Erschütterungstechnische Untersuchung

Gemeinde Rückersdorf
Erweiterung des Blindeninstituts
„RüD1-a Campus Dachsberg 2018“

Bericht Nr. 090-01995

im Auftrag der

Blindeninstitutsstiftung Würzburg

Bamberg, im April 2024

MÖHLER+PARTNER
INGENIEURE

Erschütterungstechnische Untersuchung

Gemeinde Rückersdorf
Erweiterung des Blindeninstituts „RüD1-a Campus Dachsberg 2018“

Bericht-Nr.:	090-01995
Datum:	19.04.2024
Auftraggeber:	Blindeninstitutsstiftung Ohmstraße 7 97076 Würzburg
Auftragnehmer:	Möhler + Partner Ingenieure GmbH Mußstraße 18 D – 96047 Bamberg T +49 951 160 952 - 0 F +49 951 160 952 - 99 www.mopa.de info@mopa.de
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. H. Högg B.Sc. P. Sauer

Inhaltsverzeichnis:

1. Aufgabenstellung 7

2. Örtliche Gegebenheiten 7

3. Belegungsprogramm 9

4. Grundlagen 9

4.1 Erschütterungen 9

4.2 Sekundärluftschall 12

5. Messungen 14

5.1 Messzeit, Messort, Messprogramm 14

5.2 Messgeräte 16

5.3 Ankopplung der Messaufnehmer 16

5.4 Messunsicherheit 16

6. Auswertung der messtechnischen Untersuchungen 17

7. Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärluftschalls 19

7.1 Erschütterungen 19

7.2 Sekundärluftschall 20

8. Anlagen 21

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Vorentwurf der Freiflächenanlagen, Planverfasser: adlerolesch Landschaftsarchitekten GmbH 8

Abbildung 2: Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren nach DIN 4150-2 für häufige Einwirkungen 10

Abbildung 3: Übersichtslageplan mit Darstellung der Messpunkte 15

Abbildung 4: Mittlere Max-Hold-Spektren an den jeweiligen Messpunkten für die Bahnlinie 5903 17

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach Tab. 1 der DIN 4150, Teil 2 11

Tabelle 2: Immissionsrichtwerte „Innen" nach TA Lärm [dB(A)] 12

Tabelle 3: Beschreibung der Lage der Messpunkte 14

Tabelle 4: Anzahl der verwertbaren Zugvorbeifahrten und erfasste mittlere Fahrgeschwindigkeiten 15

Tabelle 5: Prognostizierte maximale $\overline{KB_{FTm,j}}$ – Werte auf den Geschossdecken eines fiktiven Gebäudes bzw. maximale Geräuschspitzen $\overline{L_{A,\max}}$ des sekundären Luftschalls [dB(A)] in Räumen eines fiktiven Gebäudes anhand der messtechnischen Untersuchungen 19

Grundlagenverzeichnis:

[1] Vorhaben „RüD1-a Campus Dachsberg 2018“ in der Gemeinde Rückersdorf, übersande Unterlagen vom 21.02.2024 durch Blindeninstitutsstiftung

[2] Verkehrsdaten für die Strecke 5903 im Zustand 2022 bzw. Prognose-Fall 2030DT, Abschnitt Behringersdorf bis Ludwigshöhe, Bereich Rückersdorf BF, DB AG, zur Verfügung gestellt am 21.02.2022

[3] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Dezember 2022

[4] DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999

[5] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum BImSchG, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm), vom August 1998, geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5)

[6] Beiblatt 1 zu DIN 45680, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft – Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen, März 1997

[7] Melke, 1995, Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Prognose und Schutzmaßnahmen, Materialien Nr. 22, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

[8] DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren, Juni 2005

[9] Körperschall: Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, L. Cremer und M. Heckl, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996

[10] Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786), die zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 3. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 176) geändert worden ist"

Zusammenfassung:

Die Blindeninstitutsstiftung in Würzburg plant die Erweiterung des bereits bestehenden Blindeninstituts in der Gemeinde Rückersdorf. In Zusammenhang mit der Erweiterung ist die Errichtung von Wohngebäuden sowie einer Tagesstätte auf dem teilbebauten Grundstück „Dachsbergweg 1" mit der Flur-Nr. 653/19 bzw. 653/20 geplant. In einer Stellungnahme der DB AG wurde auf Belange des Erschütterungsschutzes bzgl. der im Süden des Vorhabens verkehrenden Bahnlinie 5903 der DB AG hingewiesen.

Durch den Betrieb des oberirdischen Schienenverkehrs können in Baukörpern in unmittelbarer Nähe zu den Verkehrswegen relevante Einwirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall nicht ausgeschlossen werden, die zu erheblichen Beeinträchtigungen mit den geplanten Nutzungen führen.

Auf der Grundlage von messtechnischen Untersuchungen wurden die zukünftig zu erwartenden Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen für die geplanten Baukörper prognostiziert und beurteilt.

Die Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass sowohl die Anforderungen der DIN 4150-2 hinsichtlich der Erschütterungsimmissionen als auch der TA Lärm hinsichtlich der Sekundärluftschallimmissionen im Bereich der geplanten Baukörper eingehalten werden.

Die Notwendigkeit etwaiger Schutzmaßnahmen als auch weitergehende Auflagen/Festsetzungen für ein Genehmigungs-/Bebauungsplanverfahren ist somit sowohl hinsichtlich der Einwirkungen aus Erschütterungen als auch Sekundärluftschall für das geplante Vorhaben nicht gegeben.

1. Aufgabenstellung

Die Blindeninstitutsstiftung in Würzburg plant die Erweiterung des bereits bestehenden Blindeninstituts in der Gemeinde Rückersdorf. In Zusammenhang mit der Erweiterung ist die Errichtung von Wohngebäuden sowie einer Tagesstätte auf dem teilbebauten Grundstück „Dachsbergweg 1" mit der Flur-Nr. 653/19 bzw. 653/20 geplant. In einer Stellungnahme der DB AG wurde auf Belange des Erschütterungsschutzes bzgl. der im Süden des Vorhabens verkehrenden Bahnlinie 5903 der DB AG hingewiesen.

Durch den Betrieb des oberirdischen Schienenverkehrs können in Baukörpern in unmittelbarer Nähe zu den Verkehrswegen relevante Einwirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall nicht ausgeschlossen werden, die zu erheblichen Beeinträchtigungen mit den geplanten Nutzungen führen.

Im Rahmen einer erschütterungstechnischen Untersuchung sind die Belange aus den oberirdischen Schienenwegen auf das Vorhaben zu klären. Dabei werden auf der Grundlage von messtechnischen Untersuchungen die zukünftig zu erwartenden Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen für die geplanten Baukörper prognostiziert und beurteilt. Ggf. werden im Rahmen eines Konzepts entsprechende Schutzmaßnahmen aufgezeigt.

Mit der Durchführung der Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure GmbH am 29.02.2024 von der Blindeninstitutsstiftung beauftragt.

2. Örtliche Gegebenheiten

Das geplante Vorhaben liegt auf dem teilbebauten Grundstück „Dachsbergweg 1" mit der Flur-Nr. 653/19 bzw. 653/20. In Zusammenhang mit der Erweiterung des bereits bestehenden Blindeninstituts ist die Errichtung von Wohngebäuden sowie einer Tagesstätte vorgesehen. Der geplante Neubau von drei Baukörpern (zwei Wohngebäude und ein Tagesstätten-Gebäude) liegt im nordwestlichen Teil der o. g. Grundstücke.

Das Vorhaben wird dabei im Westen und Norden durch forstwirtschaftliche Flächen des „Dachsbergs" begrenzt. Im Osten schließen Baukörper des bestehenden Blindeninstituts an. Südlich des Vorhabens verläuft die Bahnlinie 5903 Nürnberg – Cheb im Bereich des Bahnhofs Rückersdorf.

Die geplanten Baukörper des Vorhabens weisen einen Abstand von mindestens 50 m zur nächstgelegenen Gleisachse auf. Der Abstand zwischen den Grundstücksgrenzen des Vorhabens und der nächstgelegenen Gleisachse beträgt mindestens 15 m.

Im Bereich des geplanten Vorhabens verlaufen insgesamt vier Richtungsgleise. Das dem Blindeninstitut nächstgelegene Richtungsgleis (Gleis1) wird vorrangig als Überholgleis für den Schienengüterverkehr (SGV) genutzt. Die beiden südlich daran anschließenden Richtungsgleise sind die Durchgangsgleise der besagten Bahnlinie 5903. Das südlichste Gleis dient als Bahnhofsgleis für haltende Züge.

Beim Gleisoberbau der Streckengleise handelt es sich um einen herkömmlichen Schotteroberbau mit Schwellen. Etwaige Maßnahmen zum Erschütterungsschutz im Bereich der Gleisanlagen sind gegenwärtig nicht vorhanden. Die Gleislage zu den besagten Grundstücken liegen in einer Einschnittslage von ca. 3 bis 4 m, wobei das weitere Gelände des Vorhabens in Richtung Norden leicht ansteigt. In einem Abstand von ca. 150 m in Richtung Osten befindet sich der Bahnhof Rückersdorf.

Die zu erschließenden Baufelder innerhalb des Vorhabens sind derzeit größtenteils unbebaut.

Das Nutzungskonzept sieht zukünftig die Entwicklung einer zweigeschossigen Wohnnutzung im Norden bzw. einer Tagesstätte im Süden vor.

Weitere örtliche Gegebenheiten sind aus dem Vorentwurf der Freianlagen, der nachfolgend abgebildet ist, ersichtlich.

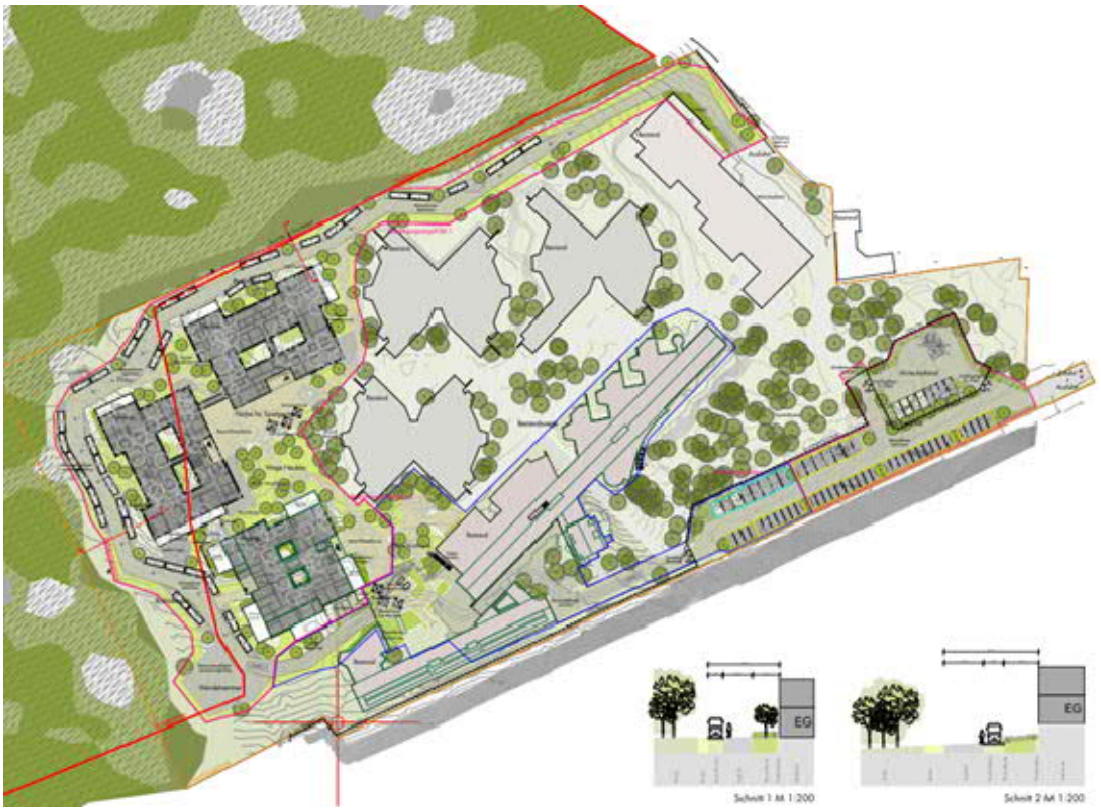

Abbildung 1: Vorentwurf der Freiflächenanlagen, Planverfasser: adlerolesch Landschaftsarchitekten GmbH

3. Belegungsprogramm

Das Belegungsprogramm der Strecke 5903 der DB AG im Abschnitt Behringersdorf bis Ludwigshöhe, Bereich Rückersdorf Bf, wurde von der DB AG Zustand 2022 bzw. Prognose-Fall 2030DT zur Verfügung gestellt [2] und ist in der Anlage 1 dokumentiert.

Demzufolge verkehrt gegenwärtig Schienenpersonennahverkehr (SPNV) und Schienengüterverkehr (SGV) mit einer Gesamtzahl von 141/24 Zügen Tag/Nacht auf der Strecke. In Zusammenhang mit einer zukünftig geplanten Elektrifizierung soll ebenfalls Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) mit einer Gesamtzahl von 235/39 Zügen Tag/Nacht verkehren. Die zulässige Streckengeschwindigkeit im Bereich des Vorhabens beträgt gegenwärtig v ≤ 160 km/h und soll zukünftig unverändert bleiben.

4. Grundlagen

4.1 Erschütterungen

Durch die Körperschallübertragung bzw. -anregung der Geschossdecken können in Gebäuden Erschütterungen fühlbar wahrgenommen werden.

Bei der Beurteilung von Erschütterungen existieren im Gegensatz zur Beurteilung von primärem Luftschall zurzeit keine gesetzlichen Regelungen. Art und Grad der individuellen Beeinträchtigung durch Erschütterungen hängen vom Ausmaß der Erschütterungsbelastung und verschiedenster situativer Faktoren ab.

Beispielhaft seien genannt:

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

Die in der Norm DIN 4150 festgelegten Beurteilungsverfahren haben den Zweck, die oben genannten Einflüsse bestmöglich zu berücksichtigen. Im vorliegenden Fall erfolgt die Beurteilung der Erschütterungen gemäß Teil 2 „Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden" dieser Normreihe [4]. Die Beurteilungsgröße für Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden ist dabei die bewertete Schwingstärke KB.

Bei der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ gemäß DIN 4150 Teil 2 handelt es sich um eine der menschlichen Wahrnehmung angepasste Größe für Erschütterungen. Zur Beurteilung der Erschütterungen wird sowohl die bauliche Nutzung der Umgebung, der so genannte Einwirkungsort, als auch der Tageszeitraum (Tag/Nacht) berücksichtigt. Die Norm trägt damit dem Effekt Rechnung, dass bei gleicher Erschütterungsintensität der Grad der Belästigung z. B. in Wohngebieten höher eingeschätzt wird als in Gewerbe- oder Industriegebieten.

Beurteilungsgrößen

Hinsichtlich der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden nach DIN 4150, Teil 2 [4] werden zwei Beurteilungsgrößen gebildet:

- maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}

  Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} ist der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$, der während der jeweiligen Beurteilungszeit (einmalig oder wiederholt) auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist.

- Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr}

  Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} berücksichtigt die Dauer und die Häufigkeit des Auftretens von Erschütterungen. Hinsichtlich der Dauer der Erschütterungsereignisse werden jeweils 30-s-Takte (Taktmaximalwertverfahren) gebildet.

Beurteilungsverfahren

Das Beurteilungsverfahren unterscheidet zwischen selten auftretenden, kurzzeitigen bzw. häufigen Einwirkungen, wobei beim Schienenverkehr grundsätzlich von häufigen Einwirkungen auszugehen ist.

Die Beurteilung nach DIN 4150-2 [4] erfolgt für häufige Einwirkungen nach dem im nachfolgenden Flussdiagramm dargestellten Beurteilungsschema:

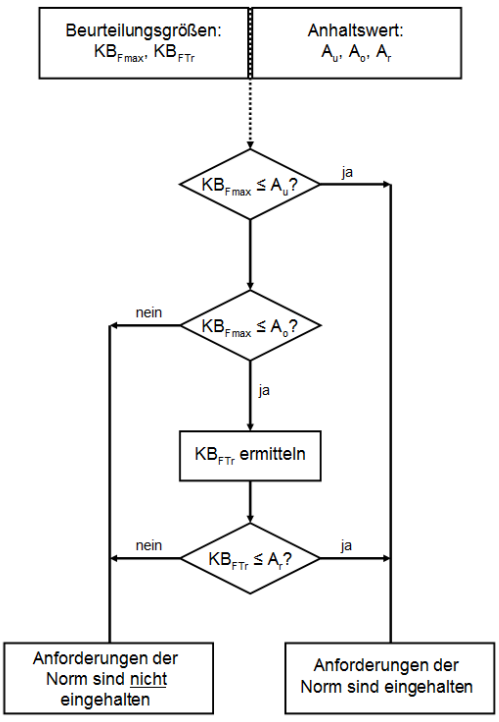

Abbildung 2: Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren nach DIN 4150-2 für häufige Einwirkungen

Demnach ergeben sich folgende Beurteilungsgrundsätze:

- Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u, dann sind die Anforderungen der Norm eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der (obere) Anhaltswert A_o, dann sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der (untere) Anhaltswert A_u und kleiner als der (obere) Anhaltswert A_o, gilt die Anforderung der Norm als eingehalten, wenn KB_{FTr} kleiner als der Anhaltswert A_r ist.
- Ist KB_{FTr} größer als der Anhaltswert A_r, gilt die Anforderung der Norm als nicht eingehalten.

Anhaltswerte zur Beurteilung

Vorsorglich wird aufgrund der geplanten Nutzung des Vorhabens die Schutzbedürftigkeit eines besonders schutzwürdigen Einwirkungsorts herangezogen.

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen (z. B. Büro etc.) gelten für besonders schutzwürdige Einwirkungsorte die nachfolgend dargestellten Anhaltswerte A nach Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 [4].

Tabelle 1: Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach Tab. 1 der DIN 4150, Teil 2

Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
5	Besonders schutzwürdige Einwirkungsorte, z. B. Krankenhäuser, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

Bei der Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen aus oberirdischem Schienenverkehr gelten folgende Besonderheiten:

- Für oberirdische Schienenwege des ÖPNV gelten die um den Faktor 1,5 angehobenen A_u – und A_r – Werte, wobei bei städtebaulichen Planungen von Baugebieten die Anhaltswerte der Tabelle 1 der DIN 4150-2 eingehalten werden sollten.
- Bei der Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke 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 allerdings nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne KB_{FTi} – Werte

  - bei oberirdischen Strecken gebietsunabhängig über $A_o = 0,6$

  so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z. B. Flachstellen an Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben. Diese hohen Werte sind bei der Berechnung von KB_{FTr} zu berücksichtigen.

Einen Hinweis auf die Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen gibt die DIN 4150-2 [4]:

- Die Fühlschwelle liegt bei den meisten Menschen im Bereich zwischen KB = 0,1 und KB = 0,2. In der Umgebungssituation „Wohnung" werden auch bereits gerade spürbare Erschütterungen als störend empfunden. Erschütterungseinwirkungen um KB = 0,3 werden beim ruhigen Aufenthalt in Wohnungen überwiegend bereits als gut spürbar und entsprechend stark störend wahrgenommen.

4.2 Sekundärluftschall

Der innerhalb eines Gebäudes auf Körperschallimmissionen zurückzuführende Luftschall durch Bauwerksschwingungen von Raumbegrenzungsflächen (Wände und vor allem Geschossdecken) wird als sekundärer Luftschall bezeichnet und als tief frequenter Luftschall wahrgenommen.

Bei der Beurteilung der sekundären Luftschallabstrahlung durch verkehrsbedingte Einwirkungen (z. B. Straßen- und Schienenverkehr) existieren keine spezifischen Regelungen mit einer Festlegung von Richtwerten. Es muss demnach auf Richtlinien aus anderen schalltechnischen Bereichen zurückgegriffen werden, die für die Körperschallübertragung innerhalb von Gebäuden Aussagen treffen.

Im Rahmen von Bauleit- oder Genehmigungsplanungen ist es in Bayern gängige Praxis, die Beurteilung der Einwirkungen durch sekundären Luftschall nach der TA Lärm [5] bzw. des Beiblatts 1 zur DIN 45680 [6] durchzuführen (diese Richtlinien regeln generell die Geräuschübertragung innerhalb von Gebäuden durch gewerbliche Anlagen). Im vorliegenden Fall werden für das geplante Vorhaben ebenfalls diese Werte angesetzt.

Die genannten Immissionsrichtwerte gelten gebietsunabhängig für schutzbedürftige Räume:

Tabelle 2: Immissionsrichtwerte „Innen" nach TA Lärm [dB(A)]

Beurteilungszeitraum	Mittelungspegel L_m	Maximalpegel L_{max}
Tag (6:00 – 22:00 Uhr)	35	45
Nacht (22:00 – 6:00 Uhr)	25	35

Die Anforderungen der Richtlinie gelten demnach als erfüllt, wenn der Mittelungspegel des sekundären Luftschalls im Zeitraum Tag (6:00 – 22:00 Uhr) 35 dB(A) nicht überschreitet. Es soll zudem vermieden werden, dass kurzzeitige Geräuschspitzen (hier der mittlere Maximalpegel bei der Zugvorbeifahrt) den Richtwert um mehr als 10 dB(A) überschreiten.

Durch die Schwingungsanregung der Wände und vor allem Geschossdecken wird sekundärer Luftschall durch die Raumbegrenzungsflächen abgestrahlt. Zwischen der Schwingschnelle der Raumbegrenzungsflächen, den jeweiligen Abstrahl- und Absorptionsverhältnissen im Raum und den daraus resultierenden Schalldruckpegeln im Raum besteht ein direkter Zusammenhang.

Ein allgemein gültiges Berechnungsverfahren kann aufgrund des sehr komplexen Wirkungsgefüges der o. g. Zusammenhänge im hier bestimmenden Frequenzbereich unter 100 Hz nicht angegeben werden. Die Erfahrung zeigt, dass der sekundäre Luftschall in guter Näherung nach folgender Formel abgeschätzt werden kann [9]:

$L_{pA}(f_T) = L_{vA}(f_T) + 10 \log 4\, S/A(f_T) + 10 \log \sigma(f_T)$

Dabei bedeuten:

$L_{pA}(f_T)$ Terzpegel des A-bewerteten Schalldrucks im Raum
$L_{vA}(f_T)$ Terzpegel der A-bewerteten Schwingschnelle der Raumbegrenzungsflächen, bezogen auf $5*10^{-8}$ m/s
S Größe der schwingerregten Fläche in m^2
$A(f_T)$ äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m^2
$\sigma(f_T)$ Abstrahlgrad
f_T Terzmittenfrequenz

Für eine genauere Betrachtung des sekundären Luftschalls müsste die mittlere Schnellepegelverteilung aller abstrahlenden Flächen mit den zugehörigen Abstrahlgraden und den äquivalenten Absorptionsgraden bekannt sein. Aufgrund von Erfahrungswerten für raumakustische Verhältnisse in Wohnräumen und mit Wohnräumen vergleichbar ausgestatteten Räumen (z. B. Büroräume) können zur Abschätzung folgende Werte für S, A und σ angesetzt werden.

S ≈ 2 x Grundrissfläche G
A ≈ 0,8 x Grundrissfläche G
$\sigma(f_T)$ = 1 für Frequenzen > f_g (für tiefere Frequenzen als die Grenzfrequenz f_g erfolgt eine Absenkung)

Die so ermittelten sekundären Luftschallpegel stellen mittlere Maximalpegel $\overline{L_{A,\max}}$ während der Zugvorbeifahrten dar. Die Berechnung erfolgt im Frequenzbereich von 16 Hz bis 315 Hz. Durch den Ansatz der oben genannten Parameter ergeben sich in der Regel etwas zu hohe Pegel, die somit aber zugunsten von Personen im Gebäude auf der „sicheren Seite“ liegen.

5. Messungen

5.1 Messzeit, Messort, Messprogramm

Die Messungen erfolgten im Bereich des geplanten Vorhabens am 26.03.2024 in der Zeit von ca. 10:30 bis 15:00 Uhr.

Dabei wurden insgesamt sieben Messpunkte an der Geländeoberfläche bzw. am Gebäudefundament bestehender Baukörper installiert, um die Erschütterungsimmissionen in verschiedenen Abständen zu den Erschütterungsquellen zu erfassen.

Die Lage der jeweiligen Messpunkte orientierte sich sowohl an der Lage der geplanten Baukörper zur Erschütterungsquelle als auch an den gegenwärtig vorhandenen örtlichen Gegebenheiten.

Die Lage und der horizontale Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse sind in nachfolgender Tabelle beschrieben.

Tabelle 3: Beschreibung der Lage der Messpunkte

Messpunkt	Lage des Messpunkts	Horizontaler Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse [m]
MP-1	Fundament (1.UG)	ca. 20
MP-2	Freifeld	ca. 25
MP-3	Freifeld	ca. 45
MP-4	Freifeld	ca. 65
MP-5	Freifeld	ca. 75
MP-6	Fundament (EG)	ca. 90
MP-7	Freifeld	ca. 80

Die Lage der installierten Messpunkte im Bereich der geplanten Baukörper zur Messung des Schienenverkehrs der Bahnlinie der DB AG ist in nachfolgender Abbildung schematisch dargestellt.

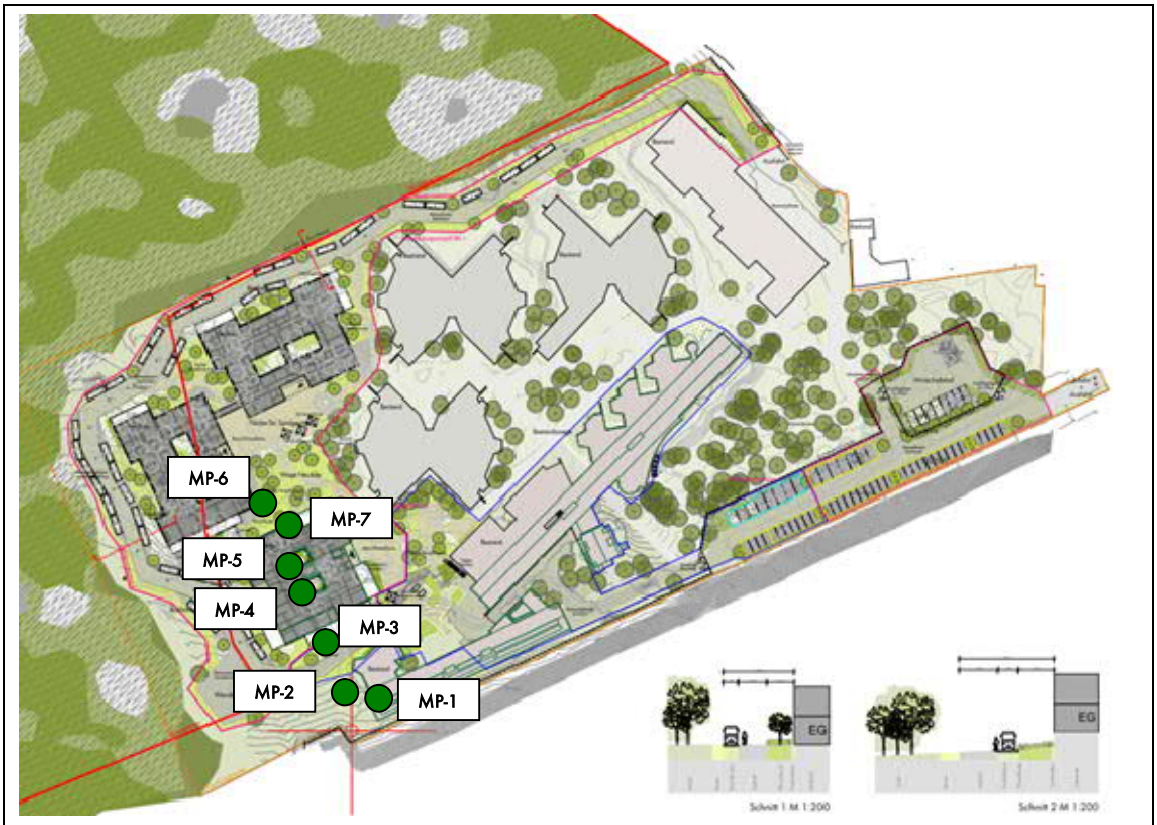

Abbildung 3: Übersichtslageplan mit Darstellung der Messpunkte

In der nachfolgenden Tabelle sind die Anzahl der verwertbaren Vorbeifahrten je Bahngleis aufgelistet.

Tabelle 4: Anzahl der verwertbaren Zugvorbeifahrten und erfasste mittlere Fahrgeschwindigkeiten

Zuggattung	Anzahl Vorbeifahrten / mittlere Geschwindigkeit [km/h]			
	Gleis 1	Gleis 2	Gleis 3	Gleis 4
SPNV	-	15/ca. 80	9/ ca. 100	5/ca. 50
SGV	2/ca. 40	-	1/ ca. 70	-

SPNV: Schienenpersonennahverkehr; SGV: Schienengüterverkehr

Anmerkung: Der Messquerschnitt des Schienenverkehrs der Bahnlinie der DB AG befand sich innerhalb des Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsbereichs des Bahnhofs Rückersdorf. Im Bereich des Messquerschnitts lag zwar regelmäßig die Fahrgeschwindigkeit der verkehrenden Züge unterhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von v = 160 km/h. Eine weitergehende geschwindigkeitsabhängige Korrektur der Messergebnisse auf die maximal zulässige Geschwindigkeit in diesem Abschnitt wird jedoch aufgrund der örtlichen Gegebenheiten mit der Lage zum Bahnhofsbereich nicht durchgeführt.

5.2 Messgeräte

Für die Messungen und Auswertungen wurden folgende Geräte verwendet:

- Seismometer der Fa. SINUS, Model 902102.6, Empfindlichkeit 28,8 mV/(mm/s), Arbeitsfrequenzbereich 0,5 Hz – 315 Hz, untere Bestimmungsgrenze 0,35 µm/s
- Messdatenerfassung und -konditionierung X-500 der Fa. Getac, 8-Kanaliges Messsystem
- Signalanalyse Software MEDA der Fa. Wölfel, Version 2018
- Radarpistole

Die verwendeten Messgeräte wurden vor der Messung auf ihre einwandfreie Funktion überprüft. Die Messgeräte sind Bestandteil des unter D-PL-19432-01-00 nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 von der DAkkS akkreditierten Prüflaboratoriums der Möhler + Partner Ingenieure GmbH. In diesem Rahmen werden die Messgeräte regelmäßig überwacht und auf nationale Normale zurückgeführt.

Vor der Messung wurden die Messkanäle abgeglichen und die Messkette durch Abklopfen der Messaufnehmer für den Messeinsatz auf eine Funktionskontrolle überprüft. Das Einlesen der Kanäle erfolgte simultan. Zu Beginn und nach der Messreihe wurden Nullmessungen zur Betrachtung des Störeinflusses durchgeführt.

Die Erschütterungssignale wurden über die beschriebene Messkette synchron aufgenommen und auf Datenträger gespeichert. Parallel zur Messwert-Aufzeichnung wurden die Zuggattung, das Gleis und weitere Besonderheiten (z. B. leicht abfallendes Gelände, geringe Fahrgeschwindigkeiten, Weicheneinfluss usw.) notiert.

5.3 Ankopplung der Messaufnehmer

Die Ankopplung des Messaufnehmers im Freifeld bzw. Gebäudefundament erfolgte entsprechend den Anforderungen der DIN 45669-2 [8] mittels eines Erdspießes mit einer Länge von 0,5 m und X-förmigen Querschnitt bzw. eines sogenannten Messtellers. Die Erdspieße wurden in ebenen Untergrund geschlagen. Ein Verprellen der Spieße beim Einschlagen wurde weitestgehend vermieden und dessen fester Sitz überprüft. Zudem wurde auf eine zur Ebene möglichst lotrechte Erdspieß-Achse geachtet. Zur Vermeidung von störenden niederfrequenten Windanregungen wurde der Schwingungsaufnehmer an der Geländeoberfläche abgedeckt.

5.4 Messunsicherheit

Messunsicherheiten bei den Erschütterungsmessungen können durch mögliche Störeinflüsse auftreten, z. B.

- Zusätzliche Schwingungen, deren Einwirkung auf das Messobjekt nicht oder nur sekundär Gegenstand der Mess- und Beurteilungsaufgabe ist (z. B. hausinterne Vorgänge o. ä.)
- Störsignale, die neben der Eingangsgröße unmittelbar auf den Schwingungsmesser wirken (z. B. elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder)
- Rückwirkungen des Schwingungsmessers auf das Messobjekt

Schwingungen, die nicht Gegenstand der Mess- und Beurteilungsaufgabe waren, wurden anhand des Messprotokolls bei der Auswertung ausgeblendet und somit nicht berücksichtigt. Anhand der durchgeführten Nullmessungen wurde festgestellt, dass etwaige Störeinflüsse durch elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder so weit vermindert werden konnten, dass sie auf das Messergebnis keinen relevanten Einfluss hatten. Rückwirkungen des Schwingungsmessers auf das Messobjekt konnten aufgrund der geringen Masse des Messaufnehmers gegenüber der Masse des Messobjekts ausgeschlossen werden.

6. Auswertung der messtechnischen Untersuchungen

An den jeweiligen Messpunkten wurde für jede Zugvorbeifahrt das sog. Max-Hold-Terzspektrum mit der Zeitbewertung „FAST" im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz ausgewertet. Anschließend wurde das Spektrum je Messpunkt energetisch gemittelt.

Nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch die energetisch gemittelten Terzschnellespektren an den jeweiligen Messpunkten durch die Bahnlinie 5903 der DB AG.

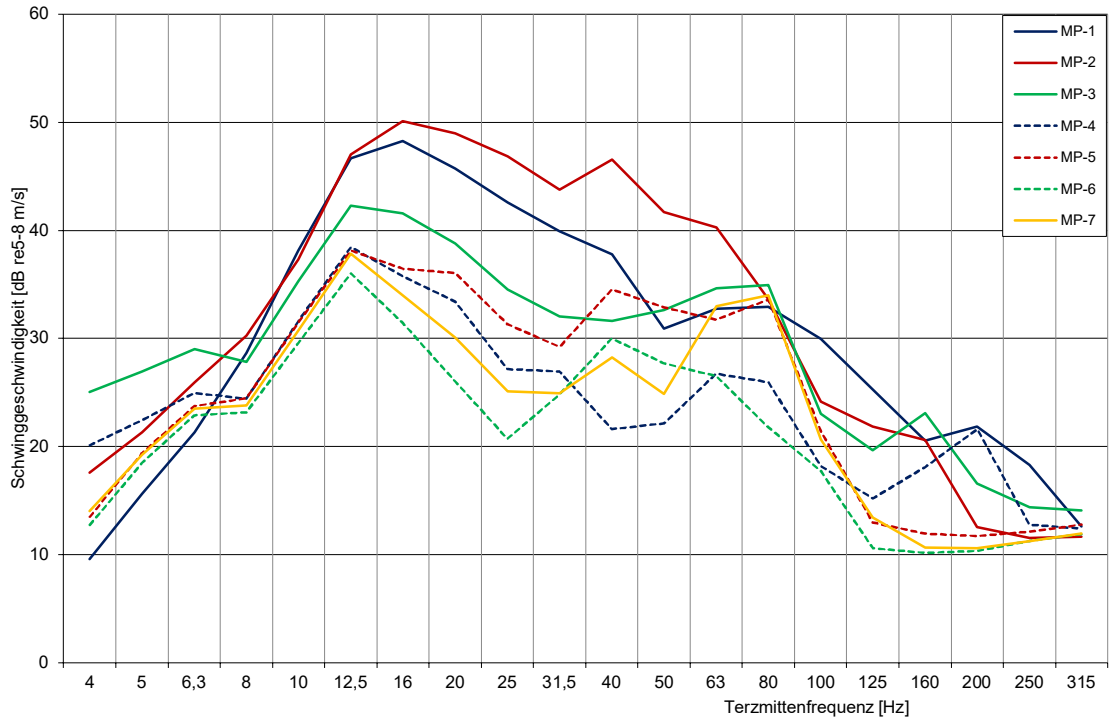

Abbildung 4: Mittlere Max-Hold-Spektren an den jeweiligen Messpunkten für die Bahnlinie 5903

Einleitung der Erschütterungen vom Erdreich in das Gebäude:

Für die Übertragung der Schwingungen vom Erdreich in das Gebäude sind die dynamischen Eigenschaften der Empfängerstruktur und die Rückwirkung des angrenzenden Bodens bestimmend. Für eine Vorabschätzung ist die Überhöhung der Schwingungen beim Übergang vom Erdreich in das Gebäude abhängig von der Gebäudemasse und der Frequenz [7]. Entsprechend wird die Abnahme der Schnellepegel frequenz- und gebäudemasseabhängig angesetzt.

Erschütterungsausbreitung innerhalb des Gebäudes:

Die Anregung des Gebäudefundaments wird in der Regel mit überhöhten Schwingschnellen in den Geschossdecken beantwortet. Die durch Resonanz bei den Eigenfrequenzen der Decken auftretenden Vergrößerungsfaktoren erreichen erfahrungsgemäß Werte von 3 bis 8, beziehungsweise 10 bis 18 dB als Zunahme des Schnellepegels. Die Eigenfrequenzen von Beton-Rohdecken können im Bereich von 10 bis 40 Hz (i.d.R. zwischen 20 und 30 Hz) liegen. Die jeweiligen Berechnungen wurden demzufolge für Decken-Eigenfrequenzen von ca. 15 Hz bis 40 Hz durchgeführt, wobei jeweils die Decken-Eigenfrequenz auf die ungünstigste Terzmittenfrequenz gelegt wurde. Es ergeben sich somit über den oben dargestellten Frequenzbereich die höchsten Immissionen. Als Vergrößerungsfaktor wurde 8 (= 18 dB) gewählt. Die Vergrößerungs-Faktoren für die anderen Frequenzen können aus dem Zusammenhang für die Vergrößerungsfunktion eines Ein-Massen-Schwingers mit Weganregung ermittelt werden:

$$V=[(1+(2D\eta)^2) / ((1-\eta^2)^2 + (2D\eta)^2)]^{0,5}$$

mit

V = Vergrößerungsfaktor
D = Dämpfungsmaß
η = Erregerfrequenz / Eigenfrequenz

Die Schwingungen eines Estrichs bzw. des Gesamtdeckenaufbaus werden ebenfalls durch ein Massen-Schwinger-Modell angenähert. Typische Estrich-Eigenfrequenzen liegen im Bereich von 50 bis 80 Hz.

Die resultierenden Deckenschwingungen werden einer Frequenzbewertung (KB-Filterung) unterzogen und energetisch summiert. Die ermittelten KB – Werte sind aufgrund der Auswertung von Max-Hold-Spektren in Näherung als je Schichtung gemittelte KB_{Fmax} – Werte ($\overline{KB_{FTm,j}}$ – Werte je Fahrtrichtung nach DIN 4150, Teil 2) anzusehen.

Die Auswertung der gemessenen Schnellespektren kann an den Messpunkten zu den unten aufgelisteten maximalen $\overline{KB_{FTm,j}}$ – Werten (entsprechend einem mittleren KB_{Fmax} – Wert) bzw. maximalen Geräuschspitzen $\overline{L_{A,\max}}$ des sekundären Luftschalls führen.

Tabelle 5: Prognostizierte maximale $\overline{KB_{FTm,j}}$ – Werte auf den Geschossdecken eines fiktiven Gebäudes bzw. maximale Geräuschspitzen $\overline{L_{A,\max}}$ des sekundären Luftschalls [dB(A)] in Räumen eines fiktiven Gebäudes anhand der messtechnischen Untersuchungen

Messpunkt	maximaler $\overline{KB_{FTm,j}}$ – Wert	maximale Geräuschspitzen $\overline{L_{A,\max}}$ [dB(A)]
Anhalts-/Richtwert (tags/nachts)	0,10/0,10	45/35
MP-1	*0,12*	***40***
MP-2	***0,12***	*31*
MP-3	< 0,05	< 25
MP-4	< 0,05	< 25
MP-5	< 0,05	< 25
MP-6	< 0,05	< 25
MP-7	< 0,05	< 25

Fettdruck: Überschreitung des unteren Anhaltswerts A_u bzw. des Immissionsrichtwerts am Tag oder Nacht
Kursivdruck: Messpunkte zur Dokumentation der Ausbreitungsbedingungen und außerhalb der Baufelder

7. Beurteilung der Erschütterungen und des Sekundärluftschalls

Die Beurteilung der auf Erschütterungen zurückzuführenden Immissionssituation erfolgt auf Grundlage der aus den Messdaten berechneten Mittelwerte. Die Immissionen einzelner Züge können jedoch deutlich (z. B. bei schadhaftem Zugmaterial) von diesen Mittelwerten abweichen.

Die Aussagen beziehen sich auf die durchgeführten messtechnischen Untersuchungen und die zu diesem Zeitpunkt vorgelegenen örtlichen Gegebenheiten, die vorliegenden Unterlagen sowie pauschale Ansätze zur Berechnung der Reaktion eines Gebäudes in Massivbauweise auf Schwingungsanregung.

7.1 Erschütterungen

Die Beurteilung wird anhand der Anhaltswerte nach Tabelle 1, Zeile 5 der DIN 4150-2 [4] (siehe Tabelle 1 in Kapitel 4.1) durchgeführt.

Ein Vergleich der prognostizierten maximalen $KB_{FTm,j}$ – Werte mit dem unteren Anhaltswert A_u zeigt, dass für die Messpunkte im Bereich der geplanten Baukörper (MP-3 bis MP-7) das A_u – Kriterium sowohl tags als auch nachts für besonders schutzwürdige Einwirkungsorte bereits verlässlich eingehalten wird.

Eine weitere Bewertung anhand der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr}, die die Häufigkeit der Einwirkungen berücksichtigt, ist nicht erforderlich.

Hinsichtlich der subjektiven Wahrnehmung liegen die prognostizierten Erschütterungsimmissionen deutlich unterhalb der Fühlbarkeitsschwelle von KB = 0,1 und sind demzufolge als nicht störend einzustufen.

7.2 Sekundärluftschall

Die Beurteilung des Sekundärluftschalls erfolgt anhand der Immissionsrichtwerte „Innen" nach der TA Lärm, die in der Tabelle 2 des Kapitels 4.2 [5] dargestellt sind.

Ausgehend von den prognostizierten Beurteilungsgrößen des Sekundärluftschalls wird für die Messpunkte im Bereich der geplanten Baukörper (MP-3 bis MP-7) das Maximalpegelkriterium ebenfalls deutlich unterschritten, so dass ebenfalls das Mittelungspegelkriterium der TA Lärm und somit die entsprechenden Anforderungen eingehalten werden.

Die Notwendigkeit etwaiger Schutzmaßnahmen als auch weitergehende Auflagen/Festsetzungen für ein Genehmigungs-/Bebauungsplanverfahren ist somit sowohl hinsichtlich der Einwirkungen aus Erschütterungen als auch Sekundärluftschall für das geplante Vorhaben nicht gegeben.

Diese erschütterungstechnische Untersuchung umfasst 21 Seiten und eine Anlage. Die auszugsweise Vervielfältigung ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure GmbH gestattet.

Bamberg, den 19.04.2024

Möhler + Partner
Ingenieure GmbH

ppa. Dipl.-Ing. H. Högg

i. A. B.Sc. P. Sauer

8. Anlagen

Anlage 1.1 – 1.2: Belegungsprogramm für die Strecke 5903 im Zustand 2022 bzw. Prognose-Fall 2030DT

Anlage 1.1 – 1.2: Belegungsprogramm für die Strecke 5903 im Zustand 2022 bzw. Prognose-Fall 2030DT

Version 202203
Strecke **5903** Abschnitt Behringersdorf bis Ludwigshöhe, km 12,0- km 13,2, Bereich Rückersdorf Bf
Horizont 2022
RiKz 1+2

Zugart	Anzahl		v_max_Zug	Fahrzeugkategorien gem Schall03 im Zugverband												
Traktion	Tag	Nacht	km/h	Fz_Kat	Anzahl	Fz_Kat	Anzahl	Fz_Kat	Anzahl	Fz_Kat	Anzahl	Fz_Kat	Anzahl	Fz_Kat	Anzahl	
GZ-V	1	1	100	8-A6	1	10-Z5	18	10-Z18	4	10-Z2	4	10-Z15	1			
GZ-V	0	1	100	8-A6	1	10-Z5	22	10-Z18	6	10-Z2	6	10-Z15	1			
RB/RE-V	16	7	120	6-A6	2											
RB/RE-V	44	5	120	6-A6	1											
RB/RE-V	3	0	120	6-A6	3											
RB/RE-V	3	1	160	6-A8	1											Neigetechnik
RB/RE-V	31	2	160	6-A8	2											Neigetechnik
RB/RE-V	10	5	160	6-A8	4											Neigetechnik
RB/RE-V	33	2	160	6-A8	3											Neigetechnik
Summe	141	24														

VzG

Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten

Die nachfolgend genannte zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit ist anzusetzen, wenn sie kleiner als die Zuggeschwindigkeit ist!

von km	bis km	km/h	*km/h
12,0	13,2	140	160

* Für Züge mit aktiver Neigetechnik

BüG

Besonders überwachtes Gleis

von km	bis km
-	-

Erläuterungen und Legende

RiKz: Kennzeichen für Gleisrichtung. Mit RiKz 1+2 wird die Streckenbelastung dargestellt.

1. **Geschwindigkeiten:**
   v_max_Zug: bauartbedingte Zughöchstgeschwindigkeit
   VzG: Streckenhöchstgeschwindigkeit aus dem Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten

   Bei der schalltechnischen Berechnung ist das Minimum aus v_max_Zug und VzG zu verwenden.
   Bei Streckenneu- und Ausbauprojekten sind die Vorgaben des Projektes in Abstimmung mit der Projektleitung zu beachten.

   Im Bereich von Personenbahnhöfen (innerhalb der Einfahrsignale) und von Haltepunkten bzw. Haltestellen (Bahnsteiglänge zuzüglich auf jeder Seite 100 m) ist die zulässige Geschwindigkeit der freien Strecke, mindestens aber 70 km/h anzusetzen. Mit vFz = 70 km/h werden die in Bahnhöfen und an Haltepunkten bzw. in Haltestellenbereichen anfallenden Geräusche, die z. B. durch das Türenschließen oder beim Überfahren von Weichen und/oder beim Bremsen und Anfahren entstehen, berücksichtigt.

2. **Zusammensetzung der Fahrzeugkategoriebezeichung:**
   Nummer der Fz-Kategorie - Variante bzw. Zeilennummer in Beiblatt 1 - Achszahl (bei Tfz, E- und V-Triebzügen-außer bei HGV)
   Bsp. 5-Z5-A10

   Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)

3. **Infrastruktureigenschaften:**
   Für Brücken, Bahnübergänge, enge Gleisradien usw. sind die entsprechenden Zuschläge nach Schall03 zu berücksichtigen.

4. **Zugarten:**
   GZ = Güterzug
   RV, RE, RB = Regionalzug
   S = Elektrotriebzug der S-Bahn
   IC = Intercityzug (auch Railjet)
   ICE, TGV = Elektrotriebzug des HGV
   NZ = Nachtreisezug
   AZ = Saison- oder Ausflugszug
   D = sonstiger Fernreisezug, auch Dritte
   LR, LICE = Leerreisezug

5. **Traktionsarten:**
   - V = Diesellok
   - E = E-Lok

6. **Grundlast:**
   Auf die in der Prognose 2030 ermittelten SGV -Zugzahlen hat das BMVI eine Grundlast aufgeschlagen, mit der Lokfahrten, Mess-, Baustellen-, Schadwagen usw. abgebildet werden.

Version 202203 - Daten gemäß aktueller Bekanntgabe der Zugzahlenprognose 2030DT(KW 35/2022) des Bundes
Strecke **5903** Abschnitt Behringersdorf bis Ludwigshöhe, km 12,0- km 13,2, Bereich Rückersdorf Bf
Horizont 2030DT
RiKz 1+2
(nach Elektrifizierung)

Zugart	Anzahl		v_max_Zug	Fahrzeugkategorien gem Schall03 im Zugverband												
Traktion	Tag	Nacht	km/h	Fz_Kat	Anzahl	Fz_Kat	Anzahl	Fz_Kat	Anzahl	Fz_Kat	Anzahl	Fz_Kat	Anzahl	Fz_Kat	Anzahl	
GZ-E	10	4	100	7-Z5-A4	1	10-Z5	30	10-Z18	8							
GZ-E	2	0	120	7-Z5-A4	1	10-Z5	30	10-Z18	8							
GZ-E	4	2	100	7-Z5-A4	1	10-Z5	10									Grundlast
IC-E	15	3	200	7-Z5-A4	1	9-Z5	6									
RV-ET	98	18	160	5-Z5-A10	2											
RV-ET	68	8	160	5-Z5-A12	2											
RV-ET	30	4	160	5-Z5-A16	1											
RV-ET	8	0	160	5-Z5-A16	2											
Summe	235	39														

VzG

Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten

Die nachfolgend genannte zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit ist anzusetzen, wenn sie kleiner als die Zuggeschwindigkeit ist!

von km	bis km	km/h	*km/h
12,0	13,2	140	160

* Für Züge mit aktiver Neigetechnik

BüG

Besonders überwachtes Gleis

von km	bis km
-	-

Erläuterungen und Legende

RiKz: Kennzeichen für Gleisrichtung. Mit RiKz 1+2 wird die Streckenbelastung dargestellt.

1. **Geschwindigkeiten:**
   v_max_Zug: bauartbedingte Zughöchstgeschwindigkeit
   VzG: Streckenhöchstgeschwindigkeit aus dem Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten

   Bei der schalltechnischen Berechnung ist das Minimum aus v_max_Zug und VzG zu verwenden.
   Bei Streckenneu- und Ausbauprojekten sind die Vorgaben des Projektes in Abstimmung mit der Projektleitung zu beachten.

   Im Bereich von Personenbahnhöfen (innerhalb der Einfahrsignale) und von Haltepunkten bzw. Haltestellen (Bahnsteiglänge zuzüglich auf jeder Seite 100 m) ist die zulässige Geschwindigkeit der freien Strecke, mindestens aber 70 km/h anzusetzen. Mit vFz = 70 km/h werden die in Bahnhöfen und an Haltepunkten bzw. in Haltestellenbereichen anfallenden Geräusche, die z. B. durch das Türenschließen oder beim Überfahren von Weichen und/oder beim Bremsen und Anfahren entstehen, berücksichtigt.

2. **Zusammensetzung der Fahrzeugkategoriebezeichnung:**
   Nummer der Fz-Kategorie - Variante bzw. Zeilennummer in Beiblatt 1 - Achszahl (bei Tfz, E- und V-Triebzügen-außer bei HGV)
   Bsp. 5-Z5-A10

   Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)

3. **Infrastruktureigenschaften:**
   Für Brücken, Bahnübergänge, enge Gleisradien usw. sind die entsprechenden Zuschläge nach Schall03 zu berücksichtigen.

4. **Zugarten:**
   GZ = Güterzug
   RV, RE, RB = Regionalzug
   S = Elektrotriebzug der S-Bahn
   IC = Intercityzug (auch Railjet)
   ICE, TGV = Elektrotriebzug des HGV
   NZ = Nachtreisezug
   AZ = Saison- oder Ausflugszug
   D = sonstiger Fernreisezug, auch Dritte
   LR, LICE = Leerreisezug

5. **Traktionsarten:**
   - V = Diesellok
   - E = E-Lok

6. **Grundlast:**
   Auf die in der Prognose 2030 ermittelten SGV -Zugzahlen hat das BMVI eine Grundlast aufgeschlagen, mit der Lokfahrten, Mess-, Baustellen-, Schadwagen usw. abgebildet werden.