

Müller-BBM GmbH
Niederlassung BFB 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

29. Juli 2022
M119820/04 Version 1 BSF/EZR

Ammertalbahn Elektrifizierung zwischen Herrenberg und Tübingen

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

Bericht Nr. M119820/04

Auftraggeber:	Zweckverband ÖPNV im Ammertal c/o Postfach 1929 72009 Tübingen
Bearbeitet von:	Dipl.-Ing. Friederike Busch
Berichtsumfang:	Insgesamt 26 Seiten, davon 21 Seiten Textteil, 2 Seiten Anhang A und 3 Seiten Anhang B

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

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk,
Dr. Alexander Ropertz,
Stefan Schierer, Elmar Schröder

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Situation und Aufgabenstellung, Vorgehensweise	5
2 Unterlagen	6
3 Schwingungsmessungen Prognose-Nullfall und -Planfall	7
3.1 Art der Messungen	7
3.2 Randbedingungen der Messungen	7
3.3 Lage der Messpunkte	7
3.4 Messausrüstung	8
3.5 Vergleichbarkeit der Messungen	9
3.6 Streckenbelastung für Prognoseberechnungen	10
3.7 Messdurchführung	10
3.8 Messergebnisse	11
4 Bewertungsgrundlage	12
4.1 Allgemeines	12
4.2 Erschütterungen	12
4.3 Sekundärer Luftschall	14
5 Prognose und Bewertung	15
5.1 Vorgehensweise	15
5.2 Prognoseergebnisse „Abstand 17 m“	17
5.3 Prognoseergebnisse für unterschiedliche Abstände	18
5.4 Mögliche Maßnahmen	20
Anhang A: Prognoseergebnisse für den Prognose-Nullfall	
Anhang B: Prognoseergebnisse für den Prognose-Planfall	

Zusammenfassung

Im Nachgang des Planfeststellungsverfahrens zur Elektrifizierung der Ammertalbahn zwischen Herrenberg und Tübingen wurde eine weitere Umstellung im Betrieb der Regionalbahn beschlossen. Dabei sollen sowohl der Zugtyp als auch die Anzahl der Zugfahrten pro Tag und Nacht verändert werden. Da die Achslast des neuen Zugtyps 440.0 gegenüber dem alten ET426 um mehr als 25 % zunimmt, ist diese Zunahme als eine wesentliche Änderung zu betrachten und messtechnisch zu beurteilen.

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 80 km/h, mittlerer Gleisabstand bis zu 10 m) Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 bei einer gleichzeitigen Zunahme der Erschütterungen um >25 % nicht ausgeschlossen werden können. Somit kann im worst-case eine wesentliche Zunahme der Erschütterungsmissionen vorliegen, welche Maßnahmen bedingt. Dies betrifft vier Gebäude in Gültstein:

- Holunderstr. 35/1, 37, 39/1 sowie
- Haselnussweg 9.

Es wird empfohlen, nach Inbetriebnahme des Prognose-Planfalls in den kritischen Gebäuden in Gültstein Erschütterungsmessungen während Zugvorbeifahrten durchzuführen. 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 von unter 10 m befinden, liegen aufgrund geringerer Streckengeschwindigkeiten (z. B. Bahnhofsbereich) keine Überschreitungen vor. Ab einem mittleren Abstand von mindestens 10 m zu der Gleistrasse ist 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
Projektverantwortlicher

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

Im Nachgang des Planfeststellungsverfahrens zur Elektrifizierung der Ammertalbahn zwischen Herrenberg und Tübingen wurde eine weitere Umstellung im Betrieb der Regionalbahn beschlossen. Dabei sollen sowohl der Zugtyp als auch die Anzahl der Zugfahrten pro Tag und Nacht verändert werden. Da die Achslast des neuen Zugtyps 440.0 gegenüber dem alten ET426 um mehr als 25 % zunimmt, ist diese Zunahme als eine erhebliche Änderung zu betrachten.

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 Stuttgarter Schusterbahn unter vergleichbaren Randbedingungen wie in Maisach durchgeführt. Auf der Basis der Messergebnisse wurden 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 GmbH) „Re: Zugzahlen Ammertalbahn“ vom 11.05.2016
- [11] E-Mail von Herrn Groszmuk (G.i.V.) an Herrn Löffler (Müller-BBM GmbH) „Erhöhung der Zugzahlen auf der Ammertalbahn“ vom 04.05.2022
- [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] Lagepläne der Ammertalbahn, Strecke 4633 Tübingen – Herrenberg, DB International GmbH, 09.12.2015

3 Schwingungsmessungen Prognose-Nullfall und -Planfall

3.1 Art der Messungen

Schwingungsmessungen in Stuttgart-Zazenhausen (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 „Schusterbahn“	Prognose-Planfall „Fuggerexpress“
Ort	Parkplatz, Vogteiweg 9, 70435 Stuttgart	Plangebiet: Bräuhaus-, Kandler-, Bahnhofstraße, 82221 Maisach
Datum	27. Juni 2022	06. August 2020
Zeit	15:30 bis 18:30 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	ebenes Gelände, geteert	ebenes Gelände, geteert
Meteorologie	bewölkt, Außentemperatur: 22°C, windig, teils Regen	sonnig, Außentemperatur: 25°C, leichter Wind
Erschütterungsquelle		
Strecke	„Stuttgart Untertürkheim ↔ Kornwestheim“ Abschnitt Zazenhausen - Kornwestheim, Regional- und Güterverkehr,	5581, Abschnitt Gerlinden – Maisach, Regionalverkehr
Streckenausbau	Schotteroberbau, 2-gleisig, kein Damm, kein Geländeeinschnitt	Schotteroberbau, 6-gleisig, kein Damm, kein Geländeeinschnitt

3.3 Lage der Messpunkte

Tabelle 2. Lage der Messpunkte.

	Prognose-Nullfall „Schusterbahn“	Prognose-Planfall „Fuggerexpress“
Messpunkt	MP1	Mp1
Abstand a [m]*		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 des Messpunktes MP1 in Zazenhausen; rechts: Messpunkt Mp1, Hintergrund: Lärmschutzwand vor den Gleisen.



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 4 und 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 (Empfindlichkeit 0,1 V/ms ⁻²) „Monoaxial“	PCB	393A03	Mp1: 31550
2	Körperschallkalibrator	Metra	VC20(3,16)	110738
3	Messdatenerfassung		MK II	
	Controller	Mecal	PQ20 G2	1019M9217
	Inputkarte	Mecal	SC42 G2	0215M7803
	Inputmodul	Mecal	WSB42X0 G2	1013M0719
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 (Empfindlichkeit 0,1 V/ms ⁻²) „Monoaxial“	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 d)

Die Erschütterungsemissionen des Fuggerexpress wurden bei einer Fahrgeschwindigkeit von 160 km/h erfasst, die der Schusterbahn mit 75 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. Streckenbelastung für Prognoseberechnungen.

	Nullfall [10]	Planfall [11]
Tags (8h00-22h00)	74	104
Nachts (22h00-8h00)	12	18

3.7 Messdurchführung

Die Datenerfassung wurde mit folgenden Einstellungen vorgenommen:

- Abtastrate $f_A = 1024$ 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:
 - Zazenhausen: 14 Einzelmessungen bis zu 900 sec
 - Maisach: 4 Einzelmessungen je 1800 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.

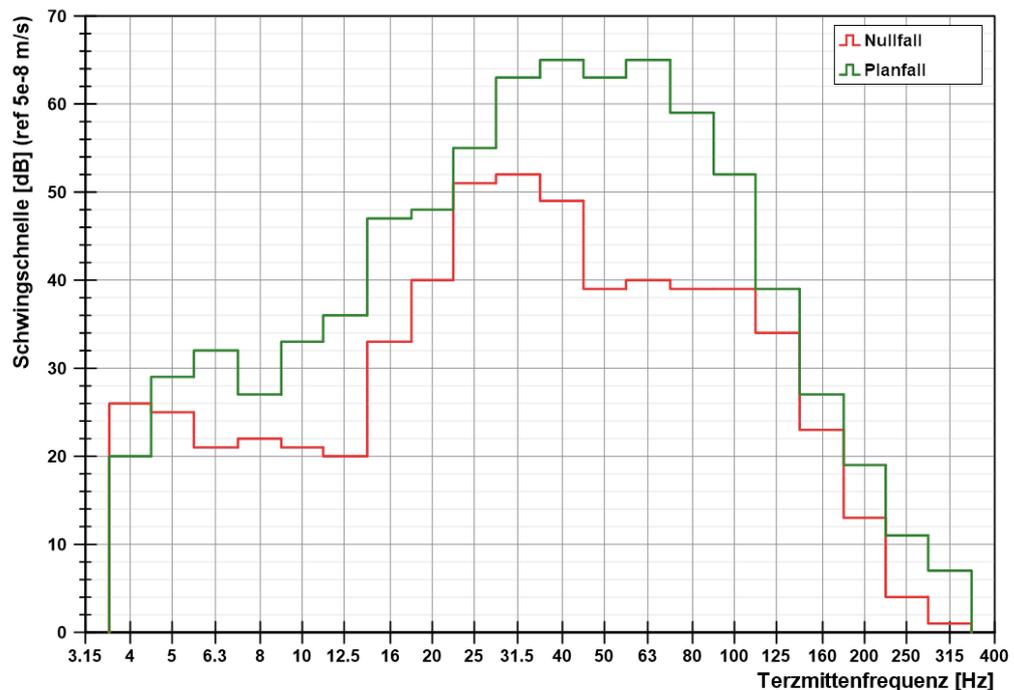


Abbildung 3. Terzspektren der Zugvorbeifahrten aus den Messungen für Prognose-Nullfall (rot) und -Planfall (grün).

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 4105-2 [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 abwägen (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 Beurteilungsschwingstärke 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 Gebieteinteilung 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_o = 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_{FTr} 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, Schalterräume, 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 legen der Prognose zu Grunde.

Tabelle 8. Vorbeifahrtsdauern und Fahrgeschwindigkeiten während der Messungen.

	Nullfall [10]	Planfall [11]
Vorbeifahrtsdauer (Messung)	7,5 s	10 s
Vorbeifahrtsdauer (Prognose)	10 s	10 s
Fahrgeschwindigkeit (Messung)	75 km/h	160 km/h
Maximale Zielgeschwindigkeit	70-100 km/h	70-100 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

Folgende Pegeldifferenzen bzw. Faktoren werden bei der Prognose für die Maximalgeschwindigkeit von 100 km/h berücksichtigt:

Tabelle 9. Korrekturen zur Berücksichtigung der Geschwindigkeitsanpassung.

	Nullfall [10]	Planfall [11]
Pegeldifferenz ΔdB	+2,5	-4,1
Faktor	1,33	0,62

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 10 zusammengestellt.

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

Deckenart	Spürbare Erschütterungen			Sek. Luftschall	
	$KB_{\text{Fmax,prog}}$	$KB_{\text{FTr,prog,tags}}$	$KB_{\text{FTr,prog,nachts}}$	$L_{\text{sek,Zug,A,tags}}$	$L_{\text{sek,Zug,A,nachts}}$
	[-]	[-]	[-]	[dB(A)]	[dB(A)]
Betondecke	<0,1	-	-	8,9	1,0
Holzbalkendecke	<0,1	-	-	11,0	6,1

Die Bewertung der Prognoseergebnisse zeigt, dass für den Prognose-Nullfall in einem Abstand von 17 m die Anhalts- bzw. Richtwerte sowohl für die spürbaren Erschütterungen für reine Wohngebiete als auch für den sekundären Luftschall eingehalten werden.

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 11 zusammengestellt.

Tabelle 11. Maximale Prognoseergebnisse Prognose-Planfall, $a = 17$ m, $v_{\text{Prognose}} = 100$ km/h.

Deckenart	Spürbare Erschütterungen			Sek. Luftschall	
	$KB_{\text{Fmax,prog}}$	$KB_{\text{FTr,prog,tags}}$	$KB_{\text{FTr,prog,nachts}}$	$L_{\text{sek,Zug,A,tags}}$	$L_{\text{sek,Zug,A,nachts}}$
	[-]	[-]	[-]	[dB(A)]	[dB(A)]
Betondecke	0,18	0,042	0,025	20,2	15,6
Holzbalkendecke	0,21	0,048	0,028	20,0	15,4

Die Bewertung der Prognoseergebnisse zeigt, dass für den Prognose-Planfall in einem Abstand von 17 m ebenfalls damit gerechnet werden kann, dass die Anhalts- bzw. Richtwerte sowohl für die spürbaren Erschütterungen für reine Wohngebiete als auch für den sekundären Luftschall 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 Anforderungen bzgl. spürbarer Erschütterungen für reine Wohngebiete sowie für den sekundären Luftschall sowohl für die Tag- als auch Nachtzeit eingehalten werden können.

Die Prognoseberechnungen der Einwirkungsbereiche zeigen, dass ab einem Abstand von ≥ 10 m nicht mit störenden Einwirkungen gemäß der DIN 4150-2 und der 24. BImSchV zu rechnen ist (siehe z. B. Tabelle 14).

Anhand der Planunterlagen [14] konnten folgende kritische Einwirkungsbereiche mit einem Abstand < 10 m zur Gleistrassenmitte identifiziert werden. Dabei werden innerhalb der Einwirkungsbereiche nur schützenswerte Bebauungen aufgelistet (Wohngebäude, etc.). Betriebsgebäude der Bahn u. ä. Gebäude werden nicht weiter berücksichtigt. In Rücksprache mit Herrn Heim (Erms Neckar Bahn AG) und Herrn Niederich (GiV mbH) werden zusätzlich die max. Plangeschwindigkeiten der Züge an den jeweiligen Streckenabschnitten angegeben.

Tabelle 12. Potenziell kritische Standorte entlang der Ammertalbahn.

Ort	Gebäudetyp	Abstand [m]	Fahrgeschwindigkeit [km/h]
Bhf Tübingen West Schleifmühlweg 83	Wohnhäuser	8	60 km/h
Bhf. Unterjesingen Rottenburger Str. 20/22	Wohnhäuser	9	60 km/h
Bhf Pfäffingen	Kiosk	6	≤ 30 km/h (Ein-/Ausfahrt Bhf)
Bhf Entringen	Seminargebäude/ Wohnhaus	8	≤ 30 km/h (Ein-/Ausfahrt Bhf)
Gültstein - Holunderstr. 35/1, 37, 39/1 - Haselnussweg 9	Wohnhäuser	8-10	80 km/h

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. Die Berücksichtigung der unterschiedlichen Abstände und Fahrgeschwindigkeiten erfolgt gemäß RiL [8].

Die Prognoseergebnisse im Anhang B zeigen, dass es nur bei der Kombination aus Fahrgeschwindigkeit $v = 80 \text{ km/h}$ und einem mittleren Abstand von $8 - 10 \text{ m}$ zwischen Wohngebäude und Gleis zu Überschreitungen der Anhaltswerte für spürbare Erschütterungen führt. Dies betrifft 4 Wohngebäude in Gütstein (Abbildung 4):

- Holunderstr. 35/1, 37, 39/1 sowie
- Haselnussweg 9.

Zu beachten ist hierbei, dass die Überschreitungen nur für hohe Deckeneigenfrequenzen oberhalb von 40 Hz zu erwarten sind.



Somit kann im worst-case eine wesentliche Zunahme der Erschütterungsimmissionen vorliegen. Hierdurch wird eine Abwägung von Maßnahmen erforderlich.

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.“

¹ Verwaltungsverfassungsgesetz (VwVfG)

Da es sich um eine Umstellung des bereits planfestgestellten Planfeststellungsbeschluss handelt, ist der aktuelle Prognose-Nullfall nicht der aktuelle Zustand auf der Ammertalbahn. Die Elektrifizierung und der abschnittsweise Ausbau der Strecke ist noch nicht umgesetzt, so dass die in der RiL [8] erwähnte messtechnische Zustandserfassung des Prognose-Nullfalls nicht möglich ist.

Es wird empfohlen, nach Inbetriebnahme des Prognose-Planfalls in den kritischen Gebäuden Erschütterungsmessungen während Zugvorbeifahrten durchzuführen. Dadurch können die tatsächlichen Deckeneigenfrequenzen und daraus folgend die spürbaren Erschütterungen sowie den sekundären Luftschallimmissionen bestimmt und mit den Anhalts- und Richtwerten bewertet werden. Sollten die Anforderungen der RiL [8] nicht eingehalten werden können, sind die oben aufgeführten Maßnahmen zu prüfen.

Anhang A

Prognoseergebnisse für den Prognose-Nullfall

\\S-muc-fs01\allefirmen\WP\Proj\119\M119820\M119820_04_Ber_1D.DOCX:29.07.2022

Tabelle 13. Prognose-Nullfall - Prognostizierte KB-Werte [-] sowie sek. Luftschallpegel [dB(A)] für Beton- bzw. Holzbalkendecken, mittlerer Gleisabstand 8 m, Fahrgeschwindigkeiten $v = 80$ km/h.

	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	<0.1	0.10	0.11	0.15	0.25	0.26	0.23	0.16	0.14	0.13
$KB_{Ftr,tags}^*$	-	-	0.020	0.022	0.030	0.048	0.050	0.045	0.031	0.027	0.025
$KB_{Ftr,nachts}^*$	-	-	0.011	0.013	0.017	0.028	0.029	0.025	0.018	0.016	0.014
$L_{sek,Zug,A,tags}$	11.9	12.1	12.5	13.1	13.5	14.3	15.4	16.2	15.7	16.7	17.8
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	7.0	7.2	7.6	8.2	8.6	9.4	10.5	11.3	10.8	11.8	12.9
Abstand 8 m, $v = 80$ km/h – Holzbalkendecke											
$KB_{F,max}$	<0.1	<0.1	<0.1	0.13	0.19	0.28	0.28	0.26	0.20	0.18	0.16
$KB_{Ftr,tags}^*$	-	-	-	0.026	0.037	0.055	0.056	0.051	0.040	0.035	0.032
$KB_{Ftr,nachts}^*$	-	-	-	0.015	0.021	0.031	0.032	0.029	0.023	0.020	0.018
$L_{sek,Zug,A,tags}$	12.6	12.6	12.9	13.4	14.1	15.1	15.9	16.5	16.5	17.3	18.0
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	7.7	7.8	8.0	8.5	9.2	10.2	11.0	11.7	11.7	12.4	13.1

* Berechnung nur, wenn $KB_{F,max} > 0,1$

Anhang B

Prognoseergebnisse für den Prognose-Planfall

\\S-muc-fs01\allefirmen\WP\Proj\119\M119820\M119820_04_Ber_1D.DOCX:29.07.2022

Tabelle 14. Prognose-Planfall - 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 = 100 km/h											
$KB_{F,max}$	0.15	0.17	0.18	0.20	0.22	0.27	0.35	0.43	0.42	0.46	0.34
$KB_{Ftr,tags}$	0.036	0.039	0.043	0.047	0.050	0.062	0.082	0.100	0.098	0.108	0.078
$KB_{Ftr,nachts}$	0.021	0.023	0.025	0.028	0.030	0.036	0.048	0.059	0.058	0.064	0.046
$L_{sek,Zug,A,tags}$	18.1	18.7	19.2	19.5	19.8	20.3	20.8	22.0	23.3	25.2	24.4
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	13.5	14.1	14.6	14.9	15.2	15.7	16.2	17.4	18.7	20.6	19.8
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
$KB_{Ftr,tags}$	0.041	0.045	0.049	0.053	0.057	0.070	0.092	0.114	0.115	0.127	0.092
$KB_{Ftr,nachts}$	0.024	0.027	0.029	0.031	0.034	0.041	0.054	0.067	0.068	0.075	0.054
$L_{sek,Zug,A,tags}$	19.4	19.9	20.4	20.7	21.0	21.5	22.0	23.2	24.6	26.5	25.7
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.7	15.3	15.8	16.1	16.4	16.9	17.4	18.6	19.9	21.9	21.1
Abstand 8 m, v = 60 km/h											
$KB_{F,max}$	0.13	0.15	0.16	0.17	0.18	0.23	0.30	0.37	0.37	0.41	0.30
$KB_{Ftr,tags}$	0.031	0.034	0.037	0.040	0.043	0.052	0.069	0.086	0.086	0.095	0.069
$KB_{Ftr,nachts}$	0.018	0.020	0.022	0.024	0.025	0.031	0.041	0.050	0.051	0.056	0.040
$L_{sek,Zug,A,tags}$	19.4	19.9	20.4	20.7	21.0	21.5	22.0	23.2	24.6	26.5	25.7
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.8	15.3	15.8	16.1	16.4	16.9	17.4	18.6	20.0	21.9	21.1
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
$KB_{Ftr,nachts}$	0.014	0.016	0.017	0.018	0.020	0.024	0.031	0.039	0.041	0.046	0.033
$L_{sek,Zug,A,tags}$	18.9	19.5	20.0	20.3	20.6	21.1	21.5	22.7	24.1	26.0	25.2
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.3	14.9	15.4	15.7	16.0	16.5	16.9	18.0	19.5	21.4	20.6

Tabelle 15. Prognose-Planfall - 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. $L_{m,nachts}$).

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 = 100 km/h											
$KB_{F,max}$	0.13	0.14	0.15	0.19	0.23	0.31	0.40	0.48	0.49	0.53	0.42
$KB_{Ftr,tags}$	0.031	0.032	0.036	0.044	0.055	0.072	0.092	0.112	0.114	0.122	0.097
$KB_{Ftr,nachts}$	0.018	0.019	0.021	0.026	0.032	0.042	0.054	0.066	0.067	0.072	0.057
$L_{sek,Zug,A,tags}$	17.8	13.2	17.8	13.2	17.8	13.2	17.8	13.2	17.8	13.2	17.8
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	17.8	13.2	17.8	13.2	17.8	13.2	17.8	13.2	17.8	13.2	17.8
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
$KB_{Ftr,tags}$	0.035	0.037	0.041	0.050	0.062	0.080	0.104	0.128	0.133	0.143	0.113
$KB_{Ftr,nachts}$	0.021	0.022	0.024	0.029	0.036	0.047	0.061	0.076	0.078	0.084	0.067
$L_{sek,Zug,A,tags}$	18.8	18.8	19.1	19.5	20.0	20.7	21.5	22.6	23.7	25.0	24.5
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.2	14.2	14.5	14.9	15.4	16.1	16.9	18.0	19.1	20.4	19.9
Abstand 8 m, v = 60 km/h											
$KB_{F,max}$	0.11	0.12	0.13	0.16	0.20	0.26	0.33	0.41	0.43	0.46	0.36
$KB_{Ftr,tags}$	0.026	0.027	0.031	0.037	0.046	0.060	0.078	0.096	0.099	0.108	0.085
$KB_{Ftr,nachts}$	0.016	0.016	0.018	0.022	0.027	0.035	0.046	0.057	0.058	0.063	0.050
$L_{sek,Zug,A,tags}$	19.2	19.2	19.5	19.8	20.4	21.0	21.9	23.0	24.0	25.3	24.9
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.6	14.6	14.8	15.2	15.8	16.4	17.3	18.3	19.4	20.7	20.3
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
$KB_{Ftr,nachts}^*$	-	-	0.014	0.017	0.021	0.027	0.035	0.044	0.047	0.051	0.040
$L_{sek,Zug,A,tags}$	18.9	19.5	20.0	20.3	20.6	21.1	21.5	22.7	24.1	26.0	25.2
$L_{sek,Zug,A,nachts}$	14.3	14.9	15.4	15.7	16.0	16.5	16.9	18.0	19.5	21.4	20.6

* Berechnung nur, wenn $KB_{F,max} > 0,1$