

Erschütterungstechnische Untersuchung

Umgestaltung Bahnhofsvorplatz in Heilbronn im Zuge der Ergänzung eines dritten Gleises

Bauphase

Dipl.-Phys. H. Venghaus

Bericht-Nr.: ACB-0622-216273/06

07.06.2023

Titel: Erschütterungstechnische Untersuchung
Umgestaltung Bahnhofsvorplatz in Heilbronn
im Zuge der Ergänzung eines dritten Gleises

Auftraggeber: Stadtwerke Heilbronn GmbH
Etzelstraße 9
74076 Heilbronn

Auftrag vom: 08.12.2021

Bericht-Nr.: ACB-0622-216273/06

Ersetzt Bericht-Nr.: -
vom:

Umfang: 22 Seiten Text

Datum: 07.06.2023

Bearbeiter: Dipl.-Phys. H. Venghaus

Diese Unterlage ist für den Auftraggeber bestimmt und darf nur insgesamt kopiert und verwendet werden.
Bei Veröffentlichung dieser Unterlage (auch auszugsweise) hat der Auftraggeber sicherzustellen, dass die veröffentlichten Inhalte keine datenschutzrechtlichen Bestimmungen verletzen.

Inhalt

Quellenverzeichnis	4
1 Anlass und Aufgabenstellung	5
2 Örtliche Gegebenheiten/geplante Baumaßnahme	5
3 Beurteilungsgrundlagen Erschütterungen	7
3.1 Hinweise der Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz bezüglich Erschütterungsimmissionen.....	7
3.2 Ermittlung der KB-Werte	11
3.2.1 KB _F -Wert.....	11
3.2.2 KB _{FT} -Wert.....	12
3.3 Subjektive Wahrnehmungsstärke von Erschütterungen	12
3.4 Berücksichtigung der Vorbelastung	12
4 Bauablauf/Erschütterungsemissionen	13
4.1 Bauphasen/Bautätigkeiten.....	13
4.2 Einwirkungsbereiche.....	13
4.3 Erschütterungsemissionen.....	15
5 Berechnungsverfahren	16
6 Ergebnisse	18
7 Beurteilung der Erschütterungsprognose	20
8 Zusammenfassung	21

Quellenverzeichnis

Für die Untersuchung wurden folgende Grundlagen herangezogen:

- [1] „Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz, BImSchG) vom 15. März 1974, in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1362) geändert worden ist
- [2] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz, Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsmissionen, Stand 06.03.2018
- [3] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Messung und Beurteilung von Erschütterungsmissionen - Technische Fachinformation, Referat 34 – Technischer Arbeitsschutz, Lärmschutz, 76231 Karlsruhe, Stand Oktober 2018
- [4] DIN 4150-1:2022-12, Erschütterungen im Bauwesen - Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Beuth Verlag, Berlin 2022
- [5] DIN 4150-2:1999-06, Erschütterungen im Bauwesen - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Beuth Verlag, Berlin 1999
- [6] DIN 4150-3:2016-12, Erschütterungen im Bauwesen - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Beuth Verlag, Berlin 2016
- [7] Achmus, M., Kaiser, J.: Prognose von Bauwerkerschütterungen infolge Ramm- und Vibrationsverdichtungsarbeiten. XIII. Donau-Europäische Konferenz, Ljubljana, 2006
- [8] H.Amick M.Gendreau, Construction Vibrations and Their Impact on Vibration-Sensitive Facilities, presented at ASCE Construction Congress 6, Orlando, Florida, February 22, 2000
- [9] D.M.Hiller G.I.Crabb, Groundborne vibration caused by mechanised construction works, TRANSPORT RESEARCH LABORATORY TRL REPORT 429, Crowthorne, Berkshire, RG45 6AU, 2000
- [10] ACCON GmbH, Erschütterungstechnische Untersuchung Umgestaltung Bahnhofsvorplatz in Heilbronn im Zuge der Ergänzung eines dritten Gleises, Bericht-Nr.: ACB-0622-216273/03 vom 07.06.2022
- [11] Ing.- Büro Konrad Schemmel, Bohrröhrgründung – Regelausführung, Beschreibung der Regelgründungsart das kombinierte Bohr-/Eindrehverfahren mittels Bohrröhren für Oberleitungsmasten, interne Mitteilung, D-75334 Straubenhardt, 2023
- [12] © OpenStreetMap-Mitwirkende; OpenStreetMap® sind „Open Data“, die gemäß der Open Data Commons Open Database Lizenz (ODbL) durch die OpenStreetMap Foundation (OSMF) verfügbar sind
- [13] Planunterlagen Stadtwerke Heilbronn GmbH, Umgestaltung Bahnhofsvorplatz, 04.2023

1 Anlass und Aufgabenstellung

Die Stadtwerke Heilbronn GmbH (SWHN) betreiben und unterhalten das Stadtbahnnetz innerhalb Heilbronn. Direkt in der Innenstadt von Heilbronn führt die zweigleisige Strecke vom Hauptbahnhof über die Bahnhofstraße, die Kaiserstraße / Untere Neckarstraße, Allee bis zum Pfülpark. Beim Hauptbahnhof / Haltestelle Willy-Brandt-Platz ist vorgesehen, die nutzbaren Bahnsteigflächen zu vergrößern. Dies soll durch Schaffung eines zusätzlichen Bahnsteiges mit einem zusätzlichen dritten Gleis geschehen.

In der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung werden die mit dem Baubetrieb in Zusammenhang stehenden Vibrationseinwirkungen gemäß anerkannter Berechnungsmethoden prognostiziert und anhand einschlägiger Normen beurteilt.

Die im Zuge des Betriebs der Strecke anfallenden Erschütterungen werden in einer eigenen erschütterungstechnischen Untersuchung ermittelt und beurteilt, sie sind nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

2 Örtliche Gegebenheiten/geplante Baumaßnahme

Die Stadtwerke Heilbronn GmbH (SWHN) betreiben und unterhalten das Stadtbahnnetz innerhalb Heilbronn. Direkt in der Innenstadt von Heilbronn führt die zweigleisige Strecke vom Hauptbahnhof über die Bahnhofstraße, die Kaiserstraße / Untere Neckarstraße, Allee bis zum Pfülpark. Beim Hauptbahnhof / Haltestelle Willy-Brandt-Platz ist vorgesehen, die nutzbaren Bahnsteigflächen zu vergrößern. Dies soll durch Schaffung eines zusätzlichen Bahnsteiges mit einem zusätzlichen dritten Gleis geschehen. In Folge dessen muss die bisher unter der Überdachung angeordnete Bushaltestelle stadteinwärts auf die südliche Straßenseite verlegt werden.

Den Verlauf der Strecke sowie die ungefähre Lage der Haltestelle Hauptbahnhof / Willy-Brandt-Platz verdeutlicht Abbildung 1.

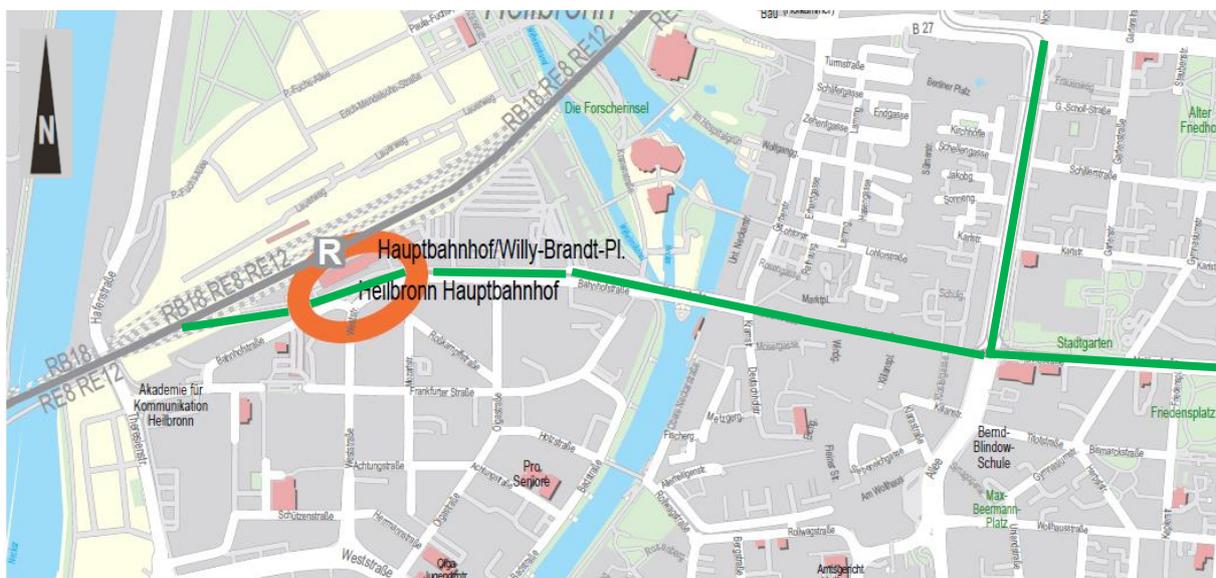


Abbildung 1: Übersichtsplan (Quelle: © OpenStreetMap-Mitwirkende [12])

Der Lageplan in Abbildung 2 zeigt die Bestandssituation, Abbildung 3 skizziert die geplanten baulichen Änderungen (Roteinträge) auf.

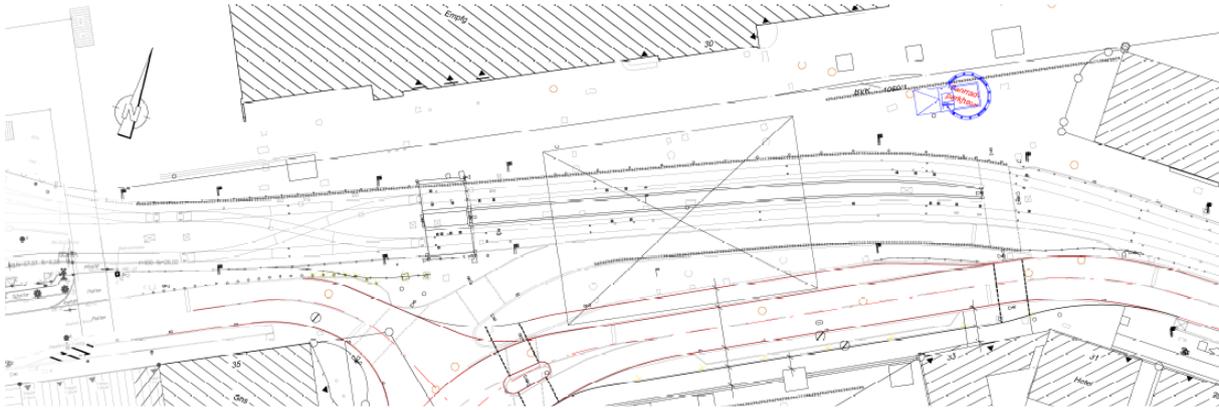


Abbildung 2: Bahnhofsvorplatz Heilbronn Bestandssituation (Quelle: SWHN [13])

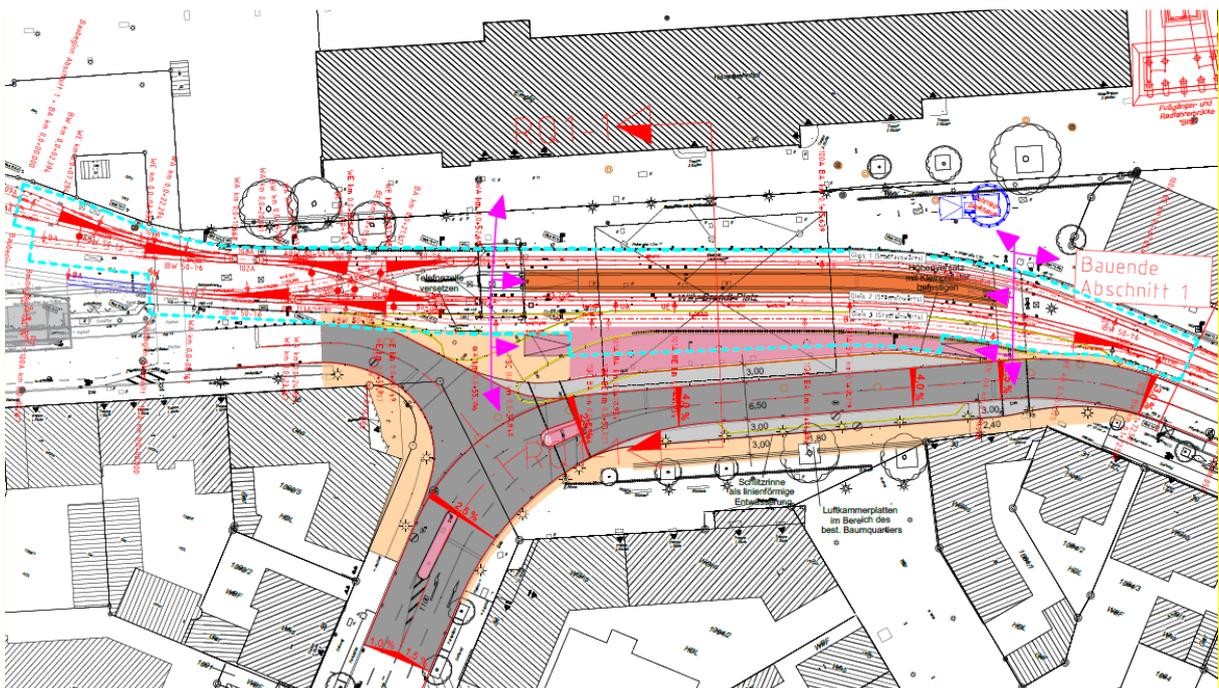


Abbildung 3: Bahnhofsvorplatz Heilbronn mit geplanten Änderungen (Quelle: SWHN [13])

3 Beurteilungsgrundlagen Erschütterungen

3.1 Hinweise der Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz bezüglich Erschütterungsimmissionen

Eine für Anlagenbetreiber und Überwachungsbehörden gleichermaßen bundesweit rechtsverbindliche Klärung der Frage, wann Erschütterungsimmissionen auf bauliche Anlagen und auf Menschen in Gebäuden als schädliche Umwelteinwirkungen anzusehen sind, existiert nicht. Die Bewertung der Erheblichkeit von Belästigungen bzw. Nachteilen durch Erschütterungseinwirkungen i.S. des BImSchG [1] ist daher anhand von Regelwerken sachverständiger Organisationen oder von einzelfallbezogenen Gutachten vorzunehmen [2]. Die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) verweist weiterhin darauf, dass in der Praxis diese Anhaltswerte vor Gericht mangels anderer Bewertungsgrundlagen meist wie „Grenzwerte“ behandelt werden [3].

Als wesentliche Regelwerke bezüglich Schwingungseinwirkungen sind die

- DIN 4150-2:1999-06, Erschütterungen im Bauwesen - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden [5]

und die

- DIN 4150-3:2016-12, Erschütterungen im Bauwesen - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen [6]

heranzuziehen.

Bezogen auf die Wirkung auf Menschen [5] im Beurteilungszeitraum „nachts“ gilt die Zeit von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr. Der Beurteilungszeitraum „tags“ liegt in der Zeit von 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr. Innerhalb des Beurteilungszeitraums „tags“ werden noch die Ruhezeiträume

- von 6 Uhr bis 7 Uhr
- von 19 Uhr bis 22 Uhr
- sonn- und feiertags von 6 Uhr bis 22 Uhr

definiert.

Bei Baumaßnahmen sind die zeitliche Begrenzung der einzelnen erschütterungsrelevanten Arbeiten zu berücksichtigen. Daher sind für diese Immissionen zeitlich abgestufte Beurteilungsgrößen heranzuziehen. Hierbei gelten für den Beurteilungszeitraum „tags“ die in Tabelle 1 aufgeführten Anhaltswerte. Für den Beurteilungszeitraum „nachts“ sind die gebietspezifischen Anhaltswerte in [5] aufgelistet.

Tabelle 1 Anhaltswerte der DIN 4150-2 [5] für Menschen in Gebäuden bei Baulärm tagsüber

Dauer	D ≤ 1 Tag			6 Tage < D ≤ 26 Tage			26 Tage < D ≤ 78 Tage		
	A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4
Stufe III	1,6	5	1,2	1,2	5	1,0	0,8	5	0,6
für Gewerbe- und Industriegebiete gilt A _o = 6									

Unter Dauer *D* ist die Anzahl von (Werk-)Tagen zu verstehen, an denen Erschütterungseinwirkungen aus Baumaßnahmen auftreten. Tage, an denen die Anhaltswerte A_u bzw. A_r unterschritten werden, sind nicht mitzuzählen.

Es gelten für tagsüber durch Baumaßnahmen verursachte Erschütterungen von höchstens 78 Tagen Dauer die Immissionswerte der Tabelle 1. Für Erschütterungen, die über den 78. Tag der Einwirkung hinaus gehen und für nachts auftretende Erschütterungen gelten grundsätzlich die Immissionswerte nach [5].

Für Einwirkungsdauern *D*, die zwischen einem Tag und 6 Tagen liegen, werden die Immissionswerte der Tabelle 1 linear interpoliert.

Tabelle 2 Anhaltswerte der DIN 4150-2 [5] für Menschen in Gebäuden im Beurteilungszeitraum „nachts“

Einwirkungsort	nachts (22 ⁰⁰ - 6 ⁰⁰ Uhr)		
	A _u	A _o	A _r
Industriegebiet	0,3	0,6	0,15
Gewerbegebiet	0,2	0,4	0,1
Mischgebiet	0,15	0,3	0,07
allgemeines und reines Wohngebiet	0,1	0,2	0,05
Sondergebiete Kliniken	0,1	0,15	0,05

Die Art der baulichen Nutzung der Gebiete ergibt sich:

- aus Festsetzungen im Bebauungsplan
- aus der tatsächlichen baulichen Nutzung, sofern diese erheblich von der im Bebauungsplan festgesetzten baulichen Nutzung abweicht oder
- aus der tatsächlichen Nutzung, sofern keine Bebauungspläne aufgestellt sind.

Die Beurteilung von zeitlich begrenzten Erschütterungseinwirkungen durch Baustellen erfolgt in den drei Stufen I, II und III:

*Bei Unterschreitung der **Stufe I** ist nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen.*

Liegen die Erschütterungen zwischen den Immissionswerten der **Stufe I** und **Stufe II** und sind die in

Tabelle 3 Zeile d) aufgeführten Maßnahmen durchgeführt, liegen ebenfalls in der Regel keine erheblichen Belästigungen vor.

Überschreiten die Erschütterungseinwirkungen jedoch die **Stufe II**, so können die unter

Tabelle 3 Zeile d) beschriebenen Maßnahmen dazu beitragen, die unvermeidbaren schädlichen Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Mit zunehmender Überschreitung der **Stufe II** nimmt die Wahrscheinlichkeit erheblicher Belästigungen trotz ergriffener Maßnahmen zu. Solange die **Stufe III** aber nicht überschritten wird, können die Pflichten des Betreibers als erfüllt angesehen werden, wenn alle im Einzelfall anwendbaren Maßnahmen nach

Tabelle 3 Zeile d) getroffen werden.

Sofern nicht bereits bei Überschreitung der **Stufe II** ein erschütterungsärmeres Bauverfahren gewählt wurde, gewinnt diese Maßnahme bei Überschreitung der **Stufe III** besondere Bedeutung, da von dieser Schwelle an auch aufwendige, aber weniger erschütterungsintensive Bauverfahren zunehmend als verhältnismäßig anzusehen sind.

Tabelle 3 Vorschläge zur Verminderung von erheblichen Belästigungen durch Erschütterungsimmissionen [2]

a)	Aktive Schutzmaßnahmen	Schaffung optimaler Betriebsbedingungen, Wartung und Pflege von Maschinen und Werkzeugen, Vermeidung unnötiger Lagerspiele, Verwendung scharfer Werkzeuge (Bohrer, Meißel usw.), Wahl der richtigen Temperatur der Werkstücke beim Schmieden, Übergang zu einer anderen Technik (z. B. Ersetzen von "Einrütteln" von Spundbohlen durch "Einpressen" oder unwuchtfreies Anlaufen von Rüttlern oder Vibrationsbären), sorgfältiges Auswuchten oder Einsatz von Massenausgleichern, Auswahl unschädlicher Erregerfrequenzen, Schwingungsisolierung mit Feder- und Dämpfungselementen, die den Kräften und Massen der Maschinen und gegebenenfalls der Masse des Fundamentes entsprechend dimensioniert werden.
b)	Ausbreitungsweg	Untersuchungen zeigen, dass die Ausbreitung von Schwingungen im Erdboden durch vertikal eingebrachte Schlitze oder Kanäle rechtwinklig zur Ausbreitungsrichtung (mit gasgefüllten Matten) behindert werden kann.
c)	Passive Schutzmaßnahmen	An den zu schützenden baulichen Anlagen können durch Veränderungen der Schwingungseigenschaften des Bauwerks oder von Bauteilen die Einwirkungen von resonanzbedingten Erschütterungen vermieden oder gemindert werden. Abfederung von Gebäuden Anbringen von Schwingungstilgern
d)	Maßnahmen zur Verminderung erheblicher Belästigungen, insbesondere bei nur vorübergehend betriebenen Anlagen (z.B. Baustellenanlagen)	Umfassende Information der Betroffenen z. B. über die Maßnahmen, die Verfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Betrieb. Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen und die damit verbundenen Belästigungen sowie Empfehlungen über Verhaltensweisen zur Minderung von Erschütterungswirkungen auf die Betroffenen. Einrichtung einer Anlaufstelle für Beschwerden. Zusätzliche betriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Ruhezeiten usw.). Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Einwirkungen auf Menschen und Gebäude. Nachweis des Nichtentstehens von Gebäudeschäden durch Beweissicherung

Bezüglich der Einwirkung auf Gebäude [6] werden keine Beurteilungszeiträume vorgegeben.

Die Immissionswerte für die Beurteilung der Einwirkungen auf Gebäude (Tabelle 4) sind nach der Gebäudeart und nach der Dauer der Einwirkungen gestaffelt. Grundlage hierfür sind die Anhaltswerte nach DIN 4150-3:2016-12. Die Zuordnung der Gebäude zu den Zeilen nach Tabelle 4 erfolgt durch Inaugenscheinnahme.

Tabelle 4 Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v [mm/s] zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf Bauwerke durch kurzzeitige Erschütterungen [4].

Messort	Fundament, Maximale Schwingungsrichtung			Oberstes OG, horizontale Schwingungen	Deckenebenen, vertikale Schwingung
	< 10 Hz	10 - 50 Hz	50 – 100 Hz		
Industriebau, gewerbliche Bauten	20	20 - 40	40 – 50	40	20
Wohngebäude	5	5 - 15	15 – 20	15	20
Empfindliche Bauten, Denkmalschutz	3	3 - 8	8 – 10	8	20

3.2 Ermittlung der KB-Werte

3.2.1 KB_F -Wert

Die DIN 4150-2 [5] berücksichtigt mittels einer Frequenzbewertung des Schwinggeschwindigkeitssignals die menschliche Erschütterungswahrnehmung. Diese Frequenzbewertung wird mittels Hochpassfilter mit einer Grenzfrequenz von 5,6 Hz erreicht:

$$KB(f) = \sqrt{\frac{1}{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)\right)^2}} \quad f_0 = 5,6 \text{ Hz} \quad (1)$$

Nach dieser Frequenzbewertung der Schwinggeschwindigkeit erhält man den dimensionslosen KB - Wert. Zusätzlich wird auf das KB - bewertete Signal der gleitende Effektivwert mit der Zeitkonstanten 0,125 s angewendet und man erhält den KB_F - Wert (siehe Gl. 2), welcher maßgebend für die Bewertung der Erschütterungsimmissionen auf das menschliche Empfinden ist.

$$KB_F(t) = \sqrt{\frac{1}{0,125} \int_{\xi=0}^t e^{-\frac{t-\xi}{0,125}} KB^2(\xi) d\xi} \quad (2)$$

Der maximal erreichte KB_F - Wert (KB_{Fmax}) der einzelnen Vibrationsereignisse soll den unteren Anhaltswert A_u nach DIN 4150-2 [5] möglichst nicht überschreiten. Überschreitet KB_{Fmax} den oberen Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung an die Norm nicht eingehalten. Ist KB_{Fmax} größer als A_u , jedoch kleiner als der obere Anhaltswert A_o , dann ist die Norm eingehalten, falls die zeitabhängige Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} , welche die Ereignisdichte innerhalb eines Tages- und Nachtzeitraumes berücksichtigt, nicht größer als der Beurteilungswert A_r ist.

3.2.2 KB_{FTT} -Wert

Der KB_{FTT} - Wert dient der Beurteilung der Erschütterungsimmissionen unter Einbeziehung der Häufigkeit der Vibrationseignisse im Beurteilungszeitraum. Dabei werden die Beurteilungszeiträume in 30-Sekunden Abschnitte/Takte unterteilt (Tag = 1920 Takte; Nacht = 960 Takte). Maßgebend für die Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke ist hierbei der Maximalwert eines jeden Taktes (Taktmaximalwert KB_{FTi}). Jeder Takt, bei dem Erschütterungsimmissionen den unteren Anhaltswert $A_u > 0,1$ überschreiten, geht in die Berechnung des KB_{FTT} - Wertes folgendermaßen ein:

$$KB_{FTT} = \sqrt{\frac{M}{N_r} * \sum_{i=1}^Z KB_{FTi}^2} \quad (3)$$

Hierbei ist M die Anzahl der Takte pro Tag- oder Nachtzeitraum mit Taktmaximalwerten KB_{FTi} , N_r die Anzahl der Takte im Beurteilungszeitraum (1920 tags bzw. 960 nachts).

3.3 Subjektive Wahrnehmungsstärke von Erschütterungen

Die Wahrnehmungsstärke von Erschütterungen hängt von der Höhe des KB - Wertes und von der Frequenzzusammensetzung der Erschütterungseinwirkung ab. Für die subjektive Wahrnehmung spielt daneben das übrige Umfeld (Vorhandensein von anderen störenden Umwelteinflüssen) eine Rolle. Die folgende Tabelle kann deshalb nur zur orientierenden Einschätzung der Wirkung von Erschütterungen dienen.

Tabelle 5: Wahrnehmungsstärke von Erschütterungen nach KB - Wert

KB - Wert	Wahrnehmung
1,6	stark spürbar
0,6	gut spürbar
0,14	gerade spürbar
0,1	Fühlschwelle

3.4 Berücksichtigung der Vorbelastung

Eine bestehende Vorbelastung aus dem Betrieb von Baumaschinen ist im Untersuchungsbereich nicht gegeben. Insofern ist die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen entsprechend Tabelle 1 zu erstellen.

Die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen aus dem Baubetrieb wird im vorliegenden Fall anhand folgender Kriterien durchgeführt:

- Ist $KB_{Fmax} < A_u$, sind keine weiteren Betrachtungen erforderlich. Die Anforderungen der DIN4150 Teil 2 sind eingehalten.
- Ist $KB_{Fmax} > A_u$ und $KB_{FTT} < A_r$, dann sind die erschütterungstechnischen Anforderungen ebenfalls eingehalten.

4 Bauablauf/Erschütterungsemissionen

Entsprechend den vorliegenden Unterlagen geht der Neubau des dritten Haltestellengleises vor dem Hauptbahnhof mit einer neuen Streckenanbindung und Zufahrt zum Abstellbereich im Westen des Hauptbahnhofs einher.

Ein detaillierter Bauablaufplan lag zum Zeitpunkt der Erstellung des Gutachtens nicht vor. Für die Beurteilung der baubedingten Erschütterungseinwirkungen wurden daher basierend auf Erfahrungswerten anderer, ähnlich gelagerter Untersuchungen aus erschütterungstechnischer Sicht relevante Bauphasen/Baugeräte angenommen.

4.1 Bauphasen/Bautätigkeiten

Das Bauvorhaben wird nach fachgutachterlicher Sicht in drei Gruppen unterteilt:

1. Neubau der Streckengleise Nordostseite des Haltestellenbereiches Hauptbahnhof
2. Neubau Haltestelle plus 3.Gleis
3. Neubau Streckenanbindung und Zufahrt zum Abstellbereich an der Südwestseite

Zu diesen bautechnischen Veränderungen können für alle drei Gruppen folgende erschütterungsrelevante Bautätigkeiten aufgelistet werden:

Tabelle 6 Bauphasen/Bautätigkeiten mit erschütterungstechnischer Relevanz - Gleisbau

Nr.	Bauphase	Beschreibung Bautätigkeit	erschütterungsrelevante Maschinen
1	Erdarbeiten	Deckschicht abheben, Gleisausbau Fläche ebnen	hydraul. Meißel; Presslufthammer Planierdrauen
2	Planum	Planum herstellen	Verdichterwalze
3	Oberbau	Gleistragplatte herstellen	keine
4	Oberleitungsmasten	Gründung	Rammen; Bohr-/Eindrehverfahren

4.2 Einwirkungsbereiche

Im Umfeld des geplanten Streckenverlaufs sind relevante Einwirkungen durch Bauerschütterungen nur in den Bereichen zu erwarten, in denen sich schützenswerte Bebauung im näheren Umfeld befindet. Basierend auf der Grobeinteilung in 4 erschütterungsrelevante Bauphasen, wurden folgende Gebäude identifiziert, die für eine Begutachtung in Frage kommen:

1. Neubau der Streckengleise Nordostseite des Haltestellenbereiches Hauptbahnhof
 - nördlich der Gleisanlage – Bahnhofstr.22
 - südlich der Gleisanlage – Bahnhofstr. 29, 31, 33
2. Neubau Haltestelle plus 3.Gleis
 - Bahnhofstr 33

3. Neubau Streckenanbindung und Zufahrt zum Abstellbereich an der Südwestseite
 - Bahnhofstr 35, 37, 39
4. Gründung Oberleitungsmasten
 - nördlich der Gleisanlage – Bahnhofstr.22
 - südlich der Gleisanlage – Bahnhofstr. 31, 33
 - Bahnhofstr 35, 37

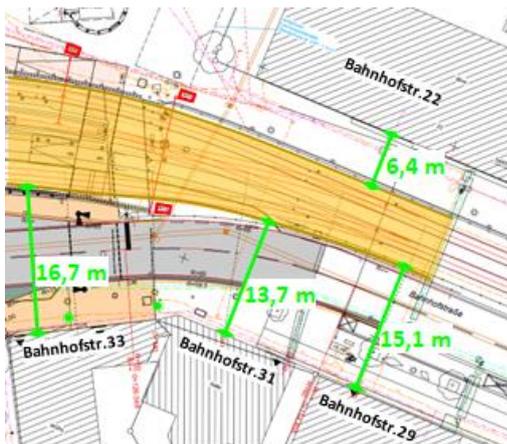


Abbildung 4: Baubereich Nordseite (orange eingefärbt), neu zu erstellende Oberleitungsmasten (rot) [13]

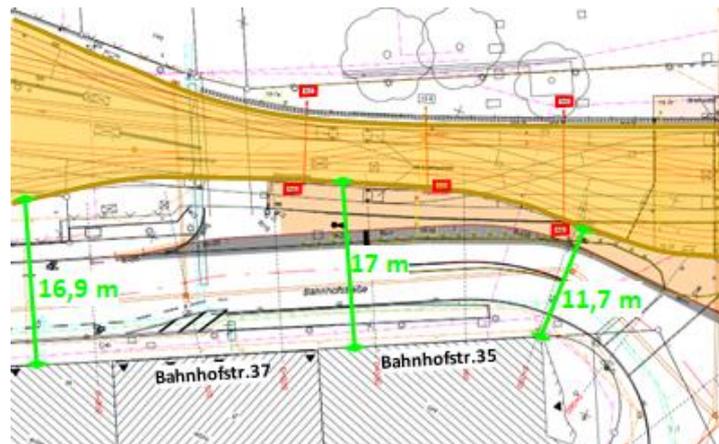


Abbildung 5: Baubereich Südseite (orange eingefärbt), neu zu erstellende Oberleitungsmasten (rot) [13]

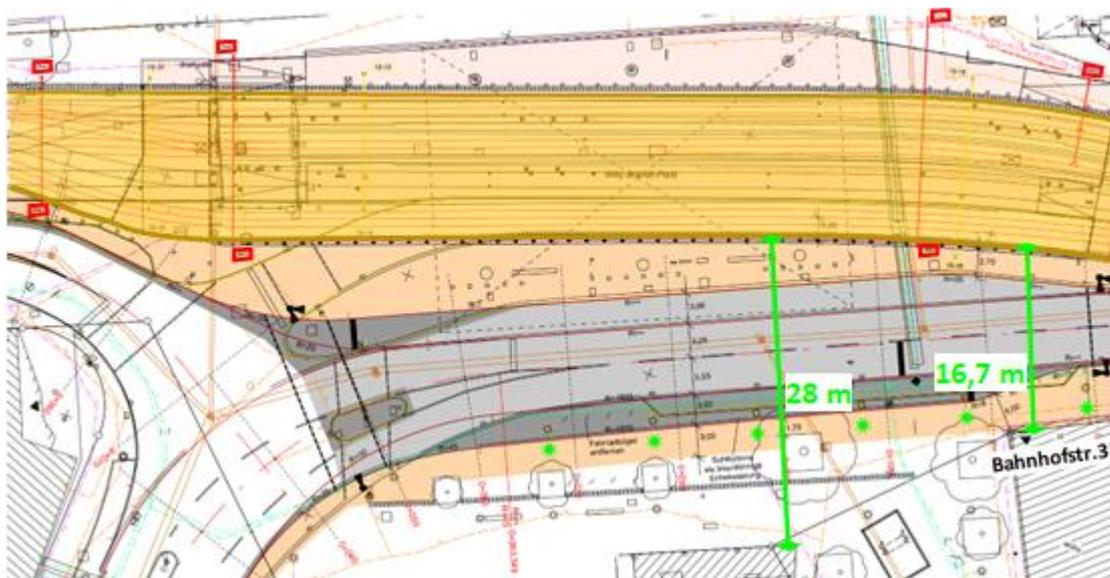


Abbildung 6: Baubereich Haltestelle & 3.Gleis (orange eingefärbt), neu zu erstellende Oberleitungsmasten (rot) [13]

Andere Bereiche sind aus technischer Sicht im Hinblick auf Einwirkungen durch Bauerschütterungen nicht relevant.

4.3 Erschütterungsemissionen

Auf Basis der in Tabelle 6 zusammengestellten Bautätigkeiten mit erschütterungstechnischer Relevanz werden die zum Einsatz kommenden Baumaschinen und Bauverfahren abgeleitet. Den in Frage kommenden Baumaschinen und Bauverfahren werden gutachterlich baubetriebstypische Erschütterungsemissionen zugeordnet, die sich im Wesentlichen auf deren Gewichtsklassen und anregenden Frequenzanteilen beziehen. Als maßgebliche Baumaschinen werden dabei im Wesentlichen Großgeräte berücksichtigt, deren Erschütterungsemissionen sich aus Vibrationen rotierender Massen oder Impulseinträgen ins Erdreich ergeben.

Bei der Ermittlung der Erschütterungsemissionen der einzelnen Bauphasen wird nicht jeder denkbare Arbeitsschritt behandelt. Vielmehr dominieren in der Praxis bestimmte Arbeiten bzw. der Einsatz bestimmter Geräte die Emissionssituation. Die übrigen hier nicht gelisteten zur Anwendung kommenden (Klein-) Geräte können entweder aufgrund ihrer Einsatzzeit und Erschütterungsentwicklung als nicht relevant angesehen werden oder sind vergleichbar mit einer der aufgeführten Maschinen und sind daher in den Berechnungen nicht gesondert berücksichtigt worden.

Die angegebenen Erschütterungsemissionen beziehen sich auf den Lastbetrieb. Der Leerlauf ist demgegenüber zu vernachlässigen bzw. hat keinen signifikanten Einfluss auf die Beurteilung. Die anteiligen Betriebszeiten der einzelnen Quellen im Lastbetrieb entsprechen durchschnittlichen Erfahrungswerten und tragen dem Umstand Rechnung, dass im realen Baubetrieb stets auch Pausen für Umsetzvorgänge, Rüstzeiten, Materialaufnahme etc. entstehen, und somit so gut wie kein Gerät in der Praxis durchgängig in Volllast in Betrieb ist.

Da derzeit nicht präzise bestimmt werden kann, welche der unterschiedlichen Maschinen in den einzelnen Bauphasen zeitgleich in Betrieb sind und wie lange sie im Baufortschritt in einem begrenzten Bereich tätig sind, wird zur sicheren Seite ein lokaler Aufenthalt von 6 Tagen bis 26 Tagen angenommen (siehe hierzu Tabelle 1). Die prognostizierten Erschütterungsemissionen der einzelnen Bauphasen stellen somit obere Abschätzungen der tatsächlich auftretenden baubetriebsbedingten Emissionen dar. Diese Untersuchung ist in diesem Sinne als eine Machbarkeitsstudie zu verstehen, um sich abzeichnende Konfliktpotenziale bereits vor einer Baumaßnahme zu erkennen und damit Schutzmaßnahmen zu deren Verminderung/Vermeidung schon im Vorfeld treffen zu können.

Die Abbildung der Emissionsquellen erfolgt im Rechenmodell anhand von Punktquellen, denen die Emissionen der einzelnen Bauphasen zugeordnet werden.

Dabei wird bei linienhaften Bautätigkeiten mit Vorschub davon ausgegangen, dass die jeweiligen Bautätigkeiten sich innerhalb eines Tages auf einen maximal 10 m langen Streckenabschnitt konzentrieren bzw. die nachfolgend aufgeführten Erschütterungseinwirkungen der einzelnen Bautätigkeiten für jeweils 10 m lange Streckenabschnitte gültig sind.

5 Berechnungsverfahren

Eine rechtlich vorgeschriebene Berechnungsvorschrift bezüglich der Erschütterungsausbreitung ähnlich zu den Baulärberechnungen ist bislang nicht eingeführt worden. Im Deutschen Raum hat sich das Berechnungsmodell nach Achmus [7] durchgesetzt, dass eine Abschätzung der Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude aus der Emission unterschiedlicher Baumaschinen ermöglicht, mit einer

- 50% Wahrscheinlichkeit zur Einschätzung der mittleren Erwartungsgröße
- 2,25% Wahrscheinlichkeit zur Einschätzung der maximalen Erwartungsgröße

Basierend auf den in Tabelle 6 zusammengestellten Bauphasen werden die wesentlichen erschütterungsintensiven Baumaschinen aufgeführt.

Tabelle 7 Erschütterungsrelevante Baumaschinen in den betrachteten Bauphasen

Bauphase	Relevante Maschine	Arbeitsgewicht bzw. anregende Kraft	Arbeitsfrequenz [Hz]
Asphaltfläche bzw. Betontragplatte aufbrechen	hydraul.Meißelbagger	0,3 t	20
	Presslufthammer <i>wird nicht weiter berücksichtigt</i>	0,08 t	10
Planum	Vibrationswalze	5 t	45
Betonieren	Mobile Betonpumpen	-	-
Gründung Oberleitungsmasten	Vibrationsramme	30-69 kNm	50-45
	Bohrgerät	2 kNm	2

Zur Prüfung ob die Richtwerte für Gebäudeschwingungen entsprechend DIN 4150-3 [4] eingehalten werden, sind die Fundamentalschwingwerte v_R^F [mm/s] nach den in [7] angegebenen Prognosegleichungen (Tabelle 8) zu berechnen. Diese Gleichungen wurden auf der Basis von Erfahrungswerten bei mitteldichten Böden entwickelt. Die Gültigkeit dieser Formeln ist auf einen Radius von weniger als 70 m beschränkt. Bei Abständen darüber hinaus führen die Formeln zu einer Überschätzung der Schwingwerte an den Fundamenten.

Tabelle 8 Prognosegleichungen für die max. i-ten Komponente der Fundamentalschwinggeschwindigkeit

		50% Überschreitungswahrscheinlichkeit	2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit
	Vibration	$v_{i50}^F = 7,9 \frac{\sqrt{W/f}}{r}$	$v_{imax}^F = 18,52 \frac{\sqrt{W/f}}{r}$
Rammung	Schlagrammung Dieselbär	$v_{i50}^F = 2,45 \frac{\sqrt{E}}{r}$	$v_{imax}^F = 3,82 \frac{\sqrt{E}}{r}$

	Schlagrammung Freifallbär	$v_i^F = 11,07 \frac{\sqrt{E}}{r^{1,3}}$	
Verdichtung	Vibrationsplatte	$v_{i50}^F = 4,31 \frac{\sqrt{G}}{r}$	$v_{imax}^F = 10,87 \frac{\sqrt{G}}{r}$
	Vibrationswalze		
<i>E bzw. W/f in kNm, r in m, G in t, v in mm/s</i>			

Auf der Basis der berechneten Schwingwerte am Fundament der Gebäude können die Deckenschwingungen unter Berücksichtigung der flächenabhängigen Resonanzcharakteristik von Geschoßdecken abgeschätzt werden. Für die Bestimmung deren Frequenzcharakteristik wurden 2 Annahmen frei schwingender Deckenfläche getroffen

- Decke Wohnzimmer für Schwingungsimmissionen im Beurteilungszeitraum „tagsüber“ A = 5,5 x 4 m² mit einer Grundfrequenz von 21 Hz
- Decke Schlafzimmer für Schwingungsimmissionen im Beurteilungszeitraum „nachts“ A = 4,5 x 3,5 m² mit einer Grundfrequenz von 23 Hz

Die unterschiedlichen Grundfrequenzen der Decken bedingen die frequenzabhängige Übertragung der Schwingungen vom Fundament der Gebäude zu den jeweiligen Geschoßdecken.

6 Ergebnisse

Zur Schaffung einer Beurteilungsgrundlage bezüglich der Erschütterungsimmissionen aus dem Betrieb von Baumaschinen auf dem Bahnhofsvorplatz in Heilbronn werden die notwendigen Abstände zwischen Maschine und Gebäude jeweils für die 50% bzw. 2,25 % Überschreitungswahrscheinlichkeit bezogen auf die freischwingenden Zimmerdecken ermittelt.

Aus Abbildung 4 bis Abbildung 6 kann entnommen werden, dass die wesentlichen Distanzen zwischen Hausfront und nächstgelegenen Baubereich ca. 17 m betragen. Von daher wurde die Strategie angewandt, die zulässigen Abstände der arbeitenden Baumaschinen zu bestimmen, aus denen eine Unterschreitung der Anhaltswerte A_r bzw. A_o nach Tabelle 1 für die Stufe II gewährleistet werden könnte.

In der Tabelle 10 werden die Berechnungsergebnisse für die einzelnen erschütterungsrelevanten Baumaschinen für den Beurteilungszeitraum „Tag“ entsprechend Tabelle 1 für die Stufe II bei einer Arbeitsdauer von 6 bis 26 Tagen zusammenfassend dargestellt.

In der Tabelle 11 werden zusätzlich die Ergebnisse für den Beurteilungszeitraum „nachts“ mit dem Ansatz für ein Mischgebiet dargestellt (Decke Schlafzimmer) (siehe Tabelle 2).

In den Tabellen 10 und 11 wird in der Spalte „*Vibration Decke WZ KB_{FT}* “ der zulässige Beurteilungswert für Erschütterungsimmissionen im jeweiligen Beurteilungszeitraum angegeben, berechnet auf Basis der 50%-Überschreitungswahrscheinlichkeit.

In der Spalte „*progn.max. Vibration Decke WZ [mm/s]*“ wird der maximal zulässige Wert für Erschütterungsimmissionen im jeweiligen Beurteilungszeitraum angegeben, berechnet auf Basis der 2,25%-Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tabelle 9 Ergebnisse aus den Berechnungen der Mindestabstände zur Einhaltung der Anhaltswerte A_r und der maximal zulässigen kurzzeitigen Erschütterungsimmissionen entsprechend DIN 4150-2 tagsüber

		50% Überschreitungswahrscheinlichkeit Stufe II; tagsüber $A_r = 0.6$, 6 Tage $< D < 26$ Tage					2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit Stufe II; tagsüber $A_o = 5$	
	Arbeitsanteil im Beurteilungszeitraum Tag [%]	Gewicht Energie	Arbeitsfrequenz	Vibration Decke WZ KB_{FTr}	Mindestabstand [m]	progn.max. Vibration Decke WZ [mm/s]	Mindestabstand [m]	
Rammen	Vibrationsramme schwer	69 kNm	45 Hz	0.6	22	5	9	
	Schlagramme Dieselbär gr.	54 kNm	0.9 Hz	0.6	24	5	7	
	Pfahlbohrung	1 kNm	2 Hz	0.6	4	5	1	
Abbruch	hydraul.Meißelbagger	0.25 t	20 Hz	0.6	8	5	4	
Verdichten	Rüttelplatte	0.7 t	63 Hz	0.6	6	5	3	
	Vibrationswalze	8.5 t	45 Hz	0.6	18	5	12	

Tabelle 10 Ergebnisse aus den Berechnungen der Mindestabstände zur Einhaltung der Anhaltswerte A_r und der maximal zulässigen kurzzeitigen Erschütterungsimmissionen entsprechend DIN 4150-2 nachts

		50% Überschreitungswahrscheinlichkeit Stufe II; MI nachts $A_r = 0.07$					2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit Stufe II; MI nachts $A_o = 0.3$	
Arbeitsanteil von 10% = 0.8 Std.	Arbeitsanteil im Beurteilungszeitraum Nacht [%]	Gewicht Energie	Arbeitsfrequenz	Vibration Decke SZ KB_{FTr}	Mindestabstand [m]	progn.max. Vibration Decke SZ [mm/s]	Mindestabstand [m]	
Rammen	Vibrationsramme schwer	69 kNm	45 Hz	0.07	91	0.3	158	
	Schlagramme Dieselbär gr.	54 kNm	0.9 Hz	0.07	203	0.3	234	
	Pfahlbohrung	1 kNm	2 Hz	0.07	28	0.3	21	
Abbruch	hydraul.Meißelbagger	0.25 t	20 Hz	0.07	24	0.3	64	
Verdichten	Rüttelplatte	0.7 t	63 Hz	0.07	18	0.3	48	
	Vibrationswalze	8.5 t	45 Hz	0.07	83	0.3	218	

7 Beurteilung der Erschütterungsprognose

Aus dem Ansatz, dass die häufigsten Abstände der Gebäude zur nächsten Grenze des Bauareals in etwa 17 m betragen und mit Berücksichtigung realistischer täglicher Betriebsdauer der jeweiligen erschütterungsrelevanten Baumaschinen, lassen sich aus den Ergebnistabellen 10 und 11 folgende Schlüsse ziehen

- auf den Nachteinsatz von erschütterungsintensiven Baumaschinen ist weitestgehend zu verzichten
- falls bau- oder betriebstechnische Notwendigkeiten nächtlichem Einsatz erschütterungsintensiver Baumaschinen zwingend erfordern sollten, sind mit den betroffenen Anwohnern gesonderte Regelungen zu treffen
- schwere Rammen zur Erstellung der Gründungen (z.B. Oberleitungsmasten) sollten nicht eingesetzt werden
- stattdessen sollte die Bohrröhrgründung [11] für alle neu zu setzenden Oberleitungsmasten angewandt werden
- bezüglich des Einsatzes einer schweren Vibrationswalze zur Verdichtung des Untergrunds wurde die Beweglichkeit dieser Baumaschine durch eine verringerte Einwirkdauer auf einzelne Immissionsorte von täglich 40% berücksichtigt. Damit werden gerade die zulässigen Beurteilungswerte A_r für Erschütterungsimmissionen erreicht

Wegen der geforderten Einhaltung der Schwingwerte in den zum Baubereich benachbarten Gebäuden entsprechend DIN 4150-2 sind Überschreitungen der zulässigen Schwingwerte nach DIN 4150-3 [2] nicht zu befürchten.

8 Zusammenfassung

Die Stadtwerke Heilbronn GmbH (SWHN) betreiben und unterhalten das Stadtbahnnetz innerhalb Heilbronn. Direkt in der Innenstadt von Heilbronn führt die zweigleisige Strecke vom Hauptbahnhof über die Bahnhofstraße, die Kaiserstraße / Untere Neckarstraße, Allee bis zum Pfühlpark. Beim Hauptbahnhof / Haltestelle Willy-Brandt-Platz ist vorgesehen, die nutzbaren Bahnsteigflächen zu vergrößern. Dies soll durch Schaffung eines zusätzlichen Bahnsteiges mit einem zusätzlichen dritten Gleis geschehen.

In der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung wurden die zur Herstellung des dritten Gleises im Bereich Hauptbahnhof / Haltestelle Willy-Brandt-Platz in Zusammenhang stehenden Erschütterungseinwirkungen aus dem Baubetrieb nach der DIN 4150-2 bezüglich der Schwingungseinwirkung auf Menschen in Gebäuden, der DIN 4150-3 Schwingungseinwirkung auf Gebäude ermittelt und beurteilt.

Die Prognoseberechnungen wurden nach der in Deutschland anerkannten Methodik nach Achmus durchgeführt.

Nach den Ergebnissen dieser Prognoseberechnungen wurde festgestellt, dass auf Nachtarbeit mit erschütterungsrelevanten Maschinen verzichtet werden sollte und nur in absoluten Ausnahmefällen erfolgen dürfen. Dafür sind gesonderte Regelungen zu treffen.

Auf den Einsatz schwerer Rammen bei Gründungsarbeiten zur Errichtung neuer Oberleitungsmasten ist zu verzichten. Anstelle dessen ist die Bohrröhrgründung anzuwenden.

Aus den durchgeführten Untersuchungen ergibt sich aus der Einhaltung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2, dass mit Schäden an der Gebäudesubstanz entsprechend DIN 4150-3 aus dem Einsatz erschütterungsrelevanter Baumaschinen bei den hier zu betrachtenden Bauarbeiten nicht zu erwarten sind.

Greifenberg, 07.06.2023



ACCON GmbH
Dipl.-Phys. H. Venghaus