

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Niederlassung Stuttgart
Schwieberdinger Str. 62
70435 Stuttgart

Telefon +49(711)136757 0
Telefax +49(711)136757 9

www.MuellerBBM.com

Dipl.-Ing. Friederike Busch
Telefon +49(711)136757 12
Friederike.Busch@mbbm.com

05. Juni 2023
M119820/06 Version 3 BSF/BSF

Ammertalbahn Elektrifizierung zwischen Herrenberg und Tübingen

**Untersuchungen zur Auswirkung des
veränderten Zugbetriebs auf die
Erschütterungseinwirkungen
benachbarter Wohngebäude**

Bericht Nr. M119820/06

Auftraggeber:	Zweckverband ÖPNV im Ammertal c/o Postfach 1929 72009 Tübingen
Berichtsversion	M119820/06 Version 3 vom 05.06.2023 ersetzt Version 2 vom 09.05.2023
Bearbeitet von:	Dipl.-Ing. Friederike Busch
Berichtsumfang:	Insgesamt 31 Seiten, davon 24 Seiten Textteil, 2 Seiten Anhang A und 5 Seiten Anhang B

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Niederlassung Stuttgart
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk,
Dr. Alexander Ropertz

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Situation und Aufgabenstellung, Vorgehensweise	5
2 Unterlagen	6
3 Schwingungsmessungen Prognose-Nullfall und -Planfall	8
3.1 Art der Messungen	8
3.2 Randbedingungen der Messungen	8
3.3 Lage der Messpunkte	8
3.4 Messausrüstung	9
3.5 Vergleichbarkeit der Messungen	10
3.6 Streckenbelastung für Prognoseberechnungen	11
3.7 Messdurchführung	12
3.8 Messergebnisse	12
4 Bewertungsgrundlage	14
4.1 Allgemeines	14
4.2 Erschütterungen	14
4.3 Sekundärer Luftschall	16
5 Prognose und Bewertung	17
5.1 Vorgehensweise	17
5.2 Prognoseergebnisse „Abstand 17 m“	18
5.3 Prognoseergebnisse für unterschiedliche Abstände	20
5.4 Mögliche Maßnahmen	24

Anhang A: Prognoseergebnisse für den Prognose-Nullfall

Anhang B: Prognoseergebnisse für den Prognose-Planfall

Zusammenfassung

Nach Erlass des Planfeststellungsbeschlusses für den PFA 3/4 des Moduls 1 der Regionalstadtbahn Neckar-Alb, Elektrifizierung und teilweise zweigleisiger Ausbau der Ammertalbahn, wurde noch vor der Fertigstellung der Ausbaumaßnahmen vom Besteller der Nahverkehrsleistungen, der Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg (NVBW) geänderte Zugleistungen bestellt. Hierzu wurde ein Planänderungsverfahren eingeleitet gem. § 18 AEG i. V. m. § 76 Abs 1 LVwVfG.

In den in der Anhörung eingegangenen Einwendungen wurde insbesondere auf Fehler bei den der schalltechnischen Untersuchung zugrundeliegenden Eingangsparameter hingewiesen. Nach Prüfung dieser Einwendungen hat sich der Vorhabenträger in Abstimmung mit dem Referat 24 des RP Tübingen entschieden, den Antrag vom 15.08.2022 zurückzuziehen und die Eingangsparameter für die Gutachten zu berichtigen. Es ist nun für den Prognose-Nullfall der ursprüngliche Zugtyp RS1 mit den zuletzt tatsächlich gefahrenen Zugzahlen zu berücksichtigen.

Für den Planfall soll weiterhin der Zug-Typ „Alstom Coradia Continental BR 440.0“ mit dem erweiterten Verkehrsprogramm berücksichtigt werden. Da die Achslast des neuen Zugtyps 440.0 gegenüber dem alten RS1 um mehr als 25 % zunimmt, ist diese Zunahme als eine wesentliche Änderung zu betrachten und messtechnisch zu beurteilen. Mit Stand vom 17.04.2023 sind neue Zugzahlen für den Planfall zu berücksichtigen.

Die Veränderungen wurden mittels messtechnischer Erfassung der Immissionen unter vergleichbaren Randbedingungen, theoretischer Anpassung der Fahrgeschwindigkeiten sowie Prognose der zu erwartenden spürbaren Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen miteinander verglichen. Die Bewertung der Prognoseergebnisse erfolgt gemäß der Richtlinie (RiL) 820.2050 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ [8] der DB Netze AG gemäß DIN 4150-2 „Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ [4] und der 24. BImSchV [6].

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Abstände „Gebäude-Gleisanlage“, Fahrgeschwindigkeit sowie Nutzungs- und Bauart der Gebäude konnte festgestellt werden, dass unter ungünstigen Randbedingungen (Deckeneigenfrequenzen ≥ 40 Hz, Fahrgeschwindigkeit 70 km/h bzw. 80 km/h, mittlerer Gleisabstand $< 8,9$ m) Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 bei einer gleichzeitigen Zunahme der Erschütterungen um >25 % nicht ausgeschlossen werden können. Somit kann im Worstcase eine wesentliche Zunahme der Erschütterungsmissionen vorliegen, welche Maßnahmen bedingt. Dies betrifft ein Gebäude in Tübingen, sowie zwei in Gültstein:

- Schleifmühleweg 83 in Tübingen,
- Holunderstr. 35/1 in Gültstein sowie
- Haselnussweg 9 in Gültstein.

Nach Inbetriebnahme des Prognose-Planfalls werden in den kritischen Gebäuden in Tübingen und Gültstein Erschütterungsmessungen während Zugvorbeifahrten durchgeführt. Dadurch können die tatsächlichen Deckeneigenfrequenzen und daraus folgend die spürbaren Erschütterungen sowie den sekundären Luftschallimmissionen bestimmt und mit den maßgeblichen Anhalts- und Richtwerten bewertet werden.

Liegt eine Überschreitung der DIN 4150-2 bei gleichzeitiger Zunahme der Erschütterungen von 25 % vor, sind Maßnahmen gemäß Abschnitt 5.4 zu prüfen.

Für weitere Gebäude, welche sich ebenfalls im potenziell kritischen Einwirkungsbereich ≤ 10 m befinden, liegen aufgrund günstiger Verhältnisse von Streckengeschwindigkeit (z. B. Bahnhofsbereich) zu Abstand zum Gleis keine Überschreitungen vor. Ab einem mittleren Abstand von mindestens 10 m zu der Gleistrasse ist innerorts auch bei maximaler Fahrgeschwindigkeit nicht mit Überschreitungen der Anhalts- bzw. Richtwerte bzgl. der spürbaren Erschütterungen bzw. dem Sekundärluftschall zu rechnen.

Für den technischen Inhalt verantwortlich:



Dipl.-Ing. Friederike Busch
Telefon +49 (0)711 136757-12
Projektverantwortliche

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände.

1 Situation und Aufgabenstellung, Vorgehensweise

Nach Erlass des Planfeststellungsbeschlusses für den PFA 3/4 des Moduls 1 der Regionalstadtbahn Neckar-Alb, Elektrifizierung und teilweise zweigleisiger Ausbau der Ammertalbahn, wurde noch vor der Fertigstellung der Ausbaumaßnahmen vom Besteller der Nahverkehrsleistungen, der Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg (NVBW) geänderte Zugleistungen bestellt. Hierzu wurde ein Planänderungsverfahren eingeleitet gem. § 18 AEG i. V. m. § 76 Abs 1 LVwVfG.

In den in der Anhörung eingegangenen Einwendungen wurde insbesondere auf Fehler bei den der schalltechnischen Untersuchung zugrundeliegenden Eingangsparameter hingewiesen. Nach Prüfung dieser Einwendungen hat sich der Vorhabenträger in Abstimmung mit dem Referat 24 des RP Tübingen entschieden, den Antrag vom 15.08.2022 zurückzuziehen und die Eingangsparameter für die Gutachten zu berichtigen. Es ist nun für den Prognose-Nullfall der ursprüngliche Zugtyp RS1 mit den zuletzt tatsächlich gefahrenen Zugzahlen zu berücksichtigen.

Für den Planfall soll weiterhin der Zug-Typ „Alstom Coradia Continental BR 440.0“ mit dem erweiterten Verkehrsprogramm berücksichtigt werden. Da die Achslast des neuen Zugtyps 440.0 gegenüber dem alten RS1 um mehr als 25 % zunimmt, ist diese Zunahme als eine wesentliche Änderung zu betrachten und messtechnisch zu beurteilen. Mit Stand vom 17.04.2023 sind neue Zugzahlen für den Planfall zu berücksichtigen.

Es wurde daher eine messtechnische Untersuchung zur Bestimmung der Veränderung der Erschütterungseinwirkungen auf die benachbarten Wohngebäude durchgeführt. Dabei konnte für den Prognose-Planfall auf Messungen am Fuggerexpress in Maisach durch Müller-BBM von August 2020 zurückgegriffen werden. Für den Prognose-Nullfall wurden Messungen an der wieder eröffneten Ammertalbahn in Altingen unter vergleichbaren Randbedingungen wie in Maisach durchgeführt. Auf der Basis der Messergebnisse werden Prognoseberechnungen für die zu erwartenden spürbaren Erschütterungen und dem sekundären Luftschall durchgeführt und die Veränderung von Null- zum Planfall betrachtet.

Zur Bearbeitung der Aufgabenstellung wird wie folgt vorgegangen:

1. Aufbereitung der Messdaten für den Prognose-Nullfall und -Planfall.
2. Prognose der spürbaren Erschütterungen und dem Sekundärluftschall gemäß der RiL 820.2050 [8].
3. Bewertung der Prognoseergebnisse gemäß der RiL 820.2050 [8] nach DIN 4150-2 und 24. BImSchV.
4. (Maßnahmen-) Diskussion bzgl. des weiteren Vorgehens.

2 Unterlagen

- [1] DIN 45669-1: Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfungen. 2020-06
- [2] DIN 45669-2: Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 2: Messverfahren. 2005-08
- [3] DIN°45672-1: Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen. 2018-02
- [4] DIN 4150-2: Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. 1999-06
- [5] DIN EN 61672-1: Elektroakustik – Schallpegelmessung – Teil 1: Anforderungen, Juli 2014
- [6] 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV)
- [7] Empfehlung des Umweltbundesamts, Beurteilung von sekundärem Luftschall beim Schienenverkehr; Hintzsche, M.; 2004-04
- [8] Richtlinie 820.2050 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“, DB Netze AG, 01.01.2017
- [9] Erschütterungen und Körperschall des Landgebundenen Verkehrs - Prognose und Schutzmaßnahmen (Materialien Nr.22) / Melke J., Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. - Essen, 1995
- [10] E-Mail von Herrn Groszmuk (G.i.V.) an Frau Busch (Müller-BBM Industry Solutions GmbH) „Ammertalbahn Vergleich der Zugzahlen für den Prognose-Nullfall“, 17.11.2022
- [11] E-Mail von Herrn Groszmuk (G.i.V.) an Frau Busch (Müller-BBM Industry Solutions GmbH) „Erneute Anpassung der Zugzahlen an der Ammertalbahn“, 02.05.2023
- [12] Müller-BBM Bericht M158092/01 „Gemeinde Maisach: Bebauungsplan „Bräuhaus-, Kandler-, Bahnhofstraße - Erschütterungstechnische Untersuchung“, 22.09.2020
- [13] Müller-BBM Brief M119820/03 „Ammertalbahn – Elektrifizierung zwischen Herrenberg und Tübingen - Einschätzungen zur Auswirkung des veränderten Zugbetriebs auf die Erschütterungseinwirkungen benachbarter Wohngebäude“, 14.07.2016
- [14] Müller-BBM Bericht M119820/04 „Ammertalbahn - Elektrifizierung zwischen Herrenberg und Tübingen - Untersuchungen zur Auswirkung des veränderten Zugbetriebs auf die Erschütterungseinwirkungen benachbarter Wohngebäude“, 29.07.2022
- [15] Lagepläne der Ammertalbahn, Strecke 4633 Tübingen – Herrenberg, DB International GmbH, 09.12.2015
- [16] Katasterauszug entlang der Ammertalbahn, Stand: 20.10.202

- [17] „Streckenband 191215_Ammertalbahn_SBV_2018_B4-1.pdf“, Ammertalbahn, Stand: 15.12.2019
- [18] © OpenStreetMap-Mitwirkende, CC-BY-SA, www.openstreetmap.org/copyright

3 Schwingungsmessungen Prognose-Nullfall und -Planfall

3.1 Art der Messungen

Schwingungsmessungen in Altingen (Prognose-Nullfall) und in Maisach (Prognose-Planfall) zur Ermittlung der Erschütterungsemissionen durch die vorbeifahrenden Regionalbahnen. Die Erschütterungsmessungen wurden nach DIN 45669-1 [1], -2 [2] und DIN 45672-1 [3] durchgeführt.

3.2 Randbedingungen der Messungen

Tabelle 1. Randbedingungen der Messungen für Prognose-Nullfall und -Planfall.

	Prognose-Nullfall „Ammertalbahn“	Prognose-Planfall „Fuggerexpress“
Ort	Fußweg/Wiese Industriegebiet Altingen-Hagen	Plangebiet: Bräuhaus-, Kandler-, Bahnhofstraße, 82221 Maisach
Datum	02. Dezember 2022	06. August 2020
Zeit	11:30 bis 13:30 Uhr	10:00 Uhr bis 16:00 Uhr
Messpersonal (alle Müller-BBM)	Dipl.-Ing. Friederike Busch Zekaras Kelifa	Dr.-Ing. Klaus Hartmann M.Sc. Vladimir Opryschko
Gelände	geteert bzw. Grünfläche	geteert
Meteorologie	bewölkt, Außentemperatur: 2°C, nebelig, feucht	sonnig, Außentemperatur: 25°C, leichter Wind
Erschütterungsquelle		
Strecke	„Tübingen ↔ Herrenberg“ Abschnitt Altingen- Gültstein, Regional	5581, Abschnitt Gerlinden – Maisach, Regionalverkehr
Streckenausbau	Schotteroberbau, 1-gleisig, kein Damm, teils Geländeeinschnitt	Schotteroberbau, 6-gleisig, kein Damm, kein Geländeeinschnitt

3.3 Lage der Messpunkte

Tabelle 2. Lage der Messpunkte.

	Prognose-Nullfall „Ammertalbahn“	Prognose-Planfall „Fuggerexpress“
Messpunkt	MP1-3	Mp1
Abstand a [m]*	8 bzw. 17	17
Messrichtung**		z
Messgröße		m/s ²
Befestigung	Messingplattform entspr. [2]	
	Abbildung 1	Abbildung 2

** Der Abstand a bezieht sich auf die Mitte zwischen den relevanten Gleisen.

** Messrichtung: z – vertikal



Abbildung 1. Prognose-Nullfall - links: Lage der Messpunkte MP1-3 in Altingen [18]; rechts: Messpunkt Mp1, Hintergrund: Gleise der Ammertalbahn.



Abbildung 2. Prognose-Planfall - links: Plangebiet mit Lage der Messpunktes MP1 in Maisach, rechts: . Messpunkt Mp1, Hintergrund: Lärmschutzwand vor den Gleisen [12].

3.4 Messausrüstung

Die für die Messungen verwendeten Messgeräte sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 aufgeführt. Diese wurden vor und nach der Messung auf ihre einwandfreie Funktion überprüft. Im Rahmen des hauseigenen Qualitätssicherungssystems werden die Geräte zusätzlich in regelmäßigen Abständen durch ein akkreditiertes Prüflaboratorium auf nationale Normale rückführbar kalibriert.

Die für die Schwingungsmessungen eingesetzten Geräte entsprechen den Vorgaben für Schwingungsmesser nach DIN 45669-1 [1]. Durch die Erfüllung der in DIN 45669-1 festgelegten Einzelanforderungen an Schwingungsmesser können gerätetechnisch bedingte Messabweichungen klein gehalten werden. Aufgrund der in DIN 45669-1 erlaubten Einzelabweichungen ist zu erwarten, dass die Messabweichung einer einzelnen Anzeigegröße unabhängig von der Signalart die Vertrauensgrenze von 15 % für effektivwertbasierte Messwerte und 20 % für Spitzenwerte mit hohem statistischen Vertrauensniveau einhält.

Tabelle 3. Prognose-Nullfall - verwendete Messgeräte.

Zeile	Gerät	Hersteller	Typ	Seriennummer
1	Piezoelektrischer Schwingbeschleunigungsaufnehmer „Monoaxial“ (Empfindlichkeit 0,1 V/ms ⁻²)	PCB	393A03	Mp1: 31552 MP2: 30899 MP3: 30880
2	Körperschallkalibrator	Metra	VC20(3,16)	110738
3	Messdatenerfassung		MK II	
	Controller	Mecal	PQ20 G2	1019M9217
	Inputkarte	Mecal	SC42 G2	0322M5000
	Inputmodul	Mecal	WSB42X0 G2	0522M5889
4	Messwerverfassungs- und Auswertesoftware	Müller-BBM VAS	PAK	Version 6 SR 2

Tabelle 4. Prognose-Planfall - verwendete Messgeräte.

Zeile	Gerät	Hersteller	Typ	Seriennummer
1	Piezoelektrischer Schwingbeschleunigungsaufnehmer „Monoaxial“ (Empfindlichkeit 0,1 V/ms ⁻²)	PCB	393A03	MQ II: Mp1: 25355
2	Körperschallkalibrator	Metra	VC12	950148
3	Messdatenerfassung		MK II	
	Controller	Mecal	MQ II: PQ20 G2	0814M8656
	Inputkarte	Mecal	MQ II: SC42 G2	1113M1785
	Inputmodul	Mecal	MQ II: ICP4211 G2	0215M8029
4	Messwerverfassungs- und Auswertesoftware	Müller-BBM VAS	PAK	Version 5.10 SR 4

3.5 Vergleichbarkeit der Messungen

Um einen Vergleich der Erschütterungseinwirkungen aus unterschiedlichen Zugtypen durchführen zu können, sollten folgende Punkte erfüllt werden:

- Die Messpunkte weisen den gleichen Abstand zur Erschütterungsquelle auf. Sie befinden sich dabei nächstmöglich zur Quelle, um den Einfluss des Untergrundes gering zu halten.
- Die Aufstellbedingungen der Messpunkte sind vergleichbar.
- Beide Bahnstrecken weisen den gleichen Oberbau sowie Lage (Damm / Einschnitt / Ebene Lage) im Gelände auf.
- Die Fahrgeschwindigkeit der Züge während der Messung weicht nicht mehr als 25 % voneinander ab.

Dabei ist folgendes zu beachten:

- Zu Punkt a)

Der für den Plan-Fall vorgesehene Zugtyp 440.0 verkehrt derzeit auf der Strecke „Augsburg ↔ München“ als Fuggerexpress. Diese Strecke ist 6-gleisig ausgebaut. Der zu betrachtende Zugtyp fuhr zum Zeitpunkt der Messungen nur auf den mittleren Gleisen. Der geringste Abstand für einen Messpunkt betrug 17 m. Dementsprechend wurde für die Vergleichsmessung der gleiche Abstand gewählt.

- Zu Punkt c)

MP3 in Altingen lag analog zur Messung in Maisach auf einer Höhe mit dem Schotterbett der Ammertalbahn. Der Messpunkt weist einen Abstand zur Gleismitte von 8 m auf. Da unmittelbar hinter diesem Punkt ein Privatgelände beginnt, konnte nicht an diesem Querschnitt im erforderlichen Abstand von 17 m die Immissionen erfasst werden. Zusätzlich wurde in einem Abstand von 40 m ein zweiter Messquerschnitt mit zwei Messpunkten in 8 m (MP1) und 17 m (MP2) zur Gleismitte angelegt. Dieser befand sich ca. 2 m oberhalb des Schotterbetts. Über Berücksichtigung des Abnahmeverhältnisses dieser zwei Messpunkte wurden die Prognosespektren aus den Ergebnissen von MP3 ermittelt.

- Zu Punkt d)

Die Erschütterungsemissionen des Fuggerexpress wurden bei einer Fahrgeschwindigkeit von 160 km/h erfasst, die der Ammertalbahn mit 77 km/h. Die Plangeschwindigkeit auf der Ammertalbahn beträgt 70-100 km/h. Die Ergebnisse der Prognoseberechnungen wurden, wie in Abschnitt 5.1 beschrieben, an die Plangeschwindigkeit angepasst.

3.6 Streckenbelastung für Prognoseberechnungen

Tabelle 5. Maximale Streckenbelastung für Prognoseberechnungen [10][11].

	Nullfall	Planfall
Abschnitt km 0,0 – 9,9 (Tübingen - Entringen)		
Tags (8h00-22h00)	76	104
Nachts (22h00-8h00)	14	20
Abschnitt km 9,9 – 21,2 (Entringen - Herrenberg)		
Tags (8h00-22h00)	64	64
Nachts (22h00-8h00)	14	20

3.7 Messdurchführung

Die Datenerfassung wurde mit folgenden Einstellungen vorgenommen:

- Abtastrate $f_A = 1.024$ Hz; maximale darstellbare Frequenz $f_{max} = 400$ Hz
- Online-Analyse: Terzen
 - Startfrequenz: 4 Hz
 - Stoppfrequenz: 315 Hz
 - Mittelungsart: exponentiell
 - Zeitkonstante: 0,125 s („Fast“)
 - Schrittweite: 0,125 s
- Messung: jeweils 4 Einzelmessungen je 1.800 sec

Die Aussteuerung der Sensoren wurde vor Ort den Messbedingungen angepasst und während der Messung überprüft. Die Funktion der Beschleunigungssensoren wurde mittels eines Körperschallkalibrators (Tabelle 3 sowie Tabelle 4, jeweils Zeile 2) überprüft.

3.8 Messergebnisse

Entsprechend der Vorbeifahrtdauer der Züge wurden die am Messpunkt aufgezeichneten Messsignale in Zeitfenster unterteilt. Die als Terzspektren vorliegenden Beschleunigungssignale je Zugfahrt wurden innerhalb dieser Zeitfenster in Form von Max-Hold-Terzspektren zusammengefasst und zur Schwingschnelle integriert.

Die Max-Hold-Terzspektren verschiedener Zugfahrten wurden quadratisch gemittelt. Die hieraus erhaltenen Schnellepegel-Terzspektren für Prognose-Null- und -Planfall sind in Abbildung 3 im Frequenzbereich zwischen 4 Hz und 315 Hz dargestellt. Alle Messergebnisse weisen im immissionsrelevanten Frequenzbereich einen ausreichenden Grundgeräuschabstand auf. Pro Zuggattung wurden bis zu fünf Zugvorbeifahrten erfasst.

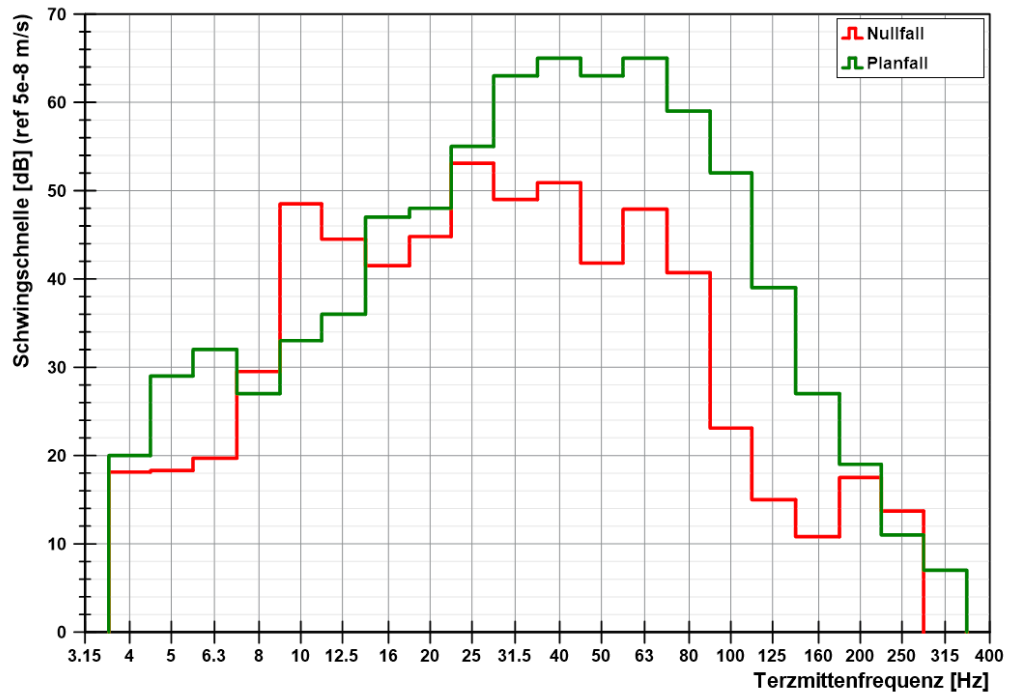


Abbildung 3. Terzspektren der Zugvorbeifahrten aus den Messungen für Prognose-Nullfall (rot) und -Planfall (grün).

4 Bewertungsgrundlage

4.1 Allgemeines

Die Ammertalbahn ist eine rein privat betriebene Bahnstrecke mit Anbindung an das Netz der Deutschen Bahn (DB). Der Ausbau, der Sicherheitsstandard etc. sowie die Nutzung entspricht dem des Personenbeförderungsverkehrs der DB. Die Bewertung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden sowie des Sekundärluftschalls erfolgt daher mittels der Richtlinie RiL 820.2050 der DB Netze AG [8].

4.2 Erschütterungen

Zur Beurteilung der spürbaren Erschütterungsimmissionen auf Menschen in Gebäuden gibt die RiL 820.2050 im Anhang 03 [8] beim Ausbau von bestehenden Schienenverkehrswegen ein zweistufiges Verfahren vor. Dabei sind die nach der Inbetriebnahme zu erwartende Immissionswerte (Prognose-Planfall) zu ermitteln und anhand der folgenden Kriterien zu bewerten:

1. Überprüfung auf Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [4].

Sind die erschütterungstechnischen Anforderungen (Taktmaximalwert $KB_{Fmax} \leq A_u$ bzw. Beurteilungsschwingstärke $KB_{FTr} \leq A_r$) eingehalten, sind keine weiteren Beurteilungsschritte erforderlich.

2. Überprüfung auf wesentliche Zunahme der Erschütterungsimmissionen.

Erhöhen sich die Erschütterungsimmissionen (KB_{FTr}) um weniger als 25 % gegenüber dem Prognose-Nullfall, liegt keine erhebliche bzw. keine wesentliche Zunahme der Erschütterungsimmissionen vor, und die Anforderungen sind eingehalten.

Erhöhen sich die Immissionen im Vergleich zum Prognose-Nullfall um mindestens 25 %, liegt eine erhebliche bzw. wesentliche Zunahme der Erschütterungsimmissionen vor.

Nur wenn die Erschütterungsimmissionen aus dem Schienenverkehr nach dem Bauvorhaben wesentlich zunehmen, und gleichzeitig die prognostizierten Erschütterungen die gebietsabhängigen Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [4] übersteigen, sind Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungsimmissionen zu abzuwägen (siehe auch Abschnitt 5.4).

Die Beurteilung nach DIN 4150-2 [4] erfordert einen Vergleich von messtechnisch bestimmten oder anhand von Prognoseberechnungen für Fußböden ermittelten KB -Werten mit den Schwingstärke-Anhaltswerten A aus der Norm. Unterschieden wird dabei der sogenannte Taktmaximalwert KB_{Fmax} und die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} . Der KB_{Fmax} -Wert berücksichtigt dabei die maximal zu erwartenden, spürbaren Erschütterungen infolge eines einzelnen Ereignisses (in diesem Fall einer Zugvorbeifahrt). Der KB_{FTr} -Wert beschreibt den auf die Beurteilungszeit (tags 16h, nachts 8h) bezogenen Taktmaximal-Effektivwert.

Die DIN 4150-2 [4] unterscheidet bei der Bewertung der Erschütterungsimmissionen nach Einwirkungsorten sowie der Einwirkungszeit (tags/nachts). Die Anhaltswerte zur Bewertung sind in Tabelle 6 dargestellt. Entlang der Ammertalbahn liegen Gebiete gemäß der Zeilen 1 bis 4.

Tabelle 6. Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen (DIN 4150-2, Tabelle 1[4], fett: herangezogene Anhaltswerte).

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

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

Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen aus Schienenverkehr gelten folgende Besonderheiten:

- Die Beurteilung erfolgt anhand der Kriterien A_u (für KB_{Fmax}) und A_r (für KB_{FTr}).
- Für oberirdische Schienenwege des ÖPNV gelten die um den Faktor 1,5 angehobenen A_u - und A_r -Werte nach Tabelle 6.
- Bei der Ermittlung von KB_{FTr} wird der Faktor 2 zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung für Einwirkungen während der Ruhezeiten nicht angewendet.
- Für den Schienenverkehr hat der (obere) Anhaltswert A_o nachts *nicht* die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne KB_{FTr} -Werte bei

oberirdischen Strecken gebietsunabhängig über $A_0 = 0,6$, so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z. B. Flachstellen an Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben. Diese hohen Werte sind bei der Berechnung von KB_{FTT} zu berücksichtigen.

4.3 Sekundärer Luftschall

Entsprechend der RiL 820.2050 [8] werden zur Bewertung des sekundären Luftschalls in Gebäuden Richtwerte für zumutbare Innenraumpegel anhand der 24. BImSchV [6] abgeleitet. Sie sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7. Immissionsrichtwerte für zumutbare Innenraumpegel L_i in Anlehnung an die 24. BImSchV [6].

Raumnutzung	$L_{i,T}$ [dB(A)] tags	$L_{i,N}$ [dB(A)] nachts
1 Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden	-	30
2 Wohnräume	40	-
3 Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume	40	-
4 Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume	45	-
5 Großraumbüros, Schalerräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständige Arbeitsplätze vorhanden sind	50	-
6 Sonstige Räume, die nicht nur vorübergehend zum Aufenthalt von Menschen bestimmt sind	Entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen	

Gemäß der RiL [8] werden für die Beurteilung von sekundärem Luftschall ausschließlich die im Beurteilungszeitraum Tag (06:00 bis 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 bis 06:00 Uhr) gemittelten Schalldruckpegel herangezogen. Kurzzeitige Geräuschspitzen werden nicht separat berücksichtigt. Dies entspricht laut [8] auch den sonst üblichen Grundsätzen bei der Beurteilung von Verkehrs- und insbesondere Schienenverkehrslärm, nach denen ebenfalls nur Beurteilungs- und kein Spitzenpegel verwendet werden.

Als Zumutbarkeitsschwelle werden daher die Mittelungspegel über den Beurteilungszeitraum gemäß Tabelle 7, Zeile 1 (nachts) und Zeile 2 (tags) berücksichtigt. Eine Überlagerung von primären und sekundären Luftschallimmissionen erfolgt dabei nicht.

Werden die Richtwerte nicht eingehalten, ist zu überprüfen, ob es durch die Maßnahmen zu einer erheblichen Verschlechterung gegenüber dem Prognose-Nullfall kommt. Dabei ist eine Pegelerhöhung ab 3 dB als wesentliche Änderung anzusehen.

5 Prognose und Bewertung

5.1 Vorgehensweise

Zur Prognose der Immissionswerte im Gebäude muss die Reaktion des Gebäudes auf die von außen einwirkenden Erschütterungen betrachtet werden. Hierzu sind Annahmen über das Eigenschwingverhalten der einzelnen Bauteile (insbesondere für das Gebäude als Ganzes auf dem Erdreich sowie für Decken und schwimmende Estriche) erforderlich.

Das Eigenschwingverhalten der einzelnen Bauteile wird mit idealisierten Korrekturspektren angenähert, die anhand baulastdynamischer Modelle entwickelt wurden.

Hierbei werden Korrekturspektren angesetzt für

- den Übergang Erdreich – Fundament,
- die Erschütterungsförderung im Gebäude,
- die Übertragung auf Decken verschiedener Bauarten, Deckenstärken und Spannweiten, d. h. verschiedener Eigenfrequenzen, inkl. dem Einfluss von schwimmenden Estrichen.

Die Prognoseberechnungen werden im Frequenzbereich durchgeführt. Die Korrekturspektren werden terzweise zu den auf dem Baugelände gewonnenen Schnellepegel-Terzspektren nach Abschnitt 3.8 addiert.

- Erschütterungsimmissionen

Der *KB*-Wert wird aus den Terzspektren bzw. Prognosespektren berechnet. Die Prognosespektren werden hierzu terzweise einer Korrektur unterzogen, die der *KB*-Bewertung des Erschütterungszeitsignals nach [1] entspricht. Zur Ermittlung des $KB_{F_{max,prog}}$ -Wertes wird der Summenwert des *KB*-korrigierten Terzspektrums gebildet. Die Beurteilungs-*KB*-Werte ($KB_{F_{Tr,prog}}$) werden unter Berücksichtigung der in Abschnitt 3.6 aufgeführten Streckenbelastung für die Tag- und Nachtzeit berechnet.

- Sekundäre Luftschallimmissionen

Bauwerksschwingungen werden von Raumbegrenzungsflächen (Wände und vor allem Geschossdecken) abgestrahlt und können als tieffrequenter Luftschall wahrgenommen werden.

Die Berechnung der bewertungsrelevanten Pegel erfolgt gemäß RiL [8] in den Terzbändern 25 Hz bis 80 Hz mit der spektralen Korrelationsmethode unter Berücksichtigung von Beton- und Holzbalkendecken. Dazu wird zunächst terzweise der sekundäre Luftschallpegel $L_{sek,Zug}(f)$ berechnet, dieser im Anschluss nach DIN EN 61672-1 [5] A-bewertet und durch energetische Addition aller Terzpegel zu $L_{sek,Zug,A}$ [dB(A)] bestimmt.

Folgende Ansätze liegen der Prognose zu Grunde.

Tabelle 8. Vorbeifahrtsdauern und Fahrgeschwindigkeiten während der Messungen.

	Nullfall [10]	Planfall [10]
Vorbeifahrtsdauer (Messung)	6,5 s	10 s
Vorbeifahrtsdauer (Prognose)	10 s	10 s
Fahrgeschwindigkeit (Messung)	77 km/h	160 km/h
Max. zulässige Zielgeschwindigkeit	50-100 km/h	50-100 km/h

Die Geschwindigkeitskorrektur der gemessenen Züge bezogen auf die Soll-Geschwindigkeit erfolgt entsprechend dem Stand der Technik auf Basis folgenden Ansatzes [9]:

$$\Delta dB = 20 \cdot \log \left(\frac{v_1}{v_0} \right) \quad (1)$$

mit v_0 = Fahrgeschwindigkeit während der Messung
 v_1 = Maximale Zielgeschwindigkeit für Plan- bzw. Nullfall

5.2 Prognoseergebnisse „Abstand 17 m“

5.2.1 Prognose-Nullfall

Die prognostizierten spürbaren Erschütterungen und sekundären Luftschallpegel sind für verschiedene mögliche Deckeneigenfrequenz und in einem Abstand von 17 m von der Gleistrassenmitte in Tabelle 9 zusammengestellt. Es wird dabei zwischen den Streckenabschnitten km 0,0-9,9 (Tübingen – Entringen) sowie km 9,9-21,1 (Entringen – Herrenberg) unterschieden.

Tabelle 9. Maximale Prognoseergebnisse Prognose-Nullfall, a = 17 m, $v_{\text{Prognose}} = 100$ km/h.

Deckenart	Spürbare Erschütterungen			Sek. Luftschall	
	$KB_{Fmax,prog}$ [-]	$KB_{FTr,prog,tags}$ [-]	$KB_{FTr,prog,nachts}$ [-]	$L_{sek,Zug,A,tags}$ [dB(A)]	$L_{sek,Zug,A,nachts}$ [dB(A)]
km 0,0-9,9 (Tübingen – Entringen)					
Betondecke	0,11	0,02	0,01	11,7	7,3
Holzbalkendecke	0,15	0,03	0,02	12,9	8,5
km 9,9-21,1 (Entringen – Herrenberg)					
Betondecke	0,11	0,02	0,01	10,9	7,3
Holzbalkendecke	0,15	0,03	0,02	12,1	8,5
Anhaltswerte DIN4150-2 [4]: tags: $A_u = 0,225$, $A_o = 3$, $A_r = 0,105$; nachts: $A_u = 0,150$, $A_o = 0,6$, $A_r = 0,075$ Richtwerte 24. BImSchV [6]: $L_{i,T} = 40$ dB(A), $L_{i,N} = 30$ dB(A)					

Die Bewertung der Prognoseergebnisse zeigt, dass für den Prognose-Nullfall in einem Abstand von 17 m und einer max. Prognosegeschwindigkeit von 100 km/h die Anhalts- bzw. Richtwerte nach DIN 4150-2 für Erschütterungen (Wohngebiet) bzw. 24. BlmschV für sekundäre Luftschallimmissionen eingehalten werden können.

5.2.2 Prognose-Planfall

Die prognostizierten spürbaren Erschütterungen und sekundären Luftschallpegel sind für verschiedene mögliche Deckeneigenfrequenz und in einem Abstand von 17 m von der Gleistrassenmitte in Tabelle 10 zusammengestellt. Es wird dabei zwischen den Streckenabschnitten km 0,0-9,9 (Tübingen – Entringen) sowie km 9,9-21,1 (Entringen – Herrenberg) unterschieden.

Tabelle 10. Maximale Prognoseergebnisse Prognose-Planfall, a = 17 m, $v_{\text{Prognose}} = 100 \text{ km/h}$.

Deckenart	Spürbare Erschütterungen			Sek. Luftschall	
	$KB_{F\text{max,prog}}$	$KB_{F\text{Tr,prog,tags}}$	$KB_{F\text{Tr,prog,nachts}}$	$L_{\text{sek,Zug,A,tags}}$	$L_{\text{sek,Zug,A,nachts}}$
	[-]	[-]	[-]	[dB(A)]	[dB(A)]
km 0,0-9,9 (Tübingen – Entringen)					
Betondecke	0,18	0,04	0,03	18,8	14,6
Holzbalkendecke	0,21	0,04	0,03	18,6	14,4
km 9,9-21,1 (Entringen – Herrenberg)					
Betondecke	0,18	0,03	0,03	18,1	14,6
Holzbalkendecke	0,21	0,04	0,03	17,9	14,3
Anhaltswerte DIN4150-2 [4]: tags: $A_u = 0,225$, $A_o = 3$, $A_r = 0,105$; nachts: $A_u = 0,150$, $A_o = 0,6$, $A_r = 0,075$ Richtwerte 24. BlmSchV [6]: $L_{i,T} = 40 \text{ dB(A)}$, $L_{i,N} = 30 \text{ dB(A)}$					

Die Bewertung der Prognoseergebnisse zeigt, dass für den Prognose-Planfall in einem Abstand von 17 m und einer max. Prognosegeschwindigkeit von 100 km/h ebenfalls damit gerechnet werden kann, dass die Anhalts- bzw. Richtwerte nach DIN 4150-2 für Erschütterungen (Wohngebiet) bzw. 24. BlmschV für sekundäre Luftschallimmissionen eingehalten werden können.

5.3 Prognoseergebnisse für unterschiedliche Abstände

Die Prognoseergebnisse für den Planfall zeigen, dass in einem Abstand von 17 m zur Gleistrassenmitte damit zu rechnen ist, dass die Anhalts- bzw. Richtwerte nach DIN 4150-2 für Erschütterungen (Wohngebiet) bzw. 24. BImSchV für sekundäre Luftschallimmissionen für die Tag- als auch Nachtzeit eingehalten werden können.

Aus dem Streckenband [17] ist erkennbar, dass die Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h nur außerorts gefahren werden darf. Innerorts stellt eine Kombination aus 90 km/h in Richtung Tübingen und 70 km/h in Richtung Entringen im Bereich des Haltepunkts Unterjesingen-Mitte die Höchstgeschwindigkeiten dar. Die Prognoseberechnungen für diese Worstcase Kombination innerorts zeigen, dass ab einem Abstand von ≥ 10 m nicht mit Überschreitungen gemäß der DIN 4150-2 und der 24. BImSchV zu rechnen ist (siehe z. B. Tabelle 14).

Infolge dessen konnten auf Basis der Planunterlagen [15] und Katasterpläne [16] kritische Einwirkungsbereiche mit einem Abstand < 10 m zur Gleistrassenmitte identifiziert und für diese Prognoseberechnungen durchgeführt werden. Dabei werden innerhalb der Einwirkungsbereiche nur schützenswerte Bebauungen aufgelistet (Wohngebäude, etc.). Betriebsgebäude der Bahn u. ä. Gebäude werden nicht weiter berücksichtigt (z. B. Garagen, Schuppen etc.). Außer am Haltepunkt Herrenberg-Zwerchenweg (max. Geschwindigkeit 70 km/h) müssen alle Züge an den Haltepunkten bzw. Bahnhöfen anhalten. Im Bereich der Bahnsteige wird von einer maximalen Ein-/Ausfahrgeschwindigkeit von 30 km/h ausgegangen. Zusätzlich wird bedingt durch Abbremsen bzw. Beschleunigen eine reduzierte Fahrgeschwindigkeit vor und nach den Bahnsteigen angesetzt. In der nachfolgenden Tabelle 11 sind die zugrunde gelegten Geschwindigkeiten in den Bereichen der betroffenen Gebäude aufgeführt.

Tabelle 11. Potenziell kritische Standorte entlang der Ammertalbahn.

Ort	Gebäudetyp	Abstand [m]	Fahrgeschwindigkeit [km/h]
km 0,0-9,9 (Tübingen – Entringen)			
Bf Tübingen West			
- Schleifmühlweg 83	Wohnhäuser	8	70 km/h
- Schleifmühlweg 85		9,9	
Bhf. Unterjesingen Mitte	Wohnhäuser	8	≤30 km/h
- Am Mühlkanal			(Ein-/Ausfahrt Bhf)
HP Unterjesingen Mitte	Wohnhäuser	9	60 km/h
- Rottenburger Str. 20/22			(Bremsbereich HP)
Unterjesingen			
- Untere Straße 21	Wohnhäuser	9	70 km/h
- Ob der Ammer 17		9	
Bf Pfäffingen	Kiosk	6	≤30 km/h
			(Ein-/Ausfahrt Bhf)
Bf Entringen	Seminargebäude/ Wohnhaus	8	≤30 km/h
			(Ein-/Ausfahrt Bhf)
km 9,9-21,1 (Entringen – Herrenberg)			
Gültstein			
- Holunderstr. 35/1		8	
- Holunderstr. 37		8,9	
- Holunderstr. 39/1	Wohnhäuser	9,5	80 km/h
- Hagebuttenweg 8		9,5	
- Haselnussweg 9		8	
- Ligusterstr. 9		9,9	

Im Anhang B sind die Prognoseergebnisse der spürbaren Erschütterungen und des sekundären Luftschallpegels unter Berücksichtigung verschiedener Abstände zu den Gleisen sowie in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit des Zuges aufgeführt. Die Berücksichtigung der unterschiedlichen Abstände und Fahrgeschwindigkeiten erfolgt gemäß RiL [8].

Die Prognoseergebnisse im Anhang B zeigen, dass nur eine Kombination aus Fahrgeschwindigkeit $v = 70$ km/h bzw. 80 km/h und einem mittleren Abstand von $< 8,9$ m zwischen Wohngebäude und Gleis zu Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [4] führt. Die Anforderungen bzgl. des sekundären Luftschalls werden eingehalten Dies betrifft ein Wohngebäude in Tübingen sowie zwei in Gültstein (Abbildung 5):

- Schleifmühlweg 83 in Tübingen,
- Holunderstr. 35/1 in Gültstein sowie
- Haselnussweg 9 in Gültstein.

Hierbei ist zu beachten, dass die Überschreitungen nur für hohe Deckeneigenfrequenzen oberhalb von 40 Hz zu erwarten sind, welche speziell für Holzbalkendecken untypisch sind.

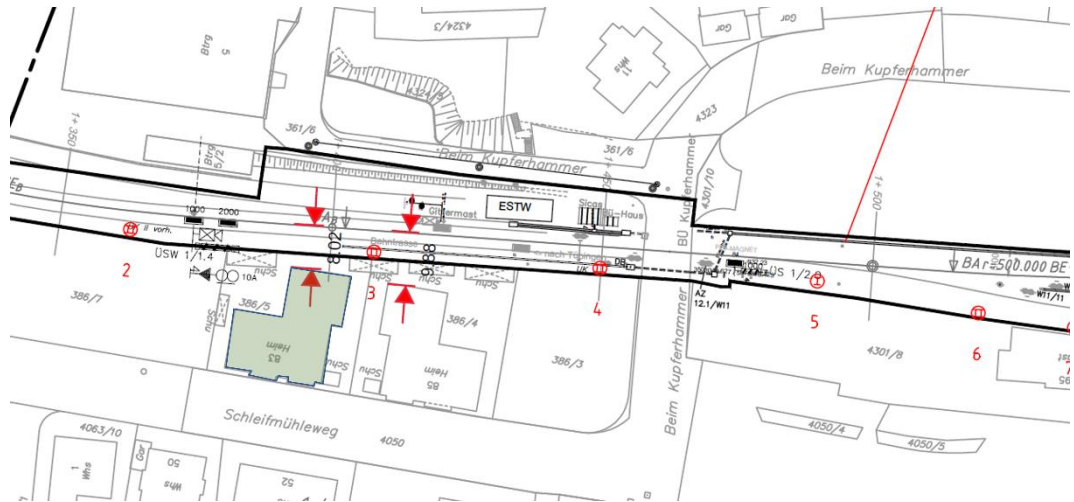


Abbildung 4. Ausschnitt aus dem Lageplan „Tübingen-West“ [15]
(grün: kritische Wohngebäude, rot: Abstand Gleis-Wohngebäude).

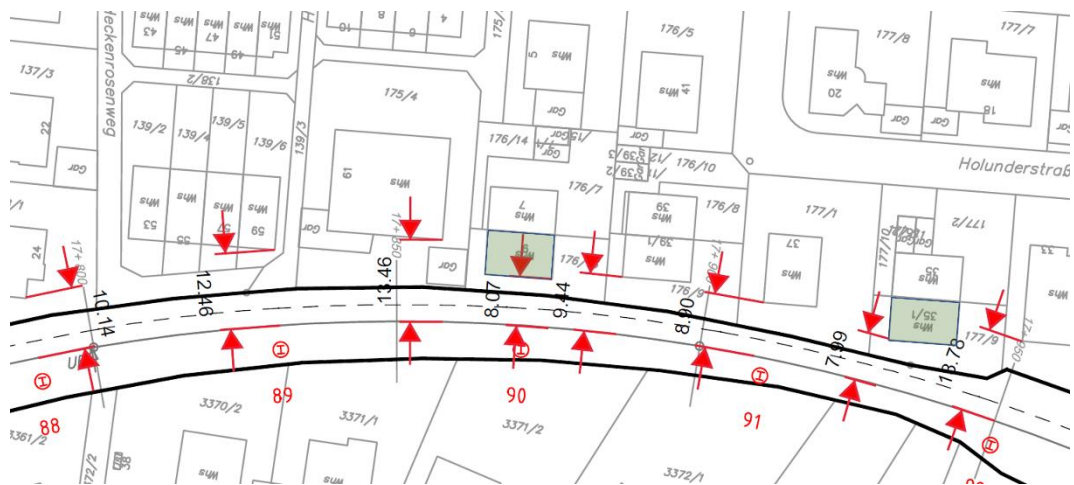


Abbildung 5. Ausschnitt aus dem Lageplan „Gültstein“ [15]
(grün: kritische Wohngebäude, rot: Abstand Gleis-Wohngebäude).

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\119M119820\MM119820_06_Ber_3D.DOCX:05.06.2023

Entsprechend Abschnitt 4 ist in diesem Fall zu bewerten, ob es sich um eine wesentliche Zunahme der Immissionen gegenüber dem Prognose-Nullfall handelt. Dies liegt vor, wenn die Anhalts- und/oder Richtwerte nach DIN 4150-2 für Erschütterungen (Wohngebiet) bzw. 24. BlmschV für sekundäre Luftschallimmissionen nicht eingehalten werden und die Zunahme der Einwirkungen im Planfall gegenüber dem Nullfall mehr als 25 % (spürbare Erschütterungen) bzw. 3 dB (sek. Luftschall) betragen. Im Anhang A sind die Prognoseergebnisse für den Prognose-Nullfall für die Kombination:

- mittlerer Gleisabstand: 8 m
- Fahrgeschwindigkeit 70 km/h bzw. 80 km/h
- Prognose-Spektrum für den Nullfall gemäß Abschnitt 3.8
- Streckenbelastung nach Abschnitt 3.6
- Beton-/Holzbalkendecke

angegeben. Der Vergleich mit dem Prognose-Planfall zeigt, dass für einzelne Deckeneigenfrequenzen die Anhaltswerte der DIN 4150-2 nicht eingehalten werden und die Zunahme der spürbaren Erschütterungen mehr als 25 % beträgt. Somit kann im Worstcase eine wesentliche Zunahme der Erschütterungsimmisionen vorliegen. Hierdurch wird eine Abwägung von Maßnahmen erforderlich.

Gegenüber dem Bericht [14] vor Änderung des zu verwendenden Plan-Nullfalls fällt auf, dass

- a) vermeintlich mehr Häuser im kritischen Bereich liegen (Tabelle 11) jedoch
- b) für weniger Gebäude eine potenziell wesentliche Zunahme der Erschütterungsimmisionen vorliegt.

Dies ist auf zwei Veränderungen innerhalb der Prognose zurückzuführen:

1. Zum Zeitpunkt der aktuellen Berichterstellung lagen aktualisierte Katasterauszüge [16] vor, auf deren Basis sich die Anzahl der potenziell betroffenen Gebäude erhöht hat.
2. In der vorliegenden Prognose wurden die für die zwei Streckenabschnitte (Tübingen-Entringen bzw. Entringen-Herrenberg) unterschiedlichen Zugzahlen entsprechend Tabelle 5 berücksichtigt. Im Bericht M119820/04 [14] wurden jedoch für beide Abschnitte die maximale Streckenbelastung des Abschnittes 0,0-9,9 (Tübingen – Entringen) angesetzt, was im Rahmen einer Worstcase Betrachtung zu einer Überbewertung der Immissionen im Abschnitt km 9,9-21,1 (Entringen – Herrenberg) führte.

5.4 Mögliche Maßnahmen

In der RiL 820.2050 der DB Netze [8] werden im Anhang A04 Maßnahmen genannt, welche zu erheben sind, wenn die Änderungen im Betrieb als erheblich einzustufen sind. Diese können z. B. sein:

- Minderungsmaßnahmen am Oberbau des Schienenverkehrswegs,
- Änderung der Zugzahlen,
- Änderung der maximalen Fahrgeschwindigkeit,
- Entschädigung in Geld der betroffenen Anwohner.

Weiterhin gibt die RiL 820.2050 der DB Netze [8] im Anhang A03, Absatz 24 an:

„Soweit entsprechend der Prognose nicht mindestens mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann, dass es zu einer Überschreitung der Anspruchskriterien kommt, ist damit zu rechnen, dass die Genehmigung einen Vorbehalt gemäß §74 Abs.3 VwVfG¹ [G5] enthalten wird. Hierbei ist in der Regel innerhalb von 6 bis 12 Monaten nach Inbetriebnahme des Vorhabens zu überprüfen, ob die Prognose auch tatsächlich eingetroffen ist. Sollte dies ausnahmsweise nicht der Fall sein, so hat der Vorhabenträger ergänzende Unterlagen bei der Planfeststellungsbehörde vorzulegen. Die Planfeststellungsbehörde entscheidet dann erneut, auf der Basis der neuen Erkenntnisse, über die Frage des Erschütterungsschutzes. In den meisten Fällen erfolgt dies unter Einbeziehung von messtechnischen Untersuchungen (Nachmessungen) nach Fertigstellung der Baumaßnahmen.“

Der messtechnische Nachweis muss nicht notwendigerweise direkt am Immissionsort erbracht werden. Insbesondere, wenn es um den Nachweis der Änderung gegenüber eine Bestandssituation geht, können auch Festpunkte (z. B. Emissions- oder Fundamentmesspunkte) als Referenzmesspunkte für den Vergleich mit einem früheren Zustand verwendet werden. Soweit eine Aussage für den Immissionspunkt in einem Raum erforderlich ist, kann diese dann unter Ansatz der bereits bei der Prognose angesetzten bzw. bei der ersten Messkampagne messtechnisch ermittelten Übertragungsfunktion des Gebäudes bestimmt werden.“

Nach Inbetriebnahme des Prognose-Planfalls werden in den kritischen Gebäuden Erschütterungsmessungen während Zugvorbeifahrten durchgeführt. Dadurch können die tatsächlichen Deckeneigenfrequenzen und daraus folgend die spürbaren Erschütterungen sowie die sekundären Luftschallimmissionen bestimmt und mit den Anhalts- und Richtwerten der DIN 4150-2 für Erschütterungen (Wohngebiet) bzw. 24. BlmschV für sekundäre Luftschallimmissionen bewertet werden. Sollten die Anforderungen der RiL [8] nicht eingehalten werden können, sind die oben aufgeführten Maßnahmen zu prüfen.

¹ Verwaltungsverfassungsgesetz (VwVfG)

Anhang A

Prognoseergebnisse für den Prognose-Nullfall

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\119\M119820\M119820_06_Ber_3D.DOCX:05.06.2023

Tabelle 12. Prognose-Nullfall km 0,0-9,9 (Tübingen - Entringen) -
 Prognostizierte KB-Werte [-] sowie sek. Luftschallpegel [dB(A)] für Beton- bzw.
 Holzbalkendecken, mittlerer Gleisabstand 8 m, Fahrgeschwindigkeiten $v = 70$ km/h
 (Berechnung KB_{Ftr} nur, wenn $KB_{F,max} > 0,1$).

Deckeneigenfrequenzen											
	8 Hz	10 Hz	12,5 Hz	16 Hz	20 Hz	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz
Abstand 8 m, $v = 70$ km/h – Betondecke											
$KB_{F,max}$	<0.1	0.13	0.11	0.11	0.13	0.20	0.16	0.17	0.13	0.15	0.11
$KB_{Ftr,tags}^*$	-	0.025	0.022	0.021	0.026	0.039	0.031	0.034	0.026	0.029	0.022
$KB_{Ftr,nachts}^*$	-	0.015	0.014	0.013	0.016	0.024	0.019	0.021	0.016	0.018	0.014
$L_{sek,Zug,A,tags}$	10.4	11.0	11.6	11.8	12.2	13.1	13.6	14.9	15.3	17.6	16.6
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	6.1	6.7	7.2	7.5	7.8	8.8	9.2	10.6	11.0	13.3	12.3
Abstand 8 m, $v = 70$ km/h – Holzbalkendecke											
$KB_{F,max}$	<0.1	0.19	0.14	0.13	0.16	0.22	0.18	0.20	0.16	0.17	0.14
$KB_{Ftr,tags}^*$	-	0.038	0.029	0.026	0.032	0.044	0.036	0.039	0.033	0.034	0.028
$KB_{Ftr,nachts}^*$	-	0.023	0.017	0.016	0.019	0.026	0.022	0.024	0.020	0.021	0.017
$L_{sek,Zug,A,tags}$	11.4	11.5	11.8	12.3	13.0	14.0	14.6	15.8	16.3	17.7	17.1
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	7.1	7.2	7.5	7.9	8.7	9.6	10.3	11.4	11.9	13.4	12.8

Tabelle 13. Prognose-Nullfall km 9,9-21,1 (Entringen - Herrenberg) -
 Prognostizierte KB-Werte [-] sowie sek. Luftschallpegel [dB(A)] für Beton- bzw.
 Holzbalkendecken, mittlerer Gleisabstand 8 m, Fahrgeschwindigkeiten $v = 80$ km/h
 (Berechnung KB_{Ftr} nur, wenn $KB_{F,max} > 0,1$).

Deckeneigenfrequenzen											
	8 Hz	10 Hz	12,5 Hz	16 Hz	20 Hz	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz
Abstand 8 m, $v = 80$ km/h – Betondecke											
$KB_{F,max}$	<0.1	0.14	0.13	0.12	0.15	0.22	0.18	0.20	0.15	0.17	0.13
$KB_{Ftr,tags}^*$	-	0.026	0.023	0.022	0.028	0.041	0.033	0.036	0.028	0.031	0.023
$KB_{Ftr,nachts}^*$	-	0.017	0.015	0.015	0.018	0.027	0.022	0.024	0.018	0.020	0.016
$L_{sek,Zug,A,tags}$	10.6	11.1	11.7	12.0	12.3	13.2	13.7	15.1	15.4	17.7	16.7
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	7.0	7.6	8.1	8.4	8.7	9.6	10.1	11.5	11.8	14.1	13.1
Abstand 8 m, $v = 80$ km/h – Holzbalkendecke											
$KB_{F,max}$	<0.1	0.22	0.16	0.15	0.18	0.25	0.21	0.22	0.19	0.20	0.16
$KB_{Ftr,tags}^*$	-	0.040	0.030	0.027	0.034	0.046	0.038	0.041	0.034	0.036	0.029
$KB_{Ftr,nachts}^*$	-	0.026	0.020	0.018	0.022	0.030	0.025	0.027	0.023	0.024	0.020
$L_{sek,Zug,A,tags}$	11.4	11.5	11.8	12.3	13.0	13.9	14.6	15.8	16.2	17.7	17.1
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	7.8	7.9	8.2	8.7	9.4	10.3	11.0	12.2	12.6	14.1	13.5

Anhang B

Prognoseergebnisse für den Prognose-Planfall

\\S-muc-fs01\allefirmen\WP\Proj\119\M119820\M119820_06_Ber_3D.DOCX:05.06.2023

Tabelle 14. Prognose-Planfall km 0,0-9,9 (Tübingen - Entringen) -
 Prognostizierte KB-Werte [-] sowie sek. Luftschallpegel [dB(A)] für Betondecken in
 unterschiedlichen Abständen und Geschwindigkeiten (fett: Überschreitungen A_r bzw. A_o für
 reine Wohngebiete sowie $L_{m,tags}$ bzw. $L_{m,nachts}$) (Berechnung KB_{Ftr} nur, wenn $KB_{F,max} > 0,1$).

Deckeneigenfrequenzen											
	8 Hz	10 Hz	12,5 Hz	16 Hz	20 Hz	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz
Abstand 10 m, v = 70 // 90 km/h											
$KB_{F,max}$	0.14	0.15	0.17	0.18	0.19	0.24	0.32	0.39	0.38	0.42	0.30
$KB_{Ftr,tags}$	0.029	0.032	0.034	0.038	0.040	0.050	0.066	0.080	0.079	0.087	0.063
$KB_{Ftr,nachts}$	0.018	0.020	0.021	0.023	0.025	0.031	0.041	0.050	0.049	0.054	0.039
$L_{sek,Zug,A,tags}$	17.2	17.8	18.3	18.6	18.9	19.4	20.0	21.1	22.4	24.3	23.5
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	13.0	13.0	13.3	13.7	14.2	14.9	15.8	16.8	17.9	19.1	18.7
Abstand 9 m, v = 70 km/h											
$KB_{F,max}$	0.13	0.14	0.15	0.17	0.18	0.22	0.29	0.36	0.35	0.39	0.28
$KB_{Ftr,tags}$	0.030	0.033	0.036	0.039	0.041	0.051	0.067	0.083	0.082	0.091	0.066
$KB_{Ftr,nachts}$	0.019	0.020	0.022	0.024	0.026	0.032	0.042	0.051	0.051	0.056	0.019
$L_{sek,Zug,A,tags}$	17.5	18.1	18.6	18.9	19.2	19.7	20.2	21.3	22.7	24.6	23.8
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.1	14.7	15.2	15.5	15.8	16.3	16.8	17.9	19.3	21.2	20.4
Abstand 9 m, v = 60 km/h											
$KB_{F,max}$	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.19	0.25	0.30	0.30	0.33	0.24
$KB_{Ftr,tags}$	0.026	0.028	0.030	0.033	0.036	0.044	0.058	0.071	0.071	0.078	0.056
$KB_{Ftr,nachts}$	0.016	0.017	0.019	0.021	0.022	0.027	0.036	0.044	0.044	0.048	0.035
$L_{sek,Zug,A,tags}$	17.6	18.1	18.7	18.9	19.3	19.7	20.3	21.4	22.8	24.7	23.9
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	13.4	14.0	14.5	14.8	15.1	15.6	16.1	17.3	18.6	20.5	19.7
Abstand 8 m, v = 70 km/h											
$KB_{F,max}$	0.16	0.17	0.18	0.20	0.21	0.26	0.35	0.43	0.43	0.48	0.34
$KB_{Ftr,tags}$	0.036	0.040	0.043	0.047	0.050	0.061	0.081	0.100	0.100	0.111	0.080
$KB_{Ftr,nachts}$	0.022	0.025	0.027	0.029	0.031	0.038	0.050	0.062	0.062	0.069	0.050
$L_{sek,Zug,A,tags}$	18.8	19.3	19.9	20.1	20.5	20.9	21.4	22.6	24.0	25.9	25.1
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.6	15.2	15.7	16.0	16.3	16.8	17.3	18.4	19.8	21.7	20.9
Abstand 8 m, v = 30 km/h											
$KB_{F,max}$	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.11	0.15	0.18	0.18	0.20	0.15
$KB_{Ftr,tags}$	-	-	-	-	-	0.026	0.035	0.043	0.043	0.048	0.034
$KB_{Ftr,nachts}$	-	-	-	-	-	0.016	0.021	0.027	0.027	0.030	0.021
$L_{sek,Zug,A,tags}$	16.4	16.9	17.5	17.7	18.1	18.5	19.0	20.2	21.6	23.5	22.7
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	12.2	12.8	13.3	13.6	13.9	14.4	14.9	16.0	17.4	19.3	18.5
Abstand 6 m, v = 30 km/h											
$KB_{F,max}$	0.10	0.12	0.12	0.13	0.14	0.17	0.23	0.29	0.30	0.33	0.24
$KB_{Ftr,tags}$	0.024	0.027	0.029	0.031	0.034	0.041	0.053	0.067	0.069	0.077	0.056
$KB_{Ftr,nachts}$	0.015	0.017	0.018	0.019	0.021	0.025	0.033	0.042	0.043	0.048	0.034
$L_{sek,Zug,A,tags}$	18.9	19.5	20.0	20.3	20.6	21.1	21.5	22.7	24.1	26.0	25.2
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.7	15.3	15.8	16.1	16.4	16.9	17.4	18.5	20.0	21.9	21.1

Tabelle 15. Prognose-Planfall km 0,0-9,9 (Tübingen - Entringen) -
 Prognostizierte KB-Werte [-] sowie sek. Luftschallpegel [dB(A)] für Holzbalkendecken in
 unterschiedlichen Abständen und Geschwindigkeiten (fett: Überschreitungen A_r bzw. A_o für
 reine Wohngebiete sowie $L_{m,tags}$ bzw. $L_{m,nachts}$) (Berechnung KB_{Ftr} nur, wenn $KB_{F,max} > 0,1$).

Deckeneigenfrequenzen											
	8 Hz	10 Hz	12,5 Hz	16 Hz	20 Hz	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz
Abstand 10 m, v = 70 // 90 km/h											
$KB_{F,max}$	0.12	0.12	0.14	0.17	0.21	0.28	0.36	0.43	0.44	0.47	0.37
$KB_{Ftr,tags}$	0.019	0.020	0.029	0.036	0.044	0.058	0.074	0.090	0.092	0.099	0.078
$KB_{Ftr,nachts}$	0.012	0.013	0.018	0.022	0.027	0.036	0.046	0.056	0.057	0.061	0.048
$L_{sek,Zug,A,tags}$	17.2	17.2	17.4	17.8	18.4	19.1	19.9	21.0	22.0	23.3	22.9
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	13.1	13.7	14.2	14.5	14.8	15.3	15.8	16.9	18.3	20.2	13.1
Abstand 9 m, v = 70 km/h											
$KB_{F,max}$	0.11	0.11	0.13	0.16	0.19	0.25	0.33	0.40	0.41	0.44	0.35
$KB_{Ftr,tags}$	0.025	0.026	0.030	0.036	0.045	0.059	0.076	0.093	0.095	0.103	0.081
$KB_{Ftr,nachts}$	0.016	0.016	0.018	0.023	0.028	0.036	0.047	0.058	0.059	0.064	0.050
$L_{sek,Zug,A,tags}$	17.4	17.4	17.7	18.0	18.6	19.3	20.1	21.2	22.2	23.5	23.1
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.0	14.0	14.3	14.6	15.2	15.9	16.7	17.8	18.8	20.1	19.7
Abstand 9 m, v = 60 km/h											
$KB_{F,max}$	<0.1	<0.1	0.11	0.13	0.17	0.22	0.28	0.34	0.35	0.38	0.30
$KB_{Ftr,tags}$	-	-	0.026	0.031	0.039	0.050	0.065	0.080	0.082	0.088	0.069
$KB_{Ftr,nachts}$	-	-	0.016	0.019	0.024	0.031	0.040	0.049	0.051	0.055	0.043
$L_{sek,Zug,A,tags}$	17.6	17.6	17.9	18.3	18.8	19.5	20.3	21.4	22.5	23.7	23.3
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	13.5	13.5	13.7	14.1	14.7	15.4	16.2	17.3	18.3	19.6	19.2
Abstand 8 m, v = 70 km/h											
$KB_{F,max}$	0.13	0.14	0.15	0.19	0.23	0.30	0.39	0.48	0.50	0.54	0.43
$KB_{Ftr,tags}$	0.031	0.032	0.036	0.043	0.054	0.070	0.091	0.112	0.116	0.126	0.099
$KB_{Ftr,nachts}$	0.019	0.020	0.022	0.027	0.033	0.044	0.056	0.070	0.072	0.078	0.061
$L_{sek,Zug,A,tags}$	18.4	18.4	18.7	19.1	19.6	20.3	21.1	22.2	23.3	24.5	24.1
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.2	14.3	14.5	14.9	15.4	16.1	17.0	18.0	19.1	20.4	20.0
Abstand 8 m, v = 30 km/h											
$KB_{F,max}$	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.13	0.17	0.21	0.21	0.23	0.18
$KB_{Ftr,tags}^*$	-	-	-	-	-	0.030	0.039	0.048	0.050	0.054	0.042
$KB_{Ftr,nachts}^*$	-	-	-	-	-	0.019	0.024	0.030	0.031	0.033	0.026
$L_{sek,Zug,A,tags}$	17.0	17.0	17.2	17.6	18.2	18.8	19.7	20.7	21.8	23.1	22.7
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	12.8	12.8	13.1	13.5	14.0	14.7	15.5	16.6	17.7	18.9	18.5
Abstand 6 m, v = 30 km/h											
$KB_{F,max}$	<0.1	<0.1	0.10	0.12	0.15	0.20	0.26	0.32	0.34	0.37	0.29
$KB_{Ftr,tags}^*$	-	-	0.024	0.029	0.036	0.046	0.060	0.075	0.080	0.087	0.068
$KB_{Ftr,nachts}^*$	-	-	0.015	0.018	0.022	0.029	0.037	0.047	0.049	0.054	0.042
$L_{sek,Zug,A,tags}$	18.9	19.5	20.0	20.3	20.6	21.1	21.5	22.7	24.1	26.0	25.2
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.8	14.8	15.1	15.5	16.0	16.6	17.5	18.5	19.7	20.9	20.5

Tabelle 16. Prognose-Planfall km 9,9-21,1 (Entringen - Herrenberg) -
 Prognostizierte KB-Werte [-] sowie sek. Luftschallpegel [dB(A)] für Betondecken in
 unterschiedlichen Abständen und Geschwindigkeiten (fett: Überschreitungen A_r bzw. A_o für
 reine Wohngebiete sowie $L_{m,tags}$ bzw. $L_{m,nachts}$).

Deckeneigenfrequenzen											
	8 Hz	10 Hz	12,5 Hz	16 Hz	20 Hz	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz
Abstand 10 m, v = 70 // 90 km/h											
$KB_{F,max}$	0.14	0.15	0.17	0.18	0.19	0.24	0.32	0.39	0.38	0.42	0.30
$KB_{Ftr,tags}$	0.023	0.025	0.027	0.030	0.032	0.039	0.052	0.063	0.062	0.068	0.049
$KB_{Ftr,nachts}$	0.018	0.020	0.021	0.023	0.025	0.031	0.041	0.050	0.049	0.054	0.039
$L_{sek,Zug,A,tags}$	15.1	15.7	16.2	16.5	16.8	17.3	17.8	19.0	20.3	22.2	21.4
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	13.0	13.0	13.3	13.7	14.2	14.9	15.8	16.8	17.9	19.1	18.7
Abstand 8,9 m, v = 80 km/h											
$KB_{F,max}$	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	0.25	0.34	0.41	0.41	0.45	0.33
$KB_{Ftr,tags}$	0.027	0.030	0.032	0.035	0.038	0.047	0.061	0.076	0.075	0.083	0.060
$KB_{Ftr,nachts}$	0.022	0.024	0.026	0.028	0.030	0.037	0.049	0.060	0.059	0.066	0.047
$L_{sek,Zug,A,tags}$	15.8	16.4	16.9	17.2	17.5	18.0	18.5	19.6	21.0	22.9	22.1
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	13.8	14.3	14.9	15.1	15.5	15.9	16.5	17.6	19.0	20.9	20.1
Abstand 8 m, v = 80 km/h											
$KB_{F,max}$	0.18	0.19	0.21	0.23	0.24	0.30	0.40	0.49	0.49	0.55	0.39
$KB_{Ftr,tags}$	0.032	0.035	0.039	0.042	0.045	0.055	0.072	0.089	0.090	0.100	0.072
$KB_{Ftr,nachts}$	0.026	0.028	0.030	0.033	0.035	0.043	0.057	0.071	0.071	0.079	0.057
$L_{sek,Zug,A,tags}$	17.3	17.9	18.4	18.7	19.0	19.5	20.0	21.1	22.5	24.4	23.7
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.7	15.3	15.8	16.1	16.4	16.9	17.4	18.5	19.9	21.8	21.1

Tabelle 17. Prognose-Planfall km 9,9-21,1 (Entringen - Herrenberg) - Prognostizierte KB-Werte [-] sowie sek. Luftschallpegel [dB(A)] für Holzdecken in unterschiedlichen Abständen und Geschwindigkeiten (fett: Überschreitungen A_r bzw. A_o für reine Wohngebiete sowie $L_{m,tags}$ bzw. $L_{m,nachts}$).

Deckeneigenfrequenzen											
	8 Hz	10 Hz	12,5 Hz	16 Hz	20 Hz	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz
Abstand 10 m, v = 70 // 90 km/h											
$KB_{F,max}$	0.12	0.12	0.14	0.17	0.21	0.28	0.36	0.43	0.44	0.47	0.37
$KB_{Ftr,tags}$	0.015	0.016	0.023	0.028	0.035	0.045	0.058	0.071	0.072	0.077	0.061
$KB_{Ftr,nachts}$	0.012	0.013	0.018	0.022	0.027	0.036	0.046	0.056	0.057	0.061	0.048
$L_{sek,Zug,A,tags}$	15.0	15.1	15.3	15.7	16.3	17.0	17.8	18.9	19.9	21.2	20.8
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	13.1	13.7	14.2	14.5	14.8	15.3	15.8	16.9	18.3	20.2	13.1
Abstand 8,9 m, v = 80 km/h											
$KB_{F,max}$	0.13	0.13	0.15	0.18	0.22	0.29	0.38	0.46	0.48	0.51	0.41
$KB_{Ftr,tags}$	0.023	0.024	0.027	0.033	0.041	0.054	0.069	0.085	0.087	0.094	0.074
$KB_{Ftr,nachts}$	0.018	0.019	0.021	0.026	0.032	0.042	0.055	0.067	0.069	0.074	0.059
$L_{sek,Zug,A,tags}$	15.5	15.5	15.8	16.2	16.7	17.4	18.2	19.3	20.4	21.6	21.2
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	13.5	13.5	13.7	14.1	14.7	15.4	16.2	17.3	18.3	19.6	19.2
Abstand 8 m, v = 80 km/h											
$KB_{F,max}$	0.15	0.16	0.18	0.21	0.26	0.34	0.45	0.55	0.57	0.62	0.49
$KB_{Ftr,tags}$	0.028	0.029	0.032	0.039	0.048	0.063	0.081	0.101	0.104	0.113	0.089
$KB_{Ftr,nachts}$	0.022	0.023	0.025	0.031	0.038	0.050	0.064	0.080	0.082	0.089	0.070
$L_{sek,Zug,A,tags}$	16.8	16.8	17.1	17.5	18.0	18.7	19.5	20.6	21.7	22.9	22.5
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.2	14.2	14.5	14.9	15.4	16.1	16.9	18.0	19.1	20.3	19.9