



BV Verlängerung U3:
U-Bahnhof Krumme Lanke bis S-Bahnhof Mexikoplatz

Erschütterungstechnische Untersuchung

Ermittlung der Erschütterungsimmissionen aus dem Betrieb

Ersetzt Gutachten Nr. 74731G01b vom 05.07.2024
Anpassung auf aktuellen Planstand

BeSB GmbH Berlin
Schalltechnisches Büro


M. Sc. Christiane Pfitzner


Dipl.-Ing. Fabian van de Sand

Messstelle nach §29b BImSchG

VMPA anerkannte
Schallschutzprüfstelle

DAkKS-akkreditiertes Prüflaboratorium
nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 gem.
Urkundenanlage D-PL-19685-01-00

Ort, Datum
Berlin, 12.07.2024

Gutachten
Nr. 74731G01c

Messtermin
04.04.2024

Bearbeiter/in
CP

Umfang
36 Seiten
13 Seiten Anhang
Ein auszugsweises Zitieren ist mit
uns abzustimmen

Auftraggeber
ARGE GP Verlängerung U3
c/o Schüßler-Plan
Greifswalder Straße 80A
10405 Berlin

BeSB GmbH Berlin
Schalltechnisches Büro
Undinestraße 43
12203 Berlin

Telefon: +49 30 844 90 8 - 0
Telefax: +49 30 844 90 8 - 44
E-Mail: info@besb.de

Geschäftsführer
Dipl.-Ing. Alexander Knobloch
M.A. Johannes Scheller

Beirat
Prof. Dr.-Ing. Edelbert Schaffert

Handelsregister Berlin
HRB 14606

| Inhaltsverzeichnis | Seite |
|--|-----------|
| 1 Zusammenfassung | 3 |
| 2 Einleitung und Aufgabenstellung | 4 |
| 3 Verwendete Unterlagen | 5 |
| 4 Beurteilungsmaßstab | 7 |
| 4.1 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden | 7 |
| 4.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen | 9 |
| 4.3 Sekundärer Luftschall | 10 |
| 5 Beschreibung des Untersuchungsgebiets | 12 |
| 5.1 Einstufung der Immissionsorte | 14 |
| 5.2 Angaben zum Baugrund | 15 |
| 6 Beschreibung des geplanten Betriebsprogramms | 18 |
| 6.1 U-Bahn-Trasse zwischen U-Bhf. Krumme Lanke und Mexikoplatz | 18 |
| 6.2 Kehr- und Abstellgleis | 18 |
| 7 Verfahren zur Prognose betriebsbedingter Erschütterungen und Sekundärluftschall | 19 |
| 7.1 Emissionen durch den Zugverkehr (H1) | 20 |
| 7.1.1 Emissionsspektrum freie Strecke | 21 |
| 7.1.2 Korrekturfunktion zur Berücksichtigung des Tunnelbauwerks | 23 |
| 7.1.3 Korrekturfunktion zur Berücksichtigung der Geschwindigkeit | 24 |
| 7.1.4 Korrekturfunktion zur Berücksichtigung einer Weiche | 24 |
| 7.1.5 Angewendete Emissionsspektren | 25 |
| 7.2 Erschütterungsausbreitung (H2) | 25 |
| 7.3 Immission (H3 und H4) | 26 |
| 7.3.1 Prognose der Erschütterungen | 28 |
| 7.3.2 Prognose des Sekundärschalls | 28 |
| 8 Prognoseergebnisse | 29 |
| 9 Minderungsmaßnahmen | 31 |
| 9.1 Unterschottermatte | 33 |
| 9.2 Masse-Feder-System | 34 |
| 9.3 Fazit | 36 |

1 Zusammenfassung

Die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) planen im Berliner Südwesten eine Erweiterung des bestehenden U-Bahnnetzes. Dafür soll die U-Bahnlinie U3 vom U-Bahnhof *Krumme Lanke* bis zum S-Bahnhof *Mexikoplatz* verlängert werden. Dabei verläuft die Strecke unterhalb der Argentinischen Allee. Außerdem soll eine Kehr- und Abstellanlage südlich an die Strecke anschließen, die sich unterhalb der Lindenthaler Allee bis fast zur Kreuzung Potsdamer Chaussee erstreckt.

In der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung wurden die durch den Betrieb der U-Bahnstrecke sowie der Kehr- und Abstellanlage hervorgerufenen Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen in der angrenzenden Bebauung berechnet und anhand gängiger Normen und Richtlinien bewertet.

Die Prognoserechnung erfolgte anhand pauschaler Ansätze für die Erschütterungsausbreitung im Baugrund und die Weiterleitung innerhalb von Gebäuden wobei die Emissionen messtechnisch an der Bestandsstrecke erfasst wurden.

Bei der Berücksichtigung eines "gewöhnlichen" Schotteroberbaus ist bei der geplanten Streckenerweiterung von Überschreitungen der empfohlenen Anhaltwerte für Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen auszugehen, weshalb mögliche Minderungsmaßnahmen untersucht wurden.

In den Bereichen der Strecke, in denen die U-Bahnen mit einer Geschwindigkeit von bis zu 60 km/h fahren (U-Bahnhof *Krumme Lanke* bis U-Bahnhof *Mexikoplatz*), ist zur Einhaltung der Anforderungen für die Sekundärschall- und Erschütterungsmissionen die Umsetzung eines Masse-Feder-Systems erforderlich. Die Abstimmfrequenz sollte bei 10 Hz liegen um eine ausreichende Wirkung zu erzielen.

Im Bereich des Bahnhofs sowie der Kehr- und Abstellanlage ist die Fahrgeschwindigkeit der U-Bahnen mit 25 km/h geringer, weshalb niedrigere Erschütterungsemissionen entstehen. Dort ist der Einsatz von Unterschottermatten mit einer Abstimmfrequenz von 20 Hz möglich.

2 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) planen im Berliner Südwesten eine Erweiterung des bestehenden U-Bahnnetzes. Dafür soll die U-Bahnlinie U3 vom U-Bahnhof *Krumme Lanke* bis zum S-Bahnhof *Mexikoplatz* verlängert werden. Dabei verläuft die Strecke unterhalb der Argentinischen Allee. Außerdem soll eine Kehr- und Abstellanlage südlich an die Strecke anschließen, die sich unterhalb der Lindenthaler Allee bis fast zur Kreuzung Potsdamer Chaussee erstreckt. Der geplante Streckenabschnitt des Lückenschlusses inklusive der Kehr- und Abstellanlage ist etwa 1,34 km lang.

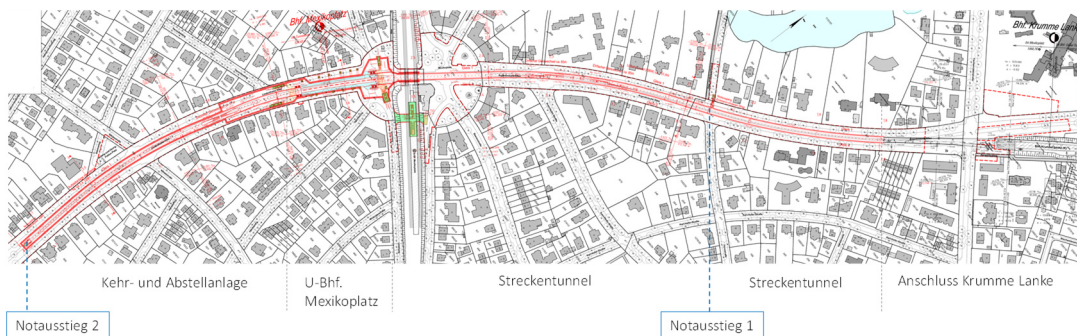


Abb. 2.1: Lageskizze zum Lückenschluss aus [23]

Das Tunnelbauwerk wird als Rechtecktunnel in offener Bauweise mit geringer Überdeckung errichtet, in welchem zwei Gleise verlaufen. Südlich des S-Bahnhofes Mexikoplatz liegt der U-Bahnhof mit Verteilerebene. Die Notausgänge befinden sich zum einen am Ende der Kehr- und Abstellanlage und zum anderen auf der Höhe des Erdmann-Graeser-Wegs.

Im Rahmen der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung werden die durch den Betrieb der U-Bahnstrecke sowie der Kehr- und Abstellanlage hervorgerufenen Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen in der angrenzenden Bebauung berechnet und anhand gängiger Normen und Richtlinien bewertet.

3 Verwendete Unterlagen

- [1] DIN 4150-1 *Erschütterungen im Bauwesen* - Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Dezember 2022
- [2] DIN 4150-2 *Erschütterungen im Bauwesen* - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden; Juni 1999
- [3] DIN 4150-3 *Erschütterungen im Bauwesen* - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Dezember 2016
- [4] DIN 45669-2, *Messung von Schwingungsimmissionen*, Teil 2: Messverfahren; Juni 2005
- [5] DIN 45672-1, *Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen*, Teil 1: Messverfahren für Schwingungen; Februar 2018
- [6] VDI 2038 Blatt 1 *Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren* - Blatt 1: Grundlagen - Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen, Juni 2012
- [7] VDI 2038 Blatt 2 *Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren* - Blatt 2: Schwingungen und Erschütterungen - Prognose, Messungen, Beurteilung und Minderung, Januar 2013
- [8] VDI 2038 Blatt 3 *Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren* - Blatt 3: Sekundärer Luftschall - Grundlagen, Prognose, Messungen, Beurteilung und Minderung, November 2013
- [9] VDI 3837 *Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen - Spektrales Prognoseverfahren*, Januar 2013
- [10] ISO 14837-1 *Mechanical vibration - Ground borne noise and vibration arising from rail systems* - Part 1: General guidance, Juli 2005
- [11] VDI 2719, *Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen*; August 1987
- [12] 24. BImSchV, *Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes* (Verkehrswege – Schallschutzmaßnahmenverordnung)
- [13] Sechste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 01.06.2017
- [14] Richtlinie Ril 820.2050, *Erschütterungen und sekundärer Luftschall*, DB Netz AG, Januar 2017
- [15] Artikel *Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr*, A. Said, H.-P. Grütz, R. Garburg, Juli 2005

- [16] *Erschütterungen und sekundärer Luftschall aus dem Schienenverkehr*, Taschenbuch der Technischen Akustik, G. Müller, M. Möser, 2017
- [17] *Acustica Vol. 58: Erschütterungen in der Umgebung von flach liegenden Eisenbahntunneln im Vergleich mit freien Strecken*, U.J. Kurze, R. Wettschureck, August 1985
- [18] BAM Forschungsbericht 199: *Erschütterungsübertragung zwischen U-Bahn-Tunneln und dicht benachbarten Gebäuden*, W.F. Rücker, S. Said, 1994
- [19] Vorlesungsskript: *Körperschall an Schienenverkehrswegen*, R. G. Wettschureck, 2010
- [20] Geoportal des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) <https://geo.brandenburg.de/?page=Geologische-Karten>, zuletzt aufgerufen am 25.03.2024
- [21] *Bestandsrecherche zum Baugrund und zur Hydrologie zum BV: U-Bahn-Linie U3 Lückenschluss*, CDM Smith, 25.10.2023
- [22] *Scoping-Unterlage: Verlängerung U3 / U-Bahnhof Krumme Lanke bis S-Bahnhof Mexikoplatz*, ARGE U3 MEX, 09.11.2023
- [23] *Lageplan Trassierung mit Bauwerk*, U3_-MEX-00-03-GPR-300-001-F-01, 04.07.2024
- [24] *Längenschnitt Gleis 2 Trassierung mit Bauwerk -*, U3_-MEX-01-12-TRA-372-001-V-01, 14.06.2024
- [25] *Bebauungsplan X-11* für das Gebiet Kreuzung Argentinische Allee - Fischerhüttenstraße in Berlin-Zehlendorf, 04.01.1956
- [26] *Bebauungsplan X-13* für den Straßenzug Argentinische Allee - Lindenthaler Allee zwischen U-Bf. Krumme Lanke und Potsdamer Chaussee in Zehlendorf, 28.8.1957
- [27] *Bebauungsplan X-90* für das Gelände zwischen der Wannseeahn, der Lindenthaler Allee, der Matterhornstraße, der Salzachstraße und dem Elvirasteig im Bezirk Zehlendorf, 22.08.1973
- [28] *Bebauungsplan X-B 8* für das Gelände zwischen Fischerhüttenstraße, Argentinische Allee, nordöstliche Grenze der Grundstücke Argentinische Allee 33 und Karl-Hofer-Straße 11 A und 11 C, Karl-Hofer-Straße, Roonstraße, Bülowstraße, Am Schlachtensee, Elvirasteig, Goethestraße mit Ausnahme der Grundstücke Argentinische Allee 1/5 B und 2, Beerenstraße 57, Limastraße 1 und 2 sowie Am Schlachtensee 2 im Bezirk Steglitz-Zehlendorf, 10.05.2005
- [29] *Baunutzungsplan für das gesamte Gebiet von Berlin (west)*, 30.06.1961

4 Beurteilungsmaßstab

Bei einer Zugvorbeifahrt entstehen dynamische Kräfte, die über das Gleis auf den Untergrund einwirken. Diese lösen Erschütterungen aus, die sich über den Baugrund ausbreiten. Von diesen Erschütterungen können benachbarte Bauwerke am Fundament erfasst und so ebenfalls zu Schwingungen angeregt werden. Innerhalb der Gebäude können sich die Erschütterungen aufgrund deren Eigendynamik verstärken oder abschwächen. Die einwirkenden Erschütterungen können von Menschen als solche wahrgenommen werden, wenn sie eine bestimmte Föhlschwelle überschreiten.

Neben Erschütterungen können die in ein Gebäude eingetragenen Schwingungen auch sogenannten "sekundären Luftschall" hervorrufen. Hierunter versteht man den durch die Schwingungsanregung von Umfassungsbauteilen (Wände, Decken) abgestrahlten Schallanteil innerhalb von Räumen.

Die Anforderungen sind daher zu unterscheiden hinsichtlich:

- Erschütterungen
- Sekundärer Luftschall

4.1 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Für die Bewertung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen wird die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ verwendet. Die KB-Bewertung berücksichtigt die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Körpers gegenüber Erschütterungen.

Die bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} gibt Hinweise auf die menschliche Wahrnehmung. So liegt die menschliche Föhlschwelle bei den meisten Menschen etwa zwischen $KB = 0,1$ und $KB = 0,2$.

Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Wohnräumen oder vergleichbar genutzten Räumen bei dauerhaften Erschütterungseinwirkungen nennt die DIN 4150-2 [2]. Hilfsweise wird diese auch für Büroräume angewendet. Die Anhaltswerte sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Tab. 4.1: Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen gem. DIN 4150-2

| 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 ggf. ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschafts-personen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, §9) | 0,4 | 6 | 0,2 | 0,3 | 0,6 | 0,15 |
| 2 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, §8) | 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 (vergleiche Kerngebiete BauNVO, §7, Mischgebiete BauNVO, §6, Dorfgebiete BauNVO, §5) | 0,2 | 5 | 0,1 | 0,15 | 0,3 | 0,07 |
| 4 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet BauNVO, §3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, §4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, §2) | 0,15 | 3 | 0,07 | 0,1 | 0,2 | 0,05 |
| 5 | Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, 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 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt. | | | | | | | |

A_u: unterer Anhaltswert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax}

A_o: oberer Anhaltswert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax}

A_r: Anhaltswert der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}

Für den Schienenverkehr hat der obere Anhaltswerte A_o nachts nicht die Bedeutung, dass bei seiner Überschreitung die Anforderungen der Norm DIN 4150-2 als nicht eingehalten gelten. Bei einer Überschreitung von A_o = 0,3 (für unterirdischen Schienenverkehr, Zeilen 3 bis 5 der Tab. 4.1) ist jedoch nach der Ursache zu forschen und diese möglichst schnell zu beheben.

Die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen erfolgt anhand zweier Beurteilungsgrößen:

KB_{Fmax} maximale bewertete Schwingstärke
 KB_{FTr} Beurteilungsschwingstärke

Dabei gilt, dass die Anforderungen eingehalten werden, wenn der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} den unteren Anhaltswert A_u nicht übersteigt. Die Anforderungen sind überschritten, wenn der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} den oberen Anhaltswert A_o übersteigt. Sofern der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} zwischen dem unteren Anhaltswert A_u und dem oberen Anhaltswert A_o liegt, ist ein Mittelwert, die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} , zu bilden. Unterschreitet diese den Anhaltswert A_r , so werden die Anforderungen insgesamt ebenfalls eingehalten. Das Bewertungsschema ist auch der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.

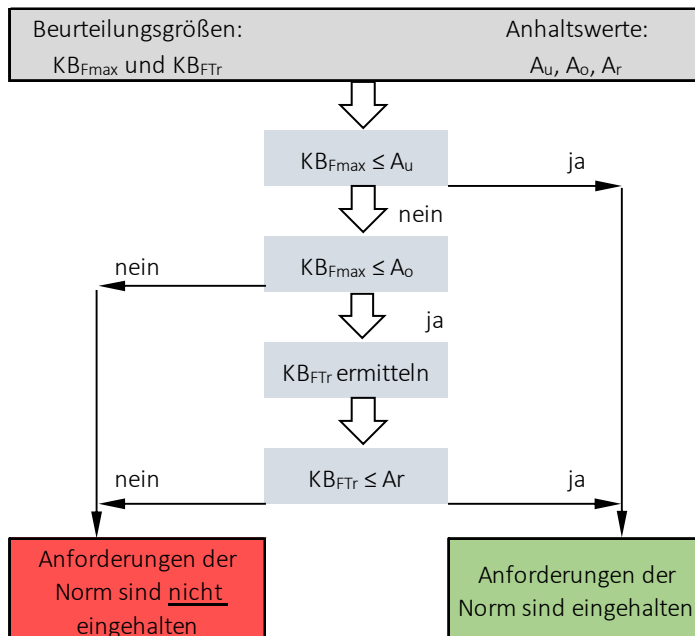


Abb. 4.1: Bewertungsschema DIN 4150-2

4.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

Die DIN 4150-3 [3] nennt Anhaltswerte bei deren Einhaltung keine Gebäudeschäden im Sinne einer Verminderung der Gebrauchsfähigkeit zu erwarten sind. Diese Anhaltswerte liegen deutlich oberhalb denen für die Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Werden die Anhaltswerte der DIN 4150-2 eingehalten, sind somit keine Überschreitungen der DIN 4150-3 für alle darin genannten Gebäudekategorien zu erwarten.

4.3 Sekundärer Luftschall

Für Geräuschimmissionen infolge sekundären Luftschalls gibt es keine allgemein gültigen Grenz- oder Richtwerte. Insofern müssen für die Bewertung entsprechende Analogieschlüsse aus Richtlinien und sonstigen Festsetzungen zu anderen Geräuscharten herangezogen werden.

Die Richtlinie der DB Netze AG [14] empfiehlt die Anwendung der 24. BImSchV [12]. Daraus können zulässige Innenraumpegel je nach Raumnutzung abgeleitet werden. Die entsprechenden Pegel (als Mittelungspegel über 16 h tags bzw. 8 h nachts) sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 4.2: Zulässige Innenpegel L_i gem. 24. BImSchV

| 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 Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen | |

Gebräuchlich in diesem Zusammenhang ist es auch, zusätzlich die Anhaltswerte der VDI 2719 [11] zur Beurteilung heranzuziehen. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Tab. 4.3: Anforderung gem. VDI 2719

| Raumart | A-bewertete | |
|---|-----------------------------------|---|
| | Mittelungspegel L_m in dB(A) | mittlere Maximalpegel $\bar{L}_{pA,max}$ in dB(A) |
| 1 Schlafräume nachts | | |
| 1.1 in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten | 25 bis 30 | 35 bis 40 |
| 1.2 in allen übrigen Gebieten | 30 bis 35 | 40 bis 45 |
| 2 Wohnräume tags | | |
| 2.1 in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten | 30 bis 35 | 40 bis 45 |
| 2.2 in allen übrigen Gebieten | 35 bis 40 | 45 bis 50 |
| 3 Kommunikations- und Arbeitsräume tags | | |
| 3.1 Unterrichtsräume, ruhebedürftige Einzelbüros, wissenschaftliche Arbeitsräume, Bibliotheken, Konferenz- und Vortragsräume, Arztpraxen, Operationsräume, Kirchen, Aulen | 30 bis 40 | 40 bis 50 |
| 3.2 Büros für mehrere Personen | 35 bis 45 | 45 bis 55 |
| 3.3 Großraumbüros, Gaststätten, Schalterräume, Läden | 40 bis 50 | 50 bis 60 |

Die VDI 2038 Blatt 3 [8] empfiehlt insbesondere bei unterirdischem Schienenverkehr, d.h. wenn kein Sichtbezug zur Schallquelle vorliegt, hilfsweise die Anwendung der TA Lärm [13]. Diese gibt für Immissionsorte innerhalb von Gebäuden unabhängig von der Gebietszuordnung einen Beurteilungspegel von

$$L_{r,Tag} = 35 \text{ dB(A) und}$$

$$L_{r,Nacht} = 25 \text{ dB(A)}$$

als Immissionsrichtwert an. Dieser darf durch kurzzeitige Geräuschspitzen um nicht mehr als 10 dB überschritten werden.

Aus Erfahrungen heraus empfiehlt sich ebenfalls die Einhaltung eines Maximalpegels von $L_{pA,max} = 40 \text{ dB(A)}$ anzustreben, da bei noch höheren Maximalpegeln die Wahrscheinlichkeit von Beschwerden und Aufwachreaktionen stark ansteigt.

5 Beschreibung des Untersuchungsgebiets

Im Bereich der geplanten Streckenverlängerung befinden sich hauptsächlich Wohngebiete, wobei anhand der vorhandenen Bebauungspläne bzw. des Baunutzungsplans in allgemeine Wohngebiete (WA, rosa) und reine Wohngebiete (WR, gelb) zu unterscheiden ist. Zudem liegt nördlich, nahe des Bahnhofs Krumme Lanke, ein Sondergebiet (SO, orange) mit dem Krankenhaus Waldfriede vor. Außerdem sind dort kleinere Bereiche Gewerbegebiet (GE, grau) ausgewiesen. Um den Mexikoplatz sind zudem Mischgebiete (MI, braun) zu finden.

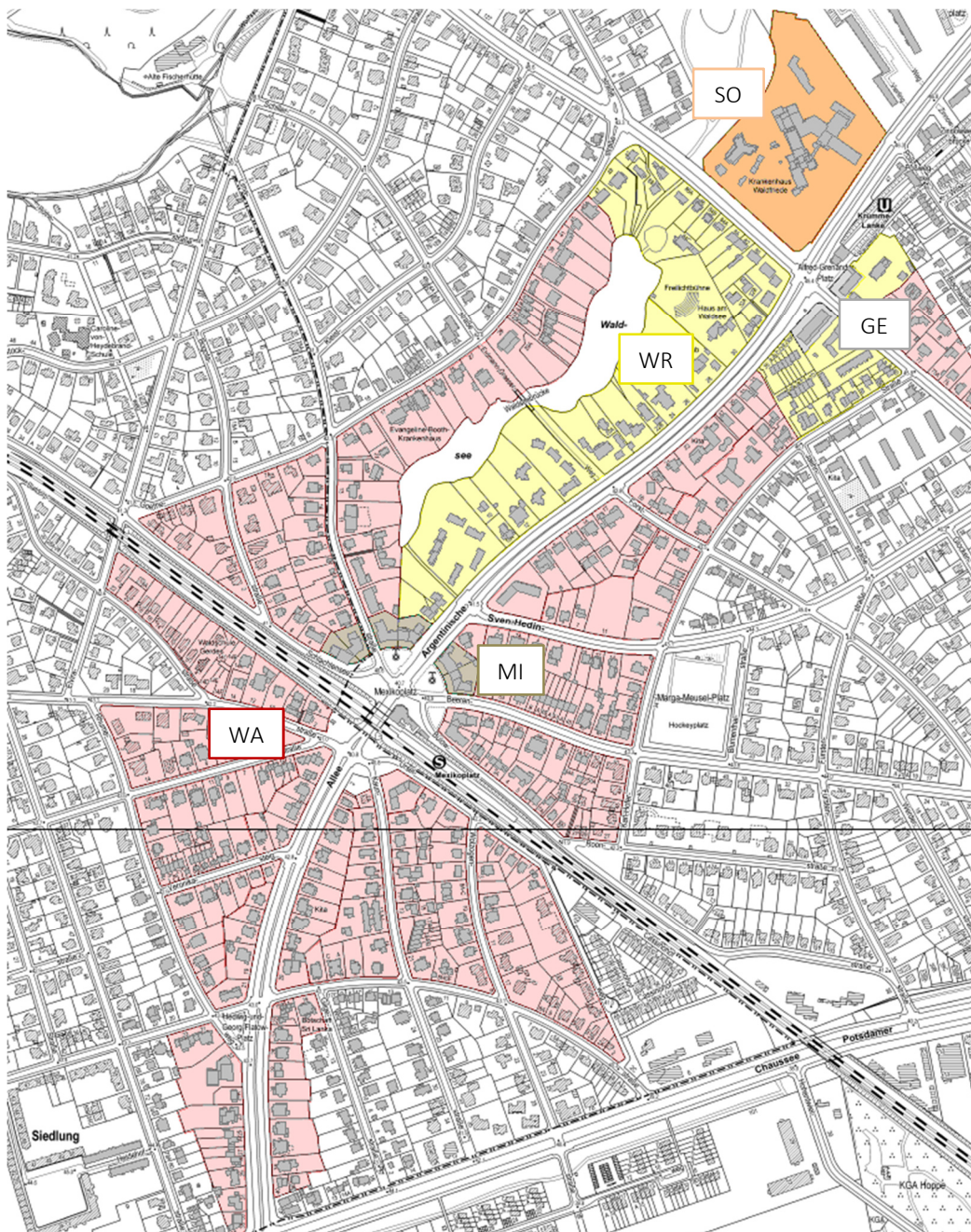


Abb. 5.1: Gebietseinordnungen entsprechend den Bebauungsplänen [23], [26], [27], [28] und des Baunutzungsplans [29]

In der nachfolgenden Tabelle sind für den Bereich von bis zu 50 m parallel zur Strecke die nächstgelegenen Gebäude als Immissionsorte zusammengefasst. Dabei sind Abstandsbereiche (Entfernung zwischen Tunnelaußenkante und Gebäude) festgelegt in denen sich jeweils die vordere Gebäudekante befindet. Die Lage der Gebäude ist auch nochmal in Anhang I dargestellt.

Tab. 5.1: Immissionsorte entlang der Strecke und Abstandsbereiche

| Abstands- bereich* | Immissionsort / Adresse | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| nördlich U-Bahnhof Mexikoplatz | | |
| | westlich des U-Bahn-Tunnels | östlich des U-Bahn-Tunnels |
| 5 - 10 m | | Mexikoplatz 1 (Bahnhof, Tagnutzung) |
| 10 - 15 m | Argentinische Allee 2 | Argentinische Allee 1 |
| 15 - 20 m | Argentinische Allee 4/6 | Argentinische Allee 3 |
| | Argentinische Allee 8D | Argentinische Allee 7 - 11 (ungerade) |
| | Argentinische Allee 10A | Argentinische Allee 17 |
| | Argentinische Allee 16 | Argentinische Allee 19 - 33 (ungerade) |
| | Argentinische Allee 30A/32 | |
| 20 - 25 m | Argentinische Allee 12 - 14 (gerade) | Forststraße 55 |
| | Argentinische Allee 08C | Argentinische Allee 5 |
| | Argentinische Allee 34 | Argentinische Allee 15 |
| | | Argentinische Allee 35 |
| | | Fischerhüttenstraße 68 |
| 25 - 30 m | Argentinische Allee 22 | Argentinische Allee 35A-C |
| | Argentinische Allee 24/26 | |
| | Fischerhüttenstraße 76 | |
| 30 - 40 m | Argentinische Allee 18 | Argentinische Allee 35D - F |
| | Argentinische Allee 20 | Mexikoplatz 4 |
| | Argentinische Allee 22A | |
| | Argentinische Allee 22B | |
| | Argentinische Allee 28 | |
| | Fischerhüttenstraße 78 | |
| 40 - 50 m | Argentinische Allee 8E | Sven-Hedin-Straße 2 |
| | Argentinische Allee 30 | Forststraße 53 |
| südlich U-Bahnhof Mexikoplatz | | |
| | westlich des U-Bahn-Tunnels | östlich des U-Bahn-Tunnels |
| 10 - 15 m | Lindenthaler Allee 5 | Lindenthaler Allee 2A - 6 (gerade) |
| | | Lindenthaler Allee 12 - 16 (gerade) |
| | | Lindenthaler Allee 36 |
| 15 - 20 m | Lindenthaler Allee 01 - 03 (ungerade) | Lindenthaler Allee 8 - 10 (gerade) |
| | Lindenthaler Allee 09 - 11 (ungerade) | Lindenthaler Allee 18 - 20 |
| | Lindenthaler Allee 17 | Lindenthaler Allee 24 |
| | Lindenthaler Allee 21 | Lindenthaler Allee 30 - 34 (gerade) |
| | Lindenthaler Allee 21A | Lindenthaler Allee 38 |

| Abstands- bereich* | Immissionsort / Adresse | |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| | Lindenthaler Allee 23 | |
| | Lindenthaler Allee 27A | |
| | Veronikasteig 1 | |
| | Veronikasteig 2 | |
| 20 - 25 m | Lindenthaler Allee 15 | Lindenthaler Allee 22 |
| | Lindenthaler Allee 25A | Lindenthaler Allee 26 - 28 (gerade) |
| | Rhumeweg 32 | Niklasstraße 19B |
| 25 - 30 m | Lindenthaler Allee 25 | |
| | Lindenthaler Allee 27 | |
| | Lindenthaler Allee 29 | |
| 30 - 40 m | Dubrowstraße 1 | Niklasstraße 19A |
| | Veronikasteig 01A | Kaunstraße 2A |
| 40 - 50 m | Veronikasteig 3 | Kaunstraße 2 |
| | Dubrowstraße 1A-B | Niklasstraße 19 |
| | Veronikasteig 4 | |

* Abstand zwischen Außenwand Tunnel und Gebäudeaußenkante

Markierungen: blau: MI; rot: WR; schwarz: WA

5.1 Einstufung der Immissionsorte

Für die Bewertung der Erschütterungsimmissionen sind damit anhand der Nutzungen im Untersuchungsgebiet folgende Anhaltswerte anzusetzen:

Tab. 5.2: Empfohlene Anhaltswerte für die Erschütterungen

| Zeile gem. DIN 4150-2 | Anhaltswerte Tag | | | Anhaltswerte Nacht | | |
|--------------------------|------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
| | A_u | A_o | A_r | A_u | A_o | A_r |
| 3 | 0,2 | 5 | 0,1 | 0,15 | 0,3 | 0,07 |
| 4 | 0,15 | 3 | 0,07 | 0,1 | 0,3 | 0,05 |

Für die Adressen Argentinische Allee 1 und 2, Mexikoplatz 4 und Limastraße 1 ist laut Bebauungsplan ein Mischgebiet ausgewiesen womit die Anhaltswerte nach Zeile 3 der Tab. 4.1 gelten. Das Bahnhofsgebäude Mexikoplatz 1 weist keine Wohnräume auf, sondern enthält ausschließlich Arbeitsräume, so dass die Anhaltswerte für den Tag aus Zeile 3 der Tab. 4.1 anzusetzen sind. Für alle anderen Adressen im Untersuchungsgebiet (Tab. 5.1) ist Zeile 4 der Tab. 4.1 anzuwenden.

Aufgrund der unterirdisch verlaufenden U-Bahn-Trasse wird für die Bewertung des Sekundärluftschalls die Anwendung der TA Lärm empfohlen. Damit gelten gebietsunabhängig die folgenden Anhaltswerte:

Tab. 5.3: Empfohlene Anhaltswerte für den Sekundärschall

| Beurteilungsgröße | empfohlener Anhaltswert | |
|---------------------------|-------------------------|----------|
| | Tag | Nacht |
| Maximalpegel $L_{pA,max}$ | 45 dB(A) | 35 dB(A) |
| Mittelungspegel L_m | 35 dB(A) | 25 dB(A) |

Eine Ausnahme in der Zuordnung bildet das Bahnhofsgebäude Mexikoplatz 1. Dort sind die Werte für den Tag anzuwenden, da keine empfindliche Schlafnutzung vorhanden ist.

5.2 Angaben zum Baugrund

Die Ausbreitung von Erschütterungen ist von den Baugrundeigenschaften abhängig. Für das Gebiet entlang der geplanten U-Bahn-Trasse liegen folgende Angaben zum Baugrund vor (entnommen [20], Geologische Übersichtskarte 1:25 000). Die Angaben gelten für die an der Oberfläche anstehenden geologischen Bildungen.

Tab. 5.4: Beschreibung der vorliegenden Bodenarten

| Kennung | Beschreibung |
|----------------------------------|--|
| 375 - qw1,,gf(vs) | Ablagerungen durch Schmelzwasser (Schmelzwassersande der Vorschüttphase, "Vorstosssander"): Sand, fein- und mittelkörnig, z. T. schwach grobkörnig |
| 367 - (qw1,,gm) / qw1,,gf(vs) | Grundmoränenbildungen (Erosionsreste von Grundmoräne, meist Geschiebelehm): Lückenhafte, geringmächtige Reste von Schluff bis Sand, kiesig, meist mit Steinanreicherungen über Ablagerungen durch Schmelzwasser der Vorschüttphase des Brandenburger-Stadiums ("Vorstosssander"): Wechselfolge von fein-, mittel- und grobkörnigen Sanden mit geringen Kiesbeimengungen |
| 363 - qw1,,gm / qw1,,gf(vs) | Grundmoränenbildungen (Geschiebemergel, -lehm): Schluff, stark sandig, schwach kiesig bis kiesig, mit Steinen über Ablagerungen durch Schmelzwasser der Vorschüttphase des Brandenburger-Stadiums ("Vorstosssander"): Wechselfolge von fein-, mittel- und grobkörnigen Sanden mit geringen Kiesbeimengungen |

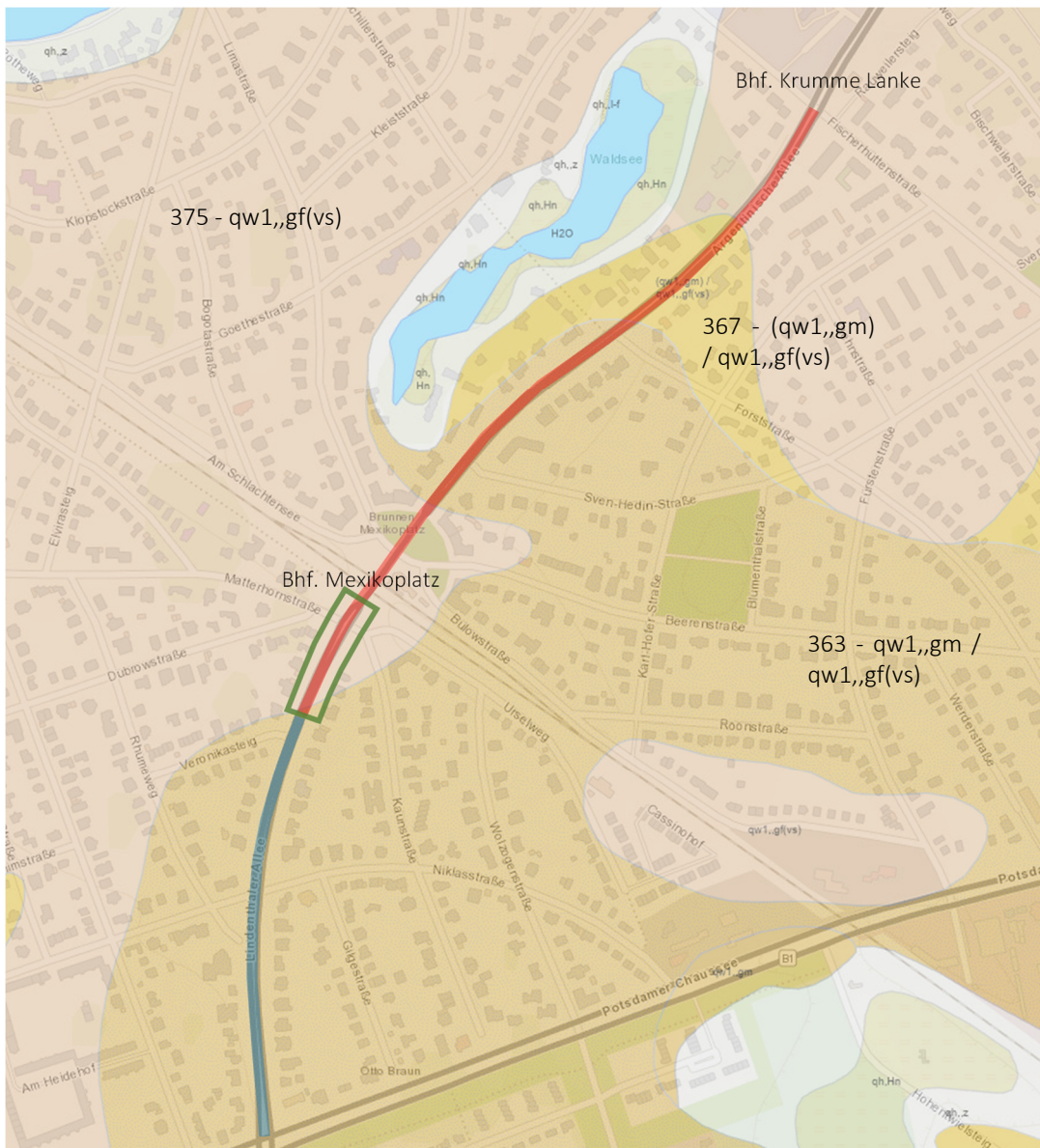


Abb. 5.2: Auszug aus der ingenieurgeologischen Karte [20] mit Markierung des BV (rot: U-Bahn-Trasse, grün: Bahnhof, blau: Kehr- und Abstellanlage)

In der Untersuchung durch das Büro CDM Smith [21] werden aus den Angaben der historischen, geologischen/hydrologischen Karten aus dem Geoportall Berlin folgende Baugrundsichten abgeschätzt:

Tab. 5.5: Geologische Schichten mit den relevanten Eigenschaften

| Schicht | | Boden- gruppen | Lagerung | Steifemodul $E_{s,k}$ MN/m ² | Dichte, erdfeucht in g/cm ³ |
|---------|------------------------------------|----------------------------|---|--|--|
| S1 | Sandige Auffüllungen | A [SE, SU, SU*, ST, OH] | locker bis mitteldicht | 8-10 | 1,65 - 1,7 |
| S2 | Sande | SE, SI, SW, SU | locker bis mitteldicht, z. T. dicht gelagert | $15\sqrt{t}$ bis $30\sqrt{t}$ | 1,8 - 1,8 |
| S3 | Organische Weichböden | HN, HZ, F, OH | sehr locker gelagert | - | - |
| S4 | Geschiebemergel, Schluffe, Tone | UL, SU*-TL* | weich bis steif, lokal halbfest bis fest | 30-60 | 1,5 - 2,1 |

mit t = Tiefe unterhalb GOK

Der höchste zu erwartende Grundwasserstand liegt zwischen +35,1 m NHN und +35,8 m NHN. Der Bemessungswasserstand liegt bei +33,2 m NHN.

Im Mittel kann damit für die Ausbreitung der Erschütterungen ein locker bis mitteldicht gelagerter sandiger Boden angenommen werden. Dafür ergibt sich eine mittlere Ausbreitungsgeschwindigkeit der Raumwellen (Schwerwellen) von $c_s = 240$ m/s und der Oberflächenwellen von $c_R = 225$ m/s. Der Dämpfungsgrad des Bodens beträgt im Allgemeinen für Lockergestein maximal $D = 0,01$.

6 Beschreibung des geplanten Betriebsprogramms

Die Streckenerweiterung soll zwischen dem U-Bahnhof Krumme Lanke und der Kreuzung Lindenthaler Allee / Potsdamer Chaussee in offener Bauweise errichtet werden. Daraus ergibt sich ein rechteckiger Tunnelquerschnitt, wobei noch zu klären ist, ob eine Mittelstütze zwischen den beiden Gleisen erforderlich ist, was wiederum die Breite des Tunnelbauwerks beeinflusst. Im Wesentlichen handelt es sich bei der Streckenerweiterung um eine gerade Strecke.

Die U-Bahnlinie U3 verkehrt auf dem sogenannten Kleinprofil derzeit mit Fahrzeugen des Typs A3E, A3L92, G1/1E, HK und IK. Geplant ist zusätzlich der Einsatz von Fahrzeugen des Typs JK, welcher ab 2030 zur Verfügung stehen soll.

Aktuell verkehrt die U3 im Tagzeitraum größtenteils im 5 min-Takt und abends / nachts zwischen 20 Uhr und 0:30 Uhr und ab 4:00 Uhr bis 6:30 Uhr im 10 min-Takt (entnommen Linienerlauf der U3 zwischen S+U Warschauer Straße und U Krumme Lanke, Stand Dezember 2023). Damit ergeben sich folgende Zugzahlen die auch für die Prognoseberechnung zu Grunde gelegt werden.

Tab. 6.1: Zugzahlen der U-Bahn-Linie U3

| U-Bahn | Tag (06 - 22 Uhr) | Nacht (22 - 06 Uhr) |
|------------------------------------|-------------------|---------------------|
| U Nollendorfplatz - U Krumme Lanke | 177 | 30 |
| U Krumme Lanke - U Nollendorfplatz | 177 | 27 |
| Summe | 354 | 57 |

6.1 U-Bahn-Trasse zwischen U-Bhf. Krumme Lanke und Mexikoplatz

Zwischen dem U-Bahnhof Krumme Lanke und dem Mexikoplatz verläuft die Trasse zweigleisig, wobei die U-Bahnen geplant mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h fahren. Auf der Strecke befinden sich zwei einfache Gleiswechsel zwischen km 3,15 und 3,35 was oberirdisch zwischen den Adressen Argentinische Allee 9 / 12 und Argentinische Allee 3 / 4 liegt.

6.2 Kehr- und Abstellgleis

Die Kehr- und Abstellanlage schließt südlich an den U-Bahnhof Mexikoplatz an. Die Trasse ist dort ebenfalls zweigleisig, wobei die Geschwindigkeit reduziert ist und nur 25 km/h beträgt. An km 3,8 findet sich ein doppelter Gleiswechsel, was etwa auf Höhe der Lindenthaler Allee 9 - 11 und 14 - 16 liegt.

7 Verfahren zur Prognose betriebsbedingter Erschütterungen und Sekundärluftschall

Für eine Erschütterungsprognose, ist zunächst die Erschütterungsanregung (Emission, H1) zu ermitteln. Über den Baugrund breiten sich die Erschütterungen aus, wobei die Bodenparameter einen Einfluss auf die Schwingungsgrößen nehmen (Transmission, H2). Am Immissionsort findet dann die Übertragung vom Baugrund auf das Fundament des Gebäudes statt (Primäres Immissionssystem, H3) und die Erschütterungen werden dort innerhalb des Gebäudes auf die Geschossdecken (Sekundäres Immissionssystem, H4) weitergeleitet. Dabei ändern sich je nach Bauart, die Erschütterungen aufgrund von Resonanzerscheinungen der einzelnen Bauteile.

In Anlehnung an die VDI 3837 [9] lassen sich die prognostizierten Schwingschnellepegel auf den Geschossdecken $L_{v4}(f)$ damit aus der Summation der Teilsysteme $L_{v1}(f)$, $L_{H2}(f)$, $L_{H3}(f)$ und $L_{H4}(f)$, jeweils in Terzpegeldarstellung, berechnen.

$$L_{v4}(f) = L_{v1}(f) + L_{H2}(f) + L_{H3}(f) + L_{H4}(f)$$

mit:

| | |
|-------------|---|
| $L_{v1}(f)$ | Terzschnellespektrum der Emission (U-Bahnvorbeifahrten) |
| $L_{H2}(f)$ | Übertragungsfunktion Transmission im Erdreich |
| $L_{H3}(f)$ | Übertragungsfunktion Erdreich - Fundament |
| $L_{H4}(f)$ | Übertragungsfunktion Fundament - Geschossdecke |
| $L_{v4}(f)$ | Terzschnellespektrum auf der Geschossdecke |

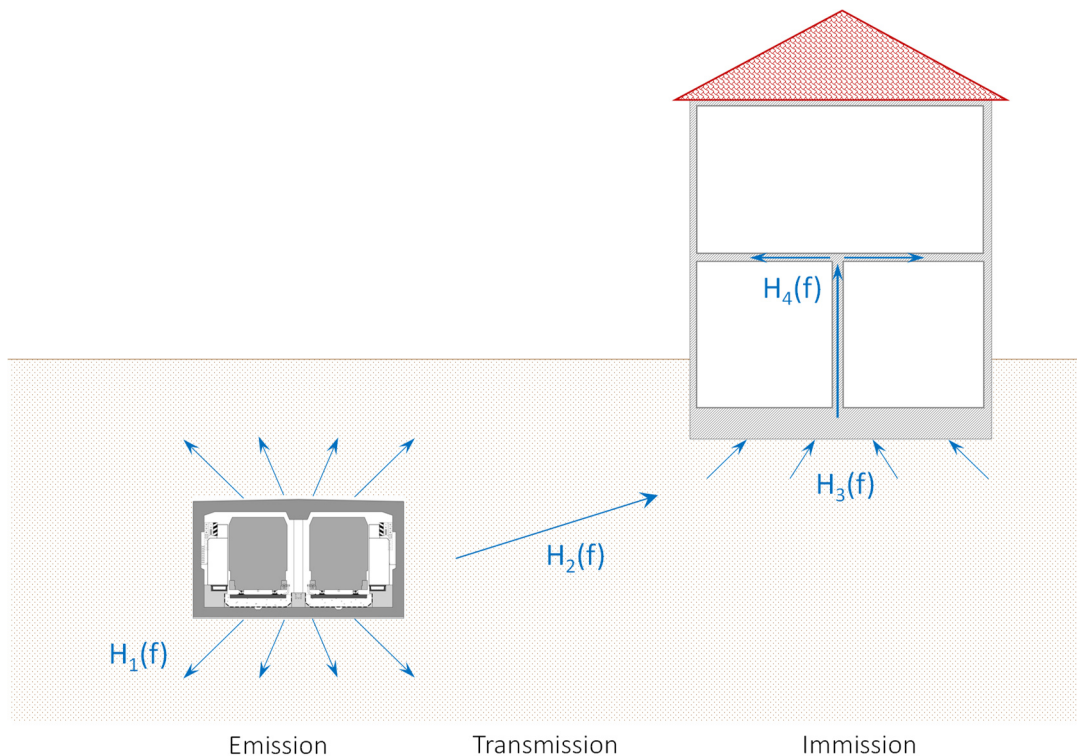


Abb. 7.1: Schematische Darstellung der Erschütterungsausbreitung vom U-Bahn-Tunnel ins benachbarte Gebäude

Anmerkung:

Der Index H_i bezeichnet dabei eine Übertragungsfunktion zwischen zwei Punkten und der Index v_i ein Terz-Schnelle-Spektrum

7.1 Emissionen durch den Zugverkehr (H_1)

Die Anregung von Erschütterungen im Schienenverkehr erfolgt durch den Rad-Schiene-Kontakt. Dabei führen die Fahrzeugerregungen wie Unwuchten aus dem drehenden Rad, die Irregularitäten der Schienen- und Radlaufflächen (maßgeblich sind die Abstände von Riffeln, Radabstände im Drehgestell und zwischen den Drehgestellen), sowie die örtlichen und zeitlichen Steifigkeitsschwankungen des Gleis-Oberbau-Systems (insbesondere der periodische Schwellenabstand) zu Schwingungen. Diese geschwindigkeitsabhängige Anregung erfolgt bei U-Bahnen (Geschwindigkeiten bis 70 km/h) dabei im eher niedrigen Frequenzbereich unterhalb von 30 Hz. Zusätzlich ergibt sich aus dem Zusammenwirken von Fahrzeug, Gleis-Oberbau-System und Untergrund eine Resonanzfrequenz. Diese liegt im höherfrequenten Bereich zwischen 40 und 80 Hz.

7.1.1 Emissionsspektrum freie Strecke

Zur Erfassung der Emissionsspektren wurden Erschütterungsmessungen an der Bestandsstrecke der Linie U3 (Kleinprofil) durchgeführt. Die Messung erfolgte am 04.04.2024 im Bereich der U-Bahn-Station *Freie Universität*. Dort ist ein Schotter-Oberbau vorhanden und die U-Bahn-Trasse verläuft oberirdisch in einem Geländeeinschnitt. Es wurden 13 Zugvorbeifahrten (verschiedene Zugtypen) bei der Einfahrt in den Bahnhof (Richtung R1) an einem Messpunkt in 6 m Abstand zur Gleismitte (gleiches Geländeniveau) erfasst. Die Geschwindigkeit der einfahrenden U-Bahnen variiert und liegt etwas unter der Geschwindigkeit auf der freien Strecke. Im Mittel liegt sie an der Stelle der Messung bei etwa 50 km/h.

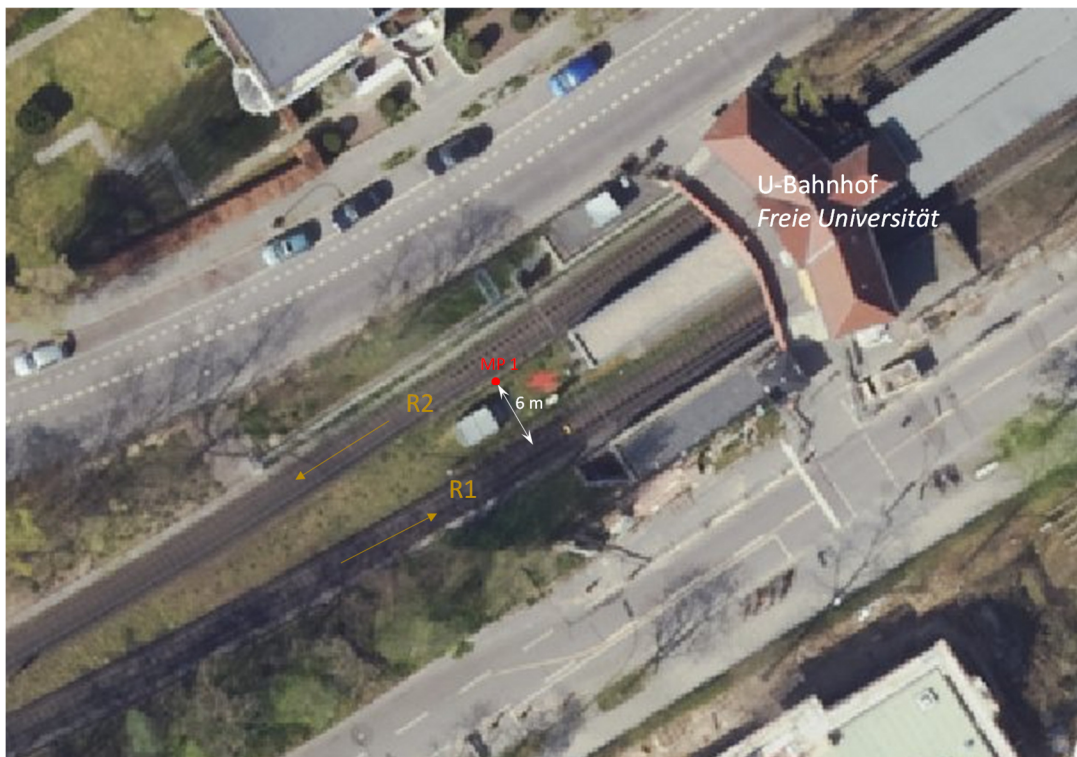


Abb. 7.2: Lage des maßgeblichen Messpunkts und der Umgebung (Hintergrund Google Earth)

Die Messung erfolgte mit den in der nachfolgende Tabelle dargestellten Messgeräten. Die gesamte Messkette wurde vor der Messung kanalweise mit einem Mehrfrequenz-Kalibrator der Firma Metra Mess- und Frequenztechnik (MMF) vom Typ VC21 kalibriert. Die Ankopplung des Messaufnehmers an das Erdreich erfolgte mit einem Erdspeiß entsprechend der DIN 45669-2 [4].

Tab. 7.1: Verwendete Messgeräte

| Nr. | Messgerät | Serien-Nr. | Kalibration |
|-----|-------------------------------|------------|-------------|
| 1 | 8 Kanal Schwingungsmesssystem | | |
| | Meda BlueStack - Gerät 1 | 16539144 | 08/2023* |
| 2 | Schwingschnelleaufnehmer | | |
| | Geophon Typ SM 6, vertikal | SM6v-0001 | 08/2023* |
| 3 | Mehrfrequenzkalibrator | | |
| | Schwingungskalibrator VC21 | 140673 | 08/2023* |

* externe Kalibration bei einem nach DIN EN ISO 17025 akkreditierten Kalibrierlaboratorium

Mit den in der obigen Tabelle genannten Geräten wurde gemäß der DIN 45669-2 mit den Geophonen die Schwingschnelle v in einem Frequenzbereich von 4 - 400 Hz aufgezeichnet.

Der Frequenzbereich ergibt sich aus der DIN 45672-1 [5] wobei für die Betrachtung der Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen eine obere Grenze von 80 Hz und für die Ermittlung der Sekundärluftschallpegel eine Obergrenze von 250 Hz angegeben wird.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Terz-Schnelle-Spektren (Max-Hold-Spektren, d.h. das Maximum in jeder Terz) der einzelnen Zugvorbeifahrten (graue Linien) sowie das daraus berechnete mittlere Terz-Schnelle-Spektrum (rote Linie) dargestellt. Weiterhin wird je ein Mittelwert für die "älteren" Baureihen (A und G) und für die "neueren" Baureihen (HK und IK) dargestellt.

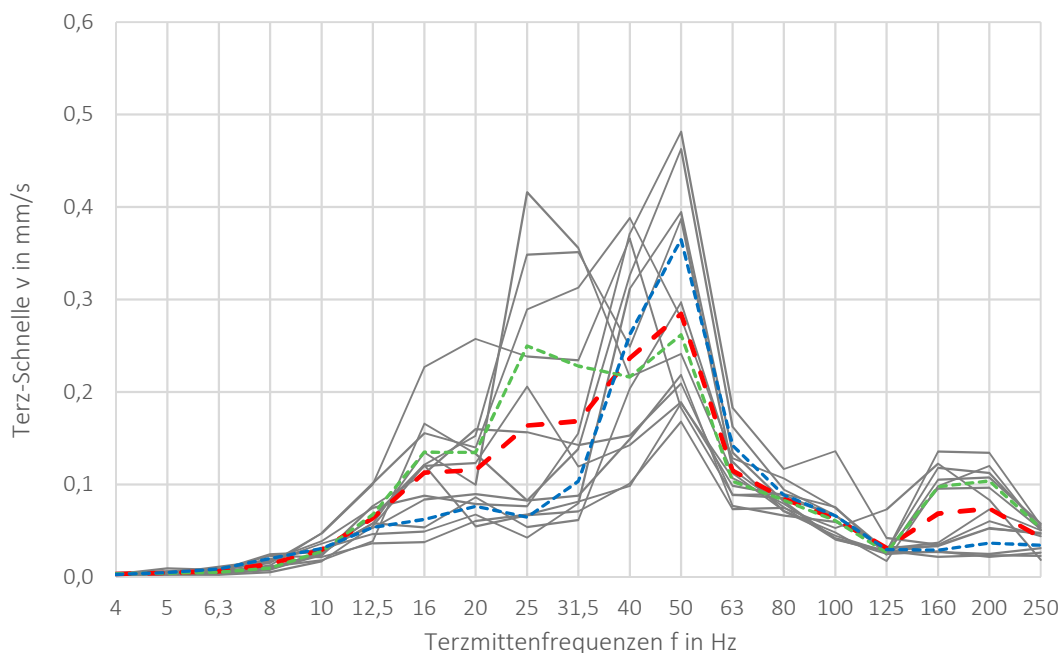


Abb. 7.3: Terzschnellespektren der Zugvorbeifahrten
rot: Mittelwert über alle Vorbeifahrten
blau: Mittelwert über "neuere" Zugtypen (Baureihen HK und IK)
grün: Mittelwert über "ältere" Zugtypen (Baureihen A und G)

Es wird deutlich, dass der Zugtyp einen wesentlichen Einfluss auf die Erschütterungsemissionen hat. Die neueren Baureihen weisen niedrigere Amplituden im Bereich der geschwindigkeitsabhängigen Anregungen (unterhalb von 30 Hz) auf. Die Resonanz durch Fahrzeug und Oberbau liegt bei allen Zugtypen im Bereich um die 50 Hz und ist bei den neueren U-Bahn-Typen etwas stärker ausgeprägt.

Beim Betrieb der Neubaustrecke ist ebenfalls mit einem Mix der verschiedenen Baureihen zu rechnen (wobei zusätzlich noch die neue, noch nicht im Betrieb befindliche Baureihe JK eingesetzt wird), so dass vorliegend ebenfalls die Mittelung über alle Baureihen für die Prognose angesetzt wird.

7.1.2 Korrekturfunktion zur Berücksichtigung des Tunnelbauwerks

Zur Berücksichtigung des geplanten Tunnelbauwerks kann modellhaft angenommen werden, dass sich die Tunnelsohle als zusätzliches massives Bauelement im Übertragungsweg zwischen Schotter und Erdreich einfügt. Untersuchungen [17] sowie Vergleichsmessungen zeigen diesbezüglich eine Minderung der Amplituden im unteren Frequenzbereich von 10 - 30 Hz gegenüber denen an der oberirdischen Strecke. Dominant sind bei Vorbeifahren in Tunneln die Anregemechanismen aus Fahrzeug und Oberbau [16].

In [17] wird dazu die Einfügungsdämmung einer Tunnelsohle gegenüber einer oberirdischen Strecke (mit gleichem Oberbau) theoretisch hergeleitet und messtechnisch überprüft. Daraus sowie aus eigenen Messungen (oberhalb der U-Bahn-Tunnel in der Tauentzienstraße) wurde eine Korrekturfunktion ermittelt, die eine Abschätzung zur sicheren Seite darstellt. Im Bereich der Resonanzfrequenz von Fahrzeug und Oberbau (40 - 80 Hz) wird für die Berücksichtigung eines Tunnelbauwerks eine Verstärkung der Amplituden von 5 dB angesetzt. Für den Bereich von 10 - 30 Hz wird eine Verminderung von 8 dB angewendet. In den übrigen Frequenzbereichen erfolgt keine Änderung.

7.1.3 Korrekturfunktion zur Berücksichtigung der Geschwindigkeit

Zur Berücksichtigung unterschiedlicher Geschwindigkeiten der U-Bahnen auf der freien Strecke (60 km/h) und im Bereich der Kehr- und Abstellanlage (25 km/h) gegenüber denen während der Messung kann das Emissionsspektrum mit folgendem Ansatz aus der Richtlinie der DB AG [14] korrigiert werden.

$$L_{v_2} = L_{v_1} + 20 \cdot \lg \left(\frac{v_2}{v_1} \right)$$

mit:

- L_{v_2} Schwinggeschwindigkeitspegel für die gesuchte Fahrgeschwindigkeit v_2 in dB
- L_{v_1} bekannter Schwinggeschwindigkeitspegel für die Bezugsgeschwindigkeit v_1 in dB
- v_2 neue Fahrgeschwindigkeit in km/h
- v_1 Ausgangsfahrgeschwindigkeit in km/h

7.1.4 Korrekturfunktion zur Berücksichtigung einer Weiche

Bei der Überfahrt eines Zuges über eine Weiche entsteht eine impulsförmige Erschütterung, die mit einer Verstärkung der Amplituden des Emissionsspektrums einhergeht. Verschiedene Vergleichsmessungen haben ergeben, dass mit einer Erhöhung um bis zu 6 dB zu rechnen ist. Dieser Korrekturfaktor wird an den Stellen der geplanten Weichen auf das Emissionsspektrum berücksichtigt.



Abb. 7.4: Lage der Weichen (rote Kreise) im Tunnelbauwerk

7.1.5 Angewendete Emissionsspektren

Für die geplante Tunnelstrecke wurden unter Berücksichtigung der genannten Korrekturfunktionen vier unterschiedliche Emissionsspektren aus dem gemessenen Emissionsspektrum der freien Strecke abgeleitet um die verschiedenen Fahrzustände / Fälle für die geplante Strecke in Tunnelbauweise abzubilden.

Tab. 7.2: Emissionsspektren für vier Fälle

| Fall | Fahr- geschwindigkeit | Besonderheiten | Lage |
|------|--------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | 60 km/h | Gerade Strecke | U-Bahnhof Krumme Lanke bis U-Bahnhof Mexikoplatz |
| 2 | 25 km/h | Gerade Strecke | U-Bahnhof Mexikoplatz bis Notausstieg Lindenthaler Allee |
| 3 | 60 km/h | Weiche / Einfacher Gleiswechsel | U-Bahnhof Krumme Lanke bis U-Bahnhof Mexikoplatz (km 3,2 und km 3,3) |
| 4 | 25 km/h | Weiche / Doppelter Gleiswechsel | U-Bahnhof Mexikoplatz bis Notausstieg Lindenthaler Allee (km 3,8) |

7.2 Erschütterungsausbreitung (H2)

Die Abstrahlung der schienenbedingten Erschütterungen in unterirdischen Tunnelbauwerken erfolgt als Raumwelle, wobei die Quelle sich im Nahbereich als Linienquelle ansehen lässt. Ab einer Entfernung von etwa einer Wellenlänge gilt das Abnahmegesetz infolge einer Punktlast, wobei aufgrund der geringen Tunnelüberdeckung die Oberflächenwellen dominieren [18].

Die Erschütterungsausbreitung im Fernfeld wird gemäß DIN 4150-1 [1] näherungsweise durch folgenden Zusammenhang beschrieben.

$$v = v_1 \cdot \left(\frac{r}{r_{01}}\right)^{-n} \cdot e^{-2\pi D(r-r_{01})/\lambda}$$

mit:

- v gesuchte Amplitude der Schwinggeschwindigkeit im Fernfeld in mm/s
- v_1 Amplitude der Schwinggeschwindigkeit in der Entfernung r_{01} in mm/s
- r Entfernung von der Quelle in m
- r_{01} Referenzabstand außerhalb des Nahfeldes in m
- λ Wellenlänge des jeweiligen Frequenzanteils
- D Dämpfungsgrad des Baugrunds (hier: $D = 0,01$)
- n Abnahmeexponent, abhängig von Erregungstyp zeitlich und örtlich sowie vom Wellentyp (gerade Strecke: $n = 0,5$; Weiche: $n = 1$)

Die Abnahme der Amplitude der Schwinggeschwindigkeit im Fernfeld wird im Wesentlichen durch die geometrische Abnahme über die Entfernung (abhängig von Art der Quelle und Anregung sowie der Wellenform) und durch die frequenzabhängige Materialdämpfung des Bodens bestimmt. Die anzusetzenden Bodenparameter sind in Kap. 5.2 zusammengefasst.

Die Nachbargebäude / Immissionsorte liegen in unterschiedlichen Entfernungen entlang der geplanten Tunnelstrecke. Zur Berücksichtigung aller Gebäude wurden die Bodenschwingungen am Fundament in verschiedenen Abstandsbereichen (Abstand Tunnelaußenkante - Gebäudeaußenkante: 5 m bis 50 m) berechnet. Die Zuordnung der Immissionsorte zu den Abstandsbereichen ist in Tab. 5.1 zusammengestellt und kann auch den Abbildungen im Anhang I entnommen werden.

7.3 Immission (H3 und H4)

Die Prognose der zu erwartenden Erschütterungen und des sekundären Luftschalls in den Gebäuden entlang der geplanten U-Bahn-Trasse wird anhand der Richtlinie 820.2050 "Erschütterungen und sekundärer Luftschall" der DB AG [14] durchgeführt. Diese Methode beruht auf umfangreichen statistischen Untersuchungen, aus denen sich Transferspektren für den Übergang vom Erdreich auf die Geschossdecke ergeben. Dabei werden die unterschiedlichen Verstärkungsfaktoren, die von der Übertragung vom Erdboden auf das Bauwerksfundament (H3) sowie dem Resonanzverhalten der Geschossdecken (H4) abhängen, berücksichtigt. Um verschiedene mögliche Deckenresonanzen zu berücksichtigen, werden mehrere Übertragungsfunktionen angewendet, deren Maxima in den Terzbändern üblicher Deckeneigenfrequenzen zwischen 8 Hz und 40 Hz liegen (siehe Abb. 7.5 und Abb. 7.6). Da der Deckenaufbau der benachbarten Gebäude nicht bekannt ist, werden zwei Fälle, Holzbalken- und Stahlbetondecken berücksichtigt, welche unterschiedliche Übertragungsfunktionen aufweisen. Damit werden die Terzspektren im Erdreich an der Gebäudeaußenkante beaufschlagt und man erhält die Schwingschnellepegel $L_{v4}(f)$ auf den Geschossdecken.

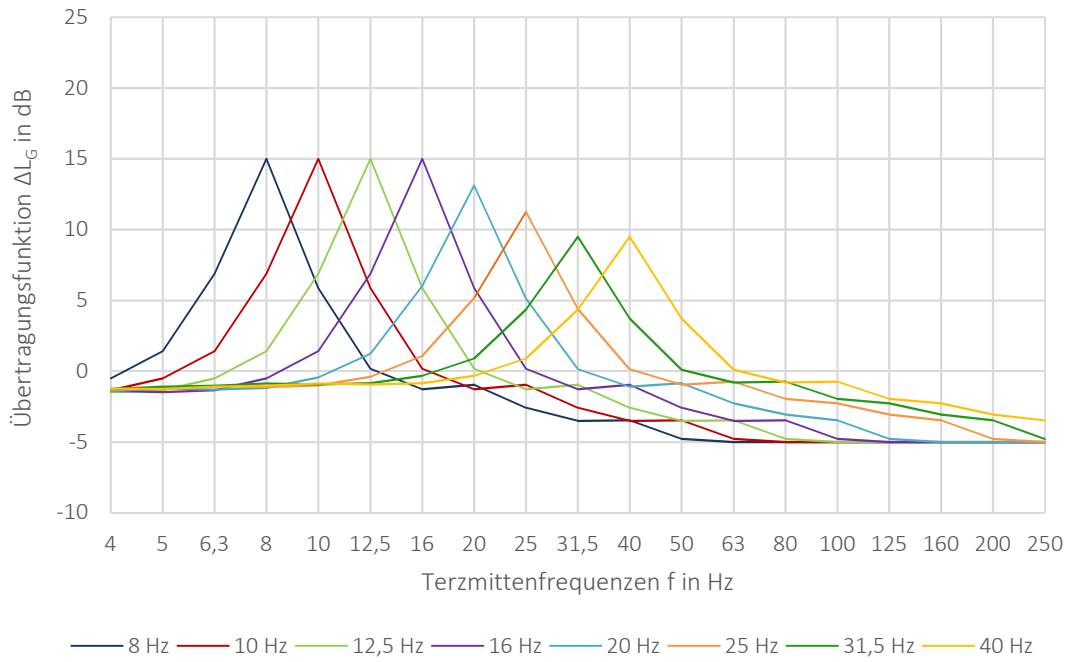


Abb. 7.5: Übertragungsfunktionen Boden -> Geschossdecke (Betondecken) [14]

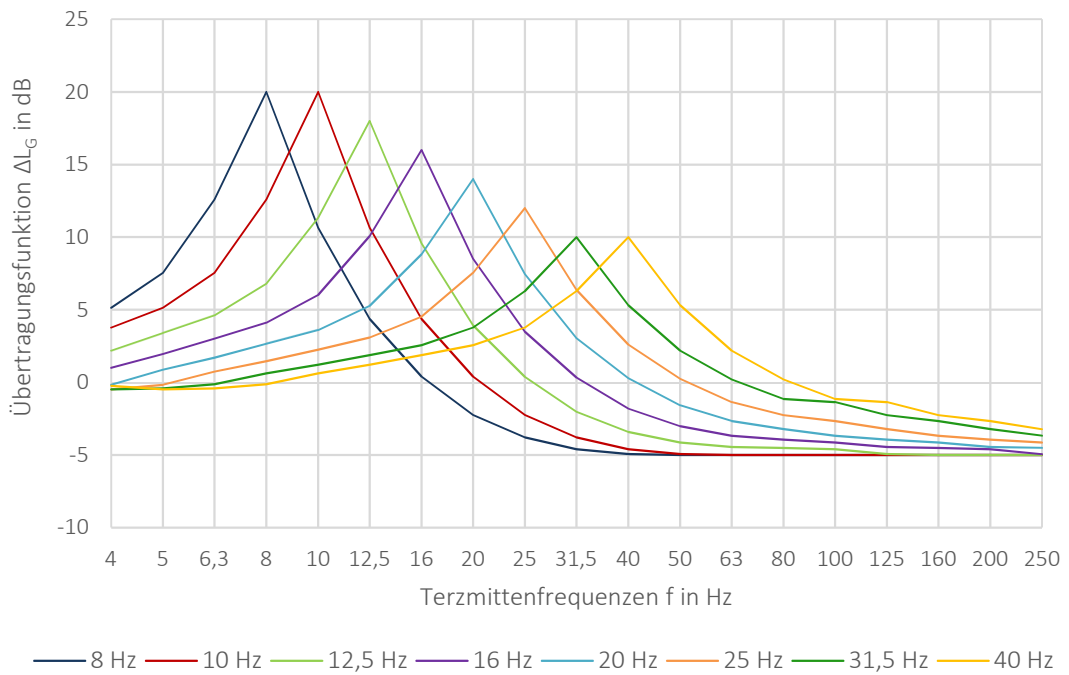


Abb. 7.6: Übertragungsfunktionen Boden -> Geschossdecke (Holzbalkendecken) [14]

7.3.1 Prognose der Erschütterungen

Für die Prognose der Erschütterungen auf den Deckenfeldern, die auf den Menschen einwirken, werden aus den prognostizierten Schwingschnellen auf den Geschossdecken die KB - Werte berechnet. Dazu wird eine Frequenzbewertung gemäß DIN 4150-2 [2] vorgenommen und aus durch Aufsummieren der Terzen im Bereich von 4 bis 80 Hz die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ ermittelt. Die über alle Zugvorbeifahrten quadratisch gemittelten Werte stellen den Taktmaximaleffektivwert $KB_{F_{Tm}}$ dar, der für die Berechnung der Beurteilungsschwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ welche die realen Zugzahlen berücksichtigt und bei dem Vergleich mit den Anhaltswerten Anwendung findet, notwendig ist. Die Berechnung erfolgt anhand folgender Formel getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum:

$$KB_{F_{Tr,Zug}} = \sqrt{(KB_{Zug})^2 \cdot \frac{N \cdot 30}{T_r}}$$

mit:

- KB_{Zug} Taktmaximal-Effektivwert $KB_{F_{Tm}}$ je Zuggattung
- N_{Tag} Anzahl Züge je Zuggattung im Tageszeitraum (6 - 22 Uhr)
- N_{Nacht} Anzahl Züge je Zuggattung im Nachtzeitraum (22 - 6 Uhr)
- T_r Beurteilungszeit in s

7.3.2 Prognose des Sekundärschalls

Auch für die Prognose des Sekundärluftschalls dient die berechnete Schwingschnelle auf der Geschossdecke als Grundlage. Daraus wird mit Hilfe einer Korrelationsbeziehung (Spektrale Methode) nach [14] der abgestrahlte Sekundärluftschallpegel ermittelt. Aus den Einzelergebnissen der Zugvorbeifahrten ist dann unter Berücksichtigung der Zugzahlen und der Vorbeifahrtzeit ein Mittelungspegel für den Tag- bzw. Nacht - Zeitraum zu berechnen. Die Berechnung erfolgt anhand folgender Formel:

$$L_{m, Zug} = L_{Sek, Zug} + 10 \cdot \lg \left(\frac{t_{Zug} \cdot N}{T_r} \right)$$

mit:

- $L_{m, Zug}$ mittlerer Sekundärschallpegel je Zuggattung
- $L_{sek, Zug}$ Sekundärschallpegel der einzelnen Zugvorbeifahrt
- N_{Tag} Anzahl Züge je Zuggattung im Tageszeitraum (6 - 22 Uhr)
- N_{Nacht} Anzahl Züge je Zuggattung im Nachtzeitraum (22 - 6 Uhr)
- T_r Beurteilungszeit in s
- t_{Zug} Vorbeifahrtzeit (hier: 10 s)

8 Prognoseergebnisse

Zur Übersicht werden die Berechnungsergebnisse beispielhaft für die je untersuchtem Betriebsfall nächstgelegenen Immissionsorte dargestellt. Da die Bewertung auch abhängig von der Nutzung ist, werden folgende Immissionsorte herangezogen.

Tab. 8.1: "kritischste" Immissionsorte

| Fall | Immissionsort | Adresse | Nutzung | Entfernung |
|------|---------------|-------------------------|----------------------|------------|
| 1 | IO 1 | Argentinische Allee 4/6 | Wohnen (WA, WR) | 15 - 20 m |
| | IO 2 | Argentinische Allee 1 | Wohnen (MI) | 10 - 15 m |
| | IO 3 | Mexikoplatz 1 | Gewerblich (MI, Tag) | 5 - 10 m |
| 2 | IO 4 | Lindenthaler Allee 4 | Wohnen (WA, WR) | 10 - 15 m |
| 3 | IO 5 | Argentinische Allee 7 | Wohnen (WA, WR) | 15 - 20 m |
| 4 | IO 6 | Lindenthaler Allee 16 | Wohnen (WA, WR) | 15 - 20 m |

Die vollständigen Berechnungsergebnisse, abhängig von der Entfernung zwischen Tunnelaußenwand und Gebäudeaußenkante sowie möglichem Deckenaufbau sind in Anhang II dargestellt.

Für den einfachen Schotteroberbau ergeben sich die folgenden Ergebnisse (Obergrenze, d.h. Ergebnisse der geringeren Entfernung der angegebenen Spanne).

Tab. 8.2: Prognoseergebnisse Erschütterungsimmissionen, Schotteroberbau

| IO | Fall | Anhaltswerte | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|------|------|-----------------------------------|-------------|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| | | | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ |
| IO 1 | 1 | Tag: 3/ 0,07 Nacht: 0,3 / 0,05 | 0,76 | 0,33 | 0,19 | 0,86 | 0,37 | 0,21 |
| IO 2 | | Tag: 5/ 0,1 Nacht: 0,3 / 0,07 | 0,96 | 0,41 | 0,23 | 1,09 | 0,47 | 0,26 |
| IO 3 | | Tag: 5 / 0,1 | 1,29 | 0,55 | 0,31 | 1,46 | 0,63 | 0,36 |
| IO 4 | 2 | Tag: 3/ 0,07 Nacht: 0,3 / 0,05 | 0,40 | 0,17 | 0,10 | 0,45 | 0,19 | 0,11 |
| IO 5 | 3 | | 0,85 | 0,37 | 0,21 | 0,95 | 0,41 | 0,23 |
| IO 6 | 4 | | 0,36 | 0,15 | 0,09 | 0,40 | 0,17 | 0,10 |

Es zeigt sich, dass beim Einsatz von Schotteroberbau die Anhaltswerte für die Erschütterungsimmissionen an keinem der "kritischsten" Immissionsorte für keinen der untersuchten Fälle eingehalten werden kann.

Tab. 8.3: Prognoseergebnisse Sekundärschallimmissionen, Schotteroberbau

| IO | Fall | Anhaltswerte in dB(A) | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|------|------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | | | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) |
| IO 1 | 1 | Tag: 45/ 35 Nacht: 35 / 25 | 43 | 31 | 23 | 46 | 34 | 26 |
| IO 2 | | Tag: 45/ 35 Nacht: 35 / 25 | 45 | 33 | 25 | 47 | 35 | 27 |
| IO 3 | | Tag: 45/ 35 | 46 | 34 | 26 | 49 | 37 | 29 |
| IO 4 | 2 | Tag: 45/ 35 Nacht: 35 / 25 | 40 | 28 | 20 | 42 | 30 | 22 |
| IO 5 | 3 | | 44 | 32 | 24 | 46 | 34 | 26 |
| IO 6 | 4 | | 40 | 27 | 19 | 42 | 29 | 21 |

Auch bei der Betrachtung der zu erwartenden Sekundärschallpegel zeigt sich eine Überschreitung der empfohlenen Anhaltswerte. Insbesondere bei der Überschreitung der Maximalpegel in der Nachtzeit ist von erheblichen Störungen auszugehen.

Da bei der Berücksichtigung eines "gewöhnlichen" Schotteroberbaus bei der geplanten Streckenerweiterung von Überschreitungen der empfohlenen Anhaltswerte für Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen auszugehen ist, werden im weiteren Verlauf mögliche Minderungsmaßnahmen untersucht.

9 Minderungsmaßnahmen

Da die Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen beim Einsatz eines Schotteroberbaus für weite Bereiche der geplanten Strecke die empfohlenen Anhaltswerte überschreiten, sollten Minderungsmaßnahmen untersucht werden.

Als Minderungsmaßnahmen werden im vorliegenden Fall der Einbau einer Unterschottermatte (USM) und der Einbau eines Masse-Feder-Systems (MFS) untersucht. Beide Varianten sind in der nachfolgenden Abbildung schematisch dargestellt.

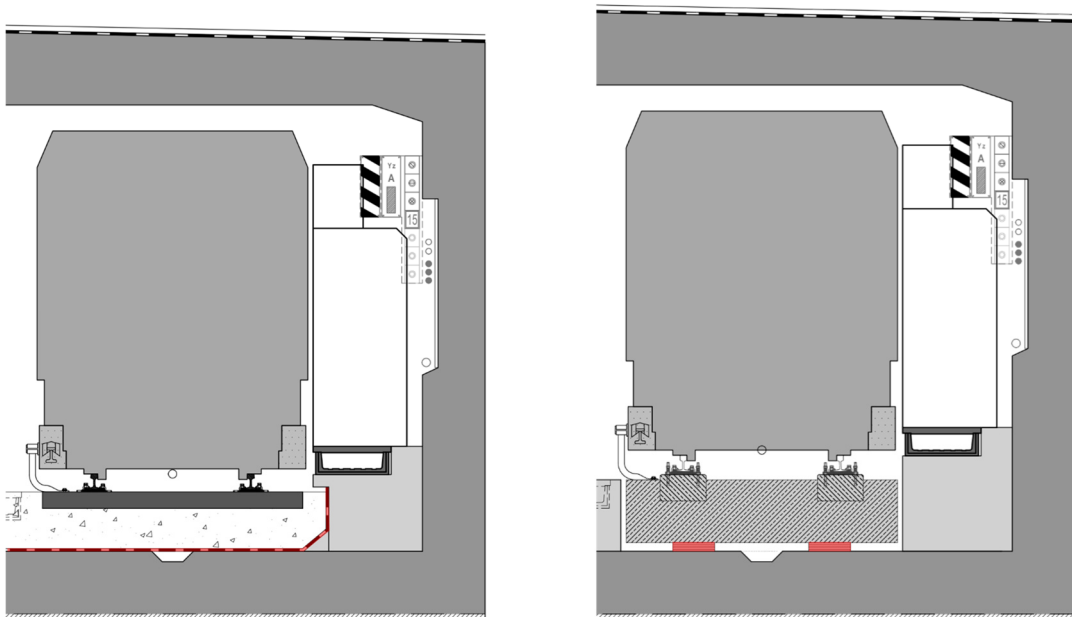


Abb. 9.1: Varianten Gleisoberbau mit Entkopplung (rot)
links: Schotteroberbau mit Unterschottermatte
rechts: Feste Fahrbahn mit Masse-Feder-System

Eine Unterschottermatte besteht aus einem elastischen Material (z.B. Polyurethan) und wird flächig zwischen Schotterbett und Tunnelsohle verlegt. Es lassen sich Abstimmfrequenzen von minimal etwa $f_0 \geq 15$ Hz erreichen. Bei der Variante des Masse-Feder-Systems wird ein elastisches Material streifen- oder punktförmig zwischen Betontrog und Tunnelsohle eingebracht. Der Betontrog kann dabei als Feste Fahrbahn, d.h. mit Beton gefüllt oder mit einer Schotterfüllung ausgeführt werden. Damit lassen sich Abstimmfrequenzen von minimal etwa $f_0 \geq 5$ Hz erreichen [19].

Die Abstimmfrequenzen sind abhängig von der Masse des Oberbaus und der Steifigkeit des damit belasteten elastischen Materials. Die Wirkung der elastischen Lagerung tritt ab einer Frequenz von $\sqrt{2} \cdot f_0$ auf. Im Bereich der Abstimmfrequenz kommt es zu einer leichten

Erhöhung der Schwingungsemissionen und im Bereich der Resonanz zwischen Fahrzeug, Gleis-Oberbau-System und Untergrund wird die Wirkung maximal.

Für die rechnerische Berücksichtigung der Minderungsmaßnahmen wurden die Emissionsspektren mit nachfolgend dargestellten Einfügungsdämmungen D_e (relativ zum Referenzoberbau, hier: Schotteroberbau) beaufschlagt.

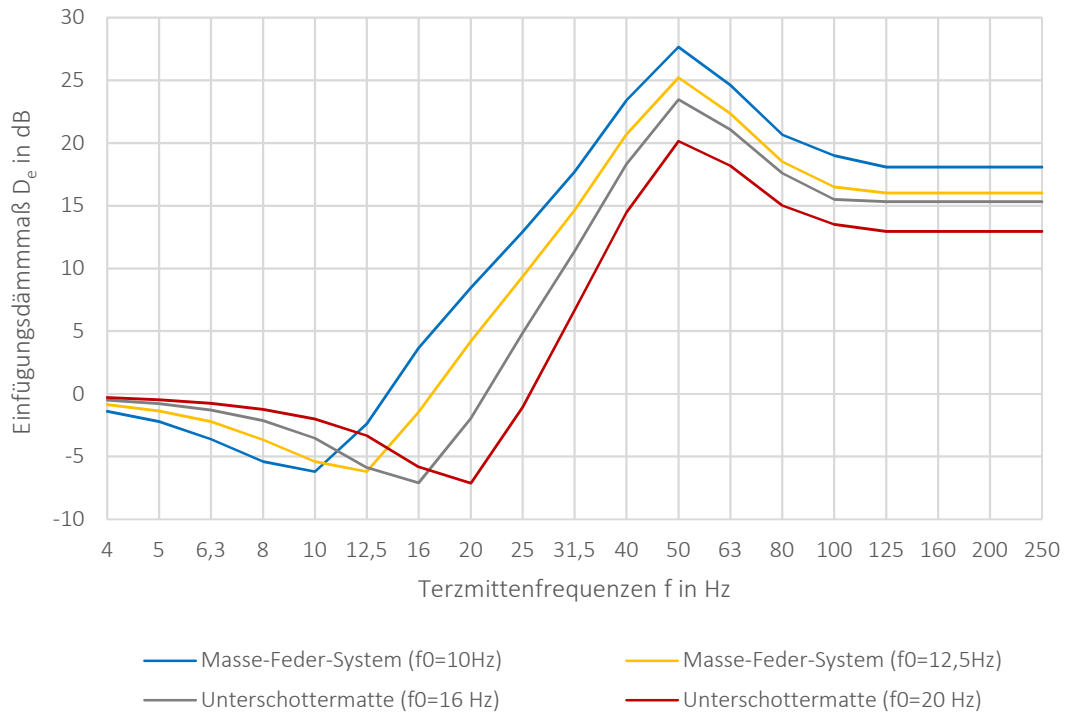


Abb. 9.2: Darstellung der Einfügungsdämmungen für Unterschottermatte und Masse-Feder-Systeme

9.1 Unterschottermatte

Für die Minderungsvariante einer Unterschottermatte wurden zwei Fälle untersucht. Eine Abstimmung des Systems bei $f_0 = 16$ Hz und bei $f_0 = 20$ Hz. Die Ergebnisse für die nächstgelegenen Immissionsorte sind nachfolgend nur für die Variante mit der höheren Abstimmfrequenz von $f_0 = 20$ Hz dargestellt, da die Verstärkung im Bereich der Resonanzfrequenz von $f_0 = 16$ Hz zu höheren Immissionswerten führt und daher nicht näher betrachtet wird.

Tab. 9.1: Prognoseergebnisse Erschütterungsimmissionen, USM mit $f_0 = 20$ Hz

| IO | Fall | Anhaltswerte | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|------|------|------------------------------------|-------------|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| | | | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ |
| IO 1 | 1 | Tag: 3 / 0,07 Nacht: 0,3 / 0,05 | 0,29 | 0,13 | 0,07 | 0,34 | 0,15 | 0,08 |
| IO 2 | | Tag: 5 / 0,1 Nacht: 0,3 / 0,07 | 0,35 | 0,15 | 0,09 | 0,41 | 0,18 | 0,10 |
| IO 3 | | Tag: 5 / 0,1 | 0,45 | 0,19 | 0,11 | 0,52 | 0,22 | 0,13 |
| IO 4 | 2 | Tag: 3 / 0,07 Nacht: 0,3 / 0,05 | 0,15 | 0,06 | 0,04 | 0,17 | 0,07 | 0,04 |
| IO 5 | 3 | | 0,32 | 0,14 | 0,08 | 0,38 | 0,16 | 0,09 |
| IO 6 | 4 | | 0,13 | 0,06 | 0,03 | 0,16 | 0,07 | 0,04 |

Tab. 9.2: Prognoseergebnisse Sekundärschallimmissionen, USM mit $f_0 = 20$ Hz

| IO | Fall | Anhaltswerte in dB(A) | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|------|------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | | | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) |
| IO 1 | 1 | Tag: 45 / 35 Nacht: 35 / 25 | 34 | 22 | 14 | 35 | 23 | 15 |
| IO 2 | | Tag: 45 / 35 Nacht: 35 / 25 | 35 | 23 | 15 | 37 | 25 | 17 |
| IO 3 | | Tag: 45 / 35 | 37 | 25 | 17 | 38 | 26 | 18 |
| IO 4 | 2 | Tag: 45 / 35 Nacht: 35 / 25 | 31 | 19 | 11 | 32 | 20 | 12 |
| IO 5 | 3 | | 34 | 22 | 14 | 36 | 24 | 16 |
| IO 6 | 4 | | 30 | 18 | 10 | 31 | 19 | 11 |

Gegenüber dem "gewöhnlichen" Schotteroberbau lässt sich durch eine Unterschottermatte mit einer Abstimmfrequenz von $f_0 = 20$ Hz eine deutliche Verbesserung erzielen. Für die Fälle 2 und 4 (Geschwindigkeit 25 km/h, gerade Strecke, mit und ohne Weiche), die im Bereich des Keh- und Abstellgleises relevant sind, führt eine Unterschottermatte zur Einhaltung der Anforderungen für die Sekundärschall- und Erschütterungsimmissionen.

Für den Streckenabschnitt mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h (Fälle 1 und 3) liegen insbesondere die Erschütterungsimmissionen noch oberhalb der Anhaltswerte. Bei den Sekundärschallimmissionen liegt nur eine leichte Überschreitung der Maximalwerte (nachts)

vor. Das liegt daran, dass bei der Unterschottermatte aufgrund ihrer relativ hohen Abstimmfrequenz von $f_0 = 20$ Hz eine Minderung erst ab ca. 28 Hz auftritt. Damit werden die geschwindigkeitsabhängigen Frequenzanteile die bei einer U-Bahn Vorbeifahrt entstehen nicht ausreichend vermindert, sondern teilweise noch verstärkt.

In der nachfolgenden Abbildung ist exemplarisch für den Fall 1 die Abhängigkeit der KB_{FTr} -Werte nachts, getrennt für Betondecken (StB) und Holzbalkendecken (HB) von der Entfernung dargestellt und den Anforderungen A_r (Zeile 3 und 4) gegenübergestellt.

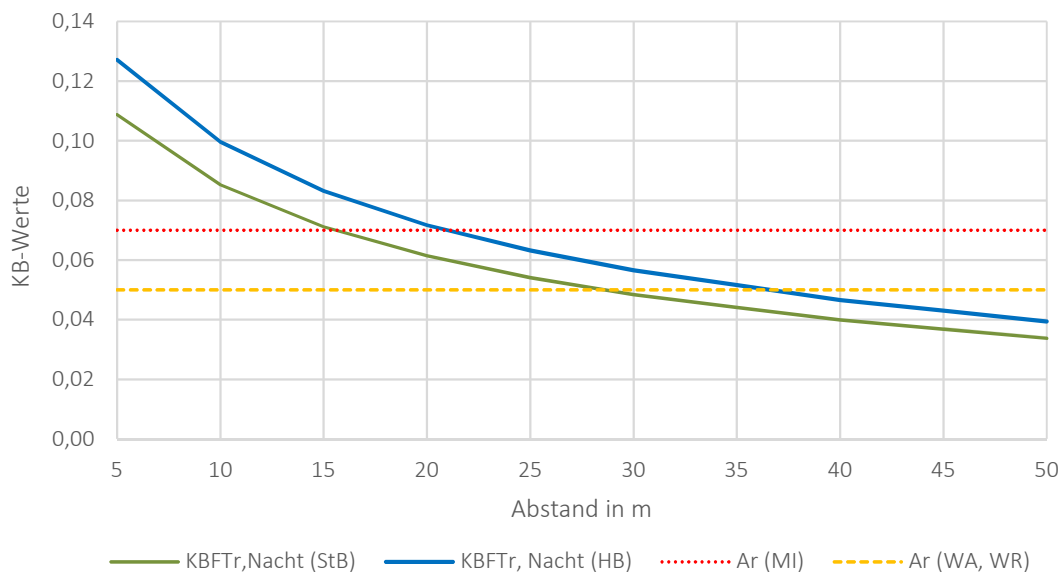


Abb. 9.3: Abhängigkeit der KB_{FTr} -Werte nachts für Fall 1 von der Entfernung

9.2 Masse-Feder-System

Für die Betrachtung der Minderung eines Masse-Feder-Systems wurden die Abstimmung bei einer Frequenz von $f_0 = 12,5$ Hz und bei $f_0 = 10$ Hz untersucht. Die Ergebnisse für die nächstgelegenen Immissionsorte sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengestellt.

Tab. 9.3: Prognoseergebnisse Erschütterungsimmissionen, MFS mit $f_0 = 12,5$ Hz

| IO | Fall | Anhaltswerte | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|------|------|-----------------------------------|-------------|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| | | | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ |
| IO 1 | 1 | Tag: 3/ 0,07 Nacht: 0,3 / 0,05 | 0,17 | 0,07 | 0,04 | 0,24 | 0,10 | 0,06 |
| IO 2 | | Tag: 5/ 0,1 Nacht: 0,3 / 0,07 | 0,21 | 0,09 | 0,05 | 0,29 | 0,12 | 0,07 |
| IO 3 | | Tag: 5 / 0,1 | 0,27 | 0,11 | 0,06 | 0,37 | 0,16 | 0,09 |
| IO 4 | 2 | Tag: 3/ 0,07 Nacht: 0,3 / 0,05 | 0,09 | 0,04 | 0,02 | 0,12 | 0,05 | 0,03 |
| IO 5 | 3 | | 0,19 | 0,08 | 0,05 | 0,27 | 0,12 | 0,07 |
| IO 6 | 4 | | 0,08 | 0,03 | 0,02 | 0,11 | 0,05 | 0,03 |

Tab. 9.4: Prognoseergebnisse Sekundärschallimmissionen, MFS mit $f_0 = 12,5$ Hz

| IO | Fall | Anhaltswerte in dB(A) | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|------|------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | | | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) |
| IO 1 | 1 | Tag: 45/ 35 Nacht: 35 / 25 | 31 | 19 | 11 | 32 | 20 | 12 |
| IO 2 | | Tag: 45/ 35 Nacht: 35 / 25 | 33 | 20 | 13 | 33 | 21 | 13 |
| IO 3 | | Tag: 45/ 35 | 34 | 22 | 14 | 35 | 23 | 15 |
| IO 4 | 2 | Tag: 45/ 35 Nacht: 35 / 25 | 28 | 16 | 8 | 29 | 17 | 9 |
| IO 5 | 3 | | 32 | 20 | 12 | 33 | 21 | 13 |
| IO 6 | 4 | | 28 | 15 | 7 | 28 | 16 | 8 |

Die Anhaltswerte für die Sekundärschallimmissionen werden bei einer Abstimmfrequenz von $f_0 = 12,5$ Hz für alle Fälle sicher eingehalten. Für den Fall der Betondecken sind auch die Erschütterungsimmissionen großteils eingehalten. Geringe Überschreitungen ergeben sich tags für den Fall 3 sowie für den in sehr geringer Entfernung liegenden IO 3. Im Falle von Holzbalkendecken liegen an IO 1 und IO 5 auch Überschreitungen der Anhaltswerte für die Erschütterungsimmissionen in der Nachtzeit vor.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse für den Fall einer Abstimmfrequenz von $f_0 = 10$ Hz zusammengefasst.

Tab. 9.5: Prognoseergebnisse Erschütterungsimmissionen, MFS mit $f_0 = 10$ Hz

| IO | Fall | Anhaltswerte | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|------|------|-----------------------------------|-------------|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| | | | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ |
| IO 1 | 1 | Tag: 3/ 0,07 Nacht: 0,3 / 0,05 | 0,11 | 0,05 | 0,03 | 0,16 | 0,07 | 0,04 |
| IO 2 | | Tag: 5/ 0,1 Nacht: 0,3 / 0,07 | 0,13 | 0,06 | 0,03 | 0,19 | 0,08 | 0,05 |
| IO 3 | | Tag: 5 / 0,1 | 0,17 | 0,07 | 0,04 | 0,24 | 0,10 | 0,06 |
| IO 4 | 2 | Tag: 3/ 0,07 Nacht: 0,3 / 0,05 | 0,06 | 0,02 | 0,01 | 0,08 | 0,03 | 0,02 |
| IO 5 | 3 | | 0,12 | 0,05 | 0,03 | 0,18 | 0,08 | 0,04 |
| IO 6 | 4 | | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,03 | 0,02 |

Damit lassen sich die Anhaltswerte für die Erschütterungsimmissionen für alle Immissionsorte für den Nacht-Zeitraum unterschreiten. Eine leichte Überschreitung liegt am IO 5 für die Tagzeit vor.

Hinsichtlich der Sekundärschallimmissionen ergibt sich eine leichte Verbesserung um etwa 1-2 dB gegenüber einem Masse-Feder-System mit einer Abstimmfrequenz von $f_0 = 12,5$ Hz.

9.3 Fazit

Für den Neubau der U-Bahn-Trasse zwischen U-Bahnhof Krumme Lanke und dem südlichen Ende des Kehr- und Abstellgleises sind Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungsemissionen notwendig.

In den Bereichen der Strecke, in denen die U-Bahnen mit einer Geschwindigkeit von bis zu 60 km/h fahren (U-Bahnhof Krumme Lanke bis U-Bahnhof Mexikoplatz), ist zur Einhaltung der Anforderungen für die Sekundärschall- und Erschütterungsimmissionen die Umsetzung eines Masse-Feder-Systems erforderlich. Die Abstimmfrequenz sollte bei 10 Hz liegen um eine ausreichende Wirkung zu erzielen.

Die leichte Überschreitung im Bereich der Weiche ist tolerabel, da es sich bei den Emissionsansätzen um Worst-Case-Ansätze handelt. Auch die Ausbreitungsrechnung liegt auf der sicheren Seite. Zudem sind die Anhaltswerte in der kritischeren Nachtzeit unterschritten.

Im Bereich des Bahnhofs sowie der Kehr- und Abstellanlage ist die Fahrgeschwindigkeit der U-Bahnen mit 25 km/h geringer, weshalb niedrigere Erschütterungsemissionen entstehen. Dort ist der Einsatz von Unterschottermatten mit einer Abstimmfrequenz von 20 Hz möglich.

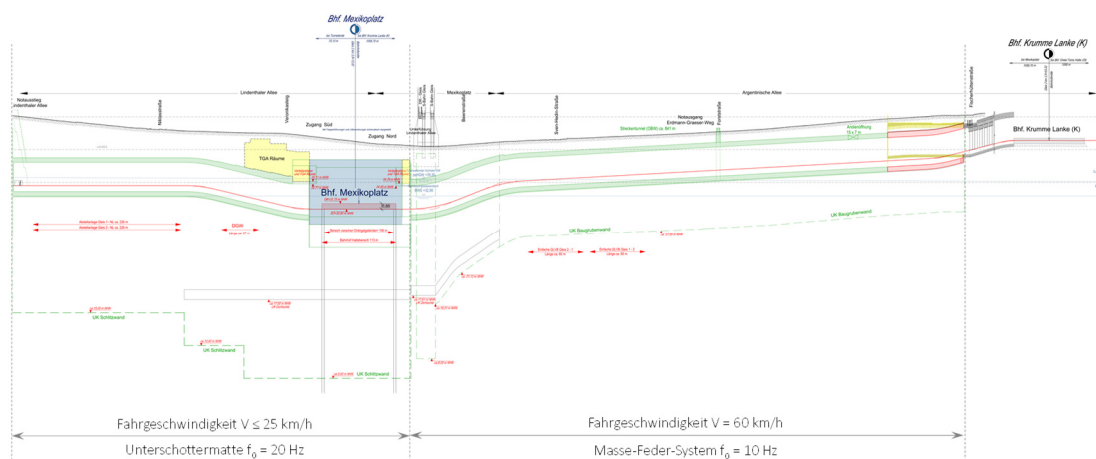


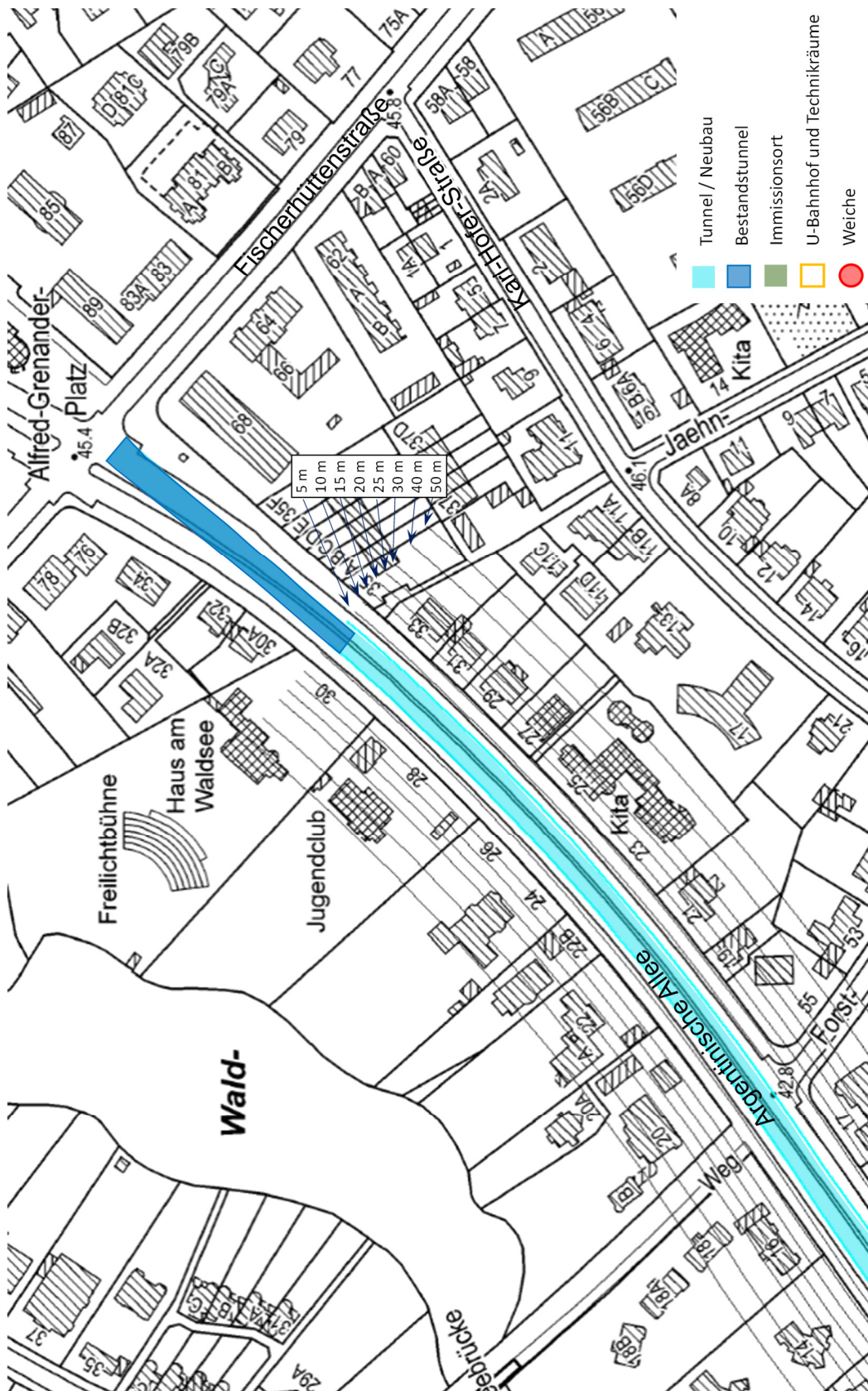
Abb. 9.4: Bereiche der Strecke mit Fahrgeschwindigkeiten und Minderungsmaßnahmen

Anhang

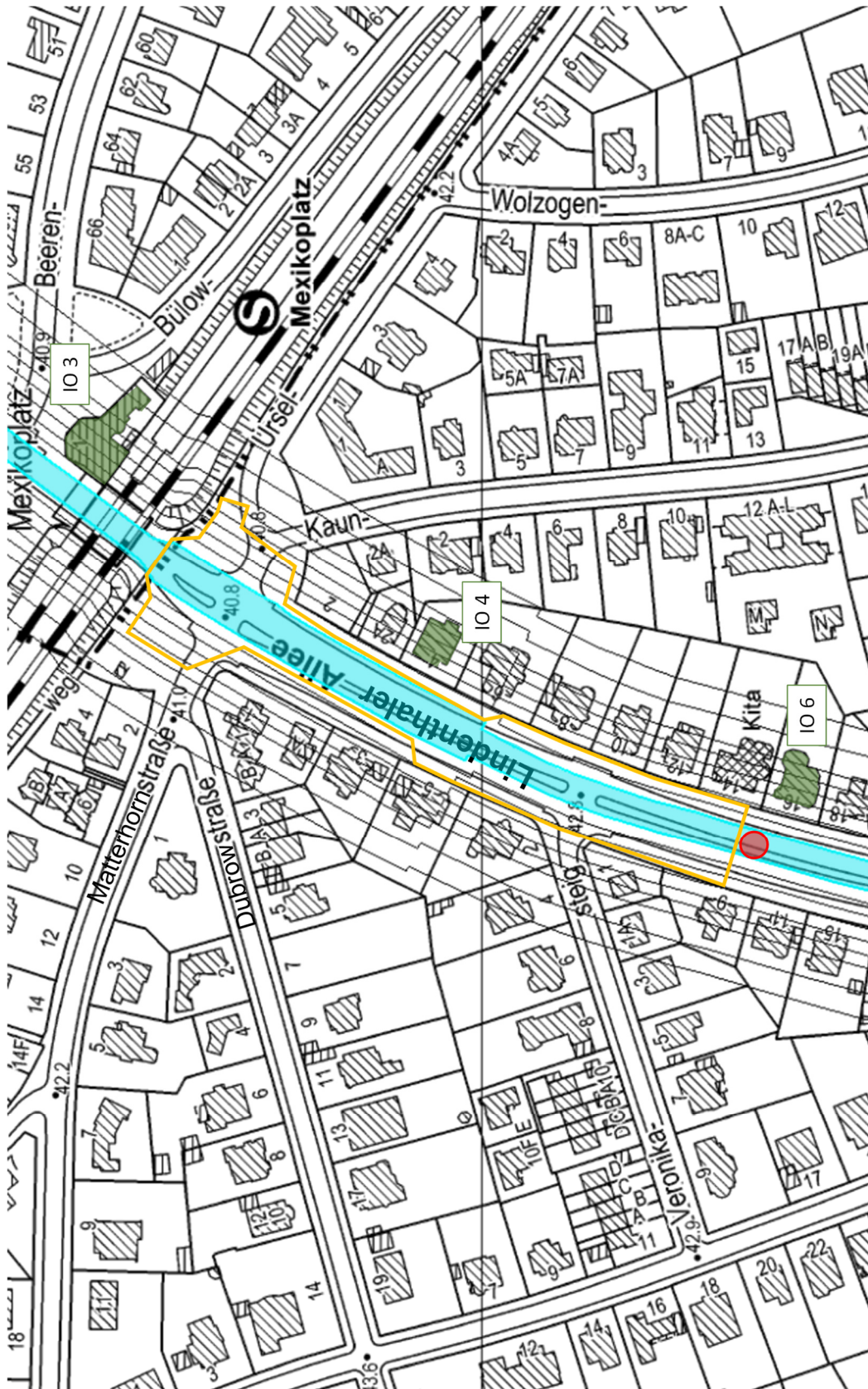
zum Gutachten Nr. 74731G01c

| Anlagenverzeichnis | | Seite |
|--------------------|-------------------------|-------|
| I. | Lage der Immissionsorte | 2 |
| II. | Berechnungsergebnisse | 6 |

I. Lage der Immissionsorte









II. Berechnungsergebnisse

A) Schotteroberbau

| Entfernung zw. Tunnelwand und Gebäude- fundament | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|--|-------------|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ |
| Fall 1: Gerade Strecke, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 1,3 | 0,55 | 0,31 | 1,5 | 0,63 | 0,36 |
| 10 m | 1,0 | 0,41 | 0,23 | 1,1 | 0,47 | 0,26 |
| 15 m | 0,8 | 0,33 | 0,19 | 0,9 | 0,37 | 0,21 |
| 20 m | 0,6 | 0,27 | 0,15 | 0,7 | 0,30 | 0,17 |
| 25 m | 0,5 | 0,22 | 0,13 | 0,6 | 0,25 | 0,14 |
| 30 m | 0,4 | 0,19 | 0,11 | 0,5 | 0,22 | 0,12 |
| 40 m | 0,3 | 0,14 | 0,08 | 0,4 | 0,16 | 0,09 |
| 50 m | 0,3 | 0,11 | 0,06 | 0,3 | 0,12 | 0,07 |
| Fall 2: Gerade Strecke, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 0,5 | 0,23 | 0,13 | 0,6 | 0,26 | 0,15 |
| 10 m | 0,4 | 0,17 | 0,10 | 0,5 | 0,19 | 0,11 |
| 15 m | 0,3 | 0,14 | 0,08 | 0,4 | 0,15 | 0,09 |
| 20 m | 0,3 | 0,11 | 0,06 | 0,3 | 0,13 | 0,07 |
| 25 m | 0,2 | 0,09 | 0,05 | 0,2 | 0,11 | 0,06 |
| 30 m | 0,2 | 0,08 | 0,05 | 0,2 | 0,09 | 0,05 |
| 40 m | 0,1 | 0,06 | 0,03 | 0,2 | 0,07 | 0,04 |
| 50 m | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| Fall 3: Gerade Strecke mit Weiche, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 2,1 | 0,89 | 0,50 | 2,3 | 0,99 | 0,56 |
| 10 m | 1,2 | 0,54 | 0,30 | 1,4 | 0,60 | 0,34 |
| 15 m | 0,9 | 0,37 | 0,21 | 0,9 | 0,41 | 0,23 |
| 20 m | 0,6 | 0,27 | 0,15 | 0,7 | 0,30 | 0,17 |
| 25 m | 0,5 | 0,21 | 0,12 | 0,5 | 0,23 | 0,13 |
| 30 m | 0,4 | 0,16 | 0,09 | 0,4 | 0,18 | 0,10 |
| 40 m | 0,2 | 0,11 | 0,06 | 0,3 | 0,12 | 0,07 |
| 50 m | 0,2 | 0,07 | 0,04 | 0,2 | 0,08 | 0,05 |
| Fall 4: Gerade Strecke mit Weiche, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 0,9 | 0,37 | 0,21 | 1,0 | 0,41 | 0,23 |
| 10 m | 0,5 | 0,22 | 0,13 | 0,6 | 0,25 | 0,14 |
| 15 m | 0,4 | 0,15 | 0,09 | 0,4 | 0,17 | 0,10 |
| 20 m | 0,3 | 0,11 | 0,06 | 0,3 | 0,12 | 0,07 |
| 25 m | 0,2 | 0,09 | 0,05 | 0,2 | 0,10 | 0,05 |
| 30 m | 0,2 | 0,07 | 0,04 | 0,2 | 0,07 | 0,04 |
| 40 m | 0,1 | 0,04 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| 50 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |

| Entfernung zw. Tunnelwand und Gebäude- fundament | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|--|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) |
| Fall 1: Gerade Strecke, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 46,3 | 34,1 | 26,2 | 48,6 | 36,5 | 28,6 |
| 10 m | 44,6 | 32,5 | 24,6 | 47,0 | 34,9 | 26,9 |
| 15 m | 43,3 | 31,2 | 23,3 | 45,7 | 33,6 | 25,6 |
| 20 m | 42,2 | 30,1 | 22,2 | 44,6 | 32,5 | 24,5 |
| 25 m | 41,2 | 29,1 | 21,1 | 43,6 | 31,4 | 23,5 |
| 30 m | 40,3 | 28,1 | 20,2 | 42,6 | 30,5 | 22,6 |
| 40 m | 38,5 | 26,4 | 18,5 | 41,0 | 28,8 | 20,9 |
| 50 m | 37,0 | 24,9 | 17,0 | 39,4 | 27,3 | 19,4 |
| Fall 2: Gerade Strecke, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 41,9 | 29,8 | 21,9 | 43,9 | 31,8 | 23,9 |
| 10 m | 40,3 | 28,2 | 20,3 | 42,3 | 30,2 | 22,2 |
| 15 m | 39,0 | 26,9 | 19,0 | 41,0 | 28,9 | 20,9 |
| 20 m | 37,9 | 25,8 | 17,9 | 39,9 | 27,7 | 19,8 |
| 25 m | 36,9 | 24,8 | 16,9 | 38,9 | 26,7 | 18,8 |
| 30 m | 36,0 | 23,9 | 16,0 | 37,9 | 25,8 | 17,9 |
| 40 m | 34,3 | 22,2 | 14,3 | 36,3 | 24,1 | 16,2 |
| 50 m | 32,8 | 20,7 | 12,8 | 34,7 | 22,6 | 14,7 |
| Fall 3: Gerade Strecke mit Weiche, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 48,5 | 36,4 | 28,5 | 51,1 | 39,0 | 31,1 |
| 10 m | 45,8 | 33,7 | 25,8 | 48,3 | 36,2 | 28,3 |
| 15 m | 43,8 | 31,7 | 23,8 | 46,2 | 34,1 | 26,2 |
| 20 m | 42,1 | 30,0 | 22,1 | 44,5 | 32,4 | 24,4 |
| 25 m | 40,7 | 28,5 | 20,6 | 43,0 | 30,9 | 22,9 |
| 30 m | 39,3 | 27,2 | 19,3 | 41,6 | 29,5 | 21,6 |
| 40 m | 37,0 | 24,9 | 17,0 | 39,3 | 27,2 | 19,2 |
| 50 m | 35,0 | 22,9 | 15,0 | 37,2 | 25,1 | 17,2 |
| Fall 4: Gerade Strecke mit Weiche, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 44,2 | 32,1 | 24,1 | 46,4 | 34,2 | 26,3 |
| 10 m | 41,5 | 29,4 | 21,5 | 43,6 | 31,5 | 23,5 |
| 15 m | 39,5 | 27,4 | 19,5 | 41,5 | 29,4 | 21,5 |
| 20 m | 37,9 | 25,7 | 17,8 | 39,8 | 27,7 | 19,7 |
| 25 m | 36,4 | 24,3 | 16,4 | 38,3 | 26,2 | 18,2 |
| 30 m | 35,1 | 23,0 | 15,1 | 37,0 | 24,8 | 16,9 |
| 40 m | 32,8 | 20,7 | 12,8 | 34,6 | 22,5 | 14,6 |
| 50 m | 30,8 | 18,7 | 10,8 | 32,5 | 20,4 | 12,5 |

B) Unterschottermatte $f_0 = 20$ Hz

| Entfernung zw. Tunnelwand und Gebäude- fundament | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|--|-------------|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ |
| Fall 1: Gerade Strecke, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 0,4 | 0,19 | 0,11 | 0,5 | 0,22 | 0,13 |
| 10 m | 0,3 | 0,15 | 0,09 | 0,4 | 0,18 | 0,10 |
| 15 m | 0,3 | 0,13 | 0,07 | 0,3 | 0,15 | 0,08 |
| 20 m | 0,3 | 0,11 | 0,06 | 0,3 | 0,13 | 0,07 |
| 25 m | 0,2 | 0,10 | 0,05 | 0,3 | 0,11 | 0,06 |
| 30 m | 0,2 | 0,09 | 0,05 | 0,2 | 0,10 | 0,06 |
| 40 m | 0,2 | 0,07 | 0,04 | 0,2 | 0,08 | 0,05 |
| 50 m | 0,1 | 0,06 | 0,03 | 0,2 | 0,07 | 0,04 |
| Fall 2: Gerade Strecke, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 0,2 | 0,08 | 0,05 | 0,2 | 0,09 | 0,05 |
| 10 m | 0,1 | 0,06 | 0,04 | 0,2 | 0,07 | 0,04 |
| 15 m | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,1 | 0,06 | 0,03 |
| 20 m | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| 25 m | 0,1 | 0,04 | 0,02 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| 30 m | 0,1 | 0,04 | 0,02 | 0,1 | 0,04 | 0,02 |
| 40 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |
| 50 m | 0,1 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |
| Fall 3: Gerade Strecke mit Weiche, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 0,7 | 0,30 | 0,17 | 0,8 | 0,35 | 0,20 |
| 10 m | 0,4 | 0,19 | 0,11 | 0,5 | 0,22 | 0,13 |
| 15 m | 0,3 | 0,14 | 0,08 | 0,4 | 0,16 | 0,09 |
| 20 m | 0,2 | 0,11 | 0,06 | 0,3 | 0,12 | 0,07 |
| 25 m | 0,2 | 0,09 | 0,05 | 0,2 | 0,10 | 0,06 |
| 30 m | 0,2 | 0,07 | 0,04 | 0,2 | 0,08 | 0,05 |
| 40 m | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,1 | 0,06 | 0,03 |
| 50 m | 0,1 | 0,04 | 0,02 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| Fall 4: Gerade Strecke mit Weiche, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 0,3 | 0,13 | 0,07 | 0,3 | 0,15 | 0,08 |
| 10 m | 0,2 | 0,08 | 0,05 | 0,2 | 0,09 | 0,05 |
| 15 m | 0,1 | 0,06 | 0,03 | 0,2 | 0,07 | 0,04 |
| 20 m | 0,1 | 0,04 | 0,03 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| 25 m | 0,1 | 0,04 | 0,02 | 0,1 | 0,04 | 0,02 |
| 30 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |
| 40 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,01 |
| 50 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,0 | 0,02 | 0,01 |

| Entfernung zw. Tunnelwand und Gebäude- fundament | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|--|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) |
| Fall 1: Gerade Strecke, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 36,8 | 24,7 | 16,7 | 38,2 | 26,1 | 18,2 |
| 10 m | 35,2 | 23,1 | 15,1 | 36,7 | 24,6 | 16,6 |
| 15 m | 33,9 | 21,8 | 13,8 | 35,4 | 23,3 | 15,4 |
| 20 m | 32,8 | 20,7 | 12,7 | 34,3 | 22,2 | 14,3 |
| 25 m | 31,8 | 19,7 | 11,8 | 33,4 | 21,3 | 13,3 |
| 30 m | 30,9 | 18,8 | 10,9 | 32,5 | 20,4 | 12,5 |
| 40 m | 29,3 | 17,1 | 9,2 | 30,9 | 18,8 | 10,9 |
| 50 m | 27,8 | 15,7 | 7,7 | 29,4 | 17,3 | 9,4 |
| Fall 2: Gerade Strecke, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 32,5 | 20,4 | 12,5 | 33,7 | 21,6 | 13,7 |
| 10 m | 30,9 | 18,8 | 10,9 | 32,2 | 20,0 | 12,1 |
| 15 m | 29,7 | 17,6 | 9,6 | 30,9 | 18,8 | 10,9 |
| 20 m | 28,6 | 16,5 | 8,6 | 29,8 | 17,7 | 9,8 |
| 25 m | 27,6 | 15,5 | 7,6 | 28,9 | 16,8 | 8,9 |
| 30 m | 26,7 | 14,6 | 6,7 | 28,0 | 15,9 | 8,0 |
| 40 m | 25,2 | 13,0 | 5,1 | 26,4 | 14,3 | 6,4 |
| 50 m | 23,7 | 11,6 | 3,7 | 25,0 | 12,9 | 4,9 |
| Fall 3: Gerade Strecke mit Weiche, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 39,0 | 26,9 | 19,0 | 40,6 | 28,5 | 20,6 |
| 10 m | 36,4 | 24,3 | 16,3 | 37,9 | 25,8 | 17,9 |
| 15 m | 34,4 | 22,3 | 14,3 | 35,9 | 23,8 | 15,9 |
| 20 m | 32,7 | 20,6 | 12,7 | 34,3 | 22,2 | 14,2 |
| 25 m | 31,3 | 19,2 | 11,2 | 32,8 | 20,7 | 12,8 |
| 30 m | 30,0 | 17,9 | 10,0 | 31,5 | 19,4 | 11,5 |
| 40 m | 27,8 | 15,7 | 7,7 | 29,3 | 17,2 | 9,3 |
| 50 m | 25,9 | 13,7 | 5,8 | 27,3 | 15,2 | 7,3 |
| Fall 4: Gerade Strecke mit Weiche, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 34,7 | 22,6 | 14,7 | 36,1 | 23,9 | 16,0 |
| 10 m | 32,1 | 20,0 | 12,1 | 33,4 | 21,3 | 13,4 |
| 15 m | 30,2 | 18,0 | 10,1 | 31,4 | 19,3 | 11,4 |
| 20 m | 28,5 | 16,4 | 8,5 | 29,8 | 17,7 | 9,7 |
| 25 m | 27,1 | 15,0 | 7,1 | 28,4 | 16,2 | 8,3 |
| 30 m | 25,9 | 13,8 | 5,8 | 27,1 | 15,0 | 7,0 |
| 40 m | 23,7 | 11,6 | 3,7 | 24,9 | 12,7 | 4,8 |
| 50 m | 21,8 | 9,7 | 1,8 | 22,9 | 10,8 | 2,9 |

C) Masse-Feder-System $f_0 = 12,5$ Hz

| Entfernung zw. Tunnelwand und Gebäude- fundament | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|--|-------------|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ |
| Fall 1: Gerade Strecke, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 0,3 | 0,11 | 0,06 | 0,4 | 0,16 | 0,09 |
| 10 m | 0,2 | 0,09 | 0,05 | 0,3 | 0,12 | 0,07 |
| 15 m | 0,2 | 0,07 | 0,04 | 0,2 | 0,10 | 0,06 |
| 20 m | 0,2 | 0,06 | 0,04 | 0,2 | 0,09 | 0,05 |
| 25 m | 0,1 | 0,06 | 0,03 | 0,2 | 0,08 | 0,05 |
| 30 m | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,2 | 0,07 | 0,04 |
| 40 m | 0,1 | 0,04 | 0,02 | 0,1 | 0,06 | 0,03 |
| 50 m | 0,1 | 0,04 | 0,02 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| Fall 2: Gerade Strecke, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,2 | 0,07 | 0,04 |
| 10 m | 0,1 | 0,04 | 0,02 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| 15 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,04 | 0,02 |
| 20 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,04 | 0,02 |
| 25 m | 0,1 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |
| 30 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |
| 40 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,01 |
| 50 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,02 | 0,01 |
| Fall 3: Gerade Strecke mit Weiche, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 0,4 | 0,18 | 0,10 | 0,6 | 0,25 | 0,14 |
| 10 m | 0,3 | 0,11 | 0,06 | 0,4 | 0,16 | 0,09 |
| 15 m | 0,2 | 0,08 | 0,05 | 0,3 | 0,12 | 0,07 |
| 20 m | 0,1 | 0,06 | 0,04 | 0,2 | 0,09 | 0,05 |
| 25 m | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,2 | 0,07 | 0,04 |
| 30 m | 0,1 | 0,04 | 0,02 | 0,1 | 0,06 | 0,03 |
| 40 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,04 | 0,03 |
| 50 m | 0,1 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |
| Fall 4: Gerade Strecke mit Weiche, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 0,2 | 0,07 | 0,04 | 0,2 | 0,10 | 0,06 |
| 10 m | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,2 | 0,07 | 0,04 |
| 15 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| 20 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,04 | 0,02 |
| 25 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |
| 30 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,01 |
| 40 m | 0,0 | 0,01 | 0,01 | 0,0 | 0,02 | 0,01 |
| 50 m | 0,0 | 0,01 | 0,01 | 0,0 | 0,01 | 0,01 |

| Entfernung zw. Tunnelwand und Gebäude- fundament | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|--|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) |
| Fall 1: Gerade Strecke, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 34,2 | 22,1 | 14,1 | 35,0 | 22,9 | 14,9 |
| 10 m | 32,6 | 20,5 | 12,5 | 33,4 | 21,3 | 13,4 |
| 15 m | 31,3 | 19,1 | 11,2 | 32,1 | 20,0 | 12,1 |
| 20 m | 30,1 | 18,0 | 10,1 | 31,1 | 19,0 | 11,0 |
| 25 m | 29,1 | 17,0 | 9,1 | 30,1 | 18,0 | 10,1 |
| 30 m | 28,2 | 16,1 | 8,2 | 29,2 | 17,1 | 9,2 |
| 40 m | 26,5 | 14,4 | 6,5 | 27,6 | 15,5 | 7,5 |
| 50 m | 25,0 | 12,9 | 5,0 | 26,1 | 14,0 | 6,1 |
| Fall 2: Gerade Strecke, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 29,9 | 17,8 | 9,9 | 30,5 | 18,4 | 10,5 |
| 10 m | 28,3 | 16,2 | 8,3 | 29,0 | 16,9 | 8,9 |
| 15 m | 27,0 | 14,9 | 7,0 | 27,7 | 15,6 | 7,7 |
| 20 m | 25,9 | 13,8 | 5,9 | 26,7 | 14,6 | 6,6 |
| 25 m | 24,9 | 12,8 | 4,9 | 25,7 | 13,6 | 5,7 |
| 30 m | 24,0 | 11,9 | 4,0 | 24,8 | 12,7 | 4,8 |
| 40 m | 22,4 | 10,3 | 2,4 | 23,2 | 11,1 | 3,2 |
| 50 m | 21,0 | 8,9 | 0,9 | 21,8 | 9,7 | 1,7 |
| Fall 3: Gerade Strecke mit Weiche, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 36,4 | 24,3 | 16,4 | 37,3 | 25,2 | 17,3 |
| 10 m | 33,8 | 21,7 | 13,7 | 34,7 | 22,5 | 14,6 |
| 15 m | 31,7 | 19,6 | 11,7 | 32,6 | 20,5 | 12,6 |
| 20 m | 30,1 | 18,0 | 10,0 | 31,0 | 18,9 | 10,9 |
| 25 m | 28,6 | 16,5 | 8,6 | 29,6 | 17,4 | 9,5 |
| 30 m | 27,3 | 15,2 | 7,3 | 28,3 | 16,2 | 8,2 |
| 40 m | 25,1 | 12,9 | 5,0 | 26,0 | 13,9 | 6,0 |
| 50 m | 23,1 | 11,0 | 3,1 | 24,1 | 11,9 | 4,0 |
| Fall 4: Gerade Strecke mit Weiche, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 32,1 | 20,0 | 12,1 | 32,8 | 20,7 | 12,8 |
| 10 m | 29,5 | 17,4 | 9,5 | 30,2 | 18,1 | 10,2 |
| 15 m | 27,5 | 15,4 | 7,5 | 28,2 | 16,1 | 8,2 |
| 20 m | 25,9 | 13,7 | 5,8 | 26,6 | 14,5 | 6,5 |
| 25 m | 24,4 | 12,3 | 4,4 | 25,2 | 13,1 | 5,1 |
| 30 m | 23,2 | 11,1 | 3,1 | 23,9 | 11,8 | 3,9 |
| 40 m | 21,0 | 8,9 | 1,0 | 21,7 | 9,6 | 1,7 |
| 50 m | 19,1 | 7,0 | -0,9 | 19,8 | 7,7 | -0,2 |

D) Masse-Feder-System $f_0 = 10$ Hz

| Entfernung zw. Tunnelwand und Gebäude- fundament | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|--|-------------|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ | KB_{Fmax} | $KB_{Ftr,Tag}$ | $KB_{Ftr,Nacht}$ |
| Fall 1: Gerade Strecke, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 0,2 | 0,07 | 0,04 | 0,2 | 0,10 | 0,06 |
| 10 m | 0,1 | 0,06 | 0,03 | 0,2 | 0,08 | 0,05 |
| 15 m | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,2 | 0,07 | 0,04 |
| 20 m | 0,1 | 0,04 | 0,02 | 0,1 | 0,06 | 0,03 |
| 25 m | 0,1 | 0,04 | 0,02 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| 30 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| 40 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,04 | 0,02 |
| 50 m | 0,1 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |
| Fall 2: Gerade Strecke, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,04 | 0,02 |
| 10 m | 0,1 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |
| 15 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |
| 20 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,01 |
| 25 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,02 | 0,01 |
| 30 m | 0,0 | 0,01 | 0,01 | 0,0 | 0,02 | 0,01 |
| 40 m | 0,0 | 0,01 | 0,01 | 0,0 | 0,02 | 0,01 |
| 50 m | 0,0 | 0,01 | 0,01 | 0,0 | 0,01 | 0,01 |
| Fall 3: Gerade Strecke mit Weiche, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 0,27 | 0,11 | 0,06 | 0,4 | 0,16 | 0,09 |
| 10 m | 0,2 | 0,07 | 0,04 | 0,2 | 0,11 | 0,06 |
| 15 m | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,2 | 0,08 | 0,04 |
| 20 m | 0,1 | 0,04 | 0,02 | 0,1 | 0,06 | 0,03 |
| 25 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |
| 30 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,04 | 0,02 |
| 40 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |
| 50 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,02 | 0,01 |
| Fall 4: Gerade Strecke mit Weiche, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,2 | 0,07 | 0,04 |
| 10 m | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,1 | 0,04 | 0,02 |
| 15 m | 0,1 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,03 | 0,02 |
| 20 m | 0,0 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,02 | 0,01 |
| 25 m | 0,0 | 0,01 | 0,01 | 0,0 | 0,02 | 0,01 |
| 30 m | 0,0 | 0,01 | 0,01 | 0,0 | 0,02 | 0,01 |
| 40 m | 0,0 | 0,01 | 0,00 | 0,0 | 0,01 | 0,01 |
| 50 m | 0,0 | 0,01 | 0,00 | 0,0 | 0,01 | 0,01 |

| Entfernung zw. Tunnelwand und Gebäude- fundament | Betondecken | | | Holzbalkendecken | | |
|--|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) | L_{pAmax} in dB(A) | $L_{m,Tag}$ in dB(A) | $L_{m,Nacht}$ in dB(A) |
| Fall 1: Gerade Strecke, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 32,9 | 20,8 | 12,8 | 33,5 | 21,4 | 13,4 |
| 10 m | 31,2 | 19,1 | 11,2 | 31,9 | 19,8 | 11,9 |
| 15 m | 29,9 | 17,8 | 9,9 | 30,7 | 18,6 | 10,6 |
| 20 m | 28,8 | 16,7 | 8,8 | 29,6 | 17,5 | 9,6 |
| 25 m | 27,8 | 15,7 | 7,8 | 28,6 | 16,5 | 8,6 |
| 30 m | 26,9 | 14,8 | 6,8 | 27,7 | 15,6 | 7,7 |
| 40 m | 25,2 | 13,1 | 5,2 | 26,1 | 14,0 | 6,1 |
| 50 m | 23,7 | 11,6 | 3,7 | 24,7 | 12,5 | 4,6 |
| Fall 2: Gerade Strecke, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 28,6 | 16,5 | 8,5 | 29,1 | 17,0 | 9,0 |
| 10 m | 27,0 | 14,9 | 7,0 | 27,5 | 15,4 | 7,5 |
| 15 m | 25,7 | 13,6 | 5,7 | 26,3 | 14,2 | 6,3 |
| 20 m | 24,6 | 12,5 | 4,6 | 25,2 | 13,1 | 5,2 |
| 25 m | 23,6 | 11,5 | 3,6 | 24,3 | 12,2 | 4,2 |
| 30 m | 22,7 | 10,6 | 2,7 | 23,4 | 11,3 | 3,4 |
| 40 m | 21,1 | 9,0 | 1,1 | 21,8 | 9,7 | 1,8 |
| 50 m | 19,7 | 7,6 | -0,3 | 20,4 | 8,3 | 0,4 |
| Fall 3: Gerade Strecke mit Weiche, 60 km/h | | | | | | |
| 5 m | 35,1 | 23,0 | 15,1 | 35,8 | 23,7 | 15,8 |
| 10 m | 32,4 | 20,3 | 12,4 | 33,2 | 21,1 | 13,1 |
| 15 m | 30,4 | 18,3 | 10,4 | 31,2 | 19,1 | 11,1 |
| 20 m | 28,7 | 16,6 | 8,7 | 29,5 | 17,4 | 9,5 |
| 25 m | 27,3 | 15,2 | 7,2 | 28,1 | 16,0 | 8,1 |
| 30 m | 26,0 | 13,9 | 5,9 | 26,8 | 14,7 | 6,8 |
| 40 m | 23,7 | 11,6 | 3,7 | 24,6 | 12,5 | 4,5 |
| 50 m | 21,8 | 9,7 | 1,8 | 22,6 | 10,5 | 2,6 |
| Fall 4: Gerade Strecke mit Weiche, 25 km/h (Bereich Kehr- und Abstellanlage) | | | | | | |
| 5 m | 30,8 | 18,7 | 10,8 | 31,4 | 19,3 | 11,3 |
| 10 m | 28,2 | 16,1 | 8,1 | 28,8 | 16,6 | 8,7 |
| 15 m | 26,2 | 14,1 | 6,1 | 26,8 | 14,7 | 6,7 |
| 20 m | 24,6 | 12,4 | 4,5 | 25,2 | 13,1 | 5,1 |
| 25 m | 23,1 | 11,0 | 3,1 | 23,8 | 11,7 | 3,7 |
| 30 m | 21,9 | 9,8 | 1,8 | 22,5 | 10,4 | 2,5 |
| 40 m | 19,7 | 7,6 | -0,3 | 20,3 | 8,2 | 0,3 |
| 50 m | 17,9 | 5,8 | -2,1 | 18,5 | 6,4 | -1,6 |