduzierten Lärm handelt. Das legt eine Orientierung an den Vorgaben der auf öffentliche Verkehrsanlagen bezogenen 24. BImSchV (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung) nahe (vgl. auch VGH Mannheim, Urteil vom 8. Februar 2007 – 5 S 2224/05 – ESVGH 57, 148 <168ff.>=juris Rn. 121 ff.; Geiger, in Ziekow, Praxis des Fachplanungsrechts, 2004, 2. Kap. Rn 336).

Zu Recht setzt die Beklagte den in der Tabelle 1 der Anlage zur 24. BImSchV (Berechnung der erforderlichen bewerteten Schalldämm-Maße) aufgeführten „Korrektursummand D in dB zur Berücksichtigung der Raumnutzung“ nicht mit dem grundsätzlich einzuhaltenden Innengeräuschpegel gleich. Denn dieser ergibt sich erst durch die Hinzurechnung eines weiteren Korrekturwerts von 3 dB (A), der die unterschiedliche Dämmwirkung von Außenbauteilen bei gerichtetem Schall gegenüber diffusen Schallfeldern berücksichtigt (siehe BRDrucks 463/96 S. 16; BRDrucks 463/96 S. 4 f.; 7).

Bei Neubauplanungen von Eisenbahntrassen erfolgt, basierend auf diesem Urteil des Bundesverwaltungsgerichts, in der Regel eine Beurteilung der Körperschallpegel anhand der um 3 dB(A) erhöhten zulässigen Innenraumpegel nach 24. BImSchV. Demnach wäre ein Dauergeräuschpegel von 30 dB(A) für Schlafräume, 40 dB(A) für Wohnräume und 45 dB(A) für Büros zulässig.

Bei diesem für Eisenbahnen entstandenem Urteil bleibt unberücksichtigt, dass bei Straßenbahnen deutlich geringere Einwirkzeiten für Körperschallimmissionen auftreten. Der Unterschied zwischen Maximalpegel (vorgeschlagenen Beurteilung nach VDI 2719) und Beurteilungspegel (Beurteilung nach dem Bundes-Verwaltungsgerichtsurteil) steht damit bei Straßenbahnen in einem ungünstigeren Verhältnis als bei Eisenbahnen. Insofern ist es bei Straßenbahnen empfehlenswert, eine Beurteilung der Maximalpegel vorzunehmen. Das Maximalpegelkriterium stellt die für den Anlieger günstigere Beurteilungsvariante dar.

5 IMMISSIONSPROGNOSE

Für die Vorausbestimmung der von oberirdischen Stadtbahnstrecken ausgehenden Körperschallimmissionen existiert bis heute kein rein analytisches Verfahren. Die Immissionsprognose erfolgt daher auf der Basis des Entwurfes für die DIN 45672-3:2023-02 – Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen – Teil 3: Prognoseverfahren auf Basis von Terzspektren. Hinweise zur Durchführung der Immissionsprognose enthält darüber hinaus die Richtlinie VDI 3837 – Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen, Spektrales Prognoseverfahren, von Januar 2013 -, in der ein spektrales Prognoseverfahren global beschrieben wird. Ein konkretes Rechenverfahren mit festgelegten Rechenparametern wird allerdings in keinem der beiden Regelwerke angegeben.

Die Prognose der frequenzabhängigen Schwinggeschwindigkeit $L_v(f_{Tn})$ an einem Immissionspunkt erfolgt nach Gleichung (1), entsprechend DIN 45672-3.

$$L_v(f_{Tn}) = L_{v,E}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,BB}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,FB}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,DF}(f_{Tn}) + D_e(f_{Tn}) \quad (1)$$

f_{Tn}	Frequenz der n -ten Terz im Terzspektrum
$L_{v,E}(f_{Tn})$	Emissionsspektrum (Emissionssystem)
$L_{v,BB}(f_{Tn})$	Einfluss der Schwingungsausbreitung im Boden zwischen Emissionspunkt und Gebäude (Transmissionssystem)
$L_{v,FB}(f_{Tn})$	Übertragung vom Boden auf das Gebäude (primäres Immissionssystem)
$L_{v,DF}(f_{Tn})$	Übertragung innerhalb des Gebäudes (sekundäres Immissionssystem)
$D_e(f_{Tn})$	Minderungswirkung von Maßnahmen (Einfügungsdämm-Maß, siehe DIN 45673-1 (1))

Das primäre Ergebnis der Prognose nach DIN 45672-3 sind terzbasierte Schwinggeschwindigkeitspegeln aus denen sich die Körperschallimmissionen im Frequenzbereich $f_T = 16 - 250$ Hz in Form von A-bewerteten Schalldruckpegel am Immissionsort (Sekundärluftschall) ermitteln lassen. Diese Pegel werden dann für die Beurteilung anhand des Orientierungswertes nach VDI 2719 in Form des mittleren Maximalpegels herangezogen.

Aus der Immissionsprognose ergibt sich der Schwinggeschwindigkeitspegel des betrachteten Deckenfeldes. Aus dem Schwinggeschwindigkeitspegel lässt sich der im Raum aus der Körperschallübertragung entstehende Innenraumpegel (Sekundärluftschall) abschätzen. Dies erfolgt unter Verwendung einer Rechenfunktion (siehe A. Said, H.-P. Grütz, R. Garburg:

Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr. Zeitschrift für
Lärmbekämpfung Januar 2006/ 53. Jahrgang Seite 12 ff:

$$L_p = X \text{ [dB]} + y L_{v,p} \text{ [dB]} \quad (2)$$

- X Festwert in Abhängigkeit von der Frequenz und Deckenbauart
 y Faktor in Abhängigkeit von der Frequenz und Deckenbauart
jeweils im Frequenzbereich $f_T \in \{5, 80\}$ Hz

Aus den unbewerteten Prognosewerten des Schalldrucks wird anschließend der A-bewertete
Summenschallpegel ermittelt:

$$L_{pAm} = 10 \log \left(\sum_{i=f_{Tu}}^{f_{To}} 10^{0,1(L_{pm,T} + K_A)} \right) \text{ dB(A)} \quad (3)$$

- f_{Tu}, f_{To} untere bzw. obere Terzmittenfrequenz des maßgebenden Frequenzbereiches
 $f_{Tu} = 5$ Hz bis $f_{To} = 80$ Hz
 $L_{pm,T}$ Schalldruckpegel bei der entsprechenden Terzmittenfrequenz
 K_A A-Bewertung entsprechend DIN 45634

Da die Prognose auf energetischen Mittelwerten (L_{pAm}) basiert, entsprechen die Ergebnisse
der Berechnung des Sekundärluftschalls dem zu erwartenden mittleren Maximalpegel. Der
absolute Maximalpegel ergibt sich in etwa zu:

$$L_{pAmax} = L_{pAm} + 3 \text{ dB(A)} \quad (4)$$

6 PROGNOSEERGEBNISSE UND BEURTEILUNG

Für die Anliegergebäude wurden die Prognosen unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Deckeneigenfrequenzen durchgeführt, sodass sich eine Vielzahl von Prognoseergebnissen ergeben. In der folgenden Tabelle sind alle Prognosewerte zusammenfasst.

Gebäude	LpAm [dB(A)] für Berechnung Nr.*				
	1	2	3	4	Maximal
Alicenplatz 2-4	40.4	39.8	40.6	45.9	45.9
Binger Straße 1	40.1	39.5	40.3	45.6	45.6
Binger Straße 2-4	41.7	41.0	41.8	47.1	47.1
Binger Straße 3-5	36.1	36.0	36.1	41.2	41.2
Binger Straße 6	41.5	40.8	41.7	47.0	47.0
Binger Straße 7	40.2	39.5	40.4	45.7	45.7
Binger Straße 8	40.6	40.0	40.8	46.1	46.1
Binger Straße 9	40.1	39.5	40.3	45.6	45.6
Binger Straße 10	40.3	39.6	40.5	45.8	45.8
Binger Straße 11	39.9	39.3	40.1	45.4	45.4
Binger Straße 13	39.7	39.1	39.9	45.2	45.2
Binger Straße 15	37.2	37.2	37.3	42.3	42.3
Binger Straße 17	41.4	40.7	41.6	46.9	46.9
Hintere Bleiche 1	41.4	40.7	41.6	46.9	46.9
Hintere Bleiche 4	41.4	40.7	41.6	46.9	46.9

*Die Berechnungsnummer ist der Reihenfolge der aufgelisteten Frequenzen nach Abschnitt 2.6 zuzuordnen

Tabelle 3: Ergebnisse der Immissionsprognose Körperschall

Es zeigt sich, dass zu erwarten ist, dass der Orientierungswert von 40 dB(A) zur Beurteilung des Sekundärluftschalls in Schlafräumen überschritten wird. Der Orientierungswert für Wohnräume von 45 dB(A) wird ebenfalls voraussichtlich überschritten. Insofern sind Maßnahmen zur Minderung der Körperschallemissionen der Gleisanlage im gesamten Streckenabschnitt vorzusehen.

7 MASSNAHMEN

Insgesamt ist festzustellen, dass Maßnahmen erforderlich sind, die eine Minderung der Schwingungsimmissionen bewirken. Basierend auf den Ergebnissen der Erschütterungstechnischen Untersuchung wurde bereits festgelegt, dass ein Masse-Feder-System entsprechend DIN 45673 – Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 7: Labor-Prüfverfahren für elastische Elemente von Masse-Feder-Systemen - vorzusehen ist. Ausgehend von den Ergebnissen der Immissionsprognose Körperschall ist eine Abstimmfrequenz von ≤ 20 Hz zu wählen.

Unter der Annahme, dass eine geeignete schwingungsdynamischer Planung und eine ordnungsgemäße Bauausführung erfolgen, werden die Körperschall- und Erschütterungsimmissionen in der Anliegerbebauung unterhalb der vorstehend beschriebenen Orientierungswerte und unterhalb der Anhaltswerte nach DIN 4150 – Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden - liegen.

Die Prognose setzt eine Übertragung im Boden ohne Körperschallbrücke im Boden voraus. Dies schließt ebenfalls Bodenverfestigungen durch HDI oder ähnliche Maßnahmen ein.