

Mess-Stelle nach § 29b BImSchG

Dipl.-Ing. Thomas Hoppe
ö.b.v. Sachverständiger für
Schallimmissionsschutz Ingenieurkammer
Niedersachsen

Dipl.-Phys. Michael Krause
ö.b.v. Sachverständiger
für Wirkungen von Erschütterungen auf Gebäude
Ingenieurkammer Niedersachsen

Dipl.-Geogr. Waldemar Meyer

Dipl.-Ing. Manuela Koch-Orant

Dipl.-Ing. Manfred Bonk ^{bis 1995, †2016}

Dr.-Ing. Wolf Maire ^{bis 2006}

Dr. rer. nat. Gerke Hoppmann ^{bis 2013}

Dipl.-Ing. Clemens Zollmann ^{bis 2019}

Rostocker Straße 22
30823 Garbsen
05137/8895-0, -95

Bearbeiter: Dipl.-Phys. M. Krause
Durchwahl: 05137/8895-23
m.krause@bonk-maire-hoppmann.de

15.01.2021

- 20115/e -

Erschütterungstechnische Untersuchung

zur Änderung des Bebauungsplans Nr. 53 und Nr. 25,
1. Änderung „Im Weidefeld“
Seelze, Stadtteil Letter

| | |
|--|-------|
| Inhaltsverzeichnis..... | Seite |
| Anlagenverzeichnis | 3 |
| Liste der verwendeten Abkürzungen und Ausdrücke | 4 |
| 1. Auftraggeber | 5 |
| 2. Aufgabenstellung | 5 |
| 4. Beurteilung Erschütterungen und sekundärer Luftschall | 7 |
| 4.1 Mess- und Beurteilungsverfahren nach DIN 4150 Teil 2 (Einwirkung auf Menschen in Gebäuden) | 7 |
| 4.2 Anforderungen sekundärer Luftschall | 10 |
| 5. Anforderungen Erschütterungen und sekundärer Luftschall für das Bauvorhaben | 11 |
| 5.1 Anforderungen Erschütterungen für das Bauvorhaben..... | 11 |
| 5.2 Anforderungen sekundärer Luftschall | 11 |
| 6. Durchführung und Auswertung der Emissionsmessung | 12 |
| 6.1. Zeitraum der Messung | 12 |
| 6.2 Mess- und Auswertegeräte | 12 |
| 6.3 Messpunkte | 12 |
| 6.4 Ablauf und Auswertung der Messung | 12 |
| 6.5 Darstellung der Messergebnisse | 13 |
| 7. Prognoseverfahren zur Ermittlung der Erschütterungen..... | 14 |
| 8.1 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke | 16 |
| 8.2 Berechnung der Beurteilungspegel sekundärer Luftschall..... | 16 |
| 9. Ergebnisse der Prognoseberechnung und Beurteilung | 17 |
| 10. Zusammenfassung und Hinweise | 22 |
| Quellen, Richtlinien, Verordnungen..... | 24 |

Dieses Gutachten umfasst:

24 Seiten Text

Datei:20115_e_letter_weidefeld.ga.doc, Autor: Dipl.-Phys. M. Krause

Anlagenverzeichnis

| | |
|------------|--|
| Anlage A | Lageplan Messpunkte, Plangebiet |
| Anlage E | Ergebnistabellen KB_{Fmax} ; |
| Anlage D | Terzspektren Schwinggeschwindigkeit L_v (Max-Hold), |
| Anlage D.1 | Beispielhafte Darstellung Prognoseberechnung für RE Gleis 2 $v = 61$ km/h; Deckeneigenfrequenz 20 Hz Blatt 1, mit Maßnahme Blatt 2 |
| Anlage P | Ergebnisse der Prognoseberechnung Erschütterung und Beurteilung Blatt 1, 2 |

Liste der verwendeten Abkürzungen und Ausdrücke

| <u>Zeichen</u> | <u>Einheit</u> | <u>Bedeutung</u> |
|-----------------|----------------|---|
| A_o, A_u, A_r | - | Anhaltswerte DIN 4150, Teil 2 |
| KB_{Fmax} | | Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} ist nach DIN 4150, Teil 2 der Maximalwert von $KB_F(t)$ der während der jeweiligen Beurteilungszeit auftritt und der zu untersuchenden Ursache zuzuordnen ist |
| KB_{Fti} | | Die Messzeit wird nach DIN 4150, Teil 2 in Takte von je $T = 30 \text{ sec}$ eingeteilt. Jedem dieser Takte wird der darin erreichte Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ zugeordnet, im folgenden bezeichnet als KB_{Fti} . Der Index i nummeriert die Takte |
| KB_{FTr} | | Der Wert für die Beurteilungs-Schwingstärke ist nach DIN 4150, Teil 2 ist der Taktmaximal-Effektivwert über die Beurteilungszeit |
| KB_{FTm} | | Quadratischer Mittelwert über die Taktmaximalwert KB_{FTi} |
| $KB_{F(t)}$ | | Die bewertete Schwingstärke $KB_{F(t)}$ nach DIN 4150, Teil 2 ist der gleitende Effektivwert mit der Zeitbewertung „Fast“ des frequenzbewerteten Erschütterungssignals |
| L_v | dB | Körperschallschnellepegel |
| $L_v(f)$ | dB | Spektraler Körperschallschnellepegel |
| MP | - | Messpunkt |
| N_t | - | Anzahl Zugvorbeifahrten tags |
| N_n | - | Anzahl Zugvorbeifahrten nachts |
| v | km/h | Zuggeschwindigkeit |
| $v(f)$ | mm/s | Effektivwert der Schwingschnelle, spektral |
| v_e | mm/s | Effektivwert der Schwingschnelle |
| v_o | mm/s | Bezugsschnelle |

1. Auftraggeber

Herr

Kenan Muric

An der Bredenbeeke 8

30926 Seelze

2. Aufgabenstellung

Der Auftraggeber beabsichtigt die Flächen einer Wohnnutzung zuzuführen. Hierfür sollen mit der Aufstellung der 1. Änderung „Im Weidefeld“ des Bebauungsplans Nr.53 und 25 Wohnbauflächen mit dem Schutzanspruch eines Allgemeinen Wohngebiets (WA gem. BauNVO) neu ausgewiesen werden.

Aufgrund der unmittelbaren Lage des Plangebietes an den südlich vom Grundstück verlaufenden Bahnstrecke 1700, 1701, 1705 und 1750 der DB Netz AG können Beeinträchtigungen in geplanten Bauvorhaben durch Erschütterungen und des damit verbundenen sekundären Luftschalls aus dem Eisenbahnbetrieb nicht ausgeschlossen werden.

Das Plangelände und dessen Lage zur Bahntrasse sind in dem Plan der Anlage A dargestellt. Die geplante Bebauung weist einen Abstand von ca. 24 m zum nächstgelegenen Gleis auf.

Im Rahmen der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung soll geprüft werden, ob die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 (Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden) im Bereich des geplanten Bauvorhabens unter Berücksichtigung der Erschütterungen aus dem Bahnbetrieb eingehalten werden. Dabei wird auch die Einwirkung des sekundären Luftschalls ermittelt und beurteilt.

Um die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen zu ermitteln, wurden auf dem Plangelände an der vorgesehenen Baugrenze Erschütterungsmessungen durchgeführt. Auf Grundlage der Ergebnisse der Erschütterungsmessungen wurden die in der vorgesehenen Bebauung zu erwartenden Erschütterungen bzw. der Sekundäre Luftschall prognostiziert und nach der DIN 4150, Teil 2 für

Erschütterung und für den sekundären Luftschall in Anlehnung an die VDI-2719¹. beurteilt.

3. Grundlagen

Bei der Bewegung von Schienenfahrzeugen auf den Gleisanlagen werden zeitlich veränderliche Kräfte auf die Fahrweggründung übertragen und in den Boden eingeleitet. Dabei werden im Bereich der Fahrweggründung Schwingungen emittiert, die sich dann im Boden ausbreiten. Die Ausbreitung ist abhängig von der Bodenbeschaffenheit, Quellengeometrie und der Frequenz der Schwingungen, diese klingen mit zunehmendem Abstand von der Quelle ab.

Die Bodenschwingungen werden auf Gebäude in Fahrwegnähe übertragen (Schwingungsimmissionen) und als Erschütterungen bezeichnet. Zunächst werden die Erschütterungen vom Baugrund auf das Fundament übertragen. Dabei werden sie abgeschwächt. Maßgebend für die Einwirkung von Erschütterungen ist dann der weitere Übergang auf die Geschossdecken, bei dem die Erschütterungen gegenüber dem Fundament und dem Baugrund i.d.R. in einem hohen Maße verstärkt werden. Das Maß, mit dem die Schwingungen in ein Gebäude übertragen werden, ist stark abhängig von dessen Bauweise. Hier sind insbesondere die schwingungstechnischen Eigenschaften der Gebäudedecken in Bezug auf deren Eigenfrequenz und Dämpfung entscheidend. Diese sind in einem hohen Maße von der Bauweise (z.B. Beton oder Holzbalkendecke), der Deckenstärke, den geometrischen Ausmaßen und den Auflagerbedingungen abhängig.

Unter Körperschall versteht man generell mechanische Schwingungen, die sich in einem festen Medium oder an dessen Oberfläche ausbreiten. Erschütterungen fallen in die Kategorie des tieffrequenten Körperschalls, den der Mensch mit seinem ganzen Körper wahrnehmen kann. Der Frequenzbereich der wahrnehmbaren Erschütterungen erstreckt sich von 4 Hz bis etwa 80 Hz.

Als Maß für die Stärke der Schwingungen dient nachfolgend die Schwinggeschwindigkeit (auch als Körperschallschnelle bezeichnet) mit der Einheit [mm/s].

Zur Bewertung von Erschütterungen, insbesondere hinsichtlich ihrer Wirkungen

¹ VDI-Richtlinie 2719 *Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen* (8/87)

auf den Menschen, werden diese in sogenannte KB-Schwingstärken ausgedrückt. Dazu wird das Zeitsignal der Schwinggeschwindigkeit bandbegrenzt und eine Frequenzbewertung (KB -Filterung) zur Berücksichtigung der frequenzabhängigen menschlichen Wahrnehmungsstärke durchgeführt. Aus der weiteren Berechnung des gleitenden Effektivwertes mit der Zeitbewertung „FAST“ errechnet sich die bewertete Schwingstärke $KB_{F(t)}$; der während einer Messung bestimmte höchste KB-Wert wird als maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} bezeichnet. Dieser Wert ist neben der Beurteilungs-Schwingstärke die maßgebliche Beurteilungsgrundlage.

Bei der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} handelt es sich um einen zeitlichen Mittelwert analog dem Beurteilungspegel zur Bewertung von Schallimmissionen.

Während für die Berechnung der Schallemission und -ausbreitung ein verallgemeinertes Rechenmodell vorhanden ist, sind die Gesetzmäßigkeiten bei der Entstehung, Ausbreitung und Wirkung der Erschütterungen so vielgestaltig, dass ein verbindliches Berechnungsmodell nicht existiert. Daher sind Erschütterungsmessungen erforderlich, um bestimmte Zusammenhänge der Ausbreitung im Boden und in den Gebäuden genauer beschreiben zu können. Unter Berücksichtigung der vorgenannten messtechnisch bestimmten Parameter kann dann eine Erschütterungsprognose erstellt werden.

4. Beurteilung Erschütterungen und sekundärer Luftschall

4.1 Mess- und Beurteilungsverfahren nach DIN 4150 Teil 2 (Einwirkung auf Menschen in Gebäuden)

Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz können grundsätzlich Immissionen durch Erschütterungen schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen. Gesetzliche Regelungen für die Beurteilung von Erschütterungsmissionen gibt es dagegen noch nicht. Das Regelungsdefizit begründet sich in der Verordnungsermächtigung des § 43 Abs. 1 BImSchG in dem die Einwirkung von Erschütterungen nicht angesprochen sind.

Aufgrund fehlender gesetzlicher Grenzwerte gilt die DIN 4150, Teil 2, "Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden" als Äußerung einschlägigen Sachwissens und als geeignete, wenn auch unverbindliche Grundlage für die Beurteilung von Erschütterungsmissionen.

Dieses Normblatt nennt für Erschütterungsimmissionen Anhaltswerte, bei deren Einhaltung nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist. Die DIN 4150-2 vom Juni 1999 stellt hierzu den aktuellen Kenntnisstand dar.

Nachfolgende Tabelle 1 enthält Anhaltswerte A der bewerteten Schwingstärke KB_F , zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen. Sie beziehen sich wie folgt auf die beiden Beurteilungsgrößen:

- KB_{Fmax} - die maximale bewertete Schwingstärke,
- KB_{FTr} - die Beurteilungs-Schwingstärke, siehe unten.

Tabelle 1:

Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen aus der DIN 4150 T 2

| Zeile | Einwirkungsort | tags | | | nachts | | |
|-------|---|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | | 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 Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vgl. Industriegebiete § 9 BauNVO). | 0.4 | 6 | 0.2 | 0.3 | 0.6 | 0.15 |
| 2 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vgl. Gewerbegebiete § 8 BauNVO). | 0.3 | 6 | 0.15 | 0.2 | 0.4 | 0.1 |
| 3 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vgl. Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO). | 0.2 | 5 | 0.1 | 0.15 | 0.3 | 0.07 |
| 4 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vgl. reines Wohngebiet § 3 BauNVO, allgemeines Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO). | 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 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkung vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Die in der Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2, enthaltenen Zahlenwerte werden wie bereits erwähnt als „Anhaltswerte“ bezeichnet. Damit wird klargestellt, dass es sich bei diesen Werten um empfohlene Werte und nicht um gesicherte Grenzwerte handelt. Bei Einhaltung der Anhaltswerte können erhebliche Belästigungen der in den Gebäuden lebenden Menschen im Allgemeinen ausgeschlossen werden.

Die beiden Beurteilungsgrößen sind in der Regel getrennt für die drei Richtungskomponenten x , y (horizontal) und z (vertikal) zu ermitteln, wobei die jeweils größte der drei der Beurteilung zugrunde zulegen ist. In Räumen von Wohnungen wird jedoch im Allgemeinen nur die vertikale Komponente gemessen und ausgewertet, da diese bei Deckenschwingungen i.d.R. die größte ist.

Da unter Zugrundelegung der Messergebnisse allein die Erschütterungen aus den Bahnanlagen in der Beurteilung berücksichtigt werden, sind die Sonderregelungen zur Beurteilung des Schienenverkehrs bei deren Beurteilung zu beachten. Danach erfolgt die Beurteilung ausschließlich anhand der Kriterien A_u (für KB_{Fmax}) und A_r (für KB_{FTr}). Dies gilt insbesondere für neu zu bauende Strecken und bei städtebaulichen Planungen. Die (oberen) Anhaltswerte A_o erhalten beim Schienenverkehr eine andere Bedeutung als in der übrigen Norm. Für den Schienenverkehr hat der obere Anhaltswert A_o für den Nachtzeitraum dabei nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten anzusehen sind. Für oberirdisch geführte Schienenverkehrswege gilt nachts:

$$A_o = 0.6 \text{ (gebietsunabhängig).}$$

Liegen jedoch nachts einzelne KB_{Fmax} - Werte über $A_o = 0.6$, so sind die Ursachen zu erforschen. Diese hohen KB_{Fmax} - Werte sind bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} mit zu berücksichtigen.

Bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} für den Schienenverkehr werden die Zuschläge für Ruhezeiten nicht angewandt.

Zur Beurteilung der KB-Werte ist die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} mit den Anhaltswerten A_u (unterer Anhaltswert) und A_r für neu zu bauende Bahnanlagen und städtebauliche Planungen nach der folgenden Methodik zu vergleichen:

- ist $KB_{Fmax} \leq A_u$, so ist die Anforderung der Norm eingehalten,
- Für häufigere Einwirkungen (und hierzu zählt in der Regel Schienenverkehr), bei denen KB_{Fmax} größer als A_u ist, ist ein weiterer Prüfschritt für die Entscheidung erforderlich, nämlich die Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} . Ist KB_{FTr} nicht größer als der

Anhaltswert A_r nach Tabelle 1 der DIN-Norm 4150, Teil 2, sind die Anforderungen der Norm ebenfalls eingehalten.

Das A_r -Kriterium dient einer angemessenen Beurteilung von häufig, aber unregelmäßig wiederkehrenden Erschütterungen; es entspricht dem Grundgedanken des Mittelungspegels beim Schall.

Ergänzend muss darauf hingewiesen werden, dass selbst bei Einhaltung des unteren Anhaltswertes A_u die Fühlbarkeit von Erschütterungen nicht ausgeschlossen werden kann. Die Fühlschwelle liegt bei den meisten Menschen im Bereich zwischen $KB = 0.1$ und $KB = 0.2$.

4.2 Anforderungen sekundärer Luftschall

Das in der 16. BImSchV (Anlage 2 zu § 3) festgelegte Verfahren zur Ermittlung und Berechnung des Beurteilungspegels stellt allein auf den primären Luftschall ab. Entsprechende gesetzliche und normative Festlegungen zum sekundären Luftschall liegen derzeit nicht vor.

Da der sekundäre Luftschall hier als eine Sonderform von verkehrsinduzierten Geräuschen angesehen werden kann, sollten hier auch nur Regelungen berücksichtigt werden, wie sie üblicherweise beim Verkehrslärm Anwendung finden. D.h. eine Beurteilung nach den Kriterien der TA-Lärm oder nach der DIN 45680 stellt für die Beurteilung des sekundären Luftschalls hier keine geeignete Grundlage dar, da deren Anwendung ausschließlich auf gewerbliche Anlagen mit einer ständigen Einwirkung abzielt.

Einen Anhaltspunkt zur Beurteilung der Immissionen des sekundären Luftschalls bietet hier daher neben den Regelungen der 24. BImSchV (die aber ausschließlich den Beurteilungspegel berücksichtigt) die VDI-2719². Danach sind für die möglicherweise vorgesehenen Nutzungen folgende Anhaltswerte für den Beurteilungspegel $L_{A,m}$ und den mittleren Maximalpegel $L_{A,max}$ vorgesehen:

² VDI-Richtlinie 2719 *Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen* (8/87)

Tabelle 2:

Zulässige Innenpegel sekundärer Luftschall in Anlehnung an die VDI 2719 in dB (A)

| Raumnutzung | Beurteilungspegel $L_{A,m}$ | mittlerer Maximalpegel L_{Amax} |
|---|-----------------------------|-----------------------------------|
| Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden | 30 | 40 |
| Wohnräume | 40 | 50 |
| Behandlungs- und Untersuchungsräume im Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume | 40 | 50 |
| Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume | 45 | 55 |

5. Anforderungen Erschütterungen und sekundärer Luftschall für das Bauvorhaben

5.1 Anforderungen Erschütterungen für das Bauvorhaben

Vorgesehen ist eine der Büronutzung entsprechende Ausweisung des Planbereiches als WA (Allgemeines Wohngebiet). Damit ist eine Beurteilung nach Zeile 4 der Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 vorzunehmen.

Tabelle 3: Anforderungsprofil Erschütterungen.

| Anforderungen | DIN 4150, Teil 2 |
|---------------|--|
| WA | Beurteilung nach Zeile 4 Tabelle 1 (WA): tags: $A_u = 0.15, A_r = 0.07$ nachts: $A_u = 0.10, A_r = 0.05$ |

5.2 Anforderungen sekundärer Luftschall

Bei der Beurteilung werden entsprechend den möglichen Nutzungen als Wohnung die Pegel nach Tabelle 2 für Schlaf- und Wohnräume zu Grunde gelegt.

6. Durchführung und Auswertung der Emissionsmessung

6.1. Zeitraum der Messung

- 10.12.2020 von 10:30 – 14:30 Uhr.

6.2 Mess- und Auswertegeräte

- 9 Kanal - Schwingungsmesssystem BEITZER S9000;

Zur Messung der Erschütterungen werden Geophone eingesetzt, die nach elektrodynamischen Verfahren zur Schwinggeschwindigkeit proportionale elektrische Werte liefern. Der Frequenzbereich der eingesetzten Geophone liegt zwischen 1 Hz und 320 Hz. Die Erschütterungssignale werden von einem Messrechner aufgezeichnet, die Auswertung erfolgt durch den Rechner.

6.3 Messpunkte

Zur Bestimmung der von der Bahn auf das vorgesehene Baugelände einwirkenden Erschütterungsemissionen wurden auf dem Baugelände Erschütterungsmessungen durchgeführt.

Die Messungen wurden an vier Messpunkten im Gelände durchgeführt. Die Lage der Messpunkte ist in dem Lageplan der Anlage A dargestellt. Der Abstand der Messpunkte Az/Bz/Cz/Dz beträgt 24 m zum nächstgelegenen Gleis.

6.4 Ablauf und Auswertung der Messung

Für die gemessenen Ereignisse (Zugvorbeifahrten) wurden folgende Informationen aufgezeichnet:

- per Protokoll: Gleis, Zugart, Geschwindigkeit (Radarmessung);
- per Computer:
zeitlicher Verlauf des Erschütterungssignals, Zeitpunkt.

Für jedes Ereignis wurde der zugehörige Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_{F_{\max}}$ für das Ereignis aus den aufgezeichneten Erschütterungssignalen bestimmt. Zusätzlich wurden Frequenzanalysen für das gemessene Schwinggeschwindigkeitssignal zur Bestimmung der Schwinggeschwindigkeitsspektren durchgeführt.

Die Zuggeschwindigkeiten entsprachen den üblichen Geschwindigkeiten, sie wurden mit einer Radarpistole gemessen.

Die Anzahl der für die jeweilige Ereignisgruppe (z.B. S-Bahn auf Gleis 1 usw.) durchgeführten Messungen kann den Ergebnistabellen der Anlage E entnommen werden.

Die bei der Prognose erforderlichen spektralen Schwingschnellepegel L_v [dB] werden nach folgender Beziehung bestimmt:

$$L_v = 20 \log [v_e/v_0]$$

v_e : Effektivwert der Schwingschnelle

v_0 : Schwingschnelle-Bezugsgröße, $5 \cdot 10^{-8}$ [m/s]

Die spektralen Schwingschnellepegel L_v nach obiger Funktion wurden mit dem Schwingungsmesssystem BEITZER S9000 nach dem Max-Hold Verfahren als Terzspektren aus dem während Messung aufgenommenen Zeitverlauf des Erschütterungssignals bestimmt. Dieses Auswerteverfahren entspricht von der Zeitbewertung her dem Verfahren, das bei der Bestimmung des KB_{Fmax} – Wertes angewandt wird.

6.5 Darstellung der Messergebnisse

Die Ergebnisse der Erschütterungsmessungen sind für die untersuchten Messpunkte und Ereignisgruppen (Zugart und Gleis) in den Tabellen der Anlage E für aufgeführt. In den Tabellen sind aufgeführt:

- der KB_{Fmax} – Wert, für die einzelne Zugvorbeifahrt;
- Uhrzeit und Geschwindigkeit der einzelnen Zugvorbeifahrt;
- die minimalen und maximalen Werte KB_{Fmax} je Ereignisgruppe bzw. Zugklasse;
- der quadratische Mittelwert (Effektivwert) $\langle KB_{Fmax} \rangle$ aus den für die jeweiligen Zugklassen (Zugart und Gleis) für die Vorbeifahrt gemessenen Werten für KB_{Fmax} mit der Standardabweichung s .
- die mittlere Zuggeschwindigkeit v [km/h] je Zugklasse mit Standardabweichung
- die minimalen und maximalen Werte für die Zuggeschwindigkeit v [km/h] je Zugklasse.

Die Terzspektren für den Pegel der Schwinggeschwindigkeit L_v für die Messpunkte- und Richtungen werden als energetischer Mittelwert, über die für die jeweilige Ereignisgruppe ermittelten Spektren berechnet. Für über im gleichen Abstand befindliche Geländemesspunkte wurden diese Spektren energetisch gemittelt. Die Ergebnisse sind für die verschiedenen Zugklassen in dem Diagramm der Anlage D dargestellt.

7. Prognoseverfahren zur Ermittlung der Erschütterungen

Ziel der Erschütterungsprognose ist die Ermittlung der in geplanten Bauvorhaben zu erwartenden Erschütterungsimmissionen und des damit verbundenen Sekundären Luftschalls aus dem Eisenbahnverkehr.

Die Werte für die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen werden rechnerisch auf Basis der prognostizierten Immissionsspektren der Schwinggeschwindigkeit ermittelt. Ausgewertet wird der Frequenzbereich von 1 – 400 Hz.

Bei der hier durchgeführten Erschütterungsprognose werden Messergebnisse rechnerisch verarbeitet. Das schwingungstechnische Gesamtsystem von der Erschütterungsquelle bis zum Immissionsort wird dabei in mehrere entkoppelte Teilsysteme unterteilt:

- a. Emissionsquelle mit der Ankopplung an den Erdboden
- b. Ausbreitung der Erschütterungen im Erdboden bis vor das Gebäude
- c. Übergang der Erschütterungen vom Erdboden auf das Gebäudefundament
- d. Übergang der Erschütterungen vom Gebäudefundament auf die Geschossdecke(n).

Für die Ermittlung der zukünftigen Schwingungsimmissionen sind demnach folgende Kenngrößen erforderlich:

(1) Die Spektren der Erschütterungsimmissionen für die einzelnen Zugklassen auf dem Baugelände aus der Bahnstrecke. Diese wurden bei den durchgeführten Emissionsmessungen ermittelt. Hier ist der Einfluss der Teilsysteme a und b enthalten.

(2) Übergang vom Baugrund auf die Geschossdecken:

Bestimmend für den Übergang der Schwingungen vom Baugrund auf die

Geschossdecken sind deren Eigenfrequenzen und Dämpfung. Hier liegen statistische Angaben über gebäudespezifische Verstärkungsfaktoren vom freien Gelände auf die zu betrachtende Geschossdecke für Beton- und Holzbalkendecken in Abhängigkeit von der Frequenz vor. Diese sind der Richtlinie 800.2502 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ der DB Netz AG vom November 2016 entnommen. In dem Diagramm der Anlage D zur exemplarischen Darstellung der Prognoseberechnung ist die spektrale Übertragungsfunktion für eine Betondecke mit einer Eigenfrequenz von 20 Hz dargestellt. Für die Betrachtung einer nicht unterkellerten Ausführung wurden an den Übertragungsfunktionen entsprechende Korrekturen vorgenommen. Diese wurden auf Grundlage eigener Messungen ermittelt.

(3) Sekundärer Luftschall:

Die Pegel für den sekundären Luftschall werden nach einem empirischen Ansatz (s.a. Leitfaden Körperschall und Erschütterung der DB AG) berechnet. Als Ausgangsgröße dient der Schwinggeschwindigkeitspegel L_v , (L_{eq}) der für die Schwingung des Fußbodens im untersuchten Raum repräsentativ ist. Durch A-Bewertung und energetische Addition aller Terzpegel im Frequenzbereich von 20 Hz bis 100 Hz wird der Gesamtpegel gebildet. Der Pegel des sekundären Luftschalls ergibt sich über spezielle Zusammenhänge in Abhängigkeit von der Ausführung der Geschossdecke (Beton oder Holzbalkendecke).

Durch Addition der oben erläuterten Spektren ergibt sich das zukünftig zu erwartende Immissionsspektrum der Erschütterungen bzw. der Pegel des Sekundären Luftschalls. Zur Berechnung des mittleren Maximalpegel $L_{a,max}$ des Sekundären Luftschalls wird der Maximalwert der jeweiligen Terzfrequenz über alle Messungen je Ereignisgruppe zu Grunde gelegt. In der Anlage D.1 ist die Prognoseberechnung exemplarisch für RE-Züge für eine Deckeneigenfrequenz von 20 Hz für eine unterkellerte und nicht unterkellerte Ausführung dargestellt.

Die Ergebnisse der Prognose für die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} sind in der Anlage P beispielhaft dargestellt.

Nach dem derzeitigen Erfahrungsstand ist bei dem oben beschriebenen Prognoseverfahren mit Fehlern von bis zu 40 % zu rechnen. Im

Prognoseverfahren werden diese Fehler durch entsprechende Sicherheitszuschläge bei der Prognoseberechnung berücksichtigt.

8. Berechnung der Beurteilungsgrößen

8.1 Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke

Bei Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTTr} ist neben den gemessenen Mittelwerten für $\langle KB_{Fmax} \rangle$ auch die Anzahl der Ereignisse für den Tag- und Nachtzeitraum mit zu berücksichtigen. Die entsprechenden Ausgangsdaten sind in der Tabelle zur Darstellung der Ergebnisse der Prognoseberechnung aufgeführt. Die entsprechenden Angaben zum Betriebsprogramm 2030 wurden der von der DB-Netz zur Verfügung gestellt. Das Betriebsprogramm ist in der Anlage P zur Berechnung der Beurteilungsschwingstärke und Ergebnisdarstellung enthalten.

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTTr} wird für den Schienenverkehr nach folgender Beziehung ermittelt:

$$KB_{FTTr} = \sqrt{\frac{1}{N_r} \cdot \sum_{j=1}^L (M_j \cdot KB_{FTmj}^2)}$$

N_r : Anzahl der 30 – Sekunden – Takte im Beurteilungszeitraum;
tags $N_r = 1920$ Takte
nachts $N_r = 960$ Takte

KB_{FTmj} : Taktmaximal-Effektivwerte der Zugklasse j, entspricht dem für die Zugklasse aus den KB_{Fmax} der einzelnen Vorbeifahrten berechneten quadratischen Mittelwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$.

M_j : Anzahl der durch die Zugklasse j während der Beurteilungszeit belegten Takte.

L: Anzahl der unterschiedlichen Zugklassen.

Der quadratische Mittelwert (Effektivwert) $\langle KB_{Fmax} \rangle$ für die jeweilige Zugklasse wird aus den Prognoseberechnungen ermittelt.

8.2 Berechnung der Beurteilungspegel sekundärer Luftschall

Der bei der Beurteilung maßgebende Beurteilungspegel L_m -Tag/Nacht für den betrachteten Raum wird gemäß folgender Gleichung berechnet:

$$\text{Tag:} \quad L_{m\text{-tag}} = L_{\text{sek}} + 10 \log \frac{t_{\text{zug}} \cdot N_t}{57600} \text{ [dB(A)]}$$

$$\text{Nacht:} \quad L_{m\text{-nacht}} = L_{\text{sek}} + 10 \log \frac{t_{\text{zug}} \cdot N_n}{28800} \text{ [dB(A)]}$$

N_t : Anzahl Zugereignisse Tag (Zeitraum 6:00 bis 22:00 Uhr)

N_n : Anzahl Zugereignisse Nacht (Zeitraum 22:00 bis 6:00 Uhr)
 t_{zug} : Einwirkungsdauer der Zugvorbeifahrt

9. Ergebnisse der Prognoseberechnung und Beurteilung

Für das Bauvorhaben wurden bei der Prognoseberechnung folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- Unterkellert / nicht unterkellert
- Drei Geschosse incl. DG
- Betondecken mit einer Stärke der Rohdecke $d = 20$ cm
- Abstand vom nächstgelegenen Gleis 24 m.

Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungen

In der Tabelle der Anlage P sind die Ergebnisse der auf Grundlage der durchgeführten Emissionsmessungen und unter Berücksichtigung der oben dargestellten Randbedingungen durchgeführten Prognoseberechnung in Abhängigkeit von der Eigenfrequenz für die verkehrenden Zugklassen dargestellt. In der Tabelle sind folgende Angaben enthalten:

- Der quadratische Mittelwert $\langle KB_{Fmax} \rangle$ (Effektivwert) der einzelnen Zugklasse für jede Deckeneigenfrequenz;
- die bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke zugrunde gelegten Zugzahlen (Tag/Nacht) der jeweiligen Zugklasse;
- die aus den Werten $\langle KB_{Fmax} \rangle$ der Zugklassen und den Zugzahlen des Betriebsprogramms berechnete Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} für die untersuchten Deckeneigenfrequenzen;
- Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 2;
- Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2, für den Tages- und Nachtzeitraum nach Zeile 4 für WA.

In der nachfolgenden Tabelle sind die für die Beurteilung maßgebenden Werte der Beurteilungs-Schwingstärke und die sich daraus ergebende Beurteilung für unterkellerte bzw. nicht unterkellerte Bauweise angegeben. Deckeneigenfrequenzen für die die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 ggf. nicht eingehalten werden, sind grau unterlegt.

Tabelle 4: Prognose und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2, nach Zeile 3 Wohngebiet“ unterkellert

| Eigenfrequenz Decke [Hz] | Prognose Erschütterung Betondecke unterkellert Tag 6:00 – 22:00 Uhr | | Prognose Erschütterung Betondecke unterkellert Nacht 22:00 - 6:00 Uhr | |
|--------------------------------|---|--|---|---|
| | KB _{FTR} Tag | Anforderungen DIN 4150 Teil 2 tags WA eingehalten ja/nein A _r = 0.07 | KB _{FTR} Nacht | Anforderungen DIN 4150 Teil 2 nachts WA eingehalten ja/nein A _r = 0.05 |
| 10 | 0.074 | nein | 0.042 | ja |
| 12.5 | 0.103 | nein | 0.074 | nein |
| 16 | 0.076 | ja* | 0.056 | ja* |
| 20 | 0.052 | nein | 0.038 | ja |
| 25 | 0.036 | nein | 0.027 | ja |
| 31.5 | 0.031 | nein | 0.024 | ja |
| 40 | 0.030 | nein | 0.023 | ja |

*) im Rahmen der Messgenauigkeit von 15 % eingehalten

Tabelle 5: Prognose und Beurteilung nach DIN 4150, Teil 2, nach Zeile 3 Wohngebiet“ nicht unterkellert

| Eigenfrequenz Decke [Hz] | Prognose Erschütterung Betondecke unterkellert Tag 6:00 – 22:00 Uhr | | Prognose Erschütterung Betondecke unterkellert Nacht 22:00 - 6:00 Uhr | |
|--------------------------------|---|--|---|---|
| | KB _{FTR} Tag | Anforderungen DIN 4150 Teil 2 tags WA eingehalten ja/nein A _r = 0.07 | KB _{FTR} Nacht | Anforderungen DIN 4150 Teil 2 nachts WA eingehalten ja/nein A _r = 0.05 |
| 10 | 0.085 | nein | 0.047 | ja |
| 12.5 | 0.134 | nein | 0.096 | nein |
| 16 | 0.107 | nein | 0.078 | nein |
| 20 | 0.092 | nein | 0.065 | nein |
| 25 | 0.058 | ja | 0.042 | ja |
| 31.5 | 0.046 | ja | 0.034 | ja |
| 40 | 0.041 | ja | 0.030 | ja |

In der Zusammenfassung lassen sich unter Bezug auf die durchgeführten Prognoseberechnungen folgende Aussagen in Hinsicht auf die Einwirkung von Erschütterungen aus dem Bahnverkehr für geplante Bauvorhaben machen:

In der Zusammenfassung lassen sich unter Bezug auf die durchgeführten Prognoseberechnungen folgende Aussagen in Hinsicht auf die Einwirkung von Erschütterungen aus dem Bahnverkehr für die geplanten Bauvorhaben machen:

Unterkellerte Ausführung

- Die Anforderungen für Wohngebiete werden für die vorgesehene Planung nächstgelegenen geplanten Wohngebäude für den Tages- und Nachtzeitraum bei Deckeigenfrequenzen ab einschließlich 16 Hz eingehalten.
- Die Erschütterungen liegen dabei in einem Bereich der zum Teil leicht spürbar ist.
- Um die Anforderungen zu erfüllen ist sicher zu stellen, dass die Eigenfrequenzen der Decken mindestens bei 16 Hz oder darüber liegen. Dies kann durch entsprechende Auslegung der Decken erreicht werden. Dabei spielen unter anderem die Stärke der Decke, die Abmessungen der freitragenden Bereiche (d.h. ohne darunterliegende stützende Wände) eine maßgebende Rolle. Bei Einhaltung einer Deckeneigenfrequenz von wenigstens 16 Hz sind keine Maßnahmen zum Erschütterungsschutz erforderlich.
- Um eine Eigenfrequenz von 16 Hz zu erreichen sollten folgende maximale Abmessungen der freitragenden Decke (Stärke mit 20 cm angenommen) nicht überschritten werden:

| Länge a [m] | Breite b [m] |
|-------------|--------------|
| 5 | 10.0 |
| 5.2 | 8.8 |
| 5.4 | 8.0 |
| 5.6 | 7.4 |
| 5.8 | 7.0 |
| 6 | 6.7 |
| 6.4 | 6.3 |
| 6.6 | 6.1 |
| 6.8 | 5.9 |
| 7 | 5.8 |

- Die vorstehend angegebenen Abmessungen sollten nicht überschritten werden. Sind größere Spannweiten erforderlich kann die Eigenfrequenz ggf. durch den Einbau von Stützen oder Unterzügen erhöht werden. In diesem Fall sollte der Nachweis der Eigenfrequenz im Rahmen der Tragwerksplanung erfolgen.
- Bei Einhaltung der oben beschriebenen Anforderung für die Ausführung der

Decken sind keine Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungen erforderlich.

Nicht unterkellerte Ausführung

- Die Anforderungen für Wohngebiete werden für die nächstgelegenen geplanten Wohngebäude für den Tages- und Nachtzeitraum erst bei Deckeigenfrequenzen ab einschließlich 25 Hz eingehalten. Bei darunter liegenden Deckeneigenfrequenzen werden die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 für WA nicht eingehalten.
- Die Erschütterungen liegen dabei in einem Bereich der zum Teil wahrnehmbar ist.
- Um die Anforderungen zu erfüllen ist sicher zu stellen, dass die Eigenfrequenzen der Decken mindestens bei 25 Hz oder darüber liegen. Dies kann durch entsprechende Auslegung der Decken erreicht werden. Dabei spielen unter anderem die Stärke der Decke, die Abmessungen der freitragenden Bereiche (d.h. ohne darunterliegende stützende Wände) eine maßgebende Rolle.
- Um eine Eigenfrequenz von 25 Hz für Räume mit Schlafnutzung zu erreichen sollten folgende maximale Abmessungen der freitragenden Decke (Stärke mit 20 cm angenommen) nicht überschritten werden:

| Länge a [m] | Breite b [m] |
|-------------|--------------|
| 4.00 | 8.0 |
| 4.2 | 6.8 |
| 4.4 | 6.2 |
| 4.6 | 5.7 |
| 4.8 | 5.4 |
| 5 | 5.1 |
| 5.2 | 4.9 |
| 5.4 | 4.8 |
| 5.6 | 4.7 |
| 5.8 | 4.5 |
| 6 | 4.5 |

- Die vorstehend angegebenen Abmessungen sollten nicht überschritten werden. Sind größere Spannweiten erforderlich kann die Eigenfrequenz ggf. durch den Einbau von Stützen oder Unterzügen erhöht werden. In diesem Fall sollte der Nachweis der Eigenfrequenz im Rahmen der Tragwerksplanung erfolgen.
- Bei Einhaltung der oben beschriebenen Anforderung für die Ausführung der Decken sind keine Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungen erforderlich.

Beurteilung sekundärer Luftschall

Die Berechnung des Beurteilungspegels für den sekundären Luftschall wurde für den ungünstigsten Fall vorgenommen. D.h. es wurde der höchste Wert für den Vorbeifahrpegel zu Grunde gelegt. Der Maximalwert für den Vorbeifahrpegel und damit der mittlere Maximalpegel liegt bei 35 dB(A). Bei Berechnung des Beurteilungspegels wird im Mittel über alle Züge eine Vorbeifahrzeit von 30 s berücksichtigt. Der ermittelte Beurteilungspegel für den Sekundären Luftschall und dessen Beurteilung sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 6: Prognose und Beurteilung sekundärer Luftschall Beurteilungspegel $L_{A,m}$

| Beurteilung sekundärer Luftschall Beurteilungspegel | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Eigenfrequenz Decke [Hz] | Beurteilungspegel sekundärer Luftschall Tag $L_{A,m}$ [dB(A)] | Anhaltswert $L_{A,m}$ [dB(A)] Tag | Beurteilungspegel sekundärer Luftschall Nacht [dB(A)] | Anhaltswert $L_{A,m}$ [dB(A)] Nacht | Anforderungen sekundärer Luftschall Tag/ Nacht erfüllt ja / nein |
| 31.5 Hz | 26 | 40 | 26 | 30 | ja / ja |

Die Anforderungen für den Beurteilungspegel des sekundären Luftschalls werden für die vorgesehene Wohnnutzung eingehalten.

Der nachfolgenden Tabelle ist die die Beurteilung für den mittleren Maximalpegel $L_{a,max}$ für Wohn- und Schlafräume entnehmen.

Tabelle 7: Prognose und Beurteilung sekundärer Luftschall für den mittlerern Maximalpegel L_{max}

| Beurteilung sekundärer Luftschall Beurteilungspegel Deckeneigenfrequenz 50 Hz | | | |
|---|--|-------------------------------|--|
| Nutzung | Mittlerer Maximalpegel sekundärer Luftschall L_{max} [dB(A)] | Anhaltswert $L_{A,m}$ [dB(A)] | Anforderungen sekundärer Luftschall Tag/ Nacht erfüllt ja / nein |
| Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden | 35 | 40 | ja |
| Wohnräume | 35 | 50 | ja |

Die auf die Einwirkung des sekundären Luftschalls für den mittlerer Maximalpegel $L_{a,max}$ bezogenen Anforderungen werden damit ebenfalls eingehalten. Damit sind bezogen auf die Einwirkung des sekundären Luftschalls keine baulichen Maßnahmen zur Reduzierung des sekundären Luftschalls erforderlich.

10. Zusammenfassung und Hinweise

- Für die Einwirkung von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr werden die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 für Wohngebiete für die direkt an der Bahn liegenden geplanten Wohngebäude für eine unterkellerte Ausführung ab Deckeneigenfrequenzen von einschließlich 16 Hz eingehalten. Um die Eigenfrequenzen von 16 Hz zu erreichen sollten die im Gutachten angegebenen Abmessungen der freitragenden Deckenbereiche nicht überschritten werden.
- Für die Einwirkung von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr werden die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 für Wohngebiete für die direkt an der Bahn liegenden geplanten Wohngebäude für eine nicht unterkellerte Ausführung ab Deckeneigenfrequenzen von einschließlich 25 Hz eingehalten. Um die Eigenfrequenzen von 25 Hz zu erreichen sollten die im Gutachten angegebenen Abmessungen der freitragenden Deckenbereiche nicht überschritten werden.
- Unter dem Gesichtspunkt der Einwirkung von Erschütterungen ist einer unterkellerten Ausführung der Vorzug zu geben.
- Die Anforderungen Sekundärer Luftschall werden eingehalten.
- Die Erschütterungen liegen in einem Bereich der wahrnehmbar ist, d.h. die

Spürbarkeit einzelner Zugvorbeifahrten kann nicht ausgeschlossen werden. Da die Anforderungen der DIN 4150, Teil 2 eingehalten werden, kann eine störende Einwirkung durch Erschütterungen aus dem Bahnbetrieb im Sinne der DIN 4150, Teil 2 jedoch ausgeschlossen werden.

- Die Gründung von geplanten Wohngebäuden sollte in der Form ausgeführt werden, dass diese durch ihre Eigenschaften zur Minderung der Einleitung von Erschütterungen beiträgt. Dies kann bei einer Flachgründung z.B. durch eine stärkere Bodenplatte erreicht werden. Entsprechende Hinweise dazu können nach Vorlage der entsprechenden Planung gegeben werden.

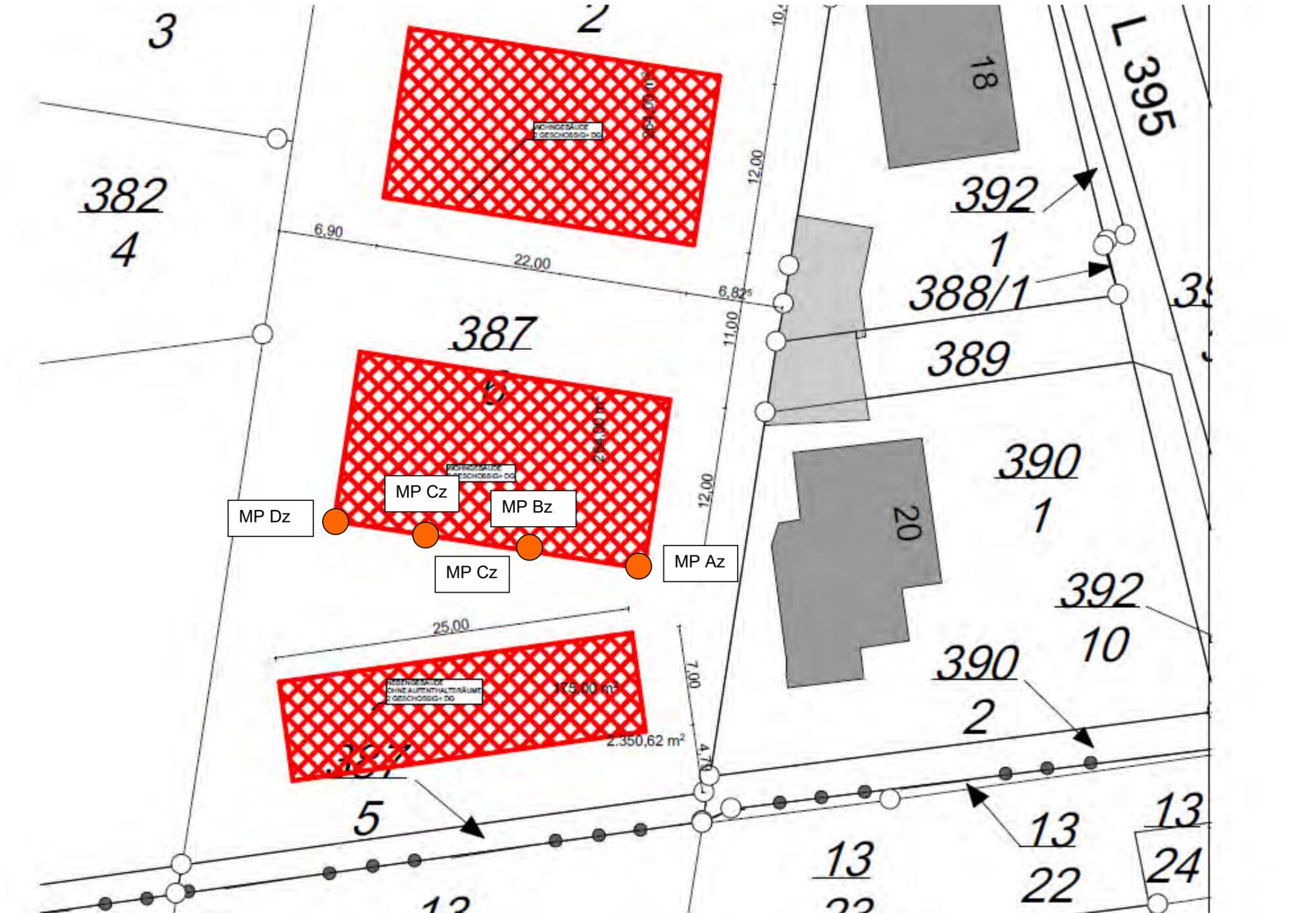
Bonk-Maire-Hoppmann GbR

(Dipl.-Phys. M. Krause)

Quellen, Richtlinien, Verordnungen

- ◇ Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26.09.2002, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18.12.2006 (BGBl. I S. 3180), zuletzt geändert am 13.10.2007
- ◇ DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen,
 - Vornorm Teil 1: Grundsätze, Vorermittlung und Messung; 2001 - 06;
 - Teil 2: Einwirkung auf den Menschen im Gebäude; 1999 - 06
 - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen; Dezember 2016;
- ◇ DIN 45669 Messung von Schwingungsimmissionen; Juni 2005;
 - Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen und Prüfung; September 2010;
 - Teil 2: Messverfahren;
- ◇ „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen, Erschütterungs-Leitlinie“, Länderausschuss für Immissionsschutz; 06. März 2018
- ◇ „Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen“, Bericht Nr. 107, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein – Westfalen, 1992
- ◇ DIN 45672 Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen
 - Teil 1: Messverfahren; September 1991
 - Teil 2: Auswerteverfahren; September 1997
- ◇ Richtlinie 800.2501 – 800.2503 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ der DB Netz AG
- ◇ Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) vom 12.06.1990, veröffentlicht im Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1990, Teil 1, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes (BImSchG) vom 18.12.2006 (BGBl. I S. 3180)
- ◇ VDI-Richtlinie 2719 Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen (8/87)

20115/e: Erschütterungstechnische Untersuchung B-Plan „Im Weidefeld, Seelze OT Letter“: Lage Messpunkte und Planung (ohne Maßstab)



| 20115/e: Erschütterungstechnische Untersuchung Bebauungsplan Nr.25 der Stadt Seelze "Im Weidefeld" Letter | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|--|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--|--|--|
| Messort LETTER_20_1: Letter, Plangebiet Bebauungsplan Nr.25 "Im Weidefeld", Messung am 10.12.2020 | | | | | | | | | | | |
| KB _{Fmax} - Werte Vorbeifahrten | | | | Gleis 1 | | | | S-Bahn | | | |
| | | | | Kanal 1 | Kanal 2 | Kanal 3 | Kanal 7 | | | | |
| | | | | MP Az | MP Bz | MP Cz | MP Dz | MW | | | |
| Nr. | Kommentar | | | Gelände mittlerer Abstand 14 m zumGleis | | | | Az/Bz/Cz/Dz | | | |
| 9 | gl.1 S-Bahn | | | 0.036 | 0.037 | 0.064 | 0.036 | 0.045 | | | |
| 41 | gl.1 S-Bahn | | | 0.063 | 0.041 | 0.039 | 0.040 | 0.047 | | | |
| 49 | gl.1 S-Bahn | | | 0.037 | 0.035 | 0.034 | 0.043 | 0.037 | | | |
| 3 | Gleis 1S-Bahn | | | 0.063 | 0.041 | 0.064 | 0.043 | 0.047 | | | |
| | | | | 0.036 | 0.035 | 0.034 | 0.036 | 0.037 | | | |
| | Gleis 1S-Bahn | | | 0.047 | 0.038 | 0.047 | 0.040 | 0.043 | | | |
| | | | | 0.012 | 0.002 | 0.013 | 0.003 | 0.022 | | | |
| KB _{Fmax} - Werte Vorbeifahrten | | | | Gleis 2 | | | | S-Bahn | | | |
| | | | | Kanal 1 | Kanal 2 | Kanal 3 | Kanal 7 | | | | |
| | | | | MP Az | MP Bz | MP Cz | MP Dz | MW | | | |
| Nr. | Kommentar | | | Gelände mittlerer Abstand 14 m zumGleis | | | | Az/Bz/Cz/Dz | | | |
| 7 | gl.2 s-bahn | | | 0.064 | 0.064 | 0.055 | 0.049 | 0.058 | | | |
| 14 | gl.2 s-bahn | | | 0.062 | 0.045 | 0.049 | 0.051 | 0.052 | | | |
| 19 | gl.2 S-bahn | | | 0.075 | 0.053 | 0.044 | 0.040 | 0.055 | | | |
| 22 | gl.2 s bahn | | | 0.070 | 0.051 | 0.057 | 0.049 | 0.057 | | | |
| 26 | gl.2 s bahn | | | 0.060 | 0.047 | 0.048 | 0.041 | 0.050 | | | |
| 50 | gl.2 s bahn | | | 0.049 | 0.047 | 0.051 | 0.052 | 0.050 | | | |
| 57 | gl.2 s bahn | | | 0.060 | 0.051 | 0.056 | 0.049 | 0.054 | | | |
| 58 | gl.2 s bahn | | | 0.056 | 0.048 | 0.058 | 0.061 | 0.056 | | | |
| 64 | gl.2 s bahn | | | 0.052 | 0.049 | 0.053 | 0.053 | 0.052 | | | |
| 9 | max-wert | Gleis 2S-Bahn | | 0.075 | 0.064 | 0.058 | 0.061 | 0.058 | | | |
| | Min-wert | | | 0.049 | 0.045 | 0.044 | 0.040 | 0.050 | | | |
| | Mittelwert | Gleis 2S-Bahn | | 0.061 | 0.051 | 0.052 | 0.050 | 0.054 | | | |
| | s | | | 0.008 | 0.005 | 0.004 | 0.006 | 0.022 | | | |

20115/e: Erschütterungstechnische Untersuchung Bebauungsplan Nr.25 der Stadt Seelze "Im Weidefeld" Letter
 Messort LETTER_20_1: Letter, Plangebiet Bebauungsplan Nr.25 "Im Weidefeld", Messung am 10.12.2020

| KB _{Fmax} - Werte Vorbeifahrten | | | Gleis 3 | | | | ICE | | | | |
|--|------------|------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--|--|--|--|
| | | | Kanal 1 | Kanal 2 | Kanal 3 | Kanal 7 | | | | | |
| | | | MP Az | MP Bz | MP Cz | MP Dz | MW | | | | |
| Nr. | Kommentar | | Gelände mittlerer Abstand 14 m zumGleis | | | | Az/Bz/Cz/Dz | | | | |
| 33 | gl.3 ice | | 0.108 | 0.096 | 0.142 | 0.140 | 0.123 | | | | |
| 38 | gl.3 ice | | 0.120 | 0.084 | 0.122 | 0.107 | 0.109 | | | | |
| 52 | gl.3 ice | | 0.118 | 0.115 | 0.159 | 0.139 | 0.134 | | | | |
| 3 | max-wert | Gleis 3ICE | 0.120 | 0.115 | 0.159 | 0.140 | 0.134 | | | | |
| | Min-wert | | 0.108 | 0.084 | 0.122 | 0.107 | 0.109 | | | | |
| | Mittelwert | Gleis 3ICE | 0.115 | 0.099 | 0.142 | 0.130 | 0.123 | | | | |
| | s | | 0.005 | 0.013 | 0.015 | 0.015 | 0.022 | | | | |

| KB _{Fmax} - Werte Vorbeifahrten | | | Gleis 3 | | | | RE | | | | |
|--|------------|-----------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--|--|--|--|
| | | | Kanal 1 | Kanal 2 | Kanal 3 | Kanal 7 | | | | | |
| | | | MP Az | MP Bz | MP Cz | MP Dz | MW | | | | |
| Nr. | Kommentar | | Gelände mittlerer Abstand 14 m zumGleis | | | | Az/Bz/Cz/Dz | | | | |
| 16 | gl.3 Re | | 0.104 | 0.095 | 0.124 | 0.107 | 0.108 | | | | |
| 24 | gl.3 RE | | 0.144 | 0.116 | 0.119 | 0.139 | 0.130 | | | | |
| 42 | gl.3 re | | 0.121 | 0.100 | 0.112 | 0.108 | 0.110 | | | | |
| 45 | gl.3 re | | 0.100 | 0.104 | 0.124 | 0.105 | 0.109 | | | | |
| 61 | gl.3 re | | 0.118 | 0.100 | 0.103 | 0.112 | 0.108 | | | | |
| 5 | max-wert | Gleis 3RE | 0.144 | 0.116 | 0.124 | 0.139 | 0.130 | | | | |
| | Min-wert | | 0.100 | 0.095 | 0.103 | 0.105 | 0.108 | | | | |
| | Mittelwert | Gleis 3RE | 0.118 | 0.103 | 0.116 | 0.115 | 0.113 | | | | |
| | s | | 0.016 | 0.007 | 0.008 | 0.013 | 0.022 | | | | |

20115/e: Erschütterungstechnische Untersuchung Bebauungsplan Nr.25 der Stadt Seelze "Im Weidefeld" Letter
 Messort LETTER_20_1: Letter, Plangebiet Bebauungsplan Nr.25 "Im Weidefeld", Messung am 10.12.2020

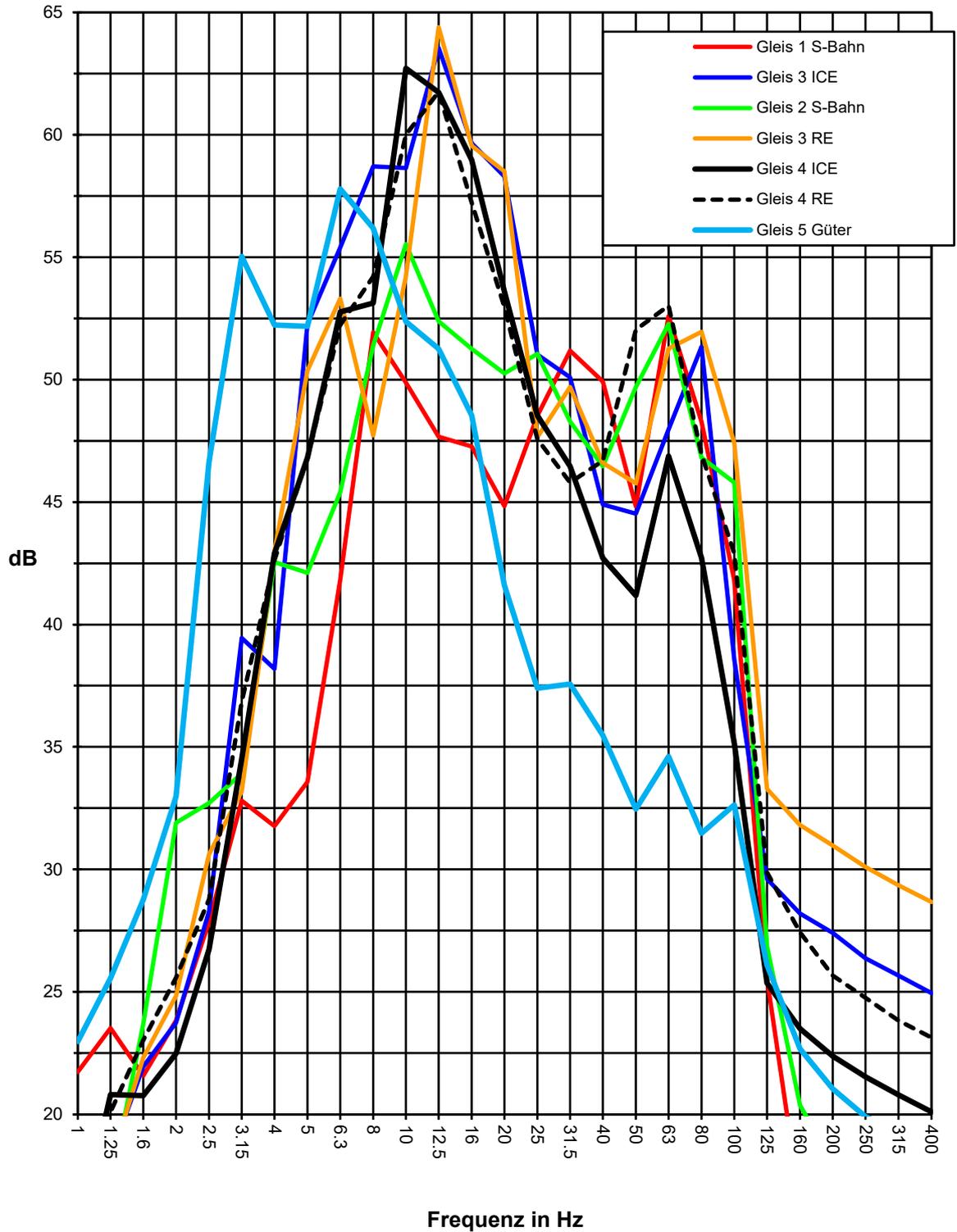
| KB _{Fmax} - Werte Vorbeifahrten | | | Gleis 4 | | | | ICE | | | |
|--|------------|------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--|--|--|
| | | | Kanal 1 | Kanal 2 | Kanal 3 | Kanal 7 | | | | |
| | | | MP Az | MP Bz | MP Cz | MP Dz | MW | | | |
| Nr. | Kommentar | | Gelände mittlerer Abstand 14 m zumGleis | | | | Az/Bz/Cz/Dz | | | |
| 10 | gl.4 ice | | 0.130 | 0.131 | 0.115 | 0.110 | 0.122 | | | |
| 17 | gl.4 ice | | 0.117 | 0.095 | 0.100 | 0.110 | 0.106 | | | |
| 23 | gl.4 ice | | 0.090 | 0.072 | 0.119 | 0.078 | 0.092 | | | |
| 30 | gl.4 ice | | 0.109 | 0.098 | 0.124 | 0.094 | 0.107 | | | |
| 46 | gl.4 ice | | 0.086 | 0.083 | 0.076 | 0.107 | 0.089 | | | |
| 5 | max-wert | Gleis 4ICE | 0.130 | 0.131 | 0.124 | 0.110 | 0.122 | | | |
| | Min-wert | | 0.086 | 0.072 | 0.076 | 0.078 | 0.089 | | | |
| | Mittelwert | Gleis 4ICE | 0.108 | 0.098 | 0.108 | 0.100 | 0.104 | | | |
| | s | | 0.016 | 0.020 | 0.017 | 0.012 | 0.022 | | | |

| KB _{Fmax} - Werte Vorbeifahrten | | | Gleis 4 | | | | RE | | | |
|--|------------|-----------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--|--|--|
| | | | Kanal 1 | Kanal 2 | Kanal 3 | Kanal 7 | | | | |
| | | | MP Az | MP Bz | MP Cz | MP Dz | MW | | | |
| Nr. | Kommentar | | Gelände mittlerer Abstand 14 m zumGleis | | | | Az/Bz/Cz/Dz | | | |
| 18 | gl.4 re | | 0.081 | 0.073 | 0.084 | 0.091 | 0.083 | | | |
| 32 | gl.4 re | | 0.073 | 0.071 | 0.059 | 0.062 | 0.066 | | | |
| 35 | gl.4 re | | 0.137 | 0.132 | 0.109 | 0.108 | 0.122 | | | |
| 48 | gl.4 re | | 0.099 | 0.085 | 0.105 | 0.114 | 0.101 | | | |
| 4 | max-wert | Gleis 4RE | 0.137 | 0.132 | 0.109 | 0.114 | 0.122 | | | |
| | Min-wert | | 0.073 | 0.071 | 0.059 | 0.062 | 0.066 | | | |
| | Mittelwert | Gleis 4RE | 0.101 | 0.094 | 0.091 | 0.096 | 0.095 | | | |
| | s | | 0.024 | 0.025 | 0.020 | 0.020 | 0.022 | | | |

20115/e: Erschütterungstechnische Untersuchung Bebauungsplan Nr.25 der Stadt Seelze "Im Weidefeld" Letter
Messort LETTER_20_1: Letter, Plangebiet Bebauungsplan Nr.25 "Im Weidefeld", Messung am 10.12.2020

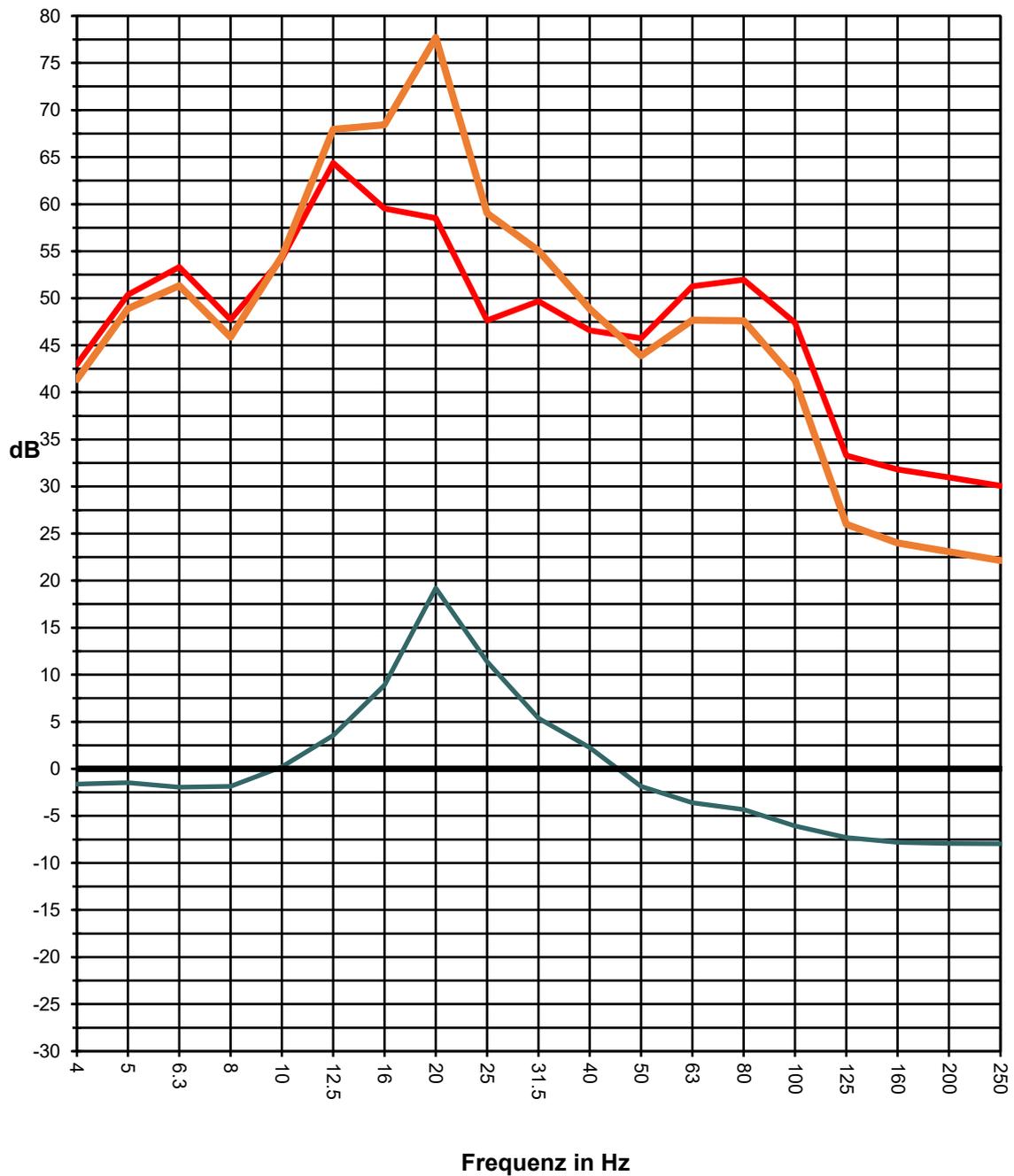
| KB _{Fmax} - Werte Vorbeifahrten | | Gleis 5 | | | | Güter | | | |
|--|------------|--------------|---|---------|---------|---------|-------------|--|--|
| | | | Kanal 1 | Kanal 2 | Kanal 3 | Kanal 7 | | | |
| | | | MP Az | MP Bz | MP Cz | MP Dz | MW | | |
| Nr. | Kommentar | | Gelände mittlerer Abstand 14 m zumGleis | | | | Az/Bz/Cz/Dz | | |
| 27 | gl.5 güter | | 0.090 | 0.083 | 0.081 | 0.081 | 0.084 | | |
| 34 | gl.5 güter | | 0.064 | 0.057 | 0.048 | 0.052 | 0.056 | | |
| 37 | gl.5 güter | | 0.047 | 0.043 | 0.045 | 0.051 | 0.046 | | |
| 51 | gl.5 güter | | 0.044 | 0.045 | 0.044 | 0.047 | 0.045 | | |
| 62 | gl.5 güter | | 0.085 | 0.079 | 0.087 | 0.087 | 0.084 | | |
| 5 | max-wert | Gleis 5Güter | 0.090 | 0.083 | 0.087 | 0.087 | 0.084 | | |
| | Min-wert | | 0.044 | 0.043 | 0.044 | 0.047 | 0.045 | | |
| | Mittelwert | Gleis 5Güter | 0.069 | 0.063 | 0.064 | 0.066 | 0.065 | | |
| | s | | 0.019 | 0.017 | 0.019 | 0.017 | 0.022 | | |

Messort LETTER_20_1: B-Plan "Im Weidefeld, Letter": Terzspektren
 Schwinggeschwindigkeit Lv (Max-Hold) Mittel Zugvorbeifahrten, Mittelwert
 Geländemesspunkte MP Az/Bz/Cz/Dz



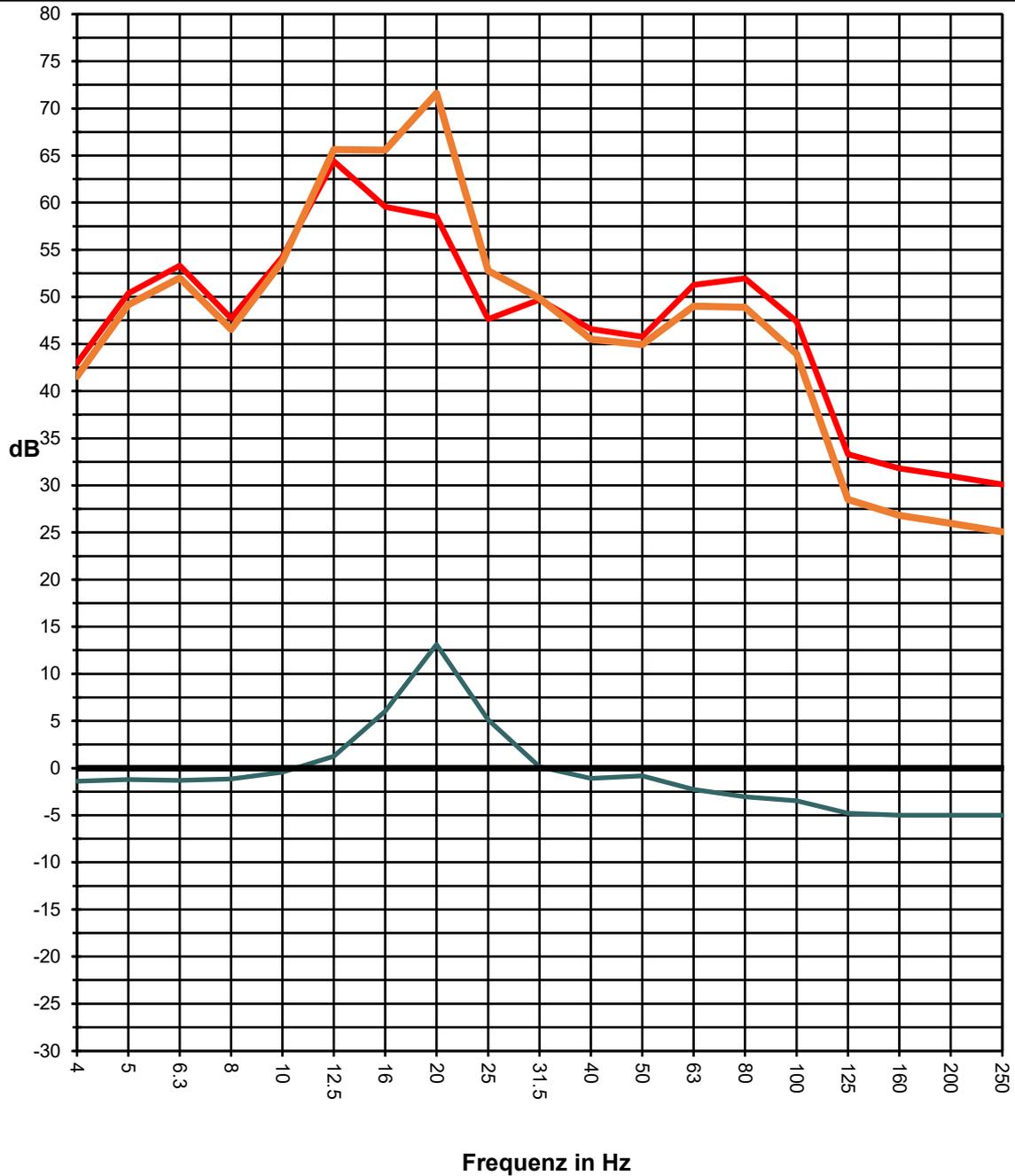
Erschütterungstechnische Untersuchung B-Plan "Im Weidefeld, Letter":
Berechnung Immissionspektrum RE Gleis 3, Betondecke Eigenfrequenz 20 Hz
(nicht unterkellert)

- Immission Baugrund RE Gleis 3 +
- Übertragungsfunktion Baugrund-Geschossdecke Beton Eigenfrequenz mit Korrektur nicht unterkellert 20 Hz =
- Immissionspektrum Betondecke 20 Hz, RE Gleis 3 KBFmax = 0.41



Erschütterungstechnische Untersuchung B-Plan "Im Weidefeld, Letter":
Berechnung Immissionspektrum RE Gleis 3, Betondecke Eigenfrequenz 20 Hz
(unterkellert)

— Immission Baugrund RE Gleis 3 +
— Übertragungsfunktion Baugrund-Geschossdecke Beton Eigenfrequenz 20 Hz +
— Immissionspektrum Betondecke 20 Hz, RE Gleis 3 KBFmax = 0.23



| 20115/e: Erschütterungstechnische Untersuchung B-Plan "Im Weidefeld, Seelze OT Letter" | | | | | | | | | | | |
|--|--|------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Ergebnisse $KB_{F_{max}}$ und $KB_{F_{Tr}}$ der Prognoseberechnung Betondecke für Prognosenullfall 2030 unterkellert | | | | | | | | | | 16 | Sek. Luftsch. L_{sek-} Zug, A (40 Hz) |
| | Anz. Tag | Anz. Nacht | Decke/Frequenz | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 31.5 | 40 | |
| Zugart | | | Gleis (Strecke) | | | | | | | | |
| S-Bahn | 39 | 9 | Gl.1 (Str.1705) | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 35 |
| S-Bahn | 39 | 9 | Gl.2 (Str.1705) | 0.16 | 0.13 | 0.12 | 0.10 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 35 |
| IC/ICE | 15 | 4 | Gl.3 (Str.1700) | 0.27 | 0.41 | 0.31 | 0.23 | 0.14 | 0.12 | 0.11 | 34 |
| RE/RB-ET/RB-VT | 46 | 9 | Gl.3 (Str.1700) | 0.21 | 0.44 | 0.32 | 0.23 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 35 |
| Güter (RE Gl. 3 angenommen) | 2 | 1 | Gl.3 (Str.1700) | 0.21 | 0.44 | 0.32 | 0.23 | 0.13 | 0.11 | 0.11 | 35 |
| IC/ICE | 15 | 4 | Gl.4 (Str.1700) | 0.36 | 0.35 | 0.28 | 0.16 | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 31 |
| RE/RB-ET/RB-VT | 46 | 9 | Gl.4 (Str.1700) | 0.28 | 0.34 | 0.24 | 0.15 | 0.11 | 0.09 | 0.10 | 35 |
| Güter (RE Gl. 3 angenommen) | 2 | 1 | Gl.4 (Str.1700) | 0.28 | 0.34 | 0.24 | 0.15 | 0.11 | 0.09 | 0.10 | 35 |
| Güter | 19 | 64 | Gl. 5/6 (Str.1701) | 0.13 | 0.11 | 0.09 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 26 |
| Summe | 223 | 110 | $KB_{F_{Tr}}$ (Tag) | 0.074 | 0.103 | 0.076 | 0.052 | 0.036 | 0.031 | 0.030 | |
| | DIN 4150, Teil 2 Tag eingehalten ja /nein ? ($A_T = 0,07$) | | | nein | nein | nein | ja | ja | ja | ja | |
| | | | $KB_{F_{Tr}}$ (Nacht) | 0.042 | 0.074 | 0.056 | 0.038 | 0.027 | 0.024 | 0.023 | |
| | DIN 4150, Teil 2 Nacht eingehalten ja /nein ? ($A_T = 0,05$) | | | ja | nein | nein | ja | ja | ja | ja | |

| 20115/e: Erschütterungstechnische Untersuchung B-Plan "Im Weidefeld, Seelze OT Letter" | | | | | | | | | | | |
|--|--|------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Ergebnisse $KB_{F_{max}}$ und $KB_{F_{Tr}}$ der Prognoseberechnung Betondecke für Prognosenullfall 2030 nicht unterkellert | | | | | | | | | | 16 | Sek. Luftsch. L_{sek-} Zug, A (40 Hz) |
| | Anz. Tag | Anz. Nacht | Decke/Frequenz | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 31.5 | 40 | |
| Zugart | | | Gleis (Strecke) | | | | | | | | |
| S-Bahn | 39 | 9 | Gl.1 (Str.1705) | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.12 | 0.10 | 35 |
| S-Bahn | 39 | 9 | Gl.2 (Str.1705) | 0.18 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.11 | 0.09 | 34 |
| IC/ICE | 15 | 4 | Gl.3 (Str.1700) | 0.31 | 0.54 | 0.44 | 0.41 | 0.24 | 0.18 | 0.16 | 34 |
| RE/RB-ET/RB-VT | 46 | 9 | Gl.3 (Str.1700) | 0.26 | 0.58 | 0.45 | 0.41 | 0.22 | 0.17 | 0.15 | 35 |
| Güter (RE Gl. 3 angenommen) | 2 | 1 | Gl.3 (Str.1700) | 0.26 | 0.58 | 0.45 | 0.41 | 0.22 | 0.17 | 0.15 | 35 |
| IC/ICE | 15 | 4 | Gl.4 (Str.1700) | 0.40 | 0.45 | 0.39 | 0.27 | 0.18 | 0.14 | 0.13 | 31 |
| RE/RB-ET/RB-VT | 46 | 9 | Gl.4 (Str.1700) | 0.31 | 0.44 | 0.33 | 0.24 | 0.16 | 0.13 | 0.12 | 34 |
| Güter (RE Gl. 3 angenommen) | 2 | 1 | Gl.4 (Str.1700) | 0.31 | 0.44 | 0.33 | 0.24 | 0.16 | 0.13 | 0.12 | 34 |
| Güter | 19 | 64 | Gl. 5/6 (Str.1701) | 0.14 | 0.14 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 26 |
| Summe | 223 | 110 | $KB_{F_{Tr}}$ (Tag) | 0.085 | 0.134 | 0.107 | 0.092 | 0.058 | 0.046 | 0.041 | |
| | DIN 4150, Teil 2 Tag eingehalten ja /nein ? ($A_T = 0,07$) | | | nein | nein | nein | nein | ja | ja | ja | |
| | | | $KB_{F_{Tr}}$ (Nacht) | 0.047 | 0.096 | 0.078 | 0.065 | 0.042 | 0.034 | 0.030 | |
| | DIN 4150, Teil 2 Nacht eingehalten ja /nein ? ($A_T = 0,05$) | | | ja | nein | nein | nein | ja | ja | ja | |