

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

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

www.mbbm-ind.com

Dr.-Ing. Andreas Gömmel
Telefon +49(711)136757 16
andreas.goemmel@mbbm-ind.com

05. März 2024
M178840/02 Version 1 GML/EZR

SWU Verkehr GmbH

Untersuchungen zur Auswirkung der veränderten Erschütterungsimmissionen nach dem geplanten Umbau der Gleise im Bereich Donaustadion

Bericht Nr. M178840/02

Auftraggeber:	SWU Verkehr GmbH Postfach 38 67 89028 Ulm
Auftragsnummer:	48716067/03/600
Bearbeitet von:	Dr.-Ing. Andreas Gömmel
Berichtsumfang:	18 Seiten

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	4
2 Unterlagen	5
3 Bewertungsrelevante Immissionsorte	6
4 Schwingungsmessungen	7
4.1 Art der Messungen	7
4.2 Randbedingungen der Messungen	7
4.3 Messorte und Messausrüstung	7
4.4 Messdurchführung	9
5 Grundlagen der Prognose	9
5.1 Zugtypen/Achslasten	9
5.2 Abnahme über die Entfernung	11
5.3 Fahrgeschwindigkeiten	12
5.4 Streckenbelastung für Prognoseberechnungen	12
6 Bewertungsgrundlage	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 Erschütterungen	13
6.3 Sekundärer Luftschall	15
7 Prognose und Bewertung	16
7.1 Vorgehensweise	16
7.2 Prognoseergebnisse	17
7.3 Bewertung	18
7.4 Mögliche Maßnahmen (informativ)	18

Zusammenfassung

Die SWU beabsichtigen, den Streckenabschnitt der Straßenbahnlinie 1 im Bereich Donaustadion umzubauen. Dabei ist vorgesehen, die Wendeschleife zu erweitern und in beide Richtungen nutzbar zu machen. Die Immissionsarten Erschütterung und Sekundärluftschall sollten prognostiziert und bewertet werden. Hierzu fanden Schwingungsmessungen statt. Weiterhin waren die in Zukunft neu eingesetzten, 7-teiligen Avenio-Züge zu berücksichtigen.

Analog zum hier anwendbaren Verfahren nach der RiL 820.2050 [1] wurden die prognostizierten Erschütterungen nach DIN 4150-2 [2] und die Sekundärluftschallimmissionen nach der 24. BImSchV [3] bewertet. Die Prognose hatte zum Ergebnis, dass sowohl im Prognose Nullfall (Ist-Zustand) als auch im Prognose-Planfall die Vorgaben der Regelwerke eingehalten werden.

Für den technischen Inhalt verantwortlich:



Dr.-Ing. Andreas Gömmel

1 Situation und Aufgabenstellung, Vorgehensweise

Die SWU beabsichtigen, den Streckenabschnitt der Straßenbahnlinie 1 am Donaustadion umzubauen. Dabei ist vorgesehen, die Streckenführung zu verändern, die Wendeschleife zu erweitern und von beiden Richtungen nutzbar zu machen. Im Vorfeld sollten Prognosen zur Veränderung der zu erwartenden Erschütterungs- und Luftschallimmissionen erstellt werden. Dieser Bericht bewertet die (spürbaren) Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen. Letztere werden durch die im Boden weitergeleiteten Erschütterungen verursacht und daher mit ähnlichen Methoden prognostiziert.

Es ist zu berücksichtigen, dass zu den momentan eingesetzten Avenio-M- und Combino-Zügen (jeweils 5-teilig) zukünftig 7-teilige Avenio-Züge fahren sollen. Die Achslasten der Avenio-Züge liegen hierbei in der gleichen Größenordnung.

Die Bearbeitung erfolgte in den folgenden Schritten:

1. Schwingungsmessungen im Bereich Donaustadion (Immissionen im Freifeld und Ausbreitungscharakteristik).
2. Vergleich und Ergänzung der Ergebnisse durch vorhandene Messdaten im Nahfeld der Ulmer Straßenbahn.
3. Prognose der spürbaren Erschütterungen und des Sekundärluftschalls für den Nullfall vor Umbau und den Planfall nach Umbau gemäß der RiL 820.2050 [1].
4. Bewertung der Prognoseergebnisse nach DIN 4150-2 [2] und 24. BImSchV [3].

2 Unterlagen

- [1] Richtlinie 820.2050 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“, DB Netze AG, 01.01.2017
- [2] DIN 4150-2:1999-06, Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
- [3] 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV)
- [4] SWU-Verkehr GmbH, Ausführungsplanung (Maßstab 1:250) Ertüchtigung der Straßenbahnlinie 1. Ergänzungsantrag Abschnitt Stadion – Donauhalle, 24.07.2008
- [5] SWECO, Entwurfsplanung Vorabzug (Maßstab 1:250) Umbau Wendeanlage Donaustadion, 23.11.2023
- [6] DIN 45669-1: 2020-06, Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfungen
- [7] DIN 45669-2: 2005-08, Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 2: Messverfahren
- [8] DIN°45672-1:2018-02. Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen, Teil 1: Messverfahren für Schwingungen
- [9] DIN°45672-2:2020-11. Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen, Teil 2: Auswerteverfahren
- [10] DIN 4150-1:2022-12, Erschütterungen im Bauwesen –Teil 3: Vorermittlung von Schwingungsgrößen
- [11] DIN EN 61672-1:2014-07, Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen

3 Bewertungsrelevante Immissionsorte

Der bisherige Verlauf von Strecke und Wendeschleife ist in Abbildung 1 dargestellt. Hier sind auch die aktuellen Messpunkte (vgl. Abschnitt 4.3) skizziert.

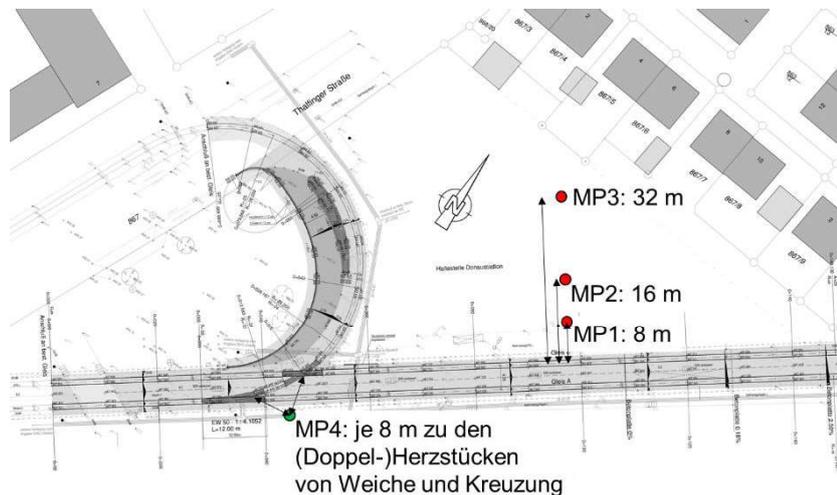


Abbildung 1. Bestehender Streckenverlauf (Nullfall) und Lage der Messpunkte. Hintergrund aus [4].

Abbildung 2 zeigt den geplanten Streckenverlauf mit den untersuchten Immissionsorten. Bei der Auswahl wurde berücksichtigt, dass Immissionen infolge der Weichen deutlich höher liegen als Immissionen von weichenfreien Gleisen. Als relevante Immissionsorte wurden deshalb die folgenden Gebäude identifiziert:

- Mathildenstraße 2, 89073 Ulm:
nächstliegendes Wohngebäude (Abstand 25 m) zur neuen Weiche W34
relevante Immissionen nur bei Wendefahrten
- Rußstraße 4, 89073 Ulm
nächstliegendes Wohngebäude zur Bestandsstrecke
neue Weiche W33, relevante Immissionen bei Regelbetrieb
- Talfinger Str. 7, 89073 Ulm
nächstliegende Gewerbeimmobilie zur Bestandsstrecke
neue Weiche W35, relevante Immissionen nur bei Wendefahrten

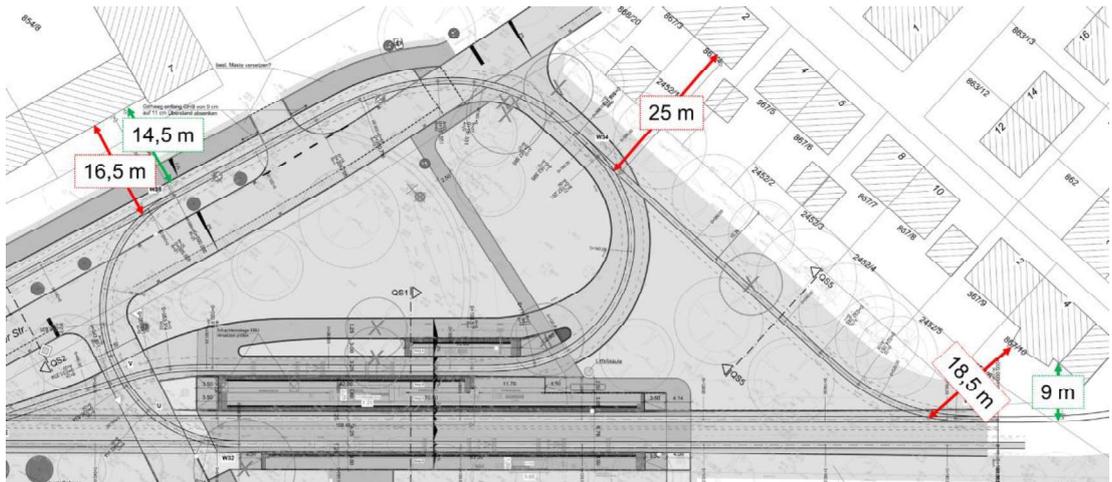


Abbildung 2. Geplanter Streckenverlauf (Planfall) und Lage der Immissionspunkte. Grün: Bisheriger Abstand, rot: neuer Abstand (ggf. zu einem dann relevanten Emissionspunkt, z. B. Weiche). Hintergrund aus [5].

4 Schwingungsmessungen

4.1 Art der Messungen

Schwingungsmessungen in Ulm zur Ermittlung der Erschütterungsimmissionen und des Abnahmeverhaltens der Erschütterungen im Boden durch die vorbeifahrenden Straßenbahnen. Die Erschütterungsmessungen wurden nach DIN 45669-1 [6], -2 [7] und DIN 45672-1 [8] durchgeführt.

4.2 Randbedingungen der Messungen

Ort:	Haltestellenbereich Donaustadion
Datum:	08.02.2024
Messpersonal:	Dr.-Ing. Andreas Gömmel, Zekaras Kelifa (beide Müller-BBM)
Gelände:	eben, Messungen im Freifeld, Entfernung des Bewuchses, Sensoraufstellung auf eingeschlammten Betonplatten
Meteorologie:	bewölkt, ca. 8°C
Erschütterungsquelle:	Regelbetrieb der Linie 1

4.3 Messorte und Messausrüstung

Die Lage der Messpunkte (MP) ist in Abbildung 1 skizziert. Die für die Messungen verwendeten Messgeräte sind in Tabelle 1 bis Tabelle 3 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 [6]. Durch die Erfüllung der in DIN 45669-1 und -2 [7] 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. Die folgenden Tabellen fassen die MP- und Messausrüstungseigenschaften zusammen.

Tabelle 1. Lage und Typ der Messpunkte.

Messpunkt	1	2	3	4
Abstand zur nächsten Gleismitte [m]	8	16	32	
Abstand zum Herzstück [m]				8
Messrichtung**	vertikal			
Messgröße	Schwinggeschwindigkeit [m/s]			
Befestigung	Im Boden eingeschlammte Betonplatte, Sensorhaftung durch Eigengewicht			
Seriennummer	DIN A-060	DIN A-058	DIN B-070	DIN B-062
Fabrikat, Typ	Lennartz, 3D/DIN			

Tabelle 2. Datenerfassungseinheit für die MP 1-3.

Gerät	Hersteller	Typ	Seriennummer
Messdatenerfassung		MK II	
Controller	Mecal	MQ II: PQ20 G2	0814M8656
Inputkarte	Mecal	MQ II: SC42 G2	1113M1785
Inputmodul	Mecal	MQ II: ICP4211 G2	0215M8029
Messwerverfassungs- und Auswertesoftware	Müller-BBM VAS	PAK	Version 6.2

Tabelle 3. Datenerfassungseinheit für den MP 4.

Gerät	Hersteller	Typ	Seriennummer
Messdatenerfassung	Sinus Messtechnik	Soundbook_octav G	#06075 2CKCA37896
Messwerverfassungs- und Auswertesoftware	Müller-BBM VAS	PAK	Version 6.2

4.4 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: 0,0125 s
- Messung: 11 Einzelmessungen Richtung Bofingen,
10 Einzelmessungen in Richtung Solfingen. Es wurde ein Wagenlauf erfasst.

Die Amplituden wurden als Maximalwerte über die Vorbeifahrten der Einzelmessungen gespeichert. Pro Richtung und Bahntyp wurden zur weiteren Verwendung Pegelmittelwerte der einzelnen Fahrten gebildet.

5 Grundlagen der Prognose

5.1 Zugtypen/Achslasten

Folgende Zugtypen sind zu berücksichtigen:

- Combino (Länge 31 m, 6 Achsen, max. Achslast 10,2 t)
- Avenio M (5-teilig, Länge 31 m, 6 Achsen, max. Achslast 10,0 t)
- Avenio M (7-teilig, noch nicht in Betrieb, Länge 42 m, 8 Achsen, max. Achslast 10,7 t)

Die maximale Abweichung der Achslasten liegt damit bei 7 % und kann bei der Prognose vernachlässigt werden. Die höhere Achszahl des geplanten 7-teiligen Avenio M wurde über eine längere Vorbeifahrtdauer in der Prognose des Planzustands berücksichtigt.

Als Eingangsspektren wurden die am Donaustadion erfassten Messdaten herangezogen. Die Spektren der beiden momentan betriebenen Zugtypen unterscheiden sich je nach Terzband um max. 6 dB. Da die Sekundärluftschallimmissionen durch die Frequenzanteile über 50 Hz bestimmt werden, wird sich bei zunehmender Nutzung der Avenio-M-Reihe eine Verbesserung im Vergleich mit der Combino-Reihe ergeben. Da für die Berechnung nicht bekannt ist, in welcher Verteilung beide Fabrikate eingesetzt werden, wurde zur Bewertung der Pegelmittelwert beider Zugtypen angesetzt (siehe Abbildung 3).

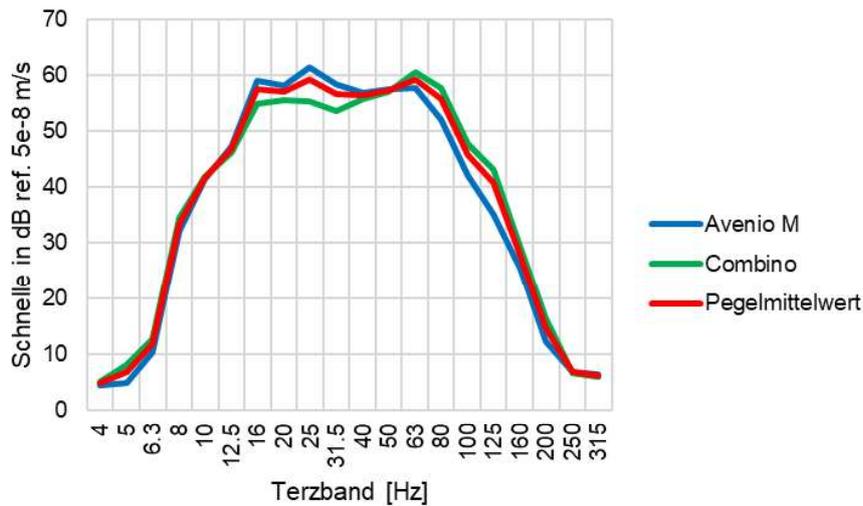


Abbildung 3. Terzbandspektren (Maximalpegel) der Schwingschnelle in dB ref. 5e-8 m/s im Abstand von 8 m zur Gleismitte des Zugtyps Avenio M und Combino sowie Pegelmittelwert der Spektren. Messung im Bereich der Haltestelle Donaustadion.

Als Prognosesicherheit wurden bei der Mittelwertbildung jeweils die Ergebnisse des näher gelegenen Gleises für beide Fahrrichtungen angesetzt. Die Immissionen an der Weiche und an der Kreuzung wurden ebenfalls getrennt ausgewertet und im Terzbandspektrum dargestellt (siehe Abbildung 4.)

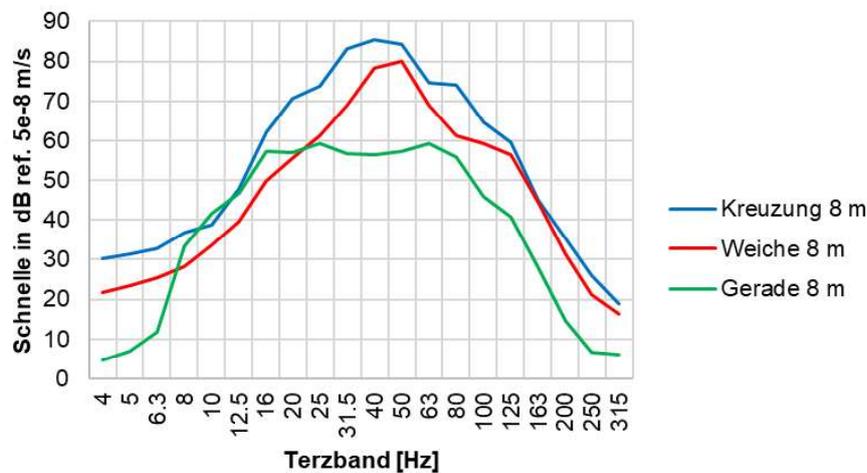


Abbildung 4. Terzbandspektren (Maximalpegel) der Schwingschnelle in dB ref. 5e-8 m/s im Abstand von 8 m zur Gleismitte bzw. zu den Herzstücken von Weiche und Kreuzung. Es sind jeweils die Pegelmittelwerte aus beiden Zugtypen dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass die Immissionen bei Überfahren der Kreuzung etwas höher liegen als diejenigen der Weiche. Bezogen auf die Entfernungen der relevanten Immissionsorte sind jedoch die Weichen durch deren Nähe von maßgebender Bedeutung.

5.2 Abnahme über die Entfernung

Das Abnahmeverhalten wurde frequenzabhängig gem. DIN 45672-2 [9] nach folgender Gleichung formuliert:

$$v_r(f_T) = v_0(f_T) \left(\frac{r_0}{r} \right)^{m(f_T)} \quad (1)$$

mit:

- $v_r(f_T)$: Schwinggeschwindigkeit v im Terzband der Frequenz f_T im Abstand r
- $v_0(f_T)$: Schwinggeschwindigkeit v im Terzband der Frequenz f_T im Referenzabstand $r_0 = 8 \text{ m}$
- $m(f_T)$: Frequenzabhängiger Exponent

Der Exponent $m(f_T)$ als einzige Unbekannte wurde durch eine Kurvenanpassung auf Basis der Messergebnisse bestimmt und dienen der Bestimmung der Ausbreitungsbedingungen vor Ort. Die Ergebnisse dieser Anpassung sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4. Ergebnisse für den frequenzabhängigen Faktor $m(f_T)$.

Terzband- mittenfrequenz f_T [Hz]	$m(f_T)$	Terzband- mittenfrequenz f_T [Hz]	$m(f_T)$
4	0,6	40	2,1
5	0,5	50	2,6
6.3	0,9	63	2,2
8	1,6	80	2,1
10	1,3	100	1,6
12.5	1,2	125	1,6
16	1,4	160	1,3
20	0,6	200	0,3
25	1,3	250	0,4
31.5	1,6	315	0,3

Als Eingangsspektren dienen jeweils die im Abstand von 8 m zu den Gleisen, Weichen und Kreuzungen gemessenen Nahfeld-Terzbandspektren. Die für die relevanten Immissionsorte anzusetzenden Prognosespektren wurden gemäß Gleichung (1) unter Verwendung der Nahfeldspektren aus Abbildung 4 berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt.

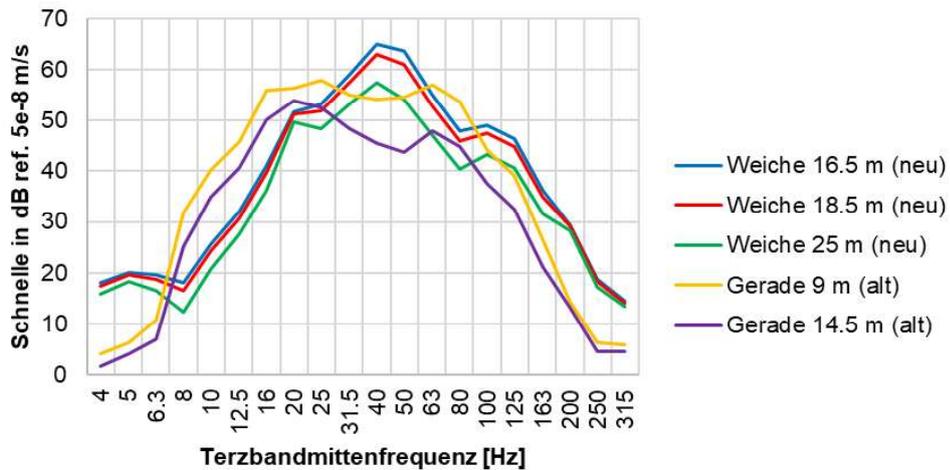


Abbildung 5. Bewertungs-Terzbandspektren (Maximalpegel) der Schwingschnelle in dB ref. 5e-8 m/s in den relevanten Abständen zu den Immissionsorten.

5.3 Fahrgeschwindigkeiten

Es ist davon auszugehen, dass die Geschwindigkeiten gleich denjenigen zum Messzustand bleiben, weil v. a. bei im Planfall das Befahren der Weichen maßgebend wird. Die folgenden Geschwindigkeiten sind lt. SWU anzusetzen:

- Wendegleise: 20 km/h
Gültig für Nullfall Talfinger Str. 7 sowie Planfälle Talfinger Str. 7 und Mathildenstraße 2, d. h. Vorbeifahrtsdauer Nullfall / Planfall: 25 s / 35 s.
- Hauptstrecke ohne Weiche stadteinwärts: 40 km/h
Gültig für Nullfall Rußstraße 4, d. h. Vorbeifahrtsdauer: 13 s
- Hauptstrecke ohne Weiche stadtauswärts: 50 km/h
- Hauptstrecke mit Weiche stadtauswärts: 30 km/h
- Hauptstrecke mit Weiche stadteinwärts: 25 km/h
gültig für Planfall Rußstraße 4, d. h. Vorbeifahrtsdauer: 28 s

5.4 Streckenbelastung für Prognoseberechnungen

Tabelle 5. Streckenbelastung für Prognoseberechnungen gem. aktuellem Fahrplan.

	Nullfall	Planfall
Tags (6h00-22h00)	180	180
Nachts (22h00-6h00)	24	24

Tabelle 6. Annahme (Extremwert) der Streckenbelastung für Wendefahrten.

	Nullfall	Planfall
Tags (6h00-22h00)	20	20

Die Maßnahme dient nicht der Kapazitätserhöhung, daher wurden für Prognose-Nullfall und Prognose-Planfall die gleichen Zugmengen angesetzt.

6 Bewertungsgrundlage

6.1 Allgemeines

Die Berechnung und Bewertung der Immissionen erfolgt aufgrund der von der Streckennutzung unabhängigen Prognoseverfahren analog zur entsprechenden Richtlinie der Deutschen Bahn (DB), der RiL 820.2050 [1].

6.2 Erschütterungen

Zur Beurteilung der spürbaren Erschütterungsmissionen auf Menschen in Gebäuden gibt die RiL 820.2050 im Anhang 03 [1] beim Aus- bzw. Umbau von bestehenden Schienenverkehrswegen ein zweistufiges Verfahren vor. Dabei sind die nach der Inbetriebnahme zu erwartenden Immissionswerte (Prognose-Planfall) zu ermitteln und anhand der folgenden Kriterien zu bewerten:

1. Überprüfung auf Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4105-2 [2].

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 Erschütterungsmissionen.

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

Nur wenn die Erschütterungsmissionen aus dem Schienenverkehr nach dem Bauvorhaben wesentlich zunehmen, und gleichzeitig die prognostizierten Erschütterungen die gebietsabhängigen Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [2] übersteigen, sind Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungsmissionen zu abzuwägen (siehe auch Abschnitt 7.4).

Die Beurteilung nach DIN 4150-2 [2] 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 [2] unterscheidet bei der Bewertung der Erschütterungsimmissionen nach Einwirkungsorten sowie der Einwirkungszeit (tags/nachts). Die Anhaltswerte zur Bewertung sind in Tabelle 7 dargestellt. Entlang der Ammertalbahn liegen Gebiete gemäß der Zeilen 1 bis 4.

Tabelle 7. Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen (DIN 4150-2, Tabelle 1[2], 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 7.
- 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_{FTT} -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.

6.3 Sekundärer Luftschall

Entsprechend der RiL 820.2050 [1] werden zur Bewertung des sekundären Luftschalls in Gebäuden Richtwerte für zumutbare Innenraumpegel anhand der 24. BImSchV [3] abgeleitet. Sie sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8. Immissionsrichtwerte für zumutbare Innenraumpegel L_i in Anlehnung an die 24. BImSchV [3].

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 [1] 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 [1] 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 8, 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.

Hier werden bei den Wohngebäuden die Raumarten „Wohnräume“ (tags) bzw. „Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden“ (nachts) zur Bewertung angesetzt. Bei der Gewerbeimmobilie wird die Raumart „Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume“ herangezogen.

7 Prognose und Bewertung

7.1 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 baudynamischer 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 von 8 Hz bis 63 Hz, inkl. dem Einfluss von schwimmenden Estrichen.

Die Prognoseberechnungen werden im Frequenzbereich durchgeführt. Die Korrekturspektren werden terzweise zu den in Abschnitt 5.2 beschriebenen Prognose-Schnellepegel-Terzspektren 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 5.4 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 in den Terzbändern 25 Hz bis 63 Hz mit der spektralen Korrelationsmethode unter Berücksichtigung von Betondecken. Dazu wird zunächst terzweise der sekundäre Luftschallpegel $L_{sek,Zug}(f)$ berechnet, dieser im Anschluss nach DIN EN 61672-1 [11] A-bewertet und durch energetische Addition aller Terzpegel zu $L_{sek,Zug,A}$ [dB(A)] bestimmt.

Hinweis:

Im Prognose-Planfall wird angenommen, dass ausschließlich 7-teilige Züge eingesetzt werden.

7.2 Prognoseergebnisse

7.2.1 Prognose-Nullfall

Die prognostizierten spürbaren Erschütterungen und sekundären Luftschallpegel sind für verschiedene mögliche Deckeneigenfrequenz in Tabelle 9 zusammengestellt.

Tabelle 9. Maximale Prognoseergebnisse Prognose-Nullfall und anzusetzende Anhalts-/Richtwerte.

Deckenart	Spürbare Erschütterungen			Sek. Luftschall	
	$KB_{Fmax,prog}$	$KB_{FTr,prog,tags}$	$KB_{FTr,prog,nachts}$	$L_{sek,Zug,A,tags}$	$L_{sek,Zug,A,nachts}$
	[-]	[-]	[-]	[dB(A)]	[dB(A)]
Rußstr. 4, Betondecke	0,07	*	-	26	20
Rußstr. 4, Holzdecke	0,08	-	-	27	21
Talfinger Str. 7, Betondecke	0,04	-	-	7	-†
Anhalts- bzw. Richtwerte	$A_u = 0,15$	$A_{r,Tag} = 0,07$	$A_{r,Nacht} = 0,05$	$L_{i,T} = 40 \text{ dB(A)}$	$L_{i,N} = 30 \text{ dB(A)}$

Die Bewertung der Prognoseergebnisse zeigt, dass die Anhalts- bzw. Richtwerte für den Prognose-Nullfall sowohl für die spürbaren Erschütterungen Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend Wohnungen untergebracht sind, als auch für den sekundären Luftschall eingehalten werden.

7.2.2 Prognose-Planfall

Die prognostizierten spürbaren Erschütterungen und sekundären Luftschallpegel sind für verschiedene mögliche Deckeneigenfrequenz und in einem Abstand von 18,4 m von der Gleistrassenmitte in Tabelle 10 zusammengestellt.

* Da $KB_{Fmax,prog} < A_u$ entfällt die Berechnung.

† Nachtzeitraum wegen der Gewerbenutzung nicht bewertungsrelevant

Tabelle 10. Maximale Prognoseergebnisse Prognose-Planfall und anzusetzende Anhalts-/Richtwerte.

Deckenart	Spürbare Erschütterungen			Sek. Luftschall	
	$KB_{Fmax,prog}$	$KB_{FTr,prog,tags}$	$KB_{FTr,prog,nachts}$	$L_{sek,Zug,A,tags}$	$L_{sek,Zug,A,nachts}$
	[-]	[-]	[-]	[dB(A)]	[dB(A)]
Rußstr. 4, Betondecke	0,070	-	-	30	24
Rußstr. 4, Holzdecke	0,08	-	-	30	25
Mathildenstr. 2, Betondecke	0,04	-	-	14	-‡
Mathildenstr. 2, Holzdecke	0,04	-	-	15	-
Talfinger Str. 7, Betondecke	0,09	-	-	22	-
Anhalts- bzw. Richtwerte	$A_u = 0,15$	$A_{r,Tag} = 0,07$	$A_{r,Nacht} = 0,05$	$L_{i,T} = 40 \text{ dB(A)}$	$L_{i,N} = 30 \text{ dB(A)}$

Die Bewertung der Prognoseergebnisse zeigt, dass für den Prognose-Planfall ebenfalls damit gerechnet werden kann, dass die Anhalts- bzw. Richtwerte für die spürbaren Erschütterungen und Sekundärluftschallimmissionen eingehalten werden.

7.3 Bewertung

Nach der DB-Richtlinie 820.2050 [1] und der DIN 4150-2 [2] in Verbindung mit der 24. BImSchV [3] führt der bauliche Eingriff der Verschwenkung der Gleise zu keiner wesentlichen Änderung der untersuchten Immissionsarten Erschütterung und Sekundärluftschall.

7.4 Mögliche Maßnahmen (informativ)

In der RiL 820.2050 der DB Netze [1] 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.

‡ Annahme: Keine bis maximal eine Wendefahrt zwischen 22 Uhr und 6 Uhr