

# I.B.U.

## INGENIEURBÜRO

für Schwingungs-, Schall- und  
Schienenverkehrstechnik GmbH

engineers for vibration, noise  
and railway technology

Dipl.-Ing. Udo Lenz

Sitz: Essen (HRB 23825)

Ladenspelderstraße 61  
45147 Essen

Tel. 0201 87445 0

Fax 0201 87445 45

E-Mail [office@ibugmbh.com](mailto:office@ibugmbh.com)  
[www.ibugmbh.com](http://www.ibugmbh.com)

**Auftraggeber:** Rhein-Neckar-Verkehr GmbH  
Abteilung Planung  
Möhlstraße 27  
68165 Mannheim

**Objekt:** Umbau der Endhaltestelle  
Kirchheimer Straße in Eppelheim

**Titel:** **Schwingungstechnische Untersuchung**  
**Schwingungsimmissionen Straßenbahn**

**Auftrag Nr.:** S 03.1640.17 / 2

**Datum:** 17. April 2018

**Umfang:** 11 Textseiten  
- Anlagen

INHALT

1	AUFGABENSTELLUNG	S.	3
2	BEARBEITUNGSGRUNDLAGE	S.	3
2.1	Pläne	S.	3
2.2	Gleisoberbau	S.	4
2.3	Fahrplansituation	S.	4
2.4	Geplante Änderung	S.	4
2.5	Gebietsnutzung	S.	4
3	IMMISSIONSKENNWERTE	S.	5
3.1	Erschütterungen	S.	5
3.2	Körperschall	S.	5
4	BEURTEILUNGSKRITERIEN	S.	6
4.1	Vorbemerkung	S.	6
4.2	Erschütterungseinwirkungen auf Menschen	S.	6
4.3	Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude	S.	8
4.4	Körperschalleinwirkungen auf Menschen	S.	8
5	IMMISSIONSBEURTEILUNG	S.	11
7	ÄNDERUNGSINDEX	S.	11

## 1 AUFGABENSTELLUNG

Die Rhein-Neckar-Verkehr (rnv) GmbH plant den barrierefreien Umbau der Straßenbahndaltestelle „Kirchheimer Straße“ in der Stadt Eppelheim. Zurzeit ist die Endhaltestelle mit einer Bahnsteighöhe von ca. 12 cm über Schienenoberkante für mobilitätseingeschränkte Personen nur bedingt nutzbar. Durch den barrierefreien Umbau wird in Zukunft den Fahrgästen ein einfacherer Einstieg in die Fahrzeuge ermöglicht.

In diesem Zusammenhang werden eine Veränderung der Verkehrsführung des Straßenverkehrs und eine Umgestaltung der Trassierung der Straßenbahngleise vorgenommen. Die Veränderungen haben Auswirkungen auf die zukünftige Immissionssituation.

Die I.B.U. GmbH wurde nun damit beauftragt, eine Schwingungs- und Schalltechnische Untersuchung zur Beurteilung der durch die Baumaßnahme bewirkten Veränderungen durchzuführen. Dem vorliegenden Bericht ist die Beurteilung der Schwingungsimmissionen zu entnehmen.

## 2 BEARBEITUNGSGRUNDLAGE

### 2.1 Pläne

Für die Bearbeitung werden folgende als pdf-File vorgelegten Pläne herangezogen:

Lageplan

LP\_250\_Kirchheimer\_Straße\_Var1\_Fahrlinien.pdf

Fahrplandaten Stadtbahn:

5865\_RNV\_STN\_Erhebungen\_Eppelheim\_08-05-2017.pdf

Bebauungsplan:

Schwetzingen-Grenzhöfer Straße - Original.pdf

Eine Fotodokumentation über die vorhandene Bebauung und Bestandssituation wurde am 31.05.2017 seitens der I.B.U. GmbH durchgeführt.

## 2.2 Gleisoberbau

Der vorhandene Oberbau besteht aus einem Rillenschienengleis mit Spurhaltern auf ungebundener und teilweise hydraulisch gebundener Tragschicht. Nach Aussage der Rhein-Neckar-Verkehr GmbH ist davon auszugehen, dass diese Tragschichten auf Grund des Feinkornanteils zu einer dichten Lagerung führen. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass der vorhandene Oberbau bereits eine geringe Elastizität aufweist.

Für die neue Gleisanlage ist ein Rillenschienenoberbau als Festes Fahrbahnsystem bestehend aus einer Betonplatte und der aufgelagerten Rillenschiene vorgesehen. Hierbei wird eine definierte Elastizität der Schienenlagerung entsprechend 0,7 – 0,9 mm unter maximaler Radsatzlast realisiert.

## 2.3 Fahrplansituation

Die Gleisanlagen werden derzeit und auch zukünftig von den Niederflurfahrzeugen der Rhein-Neckar-Verkehr-GmbH im folgenden Umfang befahren:

Fahrtrichtung Endhaltestelle Eppelheim  
tags (06:00 – 22:00 Uhr): 91  
nachts (22:00 – 06:00 Uhr): 10

Fahrtrichtung Heidelberg Zentrum  
tags (06:00 – 22:00 Uhr): 91  
nachts (22:00 – 06:00 Uhr): 10

## 2.4 Geplante Änderung

Es ist die Neuordnung eines neuen verlängerten Mittelbahnsteiges vorgesehen. Die Gleisachsverschiebungen sind minimal. Insbesondere bleibt die Lage der bereits derzeit vorhandenen Weichenanlage erhalten.

## 2.5 Gebietsnutzung

Laut Bebauungsplan befindet sich die unmittelbar nordöstlich der Haltestelle befindliche Bebauung in einem Wohngebiet. Für die anderen Bereiche liegen keine Aussagen zur Gebietsausweisung vor. Nach Inaugenscheinnahme befinden sich dort vorwiegend Wohngebäude.

### 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  $KB_{F_{max}}$  bzw. die Beurteilungsschwingstärke  $KB_{F_{Tr}}$  in der Definition nach DIN 4150, Teil 2, von Juni 99 -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  $N/m^2$  (Sekundärluftschall). Im Hinblick auf die Beurteilung der Körperschallimmissionen ist der Schallwechseldruck relevant. Es ergibt sich analog der Definition des Luftschallpegels der Körperschall-Schalldruckpegel (sekundärer Luftschall) in logarithmischer Form wie folgt:

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \text{ (dB)} \quad \text{mit } p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2: \text{ Bezugsschalldruck}$$

Der Körperschall-Schalldruck wird als hörbarer Luftschall dem frequenzabhängigen menschlichen Hörvermögen mit der so genannten A-Bewertung nach DIN 45633 angepasst und als A-bewerteter Summenschallpegel für die weitere Beurteilung dargestellt.

## 4 BEURTEILUNGSKRITERIEN

### 4.1 Vorbemerkung

Für die Beurteilung der von Schienenverkehrswegen ausgehenden Körperschall- und Erschütterungsimmissionen existieren keine rechtlich bindenden Immissionsrichtwerte. Beim Umbau einer Gleisanlage kommt es daher zunächst darauf an, dass möglichst keine Verschlechterung entsteht. Darüber hinaus empfiehlt es sich, die folgend beschriebenen Regelwerke zu beachten.

### 4.2 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen

Derzeit sind schon Gleise im Bereich der für den Umbau vorgesehenen Gleisanlage vorhanden. Es treten also jetzt schon nachweisbare Erschütterungsimmissionen in der vorhandenen Bebauung auf. Allgemein wird eine Zunahme der Erschütterungsimmissionen von Schienenwegen um bis zu 25 % durch Umbauplanungen als zulässig angesehen. Insofern kann eine Beurteilung wie folgt erfolgen:

$$\Delta KB \geq 25 \%$$

→ Schutzmaßnahme erforderlich.

Erschütterungsimmissionen lassen sich unabhängig von der Vorbelastung anhand DIN 4150 beurteilen:

- Teil 2, Juni 1999 – Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
- Teil 3, Februar 1999 – Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen.

Die Erschütterungsimmissionen des Schienenverkehrs werden nach DIN 4150/2 wie folgt behandelt:

Grundsätzlich erfolgt die Beurteilung anhand der Anhaltswerte  $A_u$  und  $A_r$  der Tabelle 1 der Norm. Im Rahmen von Prognosen erübrigt sich eine Beurteilung nach dem Anhaltswert  $A_o$ .

- Für unterirdischen Schienenverkehr gelten die Anhaltswerte  $A_u$  und  $A_r$  der Tabelle 1.

- Für oberirdischen Schienenverkehr des ÖPNV (Straßen-, Stadt-, S- und U-Bahnen) gelten die um den Faktor 1,5 angehobenen Anhaltswerte der Tabelle 1.
- Für sonstigen oberirdischen Schienenverkehr gelten bei neu zu bauenden Strecken die Anhaltswerte der Tabelle 1.

Die Tabelle 1 der DIN 4150-2 (Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen) wird wie folgt wiedergegeben:

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		$A_u$	$A_o$	$A_r$	$A_u$	$A_o$	$A_r$
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete § 9 BauNVO)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete § 8 BauNVO)	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 § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO)	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 § 3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, in 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 Erschütterungseinwirkung vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

**Tabelle 1:** Anhaltswerte zur Beurteilung der Erschütterungsimmission

Das Beurteilungsverfahren der Norm wird -angepasst an die speziellen Belange des ÖPNV's- wie folgt erläutert.

Für die Beurteilung ist zunächst die maximale Bewertete Schwingstärke ( $KB_{Fmax}$ ) heranzuziehen und mit dem Anhaltswert  $A_u$  zu vergleichen:

$$KB_{Fmax} \leq 1,5 \cdot A_u \rightarrow \text{Richtwert eingehalten}$$

Liegt  $KB_{Fmax}$  über  $1,5 \cdot A_u$ , so ist die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTr}$  zu ermitteln. Für Schienenwege kann  $KB_{FTr}$  unter Verwendung des auf die einzelnen Gleise bezogenen Takt-maximal-Effektivwertes ( $KB_{FTm}$ ) nach folgender Funktion berechnet werden:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^g N_{ei} \cdot KB_{FTm,i}^2} \quad (4)$$

$N_r$  : Anzahl der 30-s-Takte im Beurteilungszeitraum  
 tags:  $N_r = 1920$   
 nachts:  $N_r = 960$

$N_{ei}$  : Anzahl der Fahrten auf Gleis  $i$  im jeweiligen Beurteilungszeitraum  
 (Hinweis: Für Stadtbahnen gilt, dass die Erschütterungseinwirkungszeit einer Vorbeifahrt kleiner als 30 Sekunden ist).

$g$  : Anzahl der Gleise

Für die Beurteilung der Erschütterungen in **Wohngebäuden** gilt jetzt:

$$KB_{FTr} \leq 1,5 \cdot A_r \quad \rightarrow \text{Richtwert eingehalten.}$$

#### 4.3 Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude

Erschütterungseinwirkungen von Schienenverkehrswegen auf Gebäude werden üblicherweise anhand der DIN 4150, Teil 3, Februar 1999 – Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen – beurteilt. Die dort genannten Anhaltswerte liegen deutlich über den für die Einwirkung auf Menschen festgelegten zulässigen Erschütterungen. Insofern ist davon auszugehen, dass bei Einhaltung der vorgenannten Beurteilungskriterien nach DIN 4150-2 keine schädlichen Erschütterungsimmissionen aus dem Straßenbahnverkehr auf die Gebäude einwirken.

#### 4.4 Körperschalleinwirkungen auf Menschen

Derzeit sind schon Gleise im Bereich des für den Umbau vorgesehenen Streckenabschnittes vorhanden. Es treten also jetzt schon nachweisbare Körperschallimmissionen in der vorhandenen Bebauung auf. Da für Körperschallimmissionen des Schienenverkehrs derzeit keine Richtwerte für eine Beurteilung existieren, ist es im Rahmen von Umbaumaßnahmen üblich, Vorsorge dafür zu tragen, dass bei einer bereits vorhandenen Vorbelastung **keine wesentliche Verschlechterung** des Immissionsstatus eintritt.



Für den Körperschall kann dann in Anlehnung an die Bestimmungen der 16. BImSchV festgelegt werden, dass eine Erhöhung des Körperschallimmissionsstatus um mind. 3 dB (A) als wesentliche Änderung anzusehen ist. Die Beurteilung kann also wie folgt erfolgen:

$$\Delta L_p \geq 3 \text{ dB (A)}$$

→ Schutzmaßnahmen erforderlich

für  $\Delta L_p = L_p \text{ (Prognose)} - L_p \text{ (Bestand)}$

Ein Kriterium zur Beurteilung der Höhe der Körperschallpegel existiert in der 16. BImSchV nicht.

Der 7. Senat des Bundesverwaltungsgerichts hat zu einer Eisenbahnplanung (BVerwG 7 A 14.09) u.a. 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 zurückzugreifen, 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).*

*Auch die Anwendung eines Schienenbonus, der in Höhe von 5 dB(A) vor dem Vergleich mit dem höchstzulässigen Innengeräuschpegel von den zu ermittelnden Luftschallpegeln abgesetzt wird (siehe Keil/Koch/Garburg, Schutz vor Lärm und Erschütterungen, in: Fendrich, Handbuch Eisenbahninfrastruktur, 2007, S 804), ist von Rechts wegen nicht zu beanstanden.*

Unter Berücksichtigung des Urteils des Bundesverwaltungsgerichts wären Schallimmissionen aus Körperschallübertragungen in Höhe von 35 dB(A) als Beurteilungspegel in Schlafräumen zulässig. Bei diesen für Eisenbahnen entstandenem Urteil bleibt unberücksichtigt, dass bei Straßenbahnen deutlich geringere Einwirkzeiten für Körperschallimmissionen auftreten. Der Unterschied zwischen Maximalpegel und Beurteilungspegel steht damit bei Straßenbahnen in einem ungünstigeren Verhältnis als bei Eisenbahnen. Insofern ist es empfehlenswert, eine ergänzende Beurteilung der Maximalpegel vorzunehmen. Dies kann beispielsweise nach VDI 2719 erfolgen.

In der VDI-Richtlinie 2719 - Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen -, Ausg. August 1987, werden in der Tabelle 6 Anhaltswerte für von außen in Aufenthaltsräume eindringendem Schall benannt. Abhängig von Raumnutzung und Gebietsausweisung werden dort die in Tabelle 2 aufgelisteten mittleren Maximalpegel als zulässig angesehen.

Raumart	mittlere Maximalpegel $\bar{L}_{\max}$ dB(A)
<b>Schlafräume nachts</b> in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten	35 bis 40
in allen übrigen Gebieten	40 bis 45
<b>Wohnräume tagsüber</b> in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten	40 bis 45
in allen übrigen Gebieten	45 bis 50
<b>Kommunikations- und Arbeitsräume tagsüber</b> 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

**5** IMMISSIONSBEURTEILUNG

Die geplanten Gleisachsverschiebungen sind gering und beeinflussen die Schwingungsmissionen nur unwesentlich. Durch die Verlängerung der Gleisanlage ist insbesondere das Gebäude Schwetzingen Straße 1 betroffen. Allerdings wird dieser Gleisabschnitt nur im Schritttempo befahren, da hier das Ende der Gleisanlage erreicht wird. Insofern erfolgt keine relevante Schwingungsanregung. Detaillierte Angaben zum Oberbau, insbesondere zur Unterkonstruktion liegen nicht vor. Aus bisherigen Erfahrungen kann davon ausgegangen werden, dass die vorhandene Oberbauform keine definierte Elastizität aufweist. Auf Grund des Feinkornanteils in der Tragschicht ist von einer eher steifen Unterkonstruktion auszugehen. Die neue Oberbauform weist eine starre Unterkonstruktion bei einer definierten Schienenelastizität auf. Insofern ist davon auszugehen, dass keine signifikante Veränderung der Erschütterungsmissionen bewirkt wird. Die Schienenelastizität führt tendenziell zur Abnahme der Körperschallemissionen der Gleisanlage. Insgesamt gesehen ist davon auszugehen, dass durch den vorgesehenen Umbau die Erschütterungsmissionen um weniger als 25 % zunehmen werden und zumindest außerhalb der Weichenanlage die 1,5-fachen Anhaltswerte der Tabelle 1 der DIN 4150-2 für Wohngebiete eingehalten werden. Hinsichtlich der Körperschallmissionen ist festzustellen, dass eine Pegelanhebung um 3 dB(A) und mehr bei Pegeln größer 40 dB(A) nicht zu erwarten ist. Insofern sind keine Maßnahmen zur Minderung der Schwingungsemissionen der Gleise erforderlich.

**7** ÄNDERUNGSINDEX

Index	Datum	Bearbeiter	Bemerkungen

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Udo Lenz

Essen, 17.04.2018

I.B.U.

Ingenieurbüro für Schwingungs-, Schall-  
und Schienenverkehrstechnik GmbH