

Technischer Bericht

Nr. 1269

Hermann-Hesse-Bahn Diverse Bahnübergangs- und Verkehrsstationsmaßnahmen

Erschütterungstechnische Untersuchung zur Bau- und Betriebsphase

Kelkheim, 13. August 2018

Zweckverband Hermann-Hesse-Bahn

Hermann-Hesse-Bahn
Diverse Bahnübergangs- und
Verkehrsstationsmaßnahmen

Erschütterungstechnische Untersuchung zur
Bau- und Betriebsphase

Zweckverband Hermann-Hesse-Bahn
c/o Landkreis Calw
Vogteistraße 42-46
75365 Calw

as Beratung in Immissionsschutz
Lärm - Luft – Erschütterung
Kapellenbergstr. 3
65779 Kelkheim

Bearbeitung:
Dr. Peter Schorn



Kelkheim, 13. August 2018

Prüfung:
Prüfstatus: geprüft
Andreas Schütte



Kelkheim, 13. August 2018

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
1.1	Erschütterungsprognose Bauphase - Gebäude	1
1.2	Erschütterungsprognose Bauphase – Menschen in den Gebäuden	1
1.3	Erschütterungsprognose Betriebsphase	2
2	VORBEMERKUNGEN	2
3	GRUNDLAGEN	3
3.1	Allgemeines zur erschütterungstechnische Untersuchung	3
3.2	Örtliche Situation	4
3.3	Baubetrieb und erschütterungstechnische Parameter	6
3.3.1	Allgemeines zum Baubetrieb	6
3.3.2	PFI 1, Bahnübergang Malersbuckel	6
3.3.3	PFI 2, Bahnübergang Stuttgarter Straße	6
3.3.4	PFI 3, Haltepunkt Althengstett	7
3.3.5	PFI 4, Eisenbahnüberführung Gottlieb-Braun-Straße	7
3.3.6	PFI 5, Haltepunkt Calw-Heumaden	8
3.3.7	PFI 6, Bahnübergang Tälesbach	8
3.3.8	PFI 7, Bahnhof Calw-ZOB	9
3.4	Bahnbetrieb und erschütterungstechnische Parameter	10
3.4.1	Verkehrsbelastung	10
3.5	Normen, Grundlagen und Bewertung	10
3.5.1	Bauphase	11
3.5.2	Betriebsphase	13
4	METHODIK DER BERECHNUNGEN	14
4.1	Bauphase	14
4.2	Betriebsphase	15
5	ERGEBNISSE UND BEWERTUNG DER BAUTÄTIGKEIT	17
5.1	Ergebnisse der Berechnung der Erschütterungsbelastungen	17
5.2	Bewertung	25
5.3	Schutzmaßnahmen	25
6	ERGEBNISSE UND BEWERTUNG DES EISENBAHNBETRIEBS	26

6.1	Ergebnisse der Berechnung der Erschütterungsbelastungen	26
6.2	Bewertung	26
7	QUELLEN- UND GRUNDLAGENVERZEICHNIS	29
7.1	Planunterlagen	29
7.2	Rechtsgrundlagen und Regelwerke	29

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Immissionsorte	5
Tabelle 2:	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeiten zur Beurteilung von Erschütterungen nach DIN 4150 Teil 3	12
Tabelle 3:	Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen nach DIN 4150 Teil 2 (Beurteilung der KB-Werte)	12
Tabelle 4:	Anhaltswerte der DIN 4150-2 für neue, oberirdische Schienenstrecken des ÖPNVs	13
Tabelle 5:	Empirische K-Werte (K-50, K-2.25) mit 50% bzw. 2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit für verschiedene Geräte	14
Tabelle 6:	Frequenzabhängige Übertragungsfaktoren Fundament – Geschossdecke bei einer Resonanzfrequenz f_0	15
Tabelle 7:	Empirische Schwinggeschwindigkeiten in einem Abstand von 8 m zur Gleismitte für Nahverkehrszüge/ S-Bahnen mit 100 km/h (Terzspektren)	16
Tabelle 8:	Transfer-Funktion zur Berechnung der Bodendämpfung vom Gleis bis zum Gebäude (Terzspektren)	16
Tabelle 9:	Übertragungsfunktion Erdboden - Fundament	17
Tabelle 10:	Übertragungsfunktion Fundament – Geschossdecke mit einer Resonanzfrequenz f_0	17
Tabelle 11:	Zusammenstellung verschiedener Baugeräte und deren Parameter	18
Tabelle 12:	Zusammenstellung der Ergebnisse hinsichtlich der Bewertung „Gebäude“	21
Tabelle 13:	Zusammenstellung der Ergebnisse hinsichtlich der Bewertung „Menschen im Gebäude“	23
Tabelle 14:	Zusammenstellung der Ergebnisse hinsichtlich der Bewertung Bahnbetrieb	27

1 Zusammenfassung

Der Zweckverband Hermann-Hesse-Bahn (ZV HHB) plant die erneute Verkehrsaufnahme auf der landkreis-eigenen Bahnstrecke von Weil der Stadt nach Calw (ehemals Württembergische Schwarzwaldbahn) mit einer Gesamtlänge von ca. 23 km als "Hermann-Hesse-Bahn". Derzeit ist die denkmalgeschützte Strecke ohne Verkehr. Vor Wiederinbetriebnahme ist eine Sanierung der Gesamtstrecke im Bestand sowie in Teilbereichen ein Neu- und Ausbau erforderlich. Das Planfeststellungsverfahren „Diverse Eisenbahnkreuzungs- und Verkehrsstationsmaßnahmen“ ist unterteilt in sieben Planfeststellungsinseln (PFI), für die eine erschütterungstechnische Prognose und Bewertung der Bauphase sowie der Betriebsphase durchgeführt wurde.

1.1 Erschütterungsprognose Bauphase - Gebäude

Die Ergebnisse zeigen auf, dass für die untersuchten Gebäude und für die ausgewählten Baugeräte keine Überschreitungen der Anhaltswerte für die Beurteilung von Gebäuden nach DIN 4150-3 (Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkungen auf bauliche Anlagen) auftreten (siehe Tabelle 12). Gebäudeschäden durch die Baumaßnahmen sind daher nicht zu erwarten. Voraussetzung ist der Einsatz geeigneter Baugeräte mit entsprechenden Vibrationsleistungen. Geeignet sind Rüttelplatten bis ca. 10 kW und bis ca. 550 kg und in PFI 2 Vibrationswalzen bis ca. 45 kW und ca. 5 to.

1.2 Erschütterungsprognose Bauphase – Menschen in den Gebäuden

Die Anhaltswerte der Stufe 3 zur Beurteilung von Bau-Erschütterungen nach DIN 4150-2 (Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden) werden nicht überschritten.

Die Anhaltswerte der Stufe 2 können weitgehend ohne zeitliche Beschränkungen eingehalten werden. In Einzelfällen muss der Einsatz von Vibrationserzeugern den Gegebenheiten hinsichtlich der Leistung oder der Einsatzzeit angepasst werden. Für alle Vibrationserzeuger gilt, dass die Frequenz möglichst weit oberhalb von 40 Hz liegen sollte, um nicht im Resonanzbereich von Betondecken zu liegen.

Zur Minderung der Erschütterungsbelastungen bzw. zur Minderung der physischen Auswirkungen durch den Baubetrieb empfehlen wir:

- Auswahl der Baumaschinen und Bauabläufe, welche die angegebenen Energiewerte einhalten:
 - ⇒ Zum Verdichten der Böden dürfen nur Vibrationsplatten mit einer Leistung von maximal 10 kW (ca. 550 kg) eingesetzt werden; nur in einem Fall am Immissionsort „Hengstetter Steige 11“ darf die Leistung nicht höher als 5 kW (250 kg) liegen, andernfalls muss eine zeitliche Einschränkung erfolgen (siehe Tabelle 13)
 - ⇒ Der Einsatz einer Vibrationswalze von maximal 2 to und 20 kW ist in PFI 2 innerhalb des geplanten Umfangs ohne Einschränkungen möglich. Bei dem Einsatz von Vibrationswalzen mit höherer Leistung müssen hingegen zeitliche Einschränkungen erfolgen.
- Umfangreiche und rechtszeitige Information der Betroffenen (siehe Kapitel 5.3).
- Ggf. Erhebung einer baulichen Beweissicherung (Aufnahme des Zustandes der Gebäude).
- Durchführung einer Erschütterungsmessung während kritischer Bauphasen und ggf. auch auf Anforderung der Anwohner.

Werden die oben genannten Maßnahmen und Empfehlungen umgesetzt, können negative Auswirkungen auf Menschen in den Gebäuden vermieden werden.

1.3 Erschütterungsprognose Betriebsphase

Im gesamten Untersuchungsbereich, in allen Planfeststellungsinseln der Hermann-Hesse-Bahn liegen die prognostizierten Erschütterungsbelastungen unter den entsprechenden Anhaltswerten der DIN 4150. Somit ist nicht mit erschütterungsbedingten Konflikten aus dem Bahnbetrieb zu rechnen.

Diese Aussage gilt auch für den sekundären Luftschall, der aufgrund der geringen Werte der Erschütterungsbelastung, vernachlässigbar ist.

Da keine Überschreitungen der Anhaltswerte vorliegen, ist eine Einbeziehung und Bewertung der Vorbelastung aus dem Schienenverkehr, der bei dem Betrieb in früheren Zeiten auftrat, nicht durchgeführt worden.

2 Vorbemerkungen

Der Zweckverband Hermann-Hesse-Bahn (ZV HHB) plant die erneute Verkehrsaufnahme auf der landkreiseigenen Bahnstrecke von Weil der Stadt nach Calw (ehemals Württembergische Schwarzwaldbahn) mit einer Gesamtlänge von ca. 23 km als "Hermann-Hesse-Bahn". Derzeit ist die denkmalgeschützte Strecke ohne Verkehr. Vor Wiederinbetriebnahme ist eine Sanierung der Gesamtstrecke im Bestand sowie in Teilbereichen ein Neu- und Ausbau erforderlich.

Für die unten aufgelisteten Maßnahmen in Weil der Stadt, Althengstett und Calw soll das Planfeststellungsverfahren „Diverse Eisenbahnkreuzungs- und Verkehrsstationsmaßnahmen“ durchgeführt werden, welches aus sieben Planfeststellungsinseln besteht. Eine Untersuchung der Erschütterungsbelastung während der Bauphase bzw. in der Betriebsphase der im Folgenden aufgelisteten Maßnahmen soll dabei Bestandteil der Antragsunterlagen werden:

- 1) Neubau des Bahnübergangs Malersbuckel,
- 2) Rückbau / Neubau des Bahnübergangs an der Stuttgarter Straße,
- 3) Rückbau / Neubau des Haltepunkts Althengstett,
- 4) Rückbau / Neubau der Eisenbahnüberführung an der Gottlieb-Braun-Straße,
- 5) Rückbau / Neubau des Haltepunktes Calw-Heumaden, Bahnübergang, gleisparalleler Gehweg
- 6) Neubau des Bahnübergangs Tälesbach,
- 7) Neubau des Bahnhofs Calw-ZOB.

In der Nachbarschaft der einzelnen Baumaßnahmen befinden sich mit Ausnahme der Bahnübergänge Malersbuckel und Tälesbach beiderseits der Bahntrasse überwiegend dicht besiedelte Wohn- und Mischgebiete, teilweise auch Gewerbegebiete. Aufgrund der geplanten Bautätigkeiten, d.h. der Baumaßnahmen, die mit der Wiederinbetriebnahme der Hermann-Hesse-Bahn in Verbindung stehen, kann es zu einer Betroffen-

heit der Nachbarschaft aufgrund der erschütterungstechnischen Einwirkungen durch die Bautätigkeiten kommen. Im Zuge einer Erschütterungsprognose sollen die Auswirkungen der Bautätigkeiten in der Nachbarschaft dargestellt und beurteilt werden.

3 Grundlagen

3.1 Allgemeines zur erschütterungstechnische Untersuchung

Erschütterungen sind Schwingungsimmissionen im unteren Frequenzbereich (etwa bis 100 Hertz im Einzelfall auch bis 315 Hz), die von Menschen in Gebäuden wahrgenommen werden können und zum Teil als lästig oder unangenehm empfunden werden.

Der Bahnverkehr wie auch der Betrieb einer Baustelle verursacht Erschütterungen, die in der angrenzenden Bebauung spürbar sind. Die Intensität und damit die Wahrnehmung dieser Erschütterungen hängen von verschiedenen Faktoren am Entstehungsort, auf dem Übertragungsweg und am Einwirkungsort ab. Dies sind im Einzelnen:

- Art und Intensität der Emissionen:
 - ⇒ **Beim Bahnverkehr:** die Streckenbeschaffenheit, z.B. Fahrbahnausbildung, freie Strecke oder feste Fahrbahn, die Geschwindigkeit und Art des Schienenfahrzeuges
 - ⇒ **Beim Baubetrieb:** Art der Baugeräte, Frequenz der erzeugten Schwingungen, Umfang, Einsatzzeit und Einsatzort der Geräte
- die Ausbreitungsverhältnisse im Boden, z.B. lehmiger oder sandiger Boden, Felsschichten, Stand des Grundwassers, Gas-, Wasserleitungen
- die Beschaffenheit des Gebäudes, z.B. Art des Fundamentes, Betondecken, Holzbalkendecken.

Aufgrund dieser komplexen Einflüsse ist eine Berechnung der Erschütterungsimmissionen nicht ohne weiteres möglich. So können bestimmte Effekte auftreten, die bewirken, dass lokal in einem oder mehreren benachbarten Gebäuden Erschütterungen auftreten, die sich sehr stark von benachbarten Gebäuden unterscheiden. Verursacht werden diese Unterschiede z.B. durch lokale Bodeninhomogenitäten (Felsbänder, Leitungen, etc.) auf dem Übertragungsweg. Andererseits führen Resonanzphänomene, die aus einer Frequenzübereinstimmung der Anregung (Emissionen aus dem Bahnbetrieb) und der Eigenfrequenzen von Gebäudeteilen (z.B. Deckenschwingungen) resultieren, zu lokalen, deutlich erhöhten Erschütterungen. Zur genauen Prognose wird es in vielen Fällen aus diesen Randbedingungen heraus notwendig, zur Beurteilung der Belastung durch Erschütterungen im Einzelfall Messungen vorzunehmen.

Über die Erschütterungen hinaus werden durch die schwingenden Bauteile Schallwellen abgestrahlt, die als tieffrequente Geräusche, als sogenannter sekundärer Luftschall, wahrgenommen werden und ebenfalls als belästigend empfunden werden können. Der sekundäre Luftschall ist jedoch vernachlässigbar, wenn der Luftschall primär vorhanden ist. Dieser ist z.B. nicht der Fall, wenn eine Bahnstrecke in einem Tunnel verläuft. Auf Grundlage der hier vorliegenden Situation ist davon auszugehen, dass der sekundäre Luftschall nicht relevant ist. Er wurde somit in dieser Untersuchung nicht bewertet.

Bei vielen Verfahren des Tiefbaus wird gezielt dynamisch auf den Baugrund eingewirkt, beispielsweise um Bodenwiderstände gegen das Eindringen von Konstruktionselementen wie Pfähle oder Spundbohlen zu überwinden und um vor allem nicht bindige Böden effektiv zu verdichten. Bei diesen Bauverfahren werden

Erschütterungen durch den Baugrund auf benachbarte bauliche Anlagen übertragen und können dort Belästigungen und im ungünstigsten Fall auch Schäden verursachen. Im Zuge einer Bauplanung gilt es daher, mögliche Erschütterungseinwirkungen abzuschätzen und die Baugeräte so auszuwählen, dass eine Beeinträchtigung benachbarter Bauwerke und der Menschen in den Gebäuden vermieden oder zumindest minimiert wird.

Die Prognose von baubedingten Erschütterungen bereitet i.d.R. große Probleme, da in vielen Fällen wichtige Parameter unbekannt oder nur ungenügend bekannt sind. Dies führt entsprechend dazu, dass eine Prognose nur mit hohem Aufwand erstellt werden kann oder die zu erwartenden Erschütterungen werden anhand einfacher Näherungen abgeschätzt, sind dann aber i.d.R. mit großen Unsicherheiten behaftet. Dementsprechend kommt der möglichst realistischen Einschätzung und Definition der geplanten Bauarbeiten, der eingesetzten Bauverfahren und Baumaschinen eine besondere Bedeutung zu.

3.2 Örtliche Situation

Die Bahntrasse der Hermann-Hesse-Bahn führt von Weil der Stadt über die Ortsgemarkung Ostelsheim und Althengstett nach Calw und durchquert in diesem Abschnitt die zusammenhängende Ortsbebauung der jeweiligen Städte und Gemeinden.

Im Rahmen des gegenständlichen Planfeststellungsverfahrens „Diverse Eisenbahnkreuzungs- und Verkehrsstationsmaßnahmen“ sind folgende Baumaßnahmen, eingeteilt in sog. Planfeststellungsinseln (PFI), vorgesehen:

PFI 1 - BÜ Malersbuckel: Neubau Bahnübergang (ca. Km 26,76),

PFI 2 - BÜ Stuttgarter Straße: Rückbau / Neubau Bahnübergang (ca. Km 37,61),

PFI 3 - Hp Althengstett: Teilrückbau / Neubau Haltepunkt (ca. km 37,76 bis ca. km 37,95),

PFI 4 - EÜ Gottlieb-Braun-Straße: Rückbau / Neubau Eisenbahnüberführung (ca. km 38,56),

PFI 5 - Hp Calw-Heumaden : Rückbau / Neubau Haltepunkt, Neubau angrenzender Bahnübergang und gleisparalleler Gehweg (ca. km 41,05 bis ca. 41,9),

PFI 6 - BÜ Tälesbach: Neubau Bahnübergang (ca. km 44,65),

PFI 7 - Bhf. Calw-ZOB: Neubau Bahnhof (ca. km 47,24 bis ca. km 47,811).

In der folgenden Tabelle sind alle relevanten Immissionsorte zusammengestellt. Aufgeführt sind jeweils diejenigen mit dem kleinsten Abstand zum Gleis bzw. zur Baustelle.

Tabelle 1: Immissionsorte

Immissionsort	Bezug Strecke	Abstand Gleis	Bereichsart	Anmerkungen
PFI 1 BÜ Malersbuckel				
Ostelsheimer Steige 2	West	9 m	MI	
Malersbuckel 1	Ost	24 m	MI	
Malersbuckel 3	West	54 m	MI	
PFI 2 BÜ Stuttgarter Straße				
Stuttgarter Str. 1/1	Nord	37 m	MI	
Schlüsseläckerweg 2	Süd	37 m	WA	
Bahnhofstraße 44	Süd	48 m	WA	
Bahnhofstraße 42	Süd	51 m	WA	
PFI 3 HP Althengstett				
Bahnstraße 3	Südost	35/ 9 m	WA	Abstand Baustelle/ Gleis; ehemaliges Empfangsgebäude
Sonnenstraße 17	Süd	59 m	WA	
PFI 4 EÜ Gottlieb-Braun-Straße				
Riedstraße 2	Süd	25 m	WA	
Dammstraße 30	Süd	35 m	MI	
Gottlieb-Braun-Str. 23	Nord	50 m	MI	
PFI 5 HP Calw-Heumaden				
Breite Heerstraße 1	Nord	10 m	MI	
Breite Heerstraße 2	Nord	40 m	MI	
Breite Heerstraße 10	Nord	36 m	MI	
Breite Heerstraße 17/3	Nordost	37 m	WA	
Am Rollgraben 9	Nordost	20 m	WA	
Im Streckenäckerle 41	West	30 m	WA	
PFI 6 BÜ Tälesbach				
Waldstraße 44	Ost	51/ 10 m	Außenbereich (MI)	Abstand Baustelle/ Gleis
PFI 7 Bhf. Calw-ZOB				
Am Kapellenberg 2	Ost	32/ 16 m	WA	Abstand Baustelle/ Gleis
Am Kapellenberg 4	Ost	24 m	WA	
Bischofstraße 28	West	32 m	MI	
Hengstetter Gäßle 3	West	27 m	MI	Abstand Baustelle
Hengstetter Steige 11	Ost	8 m	WA	Abstand Baustelle
Hengstetter Steige 7	Ost	24 m	WA	Abstand Baustelle

3.3 Baubetrieb und erschütterungstechnische Parameter

3.3.1 Allgemeines zum Baubetrieb

Die Angaben zum geplanten Baubetrieb wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Da die Bahnstrecke derzeit nicht befahren wird, können sämtliche Arbeiten wochentags tagsüber in der Zeit zwischen 07:00 und 20:00 Uhr durchgeführt werden. Während der konkreten Bauausführung können allerdings Abweichungen vom prognostizierten Bauzeitenplan eintreten.

Die Angaben zum Bodenuntergrund wurden den einzelnen Bodengutachten entnommen.

Die Arbeiten zur Sanierung des Gleiskörpers und des Oberbaus sind nicht Gegenstand der Planfeststellungen PFI 1 bis PFI 7. Somit sind diese Arbeiten nicht in dieser Untersuchung und Beurteilung enthalten.

3.3.2 PFI 1, Bahnübergang Malersbuckel

Folgende Arbeiten werden für den Neubau des Bahnübergangs durchgeführt:

- Neubau der Tragschicht, Fundamente und Kabeltiefbau am Bahnübergang.

Aus Sicht der Belastung durch Erschütterungen kommen folgende relevante Baumaschinen zum Einsatz:

- Rüttelplatte zur Verdichtung des Bauuntergrundes

Folgende, weitere Baumaschinen kommen zum Einsatz, die hinsichtlich der Erschütterungsbelastung untergeordnet sind:

- Lkw, Radlader, Bagger, Stromaggregat

Art des Untergrundes:

In diesem Bereich steht in einer Mächtigkeit von etwa 4 m Hanglehm bzw. Verwitterungslehm an, welcher auf dem verwitterten bis angewitterten Muschelkalk lagert. Hierbei handelt es sich um einen tonigen Schluff bzw. einen schluffigen Ton welcher z.T. steinige Komponenten aufweisen kann.

Das Material wurde als steif bis halbfest bestimmt.

3.3.3 PFI 2, Bahnübergang Stuttgarter Straße

Folgende Arbeiten sind für den Rückbau und den Neubau des Bahnüberganges erforderlich:

- Rückbau und Abbruch des Belags und Unterbau am Bahnübergang.
- Neubau der Fundamente, Frostschutzschicht und des Asphalts am Bahnübergang.

Aus Sicht der Belastung durch Erschütterungen kommen folgende relevante Baumaschinen zum Einsatz:

- Rüttelplatte bzw. Vibrationswalze zur Verdichtung des Bauuntergrundes

Folgende, weitere Baumaschinen kommen zum Einsatz, die hinsichtlich der Erschütterungsbelastung untergeordnet sind:

- Lkw, Radlader, Bagger, Stromaggregat
- Asphaltfräse, Asphalt Schneidegerät, Asphaltfertiger, Walze

Art des Untergrundes:

In diesem Bereich steht der Hanglehm bzw. Verwitterungslehm in einer Mächtigkeit von bis zu 5 m und bereichsweise der Schwemtlehm mit einer Schichtmächtigkeit von bis zu 4 m. Bei diesem Material handelt es sich um einen kiesigen, feinsandigen, tonigen Schluff bzw. um einen steinigen, sandigen, schwach schluffigen, schwach tonigen Kies.

Das Material besitzt eine überwiegend weiche Konsistenz.

3.3.4 PFI 3, Haltepunkt Althengstett

Folgende Arbeiten sind für den Rückbau und den Neubau des Haltepunktes erforderlich:

- Rückbau und Abbruch der alten Bahnsteigkanten am Haltepunkt Althengstett.
- Neubau der Bahnsteigkanten, -flächen und Erdarbeiten am Haltepunkt.

Aus Sicht der Belastung durch Erschütterungen kommen folgende relevante Baumaschinen zum Einsatz:

- Rüttelplatte zur Verdichtung des Bauuntergrundes

Folgende, weitere Baumaschinen kommen zum Einsatz, die hinsichtlich der Erschütterungsbelastung untergeordnet sind:

- Lkw, Radlader, Bagger, Stromaggregat

Art des Untergrundes: Der Untergrund entspricht dem aus PFI3.

3.3.5 PFI 4, Eisenbahnüberführung Gottlieb-Braun-Straße

Folgende Arbeiten sind für den Rückbau und den Neubau der Eisenbahnüberführung erforderlich:

- Herausheben des Überbaus sowie Rückbau und Abbruch der Widerlager und des Straßenbelags
- Neubau des Überbaus, Widerlagers, Straßenbelags und der Böschungstreppe.

Aus Sicht der Belastung durch Erschütterungen kommen folgende relevante Baumaschinen zum Einsatz:

- Rüttelplatte zur Verdichtung des Bauuntergrundes

Folgende, weitere Baumaschinen kommen zum Einsatz, die hinsichtlich der Erschütterungsbelastung untergeordnet sind:

- Lkw und Radlader, Bagger, Meißelbagger, Betonmischer, Pumpenanlage, Stromaggregat
- Asphaltbearbeitungsmaschinen, Walze

Art des Untergrundes: Der Untergrund entspricht dem aus PFI3.

3.3.6 PFI 5, Haltepunkt Calw-Heumaden

Folgende Arbeiten sind für den Rückbau und den Neubau des Haltepunktes erforderlich:

- Rückbau und Abbruch der Bahnsteigkante, -fläche, Mauer und des Gehwegs am Haltepunkt Calw-Heumaden.
- Neubau der Bahnsteigkante, -fläche und Einbau der BÜ-Eindeckung am Haltepunkt.
- Neubau des Entwässerungsgrabens, Geh- und Radweg sowie der Stützwand am Haltepunkt Calw-Heumaden.

Aus Sicht der Belastung durch Erschütterungen kommen folgende relevante Baumaschinen zum Einsatz:

- Rüttelplatte zur Verdichtung des Bauuntergrundes

Folgende, weitere Baumaschinen kommen zum Einsatz, die hinsichtlich der Erschütterungsbelastung untergeordnet sind:

- Lkw und Radlader, Bagger, Meißelbagger, Betonmischer, Stromaggregat

Art des Untergrundes:

In diesem Bereich wurden in einigen Bereichen Auffüllungen mit Mächtigkeiten bis zu 5 m angetroffen. Der gemischtkörnige Verwitterungsschutt und der sonst zum Ziegelbach hin anstehende Schwemmlehm besitzen in einigen Bereichen Mächtigkeiten von 3 m.

Das Material besitzt eine weiche bis feste Konsistenz.

3.3.7 PFI 6, Bahnübergang Tälesbach

Folgende Arbeiten sind für den Rückbau und den Neubau des Bahnüberganges erforderlich:

- Rückbau und Abbruch der Asphaltfläche im Bereich Tälesbach in Calw.
- Neubau der Tragschicht, Fundamente und Kabeltiefbau am Bahnübergang.

Aus Sicht der Belastung durch Erschütterungen kommen folgende relevante Baumaschinen zum Einsatz:

- Rüttelplatte zur Verdichtung des Bauuntergrundes

Folgende, weitere Baumaschinen kommen zum Einsatz, die hinsichtlich der Erschütterungsbelastung untergeordnet sind:

- Lkw und Radlader, Bagger, Meißelbagger, Stromaggregat
- Asphaltscheidegerät

Art des Untergrundes:

In diesem Bereich konnte eine bis zu 25,5 m mächtige Schicht bestehend aus Bahndammauffüllung und Verwitterungsschutt angetroffen werden, welche auf den Gesteinsformationen des Oberen und Mittleren Buntsandsteins aufliegt. Bei dem Verwitterungs- und Hangschutt des Buntsandsteins handelt es sich um Schluff, Sand oder Kies mit variablen Anteilen an Ton, Schluff, Sand, Kies und Steinen.

Die Konsistenz des Verwitterungsschutts reicht von steif bis halbfest.

3.3.8 PFI 7, Bahnhof Calw-ZOB

Folgende Arbeiten sind für den Rückbau und den Neubau des Bahnhofes erforderlich:

- Rückbau der Gleisanlage des Bahnhofs Calw-ZOB.
- Neubau der Gleisanlage inklusive Bahngraben des Bahnhofs Calw-ZOB.
- Neubau der Bahnsteigkante und Tiefenentwässerung des Bahnhofs Calw-ZOB.
- Neubau des Rettungswegs, der Treppen und Aufzugsanlage des Bahnhofs Calw-ZOB.
- Neubau der Böschungssicherung des Bahnhofs Calw-ZOB.

Aus Sicht der Belastung durch Erschütterungen kommen folgende relevante Baumaschinen zum Einsatz:

- Rüttelplatte zur Verdichtung des Bauuntergrundes

Folgende, weitere Baumaschinen kommen zum Einsatz, die hinsichtlich der Erschütterungsbelastung untergeordnet sind:

- Lkw, Radlader, Bagger, Stromaggregat, Betonmischer, Pumpenanlage, Mobilkran, Trennschleifmaschinen
- Asphaltbearbeitungsmaschinen, Walze

Art des Untergrundes:

In diesem Bereich liegen 2 – 5 m mächtige Schichten Verwitterungsschutt über dem Mittleren Buntsandstein mit mehr als 200 m Mächtigkeit an. Bei dem Verwitterungsschutt handelt es sich um in situ verwitterten, zum Teil abgerutschten und umgelagertes Buntsandsteinmaterial des Mittleren und Oberen Buntsandsteins. Das Material zeigt sich in den Aufschlüssen als roter, halbfester bis fester, schluffiger, kiesiger, stark sandiger Ton.

Das Material zeigt eine halbfeste bis feste, stellenweise auch steife Konsistenz bzw. Mitteldichte bis dichte Lagerung.

3.4 Bahnbetrieb und erschütterungstechnische Parameter

3.4.1 Verkehrsbelastung

In den untersuchten Abschnitten der Strecke Weil der Stadt - Calw beträgt die Verkehrsbelastung für beide Fahrtrichtungen zusammen:

$$N = 58 \text{ Züge am Tage und } 10 \text{ Züge in der Nacht.}$$

Die Höchstgeschwindigkeit beträgt auf der Strecke 100 km/h.

3.5 Normen, Grundlagen und Bewertung

Gemäß § 18 S. 2 Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) sind bei der Planfeststellung die von dem Vorhaben berührten öffentlichen und privaten Belange einschließlich der Umweltverträglichkeit im Rahmen der Abwägung zu berücksichtigen. Die Planfeststellungsbehörde hat hiernach eine mögliche Erschütterungsproblematik, die sich aus dem Vorhaben für betroffene Grundstückseigentümer und Anwohner ergibt, in die Abwägung einzustellen und ihrer Bedeutung und objektiven Wichtigkeit entsprechend zu behandeln.

Nach § 74 Abs. 2 S. 2 Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) i. V. m. § 18 S. 3 AEG hat die Planfeststellungsbehörde dem Träger eines Vorhabens Vorkehrungen oder die Errichtung und Unterhaltung von Anlagen aufzuerlegen, die zum Wohl der Allgemeinheit oder zur Vermeidung nachteiliger Wirkungen auf Rechte anderer erforderlich sind. Hiervon erfasst sind auch nachteilige Wirkungen, die durch Erschütterungen aufgrund des planfestgestellten Vorhabens entstehen.

„Nachteilige Wirkungen“ im Sinne des § 74 Abs. 2 S. 2 VwVfG gehen dabei von solchen Emissionen aus, die dem Einwirkungsbereich mit Rücksicht auf seine Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit nicht mehr zugemutet werden können. In Bezug auf die Einwirkungen auf Menschen ist entscheidend, ob die Verstärkung der Erschütterung spürbar ist und insoweit den Aufenthalt von Menschen in den betroffenen Räumen zusätzlich beeinträchtigt. Die Wahrnehmbarkeitsschwelle wird von Fachkreisen und Rechtsprechung bei einer Erhöhung der Vorbelastung um 25 % gesehen (vgl. BVerwG, Urteil v. 21. Dezember 2010 – 7 A 14/09 –, juris, Rn. 30).

Entsprechend der Rechtsprechung zum Verkehrslärm kommt es bei der Vorbelastung nicht auf die tatsächliche Ausnutzung des Schienenweges, sondern auf dessen rechtlich zulässige Ausnutzbarkeit an (vgl. BVerwG, Beschl. v. 18. Dezember 2017 – 3 B 15/16 –, juris, Rn. 27, 26). Hinsichtlich der betriebsbedingten Erschütterungen kann ein Anspruch auf Vorsorgemaßnahmen hiernach dem Grunde nach nur für jene Bereiche bestehen, für welche analog zur Vorgehensweise im Bereich des Verkehrslärms, das Bestehen einer „wesentliche Änderung“ anzunehmen ist.

Unabhängig hiervon erstreckt sich die vorliegende Untersuchung nach Maßgabe der Scoping-Entscheidung des RP Karlsruhe vom 24. Mai 2018 auf sämtliche Planfeststellungseinseln. Darüber hinaus wird in dem Gutachten zugunsten der Betroffenen auf eine Berücksichtigung der bestehenden Vorbelastung verzichtet.

Eine Ausführungsverordnung analog der Verkehrslärmschutzverordnung (16.BImSchV) liegt für die Umwelteinwirkung „Erschütterung“ nicht vor. Allerdings ist bei der Bewertung der Zumutbarkeit der vorhandene technisch-wissenschaftliche Sachverstand heranzuziehen, der insbesondere in technischen Regelwerken zum Ausdruck kommt. Als Beurteilungsgrundlage kann daher die DIN 4150, Teil 2 "Beurteilung der Auswirkung von Erschütterung auf den Menschen" und Teil 3 "Beurteilung der Auswirkung von Erschütterung auf Bauwerke" herangezogen werden. Als Erschütterungen werden mechanische Schwingungen fester Körper mit

potentiell belästigender Wirkung bezeichnet. Art und Grad der individuellen Beeinträchtigung durch Erschütterungen hängen vom Ausmaß der Erschütterungsbelastung und verschiedenster situativer Faktoren ab. Beispielfhaft seien genannt:

- Stärke der Schwingungen (Schwingstärke, KB-Wert)
- Einwirkungsdauer
- Häufigkeit des Auftretens
- Art der Erschütterungsquelle (Sichtkontakt, Hörkontakt,...)
- Wohlbefinden der Personen
- Grad der Gewöhnung
- Art der Beschäftigung

Erschütterungen können auch potentiell schädigend auf Gebäude wirken. Auch hier müssen einige weitere Faktoren berücksichtigt werden. Genannt seien z.B.:

- Art des Bauwerks
- Alter des Bauwerks
- Dauer der Einwirkungen
- Frequenzbereich der Einwirkungen.

Die Abschätzung der Erschütterungen bzw. die Beurteilung der abgeschätzten Erschütterungen erfolgt im Hinblick auf die Auswirkungen auf den Menschen nach DIN 4150 Teil 2 und den Auswirkungen auf Gebäude nach DIN 4150 Teil 3.

3.5.1 Bauphase

Bei der Durchführung von Baumaßnahmen im Bestand ist die DIN 4150 Teil 3 in jedem Fall zu beachten. Die dort angegebenen Anhaltswerte dienen dem Erhalt der Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken. Diese Werte sind grundsätzlich einzuhalten. Werden die Anhaltswerte eingehalten, so treten Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes nach den bisherigen Erfahrungen nicht auf. Werden diese Werte überschritten, so folgt daraus nicht, dass Schäden auftreten müssen.

Bei der vorliegenden Gebäudestruktur werden die Anhaltswerte nach DIN 4150 Teil 3, Tabelle 1 und Tabelle 4, Zeile 2 angesetzt. Damit ergeben sich dann die maximalen Schwingungspegel aus dem Baustellenbetrieb.

Tabelle 2: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeiten zur Beurteilung von Erschütterungen nach DIN 4150 Teil 3

	Schwinggeschwindigkeit auf dem Fundament $v_{i,max}$			Schwinggeschwindigkeit auf der Decke, alle Frequenzen v^D	
	1 - 10 Hz	10 – 50 Hz	50 – 100 Hz	horizontal	vertikal
Wohngebäude, kurzzeitige Erschütterungen	5 mm/s	5-15 mm/s	15-20 mm/s	15 mm/s	20 mm/s
Wohngebäude, Dauererschütterungen				5 mm/s	10 mm/s

Die DIN 4150, Teil 2 "Beurteilung der Auswirkung von Erschütterung auf den Menschen", enthält Angaben für die Beurteilung von Erschütterungen, die auf den Menschen in Gebäuden wirken. Neben den Berechnungsvorschriften zur Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke sind in der Norm auch Anhaltswerte angegeben, die eine Beurteilung von Erschütterungen ermöglichen.

Grundlage der Bewertung sind die beiden Beurteilungsgrößen KB_{Fmax} , die maximal bewertete Schwingstärke und KB_{FTr} , die Beurteilungsschwingstärke (Mittelungswert). Im ersten Schritt ist der KB_{Fmax} -Wert mit dem unteren Anhaltswert A_u zu vergleichen. Ist KB_{Fmax} kleiner, so ist die Anforderung der Norm eingehalten; ist er größer, so ist der KB_{FTr} mit dem Anhaltswert A_r zu vergleichen. Liegt der KB_{FTr} -Wert oberhalb des Anhaltswertes A_r sind Schutzmaßnahmen durchzuführen.

Tabelle 3: Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen nach DIN 4150 Teil 2 (Beurteilung der KB-Werte)

Dauer	≤ 1 Tag			6 Tage bis 26 Tage			26 Tage bis 78 Tage		
	A_u	A_r	A_o	A_u	A_r	A_o	A_u	A_r	A_o
Stufe 1	0,8	0,4	5	0,4	0,3	5	0,3	0,2	5
Stufe 2	1,2	0,8	5	0,8	0,6	5	0,6	0,4	5
Stufe 3	1,6	1,2	5	1,2	1,0	5	0,8	0,6	5

Die in der Tabelle angegebenen Stufen sind wie folgt definiert:

- Stufe 1: bei deren Unterschreitung auch ohne besondere Vorinformation nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist
- Stufe 2: bei deren Unterschreitung ebenfalls noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist, falls angegebene Maßnahmen ergriffen werden
- Stufe 3: bei deren Überschreitung die Einwirkungen unzumutbar sind. In diesem Fall sind besondere Maßnahmen notwendig.

Die möglichen Maßnahmen, u.a. Information der Betroffenen, baubetriebliche Maßnahmen, Nachweis der tatsächlichen Erschütterungen, sind in Kapitel 5.3 beschrieben (siehe auch DIN 4150, Teil 2, Abschnitt 6.5.4.3.

3.5.2 Betriebsphase

Die DIN 4150, Teil 2 "Beurteilung der Auswirkung von Erschütterung auf den Menschen", enthält Angaben für die Beurteilung von Erschütterungen, die auf den Menschen in Gebäuden wirken. Neben den Berechnungsvorschriften zur Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke sind in der Norm auch Anhaltswerte angegeben, die eine Beurteilung von Erschütterungen ermöglichen.

Der Anwendungsbereich der DIN 4150, Teil 2 ist jedoch bei der Beurteilung des Schienenverkehrs eingeschränkt. Anzuwenden ist die Norm nur bei neu zu errichtenden Fern- und S-Bahnstrecken. Für bestehende oberirdisch geführte Strecken werden in der Norm keine Aussagen gemacht. In dieser Untersuchung werden jedoch diese Anhaltswerte als Bewertungsgrundlage herangezogen. Die folgende Tabelle enthält die nach DIN 4150, Teil 2 zur Beurteilung in Frage kommenden Anhaltswerte für den ÖPNV-Schienenverkehr.

Grundlage der Bewertung sind die beiden Beurteilungsgrößen KB_{Fmax} , die maximal bewertete Schwingstärke, und KB_{FTr} , die Beurteilungsschwingstärke (Mittelungswert). Im ersten Schritt ist der KB_{Fmax} -Wert mit dem unteren Anhaltswert A_u zu vergleichen. Ist KB_{Fmax} kleiner, so ist die Anforderung der Norm eingehalten; ist er größer, so ist der KB_{FTr} mit dem Anhaltswert A_r zu vergleichen. Liegt der KB_{FTr} -Wert oberhalb des Anhaltswertes A_r sind Schutzmaßnahmen durchzuführen. Der obere Anhaltswert A_o hat beim Schienenverkehr die Bedeutung, dass die Ursache dieser hohen Werte zu prüfen und zu beheben ist.

Für die Beurteilung der vorliegenden Situation wurden die Anhaltswerte für ein Wohn-/ bzw. Mischgebiet zugrunde gelegt; es gelten die in Tabelle 2 grau markierten Werte.

Tabelle 4: Anhaltswerte der DIN 4150-2 für neue, oberirdische Schienenstrecken des ÖPNVs

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 Bereitschaftspersonal untergebracht sind (vergl. Industriegebiete nach BauNVO, §9)	0,6	6	0,3	0,3	0,6	0,225
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergl. Gewerbegebiete nach BauNVO, §8)	0,45	6	0,225	0,2	0,6	0,15
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergl. Kerngebiete, Mischgebiete, Dorfgebiete nach BauNVO, §7, §6, §5)	0,3	5	0,15	0,225	0,6	0,105
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet, allgemeine Wohngebiete, Kleinsiedlungsgebiete nach BauNVO, §4, §3, §2)	0,225	3	0,105	0,15	0,6	0,075
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. Krankenhäuser, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0,15	3	0,075	0,1	0,3	0,075

*) nur für Schienenverkehr: $A_o = 0,6$, für ÖPNV gilt: A_u, A_r sind um den Faktor 1,5 gegenüber dem Schienenverkehr erhöht

Zur Beurteilung der Erschütterungen, die auf ein Bauwerk wirken, ist die DIN 4150, Teil 3 heranzuziehen. Diese Norm nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Minderung des Gebrauchswertes von Gebäuden (auch leichte Schäden wie Risse im Putz) nicht zu erwarten sind. Bei kurzzeitigen Bauwerkerschütterungen mit Schwinggeschwindigkeiten von 3 mm/s am Fundament bzw. 8 mm/s im obersten Geschoss treten Schäden nach bisheriger Erfahrung auch bei erschütterungsempfindlichen Bauten nicht

auf. Anhaltende Deckenschwingungen mit Schwinggeschwindigkeiten bis 10 mm/s führen ebenfalls erfahrungsgemäß nicht zu Schäden, auch wenn diese Schwingungen stark spürbar sind (siehe Tabelle 2).

4 Methodik der Berechnungen

4.1 Bauphase

Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurden von Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus, Dr.-Ing. Jochen Kaiser und Dr.-Ing. Florian Tom Würden 2007 Untersuchungen zu Bauwerks- und Bodenerschütterungen infolge Tiefenrüttelung durchgeführt. Die Auswertungen dieser Messungen hatte zum Ziel, Prognosegleichungen zur Abschätzung der Erschütterungsintensität zu entwickeln (Theoretische Grundlagen in Heft 61 der IGBE Universität Hannover).

Auf Basis von 155 Messreihen von Erschütterungen wurde folgende Prognosegleichung für die maximale Komponente der Fundamentalschwinggeschwindigkeit $v_{i,max}^F$ entwickelt:

$$v_{i,max}^F = \frac{K \cdot \sqrt{E}}{r} \quad (\text{Gleichung 1})$$

mit $v_{i,max}^F$ [mm/s] - maximale Komponente der Fundamentalschwinggeschwindigkeit

r [m] - Abstand des Fundaments zur Erschütterungsquelle

E = W / f [k Nm] – maximale Vibrationsenergie = Geräteleistung / Vibrationsfrequenz

K – Konstante aus Messergebnisse eruiert [m/√kg]

G – Vibrationsenergie (siehe folgende Tabelle).

Die genannte Gleichung hat sich als geeignet erwiesen, die Fundamentalschwinggeschwindigkeiten infolge Vibrationen von Baugeräten zu prognostizieren. Die Auswertung von Messungen lieferten K-Werte, welche abhängig von vorgegebenen Überschreitungswahrscheinlichkeiten angegeben werden können.

Tabelle 5: Empirische K-Werte (K-50, K-2.25) mit 50% bzw. 2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit für verschiedene Geräte

Nr.	Geräteart	Eigenschaften	Typische Vibrationsenergie	K-50-Wert	K-2.25-Wert
1	Vibrationsrammung	30-55 HZ	0,5 – 6 kNm	K = 8,0 m/√kg	K = 18,5 m/√kg
2	Schlagrammung (Dieselbär)	< 1 Hz	20 – 200 kNm	K = 2,5 m/√kg	K = 3,8 m/√kg
3	Schlagrammung (Freifallbär)	0,5 – 1 Hz	20 – 300 kNm	---	K = 5,5 m/√kg
4a	Vibrationsplatte Ammann AVP 3020-Hatz	200 kg; 4,5 kW; 50 Hz	0,05 kNm	K = 8,1 m/√kg	K = 20,7 m/√kg
4b	Vibrationsplatte Ammann AVH 6030	600 kg; 10 kW; 50 Hz	0,15 kNm	K = 8,1 m/√kg	K = 20,7 m/√kg
5a	Vibrationswalze Ammann RW 1800 S	1,8 to; 20 kW; 34 Hz	0,6 kNm	K = 7,6 m/√kg	K = 19,0 m/√kg

Nr.	Geräteart	Eigenschaften	Typische Vibrationsenergie	K-50-Wert	K-2.25-Wert
5b	Vibrationswalze Vibromax VM 46 D	4,9 to; 45 kW; 32 Hz	1,4 kNm	K = 8,0 m/√kg	K = 20,3 m/√kg
5c	Vibrationswalze IR-ABG DD 70	6,8 to; 60 kW; 50 Hz	1,2 kNm	K = 10,3 m/√kg	K = 25,9 m/√kg

Neben der Ausbreitung/ Dämpfung der Erschütterungen durch den Boden und damit durch die Entfernung, spielt auch die Übertragung der Erschütterungen vom Fundament auf die Wohnbereiche eine wichtige Rolle. Somit ist die Art des Bauwerkes von entscheidender Bedeutung. Gebäude mit Holzbalkendecken weisen z.B. Deckenresonanzen i.d.R. unter 20 Hz auf, während die Resonanzfrequenzen bei Betondecken eher zwischen 25 und 30 Hz liegen – eine entscheidende Größe bei Festlegung von Vibrationserzeuger.

Die Erschütterungsübertragungsfaktoren sind dem Körperschall und Erschütterungsschutz, Leitfaden für Planer der Deutsche Bahn AG entnommen.

Tabelle 6: Frequenzabhängige Übertragungsfaktoren Fundament – Geschossdecke bei einer Resonanzfrequenz f0

Terzen f/f0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	2,0	2,5	3,1	3,9	5,0
Übertragung Holzdecken dB	0,5	1,0	1,6	2,2	2,5	5,0	10,0	15,5	8,0	3,3	1,0	-1,0	-1,0	-3,5	-4,5
Faktor	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,8	3,2	5,9	2,5	1,5	1,1	0,9	0,9	0,7	0,6
Übertragung Betondecken dB	-1,1	-1,1	-0,9	0,0	0,6	0,9	5,2	13,0	6,3	0,7	-2,1	-2,2	-2,7	-1,1	0,0
Faktor	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,8	4,5	2,1	1,1	0,8	0,8	0,7	0,9	1,0

Zur Bewertung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden ist der KB-Wert die maßgebliche Größe. Der KB-Wert ergibt sich aus dem unbewerteten Erschütterungssignal durch eine Frequenzbewertung (Filterung). Bedingt durch die Eigenschaft der Wohnraumdecken mit verschiedenen Resonanzfrequenzen ergeben sich verschiedene Übertragungsfaktoren. Als Basis dieser Prognoseberechnung wurde ein Berechnungsfaktor von 0,96 gegenüber der Schwinggeschwindigkeit (v) ermittelt:

$$KB = 0,96 * v.$$

Die Erschütterungsemissionen und deren Fortleitung auf das Gebäude-Fundament wurden mit einem Programmpaket GGU-Vibration der GGU-Software, Berechnung von Bauwerkserschütterungen nach M. Achmus, J. Kaiser und F. Tom Wörden, berechnet.

4.2 Betriebsphase

Die Prognosen wurden mit einem frequenzabhängigen Modell durchgeführt. Dieses entspricht dem aktuellen Stand der Technik und wurde auf die vorliegende Situation und Verhältnisse angepasst.

Die Erstellung von Erschütterungsprognosen erfordert Kenntnisse von der Entstehung der Erschütterungen, von den Ausbreitungseigenschaften im Erdreich und von den Schwingungseigenschaften der Häuser. Sie basiert auf folgende Größen:

- ein Emissionsspektrum (in Terzen), das die Ausgangswerte der Anregung darstellt (Emissionen einer Zugvorbeifahrt)
- der Übertragungsfunktion vom Anregungsort (Schiene) bis zum Gebäude
- der Übertragungsfunktion innerhalb der Gebäude.
- der Übertragungsfunktion von Maßnahmen zur Immissionsminderung (falls notwendig)
- der Berechnung der Immissionsspektren und damit der Belastung am Immissionsort.

Verschiedene Umrechnungsfaktoren und Verteilfunktionen stützen sich im Wesentlichen auf umfangreiche Messdaten und entsprechen dem Stand der Technik (z.B. Umrechnung Schwingschnelle auf KB_{FTI} , Verteilungsfunktion für KB_{FTm} , Berechnung des sekundären Luftschalls aus der Raumschwingung). Mit den Zugzahlen des zukünftigen Betriebes wurden die Beurteilungsgrößen der Erschütterung KB_{FTr} und, wenn erforderlich, des sekundären Luftschalls (Vorbeifahrtspegel) tags und nachts berechnet.

Das Emissionsspektrum wurde auf Basis verschiedener Messungen ermittelt, welche die Situation gut nachbilden, wie z.B. Zugarten, Geschwindigkeitsbereich, Art des Oberbaus und bauliche Gestaltung. Basis des Emissionsspektrums sind Messungen von Nahverkehrszügen/ S-Bahnen verschiedener Bauart. Die Ergebnisse wurden an eine Zuggeschwindigkeit von 100 km/h angepasst. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 7: Empirische Schwinggeschwindigkeiten in einem Abstand von 8 m zur Gleismitte für Nahverkehrszüge/ S-Bahnen mit 100 km/h (Terzspektren)

Terzen Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Schwinggeschwindigkeit dB	29,5	33,7	39,2	47,7	45,5	56,1	57,3	56,5	58,9	58,8	55,6	57,4	52,3	47,5	39,0

In der folgenden Tabelle ist die Transfer-Funktion zur Berechnung des Dämpfungsfaktors des Erdreiches dargelegt.

Tabelle 8: Transfer-Funktion zur Berechnung der Bodendämpfung vom Gleis bis zum Gebäude (Terzspektren)

Gleichung 2	$v_{i,max}^F = \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-n} \times e^{-\alpha \times (r-r_0)}$	
Mit	r	Abstand Gleismitte bis zum Gebäudefundament
	r0	= 8 m (Abstand des Emissionsspektrums)
	n	Exponent, abhängig von Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung
	$\alpha = 2 \pi \frac{D}{\lambda}$	Abklingkoeffizient [m^{-1}]
	D	Dämpfungsgrad in %
	$\lambda = c / f$	Wellenlänge [m]
	c	Wellengeschwindigkeit [m/s]
	f	Wellenfrequenz [Hz]
Mit	D = 1%	Erfahrungswert
	c = 200 m/s	Oberflächenwelle
	n = 0,3	gemäß DIN 4150-1 zwischen 0,2 und 0,4

Beispielhafte Transfer-Spektren für 10 m bis 40 m															
Terzen Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Abnahme 10 m	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-1,0	-1,1
Abnahme 20 m	-2,5	-2,6	-2,6	-2,6	-2,7	-2,8	-2,9	-3,0	-3,2	-3,4	-3,7	-4,0	-4,5	-5,0	-5,7
Abnahme 30 m	-3,7	-3,7	-3,8	-3,9	-4,0	-4,2	-4,4	-4,6	-4,9	-5,3	-5,8	-6,4	-7,2	-8,2	-9,4
Abnahme 40 m	-4,5	-4,6	-4,7	-4,9	-5,1	-5,3	-5,6	-5,9	-6,4	-6,9	-7,7	-8,6	-9,7	-11,2	-12,9

Neben der Übertragung über den Boden ist eine weitere Übertragung auf das Gebäudefundament zu berücksichtigen. Die Übertragungsfaktoren sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 9: Übertragungsfunktion Erdboden - Fundament

Terzen Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Faktor dB	0,2	1,7	1,7	1,6	0,1	-1,6	-4,0	-4,3	-4,5	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-4,3	-4,0

Neben der Ausbreitung/ Dämpfung der Erschütterungen durch den Boden spielt auch die Übertragung der Erschütterungen vom Fundament auf die Wohnbereiche eine wichtige Rolle. Somit ist die Art der Decke und deren Eigenfrequenz (Resonanzfrequenz) ein entscheidender Parameter. Die Deckenresonanzen liegen bei Gebäuden mit Holzbalkendecken unter 20 Hz und bei Betondecken eher zwischen 25 und 30 Hz. Die Übertragungsfaktoren auf die Wohnraumdecke, gemäß der folgenden Tabelle, sind dem Leitfaden für Planer, Körperschall und Erschütterungsschutz der Deutsche Bahn AG entnommen.

Tabelle 10: Übertragungsfunktion Fundament – Geschossdecke mit einer Resonanzfrequenz f_0

Terzen f/f_0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	2,0	2,5	3,1	3,9	5,0	6,3
Faktor dB	3,0	3,2	3,8	4,6	5,9	6,9	13,5	19,4	13,8	8,2	7,0	6,3	5,4	5,6	5,6	5,7

Grundlage der Bewertung für die Erschütterungsauswirkungen auf den Menschen in den Gebäuden sind die beiden Beurteilungsgrößen KB_{Fmax} , die maximal bewertete Schwingstärke, und KB_{FT} , die Beurteilungsschwingstärke (Mittelungswert). Diese werden entsprechend den Vorgaben der DIN 4150 aus den Schwinggeschwindigkeiten berechnet.

5 Ergebnisse und Bewertung der Bautätigkeit

5.1 Ergebnisse der Berechnung der Erschütterungsbelastungen

Auf Grundlage der dargestellten Berechnungsmethoden, Abschnitt 4.1, ergeben sich die in folgenden Tabellen aufgezeigten Ergebnisse für die Schwinggeschwindigkeiten am Fundament und an einer Wohnraumdecke sowie für die KB-Werte für verschiedene Baugeräte und für die relevanten Wohngebäude.

Die Tabelle 11 zeigt verschiedene Baugeräte als Erschütterungsquellen mit ihren Daten und ihren Einsatzorten. Die angeführte Gerätenummer bezieht sich dabei auf die Geräte der Tabelle 5 im Abschnitt 4.1.

Die verschiedenen Vibrationswalzen, die ggf. in Abschnitt PFI2 BÜ Stuttgarter Straße eingesetzt werden sollen (Geräte-Nr. 5a, 5b, 5c), stellen Alternativen dar.

Tabelle 11: Zusammenstellung verschiedener Baugeräte und deren Parameter

Immissionsort	Bezug Strecke	Be-reichs-art	Abstand Gleis/Quelle	Geräte Nr.	Baugerät		Leis-tung	Fre-quenz
			m				kW	Hz
PFI 1 BÜ Malersbuckel								
Ostelsheimer Steige 2	West	MI	9	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Malersbuckel 1	Ost	MI	24	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Malersbuckel 3	West	MI	54	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
PFI 2 BÜ Stuttgarter Straße								
Stuttgarter Str. 1/1	Nord	MI	37	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
				5a	Vibrationswalze	1,8 to	20	34
				5b	Vibrationswalze	4,9 to	45	32
				5c	Vibrationswalze	6,8 to	60	50
Schlüsseläckerweg 2	Süd	WA	37	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
			37	5a	Vibrationswalze	1,8 to	20	34
				5b	Vibrationswalze	4,9 to	45	32
				5c	Vibrationswalze	6,8 to	60	50
Bahnhofstraße 44	Süd	WA	48	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
			48	5a	Vibrationswalze	1,8 to	20	34
				5b	Vibrationswalze	4,9 to	45	32
				5c	Vibrationswalze	6,8 to	60	50
Bahnhofstraße 42	Süd	WA	51	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
			51	5a	Vibrationswalze	1,8 to	20	34
				5b	Vibrationswalze	4,9 to	45	32
				5c	Vibrationswalze	6,8 to	60	50
PFI 3 HP Althengstett								
Bahnstraße 3	Südost	WA	35	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Sonnenstraße 17	Süd	WA	59	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
PFI 4 EÜ Gottlieb-Braun-Straße								
Riedstraße 2	Süd	WA	25	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Dammstraße 30	Süd	MI	35	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Gottlieb-Braun-Str. 23	Nord	MI	50	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
PFI 5 HP Calw-Heumaden								
Breite Heerstraße 1	Nord	MI	10	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Breite Heerstraße 2	Nord	MI	40	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Breite Heerstraße 10	Nord	MI	36	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Breite Heerstraße 17/3	Nordost	WA	37	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Am Rollgraben 9	Nordost	WA	20	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Im Streckenäckerle 41	West	WA	30	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
PFI 6 BÜ Tälesbach								

Immissionsort	Bezug Strecke	Be- reichs- art	Abstand Gleis/Quelle	Geräte Nr.	Baugerät		Leis- tung	Fre- quenz
			m				kW	Hz
Waldstraße 44	Ost	MI	51	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
PFI 7 Bhf. Calw-ZOB								
Am Kapellenberg 2	Ost	WA	32	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Am Kapellenberg 4	Ost	WA	24	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Bischofstraße 28	West	MI	32	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Hengstetter Gäßle 3	West	MI	27	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Hengstetter Steige 7	Ost	WA	24	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
Hengstetter Steige 11	Ost	WA	8	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55
				4a	Rüttelplatte	230 kg	4,5	90

In Tabellen 12 und 13 befinden sich Zusammenstellungen der Ergebnisse, die für die Bewertung hinsichtlich der Erschütterungsauswirkungen auf ein Gebäude bzw. auf Menschen in einem Gebäude relevant sind.

Gemäß der in Abschnitt 4.1 dargestellten Methodik findet man Werte mit einem Index „50%“ bzw. „98%“. Sie stellen Werte dar, die in 50% bzw. 98% aller Fälle, statistisch über alle Arten von Gebäuden, eingehalten werden. Damit bedeutet der 98%-Wert ein maximaler Wert, der in fast allen Gebäuden eingehalten wird. Zusätzlich zu den Prognosewerten sind die Anhaltswerte (Grenzwerte) dargestellt, die am entsprechenden Ort (Fundament/ Bodendecke) einzuhalten sind.

Bei einigen Gebäuden sind ergänzend Alternativen dargestellt, die sich wie folgt unterscheiden:

- 1) Einsatz von anderen Geräten mit anderen Leistungen (Geräte-Nr. 4a, 4b, 5a, 5b, 5c)
- 2) Unterschreitung, ob eine Beton- oder eine Holzbalkendecke vorliegt.

Bei der Berechnung und Bewertung wird davon ausgegangen, die Arbeiten mit Rüttelplatten bzw. Vibrationswalze nur an einem Tag (Werktag 7:00 bis 20:00 Uhr) über 12 Stunden stattfindet.

In Tabelle 12 ist eine Zusammenstellung der Ergebnisse, die für die Bewertung hinsichtlich der Erschütterungsauswirkungen auf ein Gebäude relevant sind. Aufgelistet sind die Schwinggeschwindigkeiten $v_{i,50}^F / v_{i,98}^F$ am Fundament bzw. auf einer Bodendecke $v_{i,50}^D / v_{i,98}^D$ und die entsprechenden Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3. Als Anhaltswert, der bei Fundamentalschwingungen eingehalten werden soll, wurde konservativ der Wert von 5 mm/s für kurzzeitige Einwirkungen angesetzt; bei höheren Frequenzen wäre dieser Wert größer.

In Tabelle 13 findet man eine Zusammenstellung der Ergebnisse, die für die Bewertung hinsichtlich der Erschütterungsauswirkungen auf Menschen in einem Gebäude relevant sind. Dargestellt sind der KB_{FTmax} -Wert (maximal bewertete Schwingstärke) sowie die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} (Mittelungswert). Dem gegenüber stehen die entsprechenden Anhaltswerte der Stufe 2 für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen nach DIN 4150 Teil 2.

Stufe 2 bedeutet, dass bei der Unterschreitung der Anhaltswerte noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist, falls die angegebenen Maßnahmen ergriffen werden (siehe Kapitel 5.3).

Im Folgenden sind die Abkürzungen (Spaltenüberschriften) aus den Tabellen 12 und 13 erläutert:

Immissionsort	Adresse
Art Bebau.	Art des Bebauungsgebietes WA – Allgemeines Wohngebiet MI – Mischgebiet Außenbereich – bewertet wie ein Mischgebiet
Abstand Gleis/Quelle	Abstand des Gebäudes zum Gleis bzw. zur Baustelle mit der Erschütterungsquelle
Geräte Nr.	Nr. des Baugerätes; Referenz zu den Angaben in Tabelle 11
Baugerät	Name/ Art der Baumaschine/-gerätes mit Angabe des Gewichtes
Leistung	Leistung der Baumaschine/-gerätes in kW
Frequenz	Frequenz der Baumaschine/-gerätes in Hz
$v_{i,50}^F$	Schwinggeschwindigkeit auf dem Fundament, die bei 50% aller Gebäude auftritt
$v_{i,2.25}^F$	Schwinggeschwindigkeit auf dem Fundament, die bei 98% aller Gebäude auftritt bzw. die höchstens bei 2,25% aller Gebäude überschritten wird
A_F	Anhaltswert für die Schwinggeschwindigkeiten von Fundamenten (vertikal) zur Beurteilung von Erschütterungen, die auf das Gebäude wirken (DIN 4150 Teil 3); siehe Tabelle 2
Deckenart	Art der Bodendecke: Holzbalkendecke, Betondecke, etc.
F_{F-D}	Übertragungsfaktor der Schwingungen vom Fundament auf eine Wohnraumdecke
$v_{,50\%}^D$	Schwinggeschwindigkeit auf einer Wohnraumdecke, die bei 50% aller Gebäude auftritt
$v_{,98\%}^D$	Schwinggeschwindigkeit auf einer Wohnraumdecke, die bei 98% aller Gebäude auftritt bzw. die höchstens bei 2,25% aller Gebäude überschritten wird
A_D	Anhaltswert für die Schwinggeschwindigkeiten von Decken (vertikal) zur Beurteilung von Erschütterungen, die auf das Gebäude wirken (DIN 4150 Teil 3); siehe Tabelle 2
$KB_{T,50\%}$	KB-Wert tagsüber, der wahrscheinlich (zu 50%) eingehalten wird
$KB_{T,98\%}$	KB-Wert tagsüber, der in 98% aller Gebäude eingehalten wird
A_U Stufe 2	Unterer Anhaltswert zur Beurteilung der Beurteilungsschwingstärke; siehe Tabelle 3
Einsatzdauer	Einsatzdauer der Baumaschine in Stunden
$KB_{FT,50\%}$	die Beurteilungsschwingstärke (Mittelungswert), die wahrscheinlich (zu 50%) eingehalten wird
$KB_{FT,98\%}$	die Beurteilungsschwingstärke (Mittelungswert), die in 98% aller Gebäude eingehalten wird
A_r - Stufe 2	Anhaltswert zur Beurteilung der Beurteilungsschwingstärke (Mittelungswert); siehe Tabelle 3
Bewertung	Bewertung des Ergebnisses; Aussage, ob eine Überschreitung der Anhaltswerte vorliegt

Tabelle 12: Zusammenstellung der Ergebnisse hinsichtlich der Bewertung „Gebäude“

Immissionsort	Abstand Gleis/Quelle	Gerät Nr.	Baugerät		Leistung	Frequenz	v ^F _{i,50}	v ^F _{i,2,25}	A ^F	Deckenart	F _{F-D}	v ^D _{50%}	v ^D _{98%}	A ^D	Bewertung
	m				kW	Hz	mm/s	mm/s	mm/s			mm/s	mm/s	mm/s	
PFI 1 BÜ Malersbuckel															
Ostelsheimer Steige 2	9	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,38	0,98	5	Beton/ Holz	1,5	0,58	1,47	10	Keine Überschreitung
Malersbuckel 1	24	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,14	0,37	5	Beton/ Holz	1,5	0,22	0,55	10	Keine Überschreitung
Malersbuckel 3	54	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,06	0,16	5	Beton/ Holz	1,5	0,10	0,25	10	Keine Überschreitung
PFI 2 BÜ Stuttgarter Straße															
Stuttgarter Str. 1/1	37	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,09	0,24	5	Beton/ Holz	1,5	0,14	0,36	10	Keine Überschreitung
		5a	Vibrationswalze	1,8 to	20	34	0,16	0,39	5	Beton	1,5	0,24	0,59	10	Keine Überschreitung
		5b	Vibrationswalze	4,9 to	45	32	0,26	0,65	5	Holz	1,5	0,38	0,98	10	Keine Überschreitung
		5b	Vibrationswalze	4,9 to	45	32	0,26	0,65	5	Beton	4,5	1,15	2,93	10	Keine Überschreitung
		5c	Vibrationswalze	6,8 to	60	50	0,30	0,77	5	Beton	1,5	0,46	1,15	10	Keine Überschreitung
Schlüsseläckerweg 2	37	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,09	0,24	5	Beton/ Holz	1,5	0,14	0,36	10	Keine Überschreitung
	37	5a	Vibrationswalze	1,8 to	20	34	0,16	0,39	5	Beton	1,5	0,24	0,59	10	Keine Überschreitung
		5b	Vibrationswalze	4,9 to	45	32	0,26	0,65	5	Holz	1,5	0,38	0,98	10	Keine Überschreitung
		5b	Vibrationswalze	4,9 to	45	32	0,26	0,65	5	Beton	4,5	1,15	2,93	10	Keine Überschreitung
		5c	Vibrationswalze	6,8 to	60	50	0,30	0,77	5	Beton	1,5	0,46	1,15	10	Keine Überschreitung
Bahnhofstraße 44	48	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,07	0,18	5	Beton/ Holz	1,5	0,11	0,28	10	Keine Überschreitung
	48	5a	Vibrationswalze	1,8 to	20	34	0,12	0,30	5	Beton	1,5	0,18	0,46	10	Keine Überschreitung
		5b	Vibrationswalze	4,9 to	45	32	0,20	0,50	5	Holz	1,5	0,30	0,75	10	Keine Überschreitung
		5b	Vibrationswalze	4,9 to	45	32	0,26	0,65	5	Beton	4,5	0,89	2,26	10	Keine Überschreitung
		5c	Vibrationswalze	6,8 to	60	50	0,24	0,59	5	Beton	1,5	0,35	0,89	10	Keine Überschreitung
Bahnhofstraße 42	51	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,07	0,17	5	Beton/ Holz	1,5	0,10	0,26	10	Keine Überschreitung
	51	5a	Vibrationswalze	1,8 to	20	34	0,11	0,29	5	Beton	1,5	0,17	0,43	10	Keine Überschreitung
		5b	Vibrationswalze	4,9 to	45	32	0,19	0,47	5	Holz	1,5	0,28	0,71	10	Keine Überschreitung
		5b	Vibrationswalze	4,9 to	45	32	0,26	0,65	5	Beton	4,5	0,84	2,12	10	Keine Überschreitung
		5c	Vibrationswalze	6,8 to	60	50	0,22	0,56	5	Beton	1,5	0,33	0,83	10	Keine Überschreitung
PFI 3 HP Althengstett															
Bahnstraße 3	35	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,10	0,25	5	Beton/ Holz	1,5	0,15	0,38	10	Keine Überschreitung

Immissionsort	Abstand Gleis/Quelle	Gerät Nr.	Baugerät		Leistung	Frequenz	$v_{i,50}^F$	$v_{i,2,25}^F$	A^F	Deckenart	F_{F-D}	$v_{50\%}^D$	$v_{98\%}^D$	A^D	Bewertung
	m				kW	Hz	mm/s	mm/s	mm/s			mm/s	mm/s	mm/s	
Sonnenstraße 17	59	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,06	0,15	5	Beton/ Holz	1,5	0,09	0,22	10	Keine Überschreitung
PFI 4 EÜ Gottlieb-Braun-Straße															
Riedstraße 2	25	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,14	0,35	5	Beton/ Holz	1,5	0,21	0,53	10	Keine Überschreitung
Dammstraße 30	35	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,10	0,25	5	Beton/ Holz	1,5	0,15	0,38	10	Keine Überschreitung
Gottlieb-Braun-Str. 23	50	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,07	0,18	5	Beton/ Holz	1,5	0,10	0,26	10	Keine Überschreitung
PFI 5 HP Calw-Heumaden															
Breite Heerstraße 1	10	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,35	0,88	5	Beton/ Holz	1,5	0,52	1,32	10	Keine Überschreitung
Breite Heerstraße 2	40	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,09	0,22	5	Beton/ Holz	1,5	0,13	0,33	10	Keine Überschreitung
Breite Heerstraße 10	36	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,10	0,25	5	Beton/ Holz	1,5	0,14	0,37	10	Keine Überschreitung
Breite Heerstraße 17/3	37	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,09	0,24	5	Beton/ Holz	1,5	0,14	0,36	10	Keine Überschreitung
Am Rollgraben 9	20	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,17	0,44	5	Beton/ Holz	1,5	0,26	0,66	10	Keine Überschreitung
Im Streckenäckerle 41	30	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,12	0,29	5	Beton/ Holz	1,5	0,17	0,44	10	Keine Überschreitung
PFI 6 BÜ Tälesbach															
Waldstraße 44	51	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,07	0,17	5	Beton/ Holz	1,5	0,10	0,26	10	Keine Überschreitung
PFI 7 Bhf. Calw-ZOB															
Am Kapellenberg 2	32	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,11	0,28	5	Beton/ Holz	1,5	0,16	0,41	10	Keine Überschreitung
Am Kapellenberg 4	24	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,14	0,37	5	Beton/ Holz	1,5	0,22	0,55	10	Keine Überschreitung
Bischofstraße 28	32	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,11	0,28	5	Beton/ Holz	1,5	0,16	0,41	10	Keine Überschreitung
Hengstetter Gäßle 3	27	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,13	0,33	5	Beton/ Holz	1,5	0,19	0,49	10	Keine Überschreitung
Hengstetter Steige 7	24	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,14	0,37	5	Beton/ Holz	1,5	0,22	0,55	10	Keine Überschreitung
Hengstetter Steige 11	8	4b	Rüttelplatte	525 kg	10	55	0,43	1,10	5	Beton/ Holz	1,5	0,65	1,65	10	Keine Überschreitung

Tabelle 13: Zusammenstellung der Ergebnisse hinsichtlich der Bewertung „Menschen im Gebäude“

Immissionsort	Art Bau.	Abstand m Gleis/Quelle	Deckenart	Nr.	Baugerät		KB _{T,50%}	KB _{T,98%}	A _U Stufe 2	Einsatzdauer Std.	KB _{FTT,50%}	KB _{FTT,98%}	A _r Stufe 2	Bewertung
PFI 1 BÜ Malersbuckel														
Ostelsheimer Steige 2	MI	9	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,55	1,41	1,2	12	0,48	1,22	0,8	Keine Überschreitung
Malersbuckel 1	MI	24	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,21	0,53	1,2	12	0,18	0,46	0,8	Keine Überschreitung
Malersbuckel 3	MI	54	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,09	0,24	1,2	12	0,08	0,20	0,8	Keine Überschreitung
PFI 2 BÜ Stuttgarter Straße														
Stuttgarter Str. 1/1	MI	37	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,13	0,34	1,2	12	0,12	0,30	0,8	Keine Überschreitung
			Beton	5a	Vibrationswalze	1,8 to	0,23	0,57	1,2	12	0,20	0,49	0,8	Keine Überschreitung
			Holz	5b	Vibrationswalze	4,9 to	0,37	0,94	1,2	12	0,32	0,81	0,8	Keine Überschreitung
			Beton	5b	Vibrationswalze	4,9 to	1,11	2,81	1,2	1	0,28	0,70	0,8	Keine Überschreitung bei reduzierter Einsatzdauer
			Beton	5c	Vibrationswalze	6,8 to	0,44	1,10	1,2	8	0,31	0,78	0,8	Keine Überschreitung bei reduzierter Einsatzdauer
Schlüsseläckerweg 2	WA	37	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,13	0,34	1,2	12	0,12	0,30	0,8	Keine Überschreitung
		37	Beton	5a	Vibrationswalze	1,8 to	0,23	0,57	1,2	12	0,20	0,49	0,8	Keine Überschreitung
			Holz	5b	Vibrationswalze	4,9 to	0,37	0,94	1,2	12	0,32	0,81	0,8	Keine Überschreitung
			Beton	5b	Vibrationswalze	4,9 to	1,11	2,81	1,2	1	0,28	0,70	0,8	Keine Überschreitung bei reduzierter Einsatzdauer
			Beton	5c	Vibrationswalze	6,8 to	0,44	1,10	1,2	8	0,31	0,78	0,8	Keine Überschreitung bei reduzierter Einsatzdauer
Bahnhofstraße 44	WA	48	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,10	0,26	1,2	12	0,09	0,23	0,8	Keine Überschreitung
		48	Beton	5a	Vibrationswalze	1,8 to	0,17	0,44	1,2	12	0,15	0,38	0,8	Keine Überschreitung
			Holz	5b	Vibrationswalze	4,9 to	0,28	0,72	1,2	12	0,25	0,63	0,8	Keine Überschreitung
			Beton	5b	Vibrationswalze	4,9 to	0,85	2,17	1,2	2	0,30	0,77	0,8	Keine Überschreitung bei reduzierter Einsatzdauer
			Beton	5c	Vibrationswalze	6,8 to	0,34	0,85	1,2	12	0,29	0,74	0,8	Keine Überschreitung
Bahnhofstraße 42	WA	51	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,10	0,25	1,2	12	0,08	0,22	0,8	Keine Überschreitung
		51	Beton	5a	Vibrationswalze	1,8 to	0,16	0,41	1,2	12	0,14	0,36	0,8	Keine Überschreitung
			Holz	5b	Vibrationswalze	4,9 to	0,27	0,68	1,2	12	0,23	0,59	0,8	Keine Überschreitung
			Beton	5b	Vibrationswalze	4,9 to	0,80	2,04	1,2	2	0,28	0,72	0,8	Keine Überschreitung bei reduzierter Einsatzdauer

Immissionsort	Art Bau.	Abstand m Gleis/Quelle	Deckenart	Nr.	Baugerät		KB _{T,50%}	KB _{T,98%}	A _U Stufe 2	Einsatzdauer Std.	KB _{FTT,50%}	KB _{FTT,98%}	A _r Stufe 2	Bewertung
			Beton	5c	Vibrationswalze	6,8 to	0,32	0,80	1,2	12	0,28	0,69	0,8	Keine Überschreitung
PFI 3 HP Althengstett														
Bahnstraße 3	WA	35	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,14	0,36	1,2	12	0,12	0,31	0,8	Keine Überschreitung
Sonnenstraße 17	WA	59	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,08	0,22	1,2	12	0,07	0,19	0,8	Keine Überschreitung
PFI 4 EÜ Gottlieb-Braun-Straße														
Riedstraße 2	WA	25	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,20	0,51	1,2	12	0,17	0,44	0,8	Keine Überschreitung
Dammstraße 30	MI	35	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,14	0,36	1,2	12	0,12	0,31	0,8	Keine Überschreitung
Gottlieb-Braun-Str. 23	MI	50	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,10	0,25	1,2	12	0,09	0,22	0,8	Keine Überschreitung
PFI 5 HP Calw-Heumaden														
Breite Heerstraße 1	MI	10	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,50	1,27	1,2	6	0,30	0,78	0,8	Keine Überschreitung bei reduzierter Einsatzdauer
				4a	Rüttelplatte	525 kg	0,26	0,67	1,2	12	0,23	0,58	0,8	Keine Überschreitung
Breite Heerstraße 2	MI	40	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,12	0,32	1,2	12	0,11	0,28	0,8	Keine Überschreitung
Breite Heerstraße 10	MI	36	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,14	0,35	1,2	12	0,12	0,31	0,8	Keine Überschreitung
Breite Heerstraße 17/3	WA	37	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,13	0,34	1,2	12	0,12	0,30	0,8	Keine Überschreitung
Am Rollgraben 9	WA	20	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,25	0,64	1,2	12	0,22	0,55	0,8	Keine Überschreitung
Im Streckenäckerle 41	WA	30	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,17	0,42	1,2	12	0,14	0,37	0,8	Keine Überschreitung
PFI 6 BÜ Tälesbach														
Waldstraße 44	MI	51	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,10	0,25	1,2	12	0,08	0,22	0,8	Keine Überschreitung
PFI 7 Bhf. Calw-ZOB														
Am Kapellenberg 2	WA	32	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,16	0,40	1,2	12	0,13	0,34	0,8	Keine Überschreitung
Am Kapellenberg 4	WA	24	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,21	0,53	1,2	12	0,18	0,46	0,8	Keine Überschreitung
Bischofstraße 28	MI	32	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,16	0,40	1,2	12	0,13	0,34	0,8	Keine Überschreitung
Hengstetter Gäßle 3	MI	27	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,18	0,47	1,2	12	0,16	0,41	0,8	Keine Überschreitung
Hengstetter Steige 7	WA	24	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,21	0,53	1,2	12	0,18	0,46	0,8	Keine Überschreitung
Hengstetter Steige 11	WA	8	Beton/ Holz	4b	Rüttelplatte	525 kg	0,62	1,59	1,2	4	0,31	0,79	0,8	Keine Überschreitung bei reduzierter Einsatzdauer
				4a	Rüttelplatte	230 kg	0,33	0,83	1,2	12	0,28	0,72	0,8	Keine Überschreitung

5.2 Bewertung

Durch Wahl der geeigneten Baugeräte und der Bauabläufe können die Erschütterungsbelastungen so weit minimiert werden, dass die Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeiten zur Beurteilung von Erschütterungen nach DIN 4150 Teil 3, Gebäude, eingehalten werden. Die Schwinggeschwindigkeiten am Fundament sollten nicht mehr als 5 mm/s und diejenige auf den Wohnraumdecken nicht mehr als 10 mm/s (vertikale Schwingungen) betragen.

Die Ergebnisse aus Tabelle 12 zeigen auf, dass für die untersuchten Gebäude und für die ausgewählten Baugeräte keine Überschreitungen der Anhaltswerte auftreten. Gebäudeschäden sind durch die Baumaßnahmen nicht zu erwarten.

Die Anhaltswerte der Stufe 2 zur Beurteilung von Bau-Erschütterungen nach DIN 4150 Teil 2, Menschen in Gebäuden, können bis auf Ausnahmen eingehalten werden (siehe auch Tabelle 13).

Wird im PFI 2, BÜ Stuttgarter Straße, eine Vibrationswalze eingesetzt, so können Überschreitungen je nach Gebäude- und Art der Wohnraumdecken sowie je nach Vibrationsleistung und Vibrationsfrequenz auftreten. Ggf. muss eine Vibrationswalze kleinerer Leistung/ höherer Frequenz gewählt werden oder die Einsatzzeit muss entsprechend verkürzt werden. Die kritischen Werte sind in Tabelle grau unterlegt bzw. mit der Bewertung „Keine Überschreitung bei reduzierter Einsatzdauer“ versehen.

Aufgrund der nahe Lage der Gebäude Breite Heerstraße 1 und Hengstetter Steige 11 zur Baustelle führt auch der Einsatz der Rüttelplatte (Geräte-Nr. 4b) zu Überschreitungen. Auch hier gilt: entweder wird eine Rüttelplatte kleinere Leistung (Geräte-Nr. 4a) oder die Einsatzzeit wird verkürzt.

Für alle Vibrationserzeuger gilt, dass die Frequenz möglichst weit oberhalb von 40 Hz liegen sollte, um nicht im Resonanzbereich von Betondecken zu liegen.

5.3 Schutzmaßnahmen

Gemäß der DIN 4150 Teil 2, sind bei möglicher Überschreitung der Anhaltswerte (A_u) Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen zu treffen. Diese betreffen die Minderung physischer Auswirkungen der Erschütterungsbelastung durch

- Umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb
- Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen
- Zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Ruhezeiten, Betriebsweise der Erschütterungsquellen)
- Benennung eines Ansprechpartners, wenn Probleme auftreten
- Information der Betroffenen über die Erschütterungsauswirkungen auf das Gebäude bzw. auf den Menschen in dem Gebäude
- Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen und deren Beurteilung.

6 Ergebnisse und Bewertung des Eisenbahnbetriebs

6.1 Ergebnisse der Berechnung der Erschütterungsbelastungen

Die Ergebnisse der Erschütterungsbelastungen aus dem Bahnbetrieb sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Die Ergebnisse stellen eine konservative Abschätzung für die maximale Streckengeschwindigkeit von 100 km/h und für ein ebenerdig liegendes Gleis da. In der Ergebnistabelle sind für jeden Immissionsort die Lage und der Abstand von Gleismitte angegeben. Die ausgewählten Immissionsorte sind diejenigen Gebäude mit dem kürzesten Abstand zum Gleis für jeweils einer Planfeststellungsinsel. Da nicht bekannt ist, welche Art von Deckenkonstruktionen in den Gebäuden vorhanden sind, wurden die Ergebnisse konservativ für eine Holzbalkendecke mit einer Resonanzfrequenz von 13 Hz und für eine Betondecke mit einer Resonanzfrequenz von 25 Hz berechnet.

In der Tabelle dargestellt sind die maximalen Schwinggeschwindigkeiten auf der Bodendecke (v^D) und der entsprechende Anhaltswert für diese Größe, der KB_{FTmax} -Wert (maximal bewertete Schwingstärke) sowie die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} (Mittelungswert über Tag bzw. Nacht). Dem gegenüber stehen die entsprechenden Anhaltswerte der DIN 4150 für den Betrieb einer ÖPNV-Bahnstrecke.

6.2 Bewertung

Im gesamten Untersuchungsbereich, in allen Planfeststellungsinseln der Hermann-Hesse-Bahn liegen die prognostizierten Erschütterungsbelastungen unter den entsprechenden Anhaltswerten der DIN 4150. Somit ist nicht mit erschütterungsbedingten Konflikten aus dem Bahnbetrieb zu rechnen.

Diese Aussage gilt auf für den sekundären Luftschall, der aufgrund der geringen Werte der Erschütterungsbelastung, vernachlässigbar ist.

Tabelle 14: Zusammenstellung der Ergebnisse hinsichtlich der Bewertung Bahnbetrieb

Immissionsort	Bezug Strecke	Bebauung	Abstand Gleis m	Deckenart	v ^D	A ^D	KB _{Fmax}	A _u	KB _{FTr}	KB _{FTr}	A _r	Bewertung
					mm/s	mm/s		Tag / Nacht	Tag	Nacht	Tag / Nacht	
PFI 1 BÜ Malersbuckel												
Ostelsheimer Steige 2	West	MI	9	Holz balken (13 Hz)	0,29	10	0,27	0,3 / 0,23	0,05	0,03	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,29	10		0,3 / 0,23				
Malersbuckel 1	Ost	MI	24	Holz balken (13 Hz)	0,20	10	0,18	0,3 / 0,23	0,03	0,02	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,19	10		0,3 / 0,23				
Malersbuckel 3	West	MI	54	Holz balken (13 Hz)	0,14	10	0,13	0,3 / 0,23	0,02	0,01	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,12	10		0,3 / 0,23				
PFI 2 BÜ Stuttgarter Straße												
Stuttgarter Str. 1/1	Nord	MI	37	Holz balken (13 Hz)	0,16	10	0,15	0,3 / 0,23	0,03	0,02	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,15	10		0,3 / 0,23				
Schlüsseläckerweg 2	Süd	WA	37	Holz balken (13 Hz)	0,16	10	0,15	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,15	10		0,23 / 0,15				
Bahnhofstraße 44	Süd	WA	48	Holz balken (13 Hz)	0,14	10	0,13	0,23 / 0,15	0,02	0,01	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,13	10		0,23 / 0,15				
Bahnhofstraße 42	Süd	WA	51	Holz balken (13 Hz)	0,14	10	0,13	0,23 / 0,15	0,02	0,01	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,13	10		0,23 / 0,15				
PFI 3 HP Althengstett												
Bahnstraße 3	Südost	WA	35	Holz balken (13 Hz)	0,17	10	0,16	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,16	10		0,23 / 0,15				
Sonnenstraße 17	Süd	WA	59	Holz balken (13 Hz)	0,13	10	0,12	0,23 / 0,15	0,02	0,01	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,11	10		0,23 / 0,15				
PFI 4 EÜ Gottlieb-Braun-Straße												
Riedstraße 2	Süd	WA	25	Holz balken (13 Hz)	0,20	10	0,18	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,19	10		0,23 / 0,15				
Dammstraße 30	Süd	MI	35	Holz balken (13 Hz)	0,17	10	0,16	0,3 / 0,23	0,03	0,02	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,16	10		0,3 / 0,23				
Gottlieb-Braun-Str. 23	Nord	MI	50	Holz balken (13 Hz)	0,14	10	0,13	0,3 / 0,23	0,02	0,01	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,13	10		0,3 / 0,23				

Immissionsort	Bezug Strecke	Bebauung	Abstand Gleis	Deckenart	v ^D	A ^D	KB _{Fmax}	A _U	KB _{FTr}	KB _{FTr}	A _r	Bewertung
					mm/s	mm/s		Tag / Nacht	Tag	Nacht	Tag / Nacht	
m												
PFI 5 HP Calw-Heumaden												
Breite Heerstraße 1	Nord	MI	10	Holzbalken (13 Hz)	0,28	10	0,26	0,3 / 0,23	0,04	0,03	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,28	10	0,27	0,3 / 0,23	0,05	0,03	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
Breite Heerstraße 2	Nord	MI	40	Holzbalken (13 Hz)	0,16	10	0,15	0,3 / 0,23	0,03	0,01	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,15	10	0,14	0,3 / 0,23	0,02	0,01	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
Breite Heerstraße 10	Nord	MI	36	Holzbalken (13 Hz)	0,17	10	0,15	0,3 / 0,23	0,03	0,02	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,16	10	0,15	0,3 / 0,23	0,03	0,02	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
Breite Heerstraße 17/3	Nordost	WA	37	Holzbalken (13 Hz)	0,17	10	0,15	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,16	10	0,15	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
Am Rollgraben 9	Nordost	WA	20	Holzbalken (13 Hz)	0,21	10	0,20	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,21	10	0,21	0,23 / 0,15	0,04	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
Im Streckenackerle 41	West	WA	30	Holzbalken (13 Hz)	0,18	10	0,17	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,17	10	0,17	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
PFI 6 BÜ Tälesbach												
Waldstraße 44	Ost	MI	51	Holzbalken (13 Hz)	0,14	10	0,13	0,3 / 0,23	0,02	0,01	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,13	10	0,12	0,3 / 0,23	0,02	0,01	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
PFI 7 Bhf. Calw-ZOB												
Am Kapellenberg 2	Ost	WA	32	Holzbalken (13 Hz)	0,18	10	0,16	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,17	10	0,16	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
Am Kapellenberg 4	Ost	WA	24	Holzbalken (13 Hz)	0,20	10	0,18	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,19	10	0,19	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
Bischofstraße 28	West	MI	32	Holzbalken (13 Hz)	0,18	10	0,16	0,3 / 0,23	0,03	0,02	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,17	10	0,16	0,3 / 0,23	0,03	0,02	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
Hengstetter Gäßle 3	West	MI	27	Holzbalken (13 Hz)	0,19	10	0,17	0,3 / 0,23	0,03	0,02	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,18	10	0,18	0,3 / 0,23	0,03	0,02	0,15 / 0,11	keine Überschreitung
Hengstetter Steige 7	Ost	WA	24	Holzbalken (13 Hz)	0,20	10	0,18	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,19	10	0,19	0,23 / 0,15	0,03	0,02	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
Hengstetter Steige 11	Ost	WA	8	Holzbalken (13 Hz)	0,30	10	0,28	0,23 / 0,15	0,05	0,03	0,11 / 0,08	keine Überschreitung
				Beton (25 Hz)	0,31	10	0,30	0,23 / 0,15	0,05	0,03	0,11 / 0,08	keine Überschreitung

7 Quellen- und Grundlagenverzeichnis

Den durchgeführten erschütterungstechnischen Untersuchungen liegen folgende Gesetze, Normen, Richtlinien und Unterlagen zugrunde.

7.1 Planunterlagen

Erläuterungsbericht zur Planfeststellung: Wiederinbetriebnahme der Strecke Weil der Stadt – Calw (4810)

Übersichtslageplan, Anlage 3-1 der Planfeststellungs-Unterlagen

Lagepläne, Anlagen 4-1-1 bis 4-1-6 der Planfeststellungs-Unterlagen

Baugrundgutachten, Anlagen 8-1-1 bis 8-1-5 der Planfeststellungs-Unterlagen, Dr. Spang, Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH, 2014

Schalltechnische Untersuchung Baulärm, Hermann-Hesse-Bahn. diverse Eisenbahnkreuzungen und Verkehrsstationsmaßnahmen, Modus Consult 2017

Erschütterungstechnische Untersuchungen, Fritz GmbH 2014/ 2015

7.2 Rechtsgrundlagen und Regelwerke

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundesimmissionsschutzgesetz - BImSchG) in der aktuell gültigen Fassung

DIN 4150 "Erschütterung im Bauwesen", Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag
Teil 1 "Vorermittlung von Schwingungsgrößen", 2001,
Teil 2 "Einwirkung auf Menschen in Gebäuden", 1999,
Teil 3 "Einwirkungen auf bauliche Anlagen", 2016

24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege- Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24.BimSchV), Feb. 1997

Akustik 23, Richtlinie für die Schalldämmung bei Schalldämmung bei Fenster von Schienenverkehrslärm, Deutsche Bahn AG, 1996

Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen (Erschütterungs-Leitlinie), Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI), Mai 2000

Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Bericht Nr. 107

Information Körperschall- und Erschütterungsschutz, Leitfaden für den Planer, Deutsche Bahn AG, 1999

DIN 45669 "Messung von Schwingungsimmissionen", Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Beuth Verlag GmbH

DIN 45672 "Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen", Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Beuth Verlag GmbH

VDI 2057 "Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen", Verein Deutscher Ingenieure, Beuth Verlag GmbH