



**Schallschutz
Bau- und Raumakustik
Erschütterungen**

Messstelle nach §26, 28 BImSchG
Güteprüfstelle Schall nach DIN 4109

KSZ Ingenieurbüro GmbH
Bühningstraße 12
13086 Berlin
Telefon: 030 44 00 87 93
Telefax: 030 44 00 87 95

**Erschütterungstechnische
Untersuchung und Beurteilung
der Erschütterungsimmissionen**

Zum Bebauungsplan Nr. 48 Nördlich
S-Bahnhof Bergfelde

Projekt-Nr.: 12-058-3

Auftraggeber:

Stadtverwaltung Stadt Hohen Neuendorf
Oranienburger Straße Nr. 2
16540 Hohen Neuendorf

Bearbeiter:

Dr.-Ing. Michael Stütz

Bericht vom: 15.12.2014

Dr.-Ing. M. Stütz

Dr.-Ing. Th. Schenk
Fachingenieur für Schallschutz

Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung	4
2. Grundlagen der Untersuchung	4
2.1. Allgemeines zu Erschütterungen und sekundärem Luftschall	4
2.2. Rechtliche Grundlagen	5
2.2.1. Schwingungsimmissionen	5
2.2.2. Sekundärer Luftschall	7
2.3. Beschreibung des Untersuchungsbereichs	7
3. Methodisches Vorgehen	8
4. Erschütterungsmessung	10
4.1. Messungenauigkeiten	11
5. Prognoseberechnung	12
6. Untersuchungsergebnisse und Beurteilung	13
6.1. Prognostizierte Erschütterung	13
6.2. Prognostizierter sekundärer Luftschall	16
6.3. Zusammenfassung	17
A. Übersichtsplan	18
B. Dokumentation der Messorte	19
C. Messwerte Terzspektren	22
D. Mittelwerte der Terzspektren und Pegelabnahme	26
E. Zugzahlen	27
F. Ergebnisse Erschütterung	29
F.1. Messpunkt 1	29
F.2. Messpunkt 2	29
F.3. Messpunkt 3	30
F.4. Messpunkt 4	30
G. Ergebnisse sekundärer Luftschall	31
G.1. Messpunkt 1	31
G.2. Messpunkt 2	31
G.3. Messpunkt 3	32

G.4. Messpunkt 4	32
----------------------------	----

Literatur

- [1] Deutsches Institut für Normung. *DIN 4150-3 Einwirkungen auf bauliche Anlagen*. DIN-Normen: Deutsches Institut für Normung. Beuth, 1999.
- [2] Deutsches Institut für Normung. *DIN 4150-2 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden*. DIN-Normen: Deutsches Institut für Normung. Beuth, 1999.
- [3] Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24.BImSchV). Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung vom 4. Februar 1997 (BGBl. I S. 172, 1253), die durch Artikel 3 der Verordnung vom 23. September 1997 (BGBl. I S. 2329) geändert worden ist.
- [4] *VDI 3837 Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen - Spektrales Prognoseverfahren*. Beuth, 2013.
- [5] Fischer, Garburg, Wächter, Degen. *Körperschall- und Erschütterungsschutz - Leitfaden für den Planer*. Deutsche Bahn AG, 1996.
- [6] Said, Grütz and Garburg. Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 53, 2005.
- [7] Deutsches Institut für Normung. *DIN 45669-2 Messung von Schwingungsimmissionen - Teil 2: Messverfahren*. Beuth, 2005.
- [8] Deutsches Institut für Normung. *DIN 45669-1 Messung von Schwingungsimmissionen - Teil 1: Schwingungsmesser - Anforderungen und Prüfungen*. Beuth, 2010.

1. Aufgabenstellung

Durch einen Beschluss der Stadtverordnetenversammlung der Stadt Hohen Neuendorf vom 28.08.2008 (Vorlage: B 81/2008) wurde die Aufstellung des Bebauungsplanes Nr. 48 "Nördlich S-Bahnhof Bergfelde, Stadtteil Bergfelde" im Zuge der Überplanung des bestehenden B-Planes Nr. 01 "Ortsmitte Bergfelde" aus den Anfängen der 90er Jahre beschlossen. Zwischenzeitlich hat sich der Planungsstand bezüglich der Gebietsnutzung teilweise verändert.

Im B-Plangebiet werden Erschütterungsimmissionen durch den Schienenverkehr der Strecke 6087 und dem S-Bahnverkehr der Strecke 6009 verursacht.

Im Rahmen der hier beschriebenen erschütterungstechnischen Untersuchung werden das Ausmaß der zu erwartenden erschütterungstechnischen Auswirkung auf die innerhalb des B-Plan-Gebietes liegenden Bereiche und die Betroffenheit von Menschen in Gebäuden hin beurteilt. Neben der Erschütterungsprognose erfolgt ebenfalls eine Prognose für den sekundären Luftschall.

Verwendete Unterlagen:

- Entwurf B-Plan Nr. 48 "Nördlich S-Bahnhof Bergfelde, Stadtteil Bergfelde" (Stand 06/2013)
- Prognosezahlen der Bahn-Strecke 6087 und 6009, DB Netz AG, Niederlassung Berlin, email vom 18.06.2014

2. Grundlagen der Untersuchung

2.1. Allgemeines zu Erschütterungen und sekundärem Luftschall

Erschütterungen entstehen hauptsächlich durch Wechselkräfte, die beim Abrollen der Räder auf den Schienenflächen erzeugt werden. Die durch das Abrollen verursachten Wechselkräfte erzeugen in der Schiene und in den Rädern mechanische Schwingungen, die als Körperschall in den Gleisen und in den Fahrzeugen weitergeleitet und als primärer Luftschall abgestrahlt werden. Zusätzlich werden in tieffrequenten Bereichen mechanische Schwingungen über den Gleisober- und Gleisunterbau in den Boden eingeleitet. Bei der Ausbreitung dieser Schwingungen im Boden können sie in die Fundamente benachbarter Gebäude eingeleitet werden und hier Belästigungen durch Erschütterungen und/oder sekundären Luftschall hervorrufen. Sekundärer Luftschall entsteht durch die Schallabstrahlung schwingender Raumbegrenzungsflächen.

Im Gegensatz zum primären Luftschall sind die durch den sekundären Luftschall sowie durch Erschütterungen verursachten Immissionen nur schwer durch Maßnahmen zu verringern. Einerseits sind Minderungsmaßnahmen möglich, welche auf eine Verringerung der durch den Schienenverkehr in den Boden eingeleiteten und zum Gebäude übertragenen mechanischen Schwingungen abzielen. Andererseits sind auch Maßnahmen am Gebäude möglich. Hierzu gehören:

- vollständige elastische Lagerung des Gebäudes
- Deckenresonanzen so abstimmen, dass Schwingungsübertragung minimiert wird
- Abschirmung des Gebäudes mit elastischen Matten im Fundamentbereich

Diese Maßnahmen sind jedoch nicht immer realisierbar oder erweisen sich als unverhältnismäßig aufwändig.

2.2. Rechtliche Grundlagen

2.2.1. Schwingungsmissionen

Für die Beurteilung von Erschütterungen auf Gebäude und auf Menschen in Gebäuden sowie von sekundärem Luftschall existieren derzeit keine verbindlichen Grenzwerte. In DIN 4150 [1] sind Anhaltswerte angegeben, bei deren Einhaltung erhebliche Belästigungen bzw. Bauwerksschäden durch Erschütterungen im Allgemeinen auszuschließen sind. Die Beurteilung der Erschütterungen in diesem Gutachten erfolgt gemäß dem Teil 2 der DIN 4150 [2].

In Tabelle 1 sind Anhaltswerte für die Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden getrennt nach unterschiedlichen Gebietsnutzungen sowie getrennt nach Einwirkungen während Tag und Nacht enthalten. Erhebliche Belästigungen des Menschen werden ausgeschlossen, wenn der Maximalwert des gleitenden Effektivwertes des KB-Wertes (d. h. die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}) den unteren Anhaltswert A_u unterschreitet. Liegt dieser Maximalwert zwischen dem unteren (A_u) und dem oberen (A_o) Anhaltswert, so ist aus den Taktmaximalwerten der Schwingstärke (Taktzeit 30 Sekunden) durch Langzeiteffektivwertbildung der Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} zu ermitteln. In die Effektivwertbildung gehen nur Schwingstärken oberhalb der Fühlschwelle ($KB = 0,1$) ein. Unter Berücksichtigung der tags und nachts vorhandenen Einwirkungszeiten wird die Beurteilungsschwingstärke $KB_{FT,r}$ gebildet und mit dem Anhaltswert A_r verglichen.

Erschütterungseinwirkungen innerhalb der Zeiten mit besonderem Ruheanspruch (6.00 bis 7.00 Uhr und 19.00 bis 22.00 Uhr werktags sowie 6.00 bis 22.00 Uhr

Gebietseinstufung	Anhaltswerte für die Schwingstärke KB					
	Tag			Nacht		
	A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
Einwirkungsorte nur mit gewerblichen Anlagen in der Nachbarschaft	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
Einwirkungsorte vorwiegend mit gewerblichen Anlagen in der Nachbarschaft	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
Einwirkungsorte mit weder vorwiegend Wohnungen noch Gewerbe in der Nachbarschaft	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
Einwirkungsorte mit vorwiegender oder ausschließlicher Wohnbebauung in der Nachbarschaft	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
Besonders schutzbedürftige Einrichtungen (Krankenhäuser, Kliniken), soweit sie in ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

Tabelle 1: Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen nach DIN 4150, Teil 2

sonn- und feiertags) werden bei der Bildung der Beurteilungsschwingstärke durch Wichtung mit dem Faktor 2 berücksichtigt. Dies gilt jedoch nicht für den hier vorliegenden Fall der Erschütterungseinwirkung infolge von Schienenverkehr. Nach DIN 4150, Teil 2, gilt für Schienenverkehr $KB_{FT_r} = KB_{FT_m}$, da keine besonderen Ruhezeitzuschläge zu verwenden sind.

Bei Überschreitung des oberen Anhaltswertes A_o durch den gemessenen Maximalwert KB_{Fmax} kann im Allgemeinen von einer erheblichen Belästigung ausgegangen werden, ohne dass die Beurteilungsschwingstärke zur Beurteilung herangezogen werden muss. Bezüglich der nächtlichen Einwirkung durch den Schienenverkehr trifft jedoch DIN 4150-2 in Abschnitt 6.5.3.5. eine Ausnahme. Bei Überschreitung des oberen Anhaltswertes gelten die Anforderungen der Norm nicht als nicht eingehalten. Liegen nachts einzelne KB_{FT} -Werte oberhalb des Wertes von $A_o =$

0,6, so ist eine Ursachenforschung und -beseitigung gefordert. In die Bestimmung von KB_{FT_r} gehen diese Werte jedoch mit ein.

Für oberirdischen Schienenverkehr spielt bei der prognostizierten Erschütterungsimmission der oberen Anhaltswert A_o keine Rolle. Wenn KB_{Fmax} den Anhaltswert A_o regelmäßig überschreitet, dann wird auch KB_{FT_r} den Anhaltswert A_r überschreiten. Daher wird hier nur anhand von A_u und A_r beurteilt.

Beurteilungszeitraum ist die Zeit von 6.00 bis 22.00 Uhr (Tag) sowie von 22.00 bis 6.00 Uhr (Nacht). Zur Beurteilung ist die Richtungskomponente mit dem größten Messwert heranzuziehen. Als weitere Sonderregelung für den Schienenverkehr wird in der DIN 4150, Teil 2, darauf hingewiesen, dass die in Tabelle 1 enthaltenen Anhaltswerte A_u und A_r nur für neu zu errichtende Fernbahnstrecken gelten. Für bestehende, oberirdisch geführte Schienenstrecken ist nach Abschnitt 6.5.3.4 c) die Zumutbarkeit von Erschütterungsimmissionen im Einzelfall zu beurteilen. Für städtebauliche Planungen von Baugebieten sollten die Anhaltswerte der Tabelle 1 eingehalten werden (Abschnitt 6.5.3.4 b).

2.2.2. Sekundärer Luftschall

Für die Einwirkung von sekundärem Luftschall existieren in Deutschland keine Grenz-, Richt- oder Anhaltswerte und keine methodische Regelungen zu seiner Ermittlung. Für den vorliegenden Fall von Geräuscheinwirkungen, die durch den Schienenverkehr verursacht werden, können Richtwerte für Geräuschimmissionen innerhalb von Gebäuden aus der Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV) [3] abgeleitet werden. Dies ist ein Regelwerk zur Beurteilung von Verkehrslärm in Innenräumen. Hieraus ergibt sich für Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden, ein „zulässiger“ Innenraumpegel von 35 dB(A) in der Nacht sowie für Wohnräume von 40 dB(A) tags.

2.3. Beschreibung des Untersuchungsbereichs

Das B-Plangebiet 48 nördlich der Schienentrasse der Deutschen Bahn ist vollständig unbebaut. Das B-Plangebiet wird im Westen durch die Bundesstraße 96a begrenzt. Die B96a, hier Mittelstraße genannt, überquert an dieser Stelle die Schienentrasse der Deutschen Bahn über eine Brücke und verläuft in Dammlage leicht abfallend bis zur Kreuzung Sommerstraße/Dorfstraße im Norden. Die Schienentrasse liegt im Untersuchungsgebiet ca. 1,5 m unter dem allgemeinen Geländeneiveau. Die örtlichen Gegebenheiten sind im Lageplan im Anhang A dargestellt.

3. Methodisches Vorgehen

Zur Vorausberechnung von Erschütterungsimmissionen sind derzeit keine allgemeinverbindlichen und wissenschaftlich abgesicherten Prognoseverfahren bekannt. Insbesondere die Schwierigkeiten bei der Beschreibung des außerordentlich komplexen Systems der Schwingungsentstehung durch unterschiedliche Quellenarten und der Ausbreitung in einem größtenteils nicht zugänglichen Ausbreitungssystem bis zur Einwirkung auf den Menschen erschweren eine einigermaßen gesicherte Abschätzung der zu erwartenden Immissionen.

Wesentliche Einflussfaktoren auf die Höhe der Schwingungsimmission sind:

Einflussfaktoren der Schwingungsquelle

- Bauart der Züge
- Wartungszustand der Züge, insbesondere der Räder
- gefahrene Geschwindigkeiten
- Gleisbettungssystem
- Wartungszustand des Gleises

Einflussfaktoren des Ausbreitungsweges

- Übergang vom Gleis zum Boden (Ankopplungswiderstand)
- Bodeneigenschaften (Bodenart, Lagerungsdichte)
- Einbauten im Boden
- Grundwasserstand
- Abstand zum Immissionsort
- Übergang vom Boden in das Gebädefundament

Einflussfaktoren im Gebäude

- Fundamentart
- Art der Gebäudekonstruktion
- Anzahl der Stockwerke
- Materialeigenschaften

- Masse und geometrische Abmessungen der Gebäudeteile

Generell kann davon ausgegangen werden, dass eine Verminderung der auftretenden Schwingungen mit zunehmender Entfernung erfolgt. Diese Entfernungsminderung wird einerseits hervorgerufen durch die so genannte geometrische Ausbreitungsdämpfung. Zusätzlich sind Verluste durch Materialdämpfung, d. h. Energieverluste durch Reibung bei der Ausbreitung im Boden, wirksam. Genaue quantitative Angaben zur Entfernungsminderung sind aufgrund der starken Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen (Materialeigenschaften, Grundwasserspiegel ...) nicht ohne detaillierte Untersuchungen möglich. Die Entfernungsminderung wird auch in wesentlichem Maße durch Einbauten im Boden beeinflusst. Einbauten längs zur Schienenachse können die Ausbreitung erschweren, Einbauten quer zur Schienenachse die Ausbreitung erleichtern.

Innerhalb der Gebäude sind durch die konstruktiven Besonderheiten (Resonanzeffekte) üblicherweise auf den einzelnen Geschoßdecken höhere Schwingungswerte (übliche Werte: Faktor 2 bis 20 je nach Gebäudekonstruktion) als am Hausfundament festzustellen. Wegen der dargestellten Schwierigkeiten wird in der Praxis zur Schwingungsprognose üblicherweise eine getrennte Betrachtung für einzelne entkoppelte Teilsysteme des Ausbreitungsweges vorgenommen (z. B. Schwingungsquelle mit ihrer Ankopplung an den Grund → Ausbreitungssystem bis zum Gebäude → Gebäudefundament mit Übergang vom Baugrund → Ausbreitungssystem im Gebäude). Eine entsprechende Vorgehensweise wird in VDI 3837 [4] beschrieben. Durch die Idealisierungen der Systemeigenschaften sind Aussageunsicherheiten nicht zu vermeiden.

In vorliegender Untersuchung wurden deshalb entsprechend der Methodik der Deutschen Bahn (Körperschall und Erschütterungsschutz - Leitfaden für den Planer [5]) die zukünftig zu erwartenden Schwingungsimmissionen auf der Grundlage von Erschütterungsmessungen abgeschätzt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass bei den relativ kurzen Entfernungen zwischen Gleisen und Gebäuden einigermaßen konstante Ausbreitungsverhältnisse vorliegen. Gemessen werden die Erschütterungen in der Nähe des Schienenweges (üblicherweise in 8 m Entfernung zur Gleismitte), um Informationen über die in den Boden eingeleiteten Erschütterungsemissionen zu erhalten. Weiterhin erfolgen Messungen in verschiedenen definierten Abständen (üblicherweise 16 m, 32 m und 64 m), um eine Aussage über das Ausbreitungsverhalten der Erschütterungen auf dem Wege von der Quelle zum Immissionsort zu erzielen.

Durch Messung der Erschütterungen unmittelbar vor dem Gebäude sowie am Gebäudefundament kann das Schwingungsverhalten beim Übergang vom Boden

in das Gebäude quantitativ eingeschätzt werden. Da noch keine Gebäude vorhanden sind, wird der Übergang vom Boden in das Gebäude mittels [5] abgeschätzt.

Die Messungen werden üblicherweise spektral durchgeführt, da die verschiedenen Einflussfaktoren bei unterschiedlichen Frequenzen unterschiedlich stark wirksam sind. Aus den spektralen Werten der letztendlich auf den Menschen im Gebäude einwirkenden Erschütterungen- bzw. Luftschallimmissionen werden durch Berücksichtigung entsprechender Frequenzbewertungen die Einzahlwerte (KB-Werte und sekundäre Luftschallpegel) zur Beurteilung anhand der im vorigen Abschnitt dargelegten Beurteilungskriterien ermittelt. Hinsichtlich der Abschätzung des sekundären Luftschalls wird abweichend von den im DB-Leitfaden aufgeführten mathematischen Zusammenhängen anhand der von Said, Grütz und Garburg 2005 in der Zeitschrift für Lärmbekämpfung [6] veröffentlichten aktuellen Untersuchungsergebnisse vorgegangen.

4. Erschütterungsmessung

Die Messungen fanden am 08.12.2014 im Zeitraum von 15-19 Uhr statt. Das Ausbreitungsverhalten der Schwingungen im Baugrund wurde durch mehrere, in definierten Abständen zum Gleis installierten Messpunkte erfasst. Messpunkt 1 lag in 8 m Entfernung zur Gleismitte des nächstgelegenen Gleises, Messpunkt 2 in 16 m, Messpunkt 3 in 32 m und Messpunkt 4 in 55 m. Für Messpunkt 4 konnte die übliche Entfernungsverdopplung nicht eingehalten werden, da sich hier die Brückenstraße befand. Die Schwingungsaufnehmer wurden über eine Zementplatte mit dem Boden gekoppelt, welches einem nach DIN 45669-2 [7] beschriebenen Verfahrens entspricht.

Die Schwingungsmesssignale wurden an den Meßpunkten 1 und 2 in den drei Raumkoordinaten X, Y und Z und an den Meßpunkten 3 und 4 nur in Z-Richtung von den Schwingungsgeschwindigkeitsaufnehmern aufgenommen und gespeichert. Die Lage der Messpunkte ist im Übersichtsplan in Anhang A dargestellt. An dieser Stelle war eine Messung möglich, welche den 8 m Abstand beinhaltete, ohne dass dabei Kabel über die Brückenstraße verlegt werden mussten.

An allen Messpunkten wurden die gemessenen Schwingungssignale von jeweils mehreren Vorbeifahrten pro Zuggattung mittels eines PC-gestützten Messsystems auf der Basis SAMURAI (Sinus Messtechnik GmbH, Leipzig) aufgezeichnet. Die Schwingungsmessungen wurden auf der Grundlage der DIN 45669 "Messungen von Schwingungsimmissionen" [8] durchgeführt.

Folgende Messtechnik kam zum Einsatz:

- 2 triaxiale elektrodynamische Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer
- 2 monoaxiale elektrodynamische Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer Model 902100.1
- 1 Erschütterungsmessgerät SWING Station 8-Kanal mit Software SAMURAI

Ausgewertet wurden der Zeitverlauf der Schwinggeschwindigkeits-Signale im Frequenzbereich 1 bis 400 Hz.

Für jede Zugvorbeifahrt wurde an jedem Messpunkt gemäß DIN 45669-1 ein bandpassgefiltertes Zeitsignal der Bodenschwingungen aufgenommen. Aus den Zeitsignalen wurden dann Terzschnellespektren nach dem Verfahren „Peak-Hold, Fast“ ermittelt. Die spektralen Schwinggeschwindigkeitssignale wurden umgerechnet in Pegel L_v bezogen auf $5 \cdot 10^{-8}$ m/s. Die Auswertung der gespeicherten Signale erfolgte mittels der SAMURAI-Software und mit der Signalanalysesoftware MATLAB von MathWorks, Inc.

4.1. Messungenauigkeiten

Das Problem der Messung besteht darin, die auf ein Hausfundament wirkenden Kräfte zu erfassen. Dies ist in der DIN 45669-2 [7] unter 5.3.4 sehr gut beschrieben

Selbst bei guter Verdichtung der Einbringstelle des Schwingungsaufnehmers im oder auf dem Erdreich wird nur die lokal vorhandene Bewegung der in der Regel obersten Bodenschicht erfasst. Da die Schwingungen (vor allem die Rayleigh-Welle) mit wachsendem Abstand zur Erdoberfläche stark abnehmen und in einer Tiefe von 1 m sich bereits auf ein Bruchteil verringert haben, lässt sich nur eine örtlich begrenzte Aussage gewinnen, die zwar zu qualitativen Aussagen über eine Erschütterungsquelle herangezogen werden kann, aber nur bedingt auf die Anregung eines betrachteten Gebäudefundaments schließen lässt. Diese Abweichungen treten besonders bei den horizontalen Schwingungskomponenten auf, können aber auch in vertikaler Richtung noch beträchtlich sein. Bei den in der Praxis verwendeten Aufnehmerankopplungen können Abweichungen bis zu 15 dB (Faktor 5 der Schwingungsamplitude) auftreten.

5. Prognoseberechnung

Die ermittelten Terzschnellespektren sind die Grundlage für das Prognoseverfahren für die Erschütterungen und den sekundären Luftschall. Die Prognose der Erschütterungen erfolgt gemäß folgender Gleichung:

$$L_{v-Raum}(f) = L_E(f) + \Delta L_B(f) + \Delta L_G(f) + \Delta L_M(f) \quad (1)$$

Hierbei sind

- $L_{v-Raum}(f)$: Terzschnellespektrum am Immissionsort (Fußboden)
- $L_E(f)$: Terzschnellespektrum der Erschütterungen am Emissionsort
- $\Delta L_B(f)$: baugrund- und abstandsbedingte Erschütterungsabnahme (Transmissionsweg)
- $\Delta L_G(f)$: Gebäudespezifische Übertragungsfunktion am Immissionsort
- $\Delta L_M(f)$: Einfügedämmung schwingungsmindernder Maßnahmen (falls vorhanden)

Die Prognoseformel entspricht den Empfehlungen der VDI 3837 [4].

Für jeden Zugtyp wird das energetisch gemittelte Spektrum an den Emissionsmesspunkten berechnet. Im Anhang C sind die gemessenen Terzspektren getrennt nach Zugtypen dargestellt. Die dicke blaue Linie stellt den Mittelwert da. In Anhang D sind die Mittelwerte $L_E(f)$ für jeden Zugtyp und für jeden Messpunkt noch einmal zusammengefasst dargestellt und daneben die sich daraus ergebenden Pegelabnahmen $\Delta L_B(f)$ über die Entfernungen von 8 m, 24 m und 47 m gerechnet ab Messpunkt 1.

Für die Gebäude-Übertragungsfunktionen $\Delta L_G(f)$ für Räume mit Betondeckenaufbau bzw. Räume mit Holzbalkendeckenaufbau werden statistisch ermittelte Übertragungsfunktionen, wie sie in [6] beschrieben sind, herangezogen. Da die Übertragungsfunktion massgeblich von der Deckenresonanzfrequenz abhängig ist, wird die Deckenresonanzfrequenzen von 8 Hz – 80 Hz variiert und als Ergebnis der ungünstigste Wert verwendet. Damit soll sicher gestellt werden, dass alle möglicherweise vorhandenen Deckeneigenfrequenzen der Gebäude berücksichtigt werden.

Schwingungsmessungen erfassen nur einen Teil der möglichen Vorbeifahrten. Die Messungen beschreiben somit die absoluten Emissionen jedes Zugtypes. In der Prognose wird die Anzahl der Zugvorbeifahrten im jeweiligen Beurteilungszeitraum

rechnerisch berücksichtigt. Die Anzahl der Zugvorbeifahrten wird dem Betriebsprogramm der DB Netz AG entnommen, wie sie im Anhang E dargestellt ist. Die Rechnungen werden einmal für den Ist-Zustand und einmal für den Prognose-Fall 2025 durchgeführt.

Die im Betriebsprogramm der DB Netz AG genannten Geschwindigkeiten sind Maximalgeschwindigkeiten, welche sich bis 2025 nicht ändern werden. Bei der Messung wurden Zuggeschwindigkeiten zwischen 20-90 km/h gemessen. Es ist nicht davon auszugehen, dass im Jahre 2025 alle Züge mit Maximalgeschwindigkeit fahren werden. Eine Geschwindigkeitskorrektur wurde deshalb nicht durchgeführt.

6. Untersuchungsergebnisse und Beurteilung

6.1. Prognostizierte Erschütterung

Die Berechnungen wurden zunächst für die 4 Messpunkte durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Anhang F tabellarisch dargestellt. Am Messpunkt 1 sind die Erschütterungen erwartungsgemäß am stärksten und liegen geringfügig über den Erfahrungswerten aus anderen Messungen. Mit der Entfernung der Messpunkte nehmen die Erschütterungswerte dann ab.

An dieser Stelle sind die Ergebnisse für den Messpunkt 4 in Tabelle 2 noch einmal dargestellt. Entscheidend für die Beurteilung sind die Nachtwerte des Prognosejahres 2025. Die prognostizierten Tageswerte liegen ungefähr in der gleichen Größenordnung wie die Anhaltswerte für die Nacht. Somit sind die Anhaltswerte für den Tag eingehalten, wenn die Nachtwerte eingehalten werden, da die Anhaltswerte für die Nacht strenger sind.

In dem hier betrachteten Fall gelten die Anhaltswerte A_r nachts von 0.05 für Allgemeine Wohngebiete bzw. 0.07 für Mischgebiete (siehe Tabelle 1).

In Tabelle 2 ist die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} am Messpunkt 4 (55m) für die Fälle Tag/Nacht und die Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$ dargestellt. Bei den Deckenresonanzen 31,5 Hz, 40 Hz und 50 Hz werden die Anhaltswerte für Mischgebiete ($A_r = 0,07$) überschritten. Alle anderen Deckenresonanzen halten die Anhaltswerte für Mischgebiete ein. Der Anhaltswert für Allgemeine Wohngebiete ($A_r = 0,05$) wird nur bei den Deckenresonanzen 8 Hz und 80 Hz eingehalten. Zur Beurteilung muss allerdings die Deckenresonanzfrequenz gewählt werden, bei der die größte Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} auftritt, um den ungünstigsten Fall mit zu berücksichtigen. Somit über-

$f_{res,Decke}$	$KB_{FT_r,Tag,ist}$	$KB_{FT_r,Nacht,ist}$	$KB_{FT_r,Tag,2025}$	$KB_{FT_r,Nacht,2025}$
8 Hz	0.03	0.03	0.04	0.05
10 Hz	0.04	0.04	0.06	0.07
12.5 Hz	0.05	0.04	0.06	0.07
16 Hz	0.07	0.05	0.08	0.07
20 Hz	0.05	0.04	0.06	0.06
25 Hz	0.05	0.04	0.07	0.07
31.5 Hz	0.05	0.04	0.07	0.08
40 Hz	0.07	0.06	0.09	0.1
50 Hz	0.06	0.05	0.08	0.09
63 Hz	0.05	0.04	0.06	0.06
80 Hz	0.04	0.03	0.05	0.05

Tabelle 2: Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} am Messpunkt 4 (55m) für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$

schreiten die Messwerte auch am vom Gleis weitesten entfernten Messpunkt die Anhaltswerte für Mischgebiete und Allgemeine Wohngebiete.

Dass an keinem der Messpunkte die Anhaltswerte für Mischgebiet und für Allgemeines Wohngebiet bei allen Deckenresonanzen eingehalten werden, liegt einerseits an den hohen Zugzahlen, welche für das Jahr 2025 prognostiziert sind, und andererseits an der sehr geringen baugrund- und abstandsbedingten Erschütterungsabnahme. Die unterdurchschnittliche geringe Erschütterungsabnahme im Boden kann z.B. durch einen hohen Grundwasserstand verursacht werden oder durch Bodenschichten, welche Erschütterungen besonders gut leiten können. Dies kann aber nur durch ein Bodengutachten festgestellt werden.

Da im untersuchten Bereich die Anhaltswerte überschritten werden, muss anhand der Messwerte die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} für Entfernungen prognostiziert werden, welche größer als der größte Messabstand zum Gleis sind. Üblicherweise muss nur zwischen 2 Messpunkten interpoliert werden, womit die Prognose auf der sicheren Seite liegt, da man innerhalb des untersuchten Bereiches bleibt. In dem hier vorliegenden Fall muss die Beurteilungs-Schwingstärke für einen Punkt außerhalb des Messbereiches prognostiziert werden. Mathematisch ist dies ohne weiteres möglich. Allerdings wird hierbei vorausgesetzt, dass sich die Übertragungseigenschaften des Bodens nicht verändern. Dies kann allerdings nicht garantiert werden, so dass folgende Aussagen nur als Orientierung angesehen werden können.

In Tabelle 3 ist die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} in 130m für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$ dargestellt. In dieser Entfernung beträgt nachts die maximale Beurteilungs-Schwingstärke 0,07 womit der Anhaltswerte für Mischgebiete ($A_r = 0,07$) eingehalten wird.

In Tabelle 4 ist die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} in 170m für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$ dargestellt. In dieser Entfernung beträgt nachts die maximale Beurteilungs-Schwingstärke 0,05 womit der Anhaltswerte für Allgemeine Wohngebiete ($A_r = 0,05$) eingehalten wird.

$f_{res,Decke}$	$KB_{FT_r,Tag,ist}$	$KB_{FT_r,Nacht,ist}$	$KB_{FT_r,Tag,2025}$	$KB_{FT_r,Nacht,2025}$
8 Hz	0.02	0.01	0.02	0.03
10 Hz	0.02	0.01	0.02	0.02
12.5 Hz	0.02	0.01	0.02	0.03
16 Hz	0.03	0.02	0.03	0.03
20 Hz	0.02	0.02	0.03	0.03
25 Hz	0.03	0.02	0.04	0.04
31.5 Hz	0.03	0.03	0.04	0.05
40 Hz	0.05	0.04	0.06	0.07
50 Hz	0.04	0.03	0.05	0.05
63 Hz	0.02	0.02	0.03	0.03
80 Hz	0.02	0.02	0.02	0.03

Tabelle 3: Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} in 130m für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$

$f_{res,Decke}$	$KB_{FTr,Tag,ist}$	$KB_{FTr,Nacht,ist}$	$KB_{FTr,Tag,2025}$	$KB_{FTr,Nacht,2025}$
8 Hz	0.01	0.01	0.02	0.02
10 Hz	0.01	0.01	0.01	0.02
12.5 Hz	0.01	0.01	0.02	0.02
16 Hz	0.02	0.01	0.02	0.02
20 Hz	0.02	0.01	0.02	0.02
25 Hz	0.02	0.01	0.02	0.03
31.5 Hz	0.02	0.02	0.03	0.03
40 Hz	0.04	0.03	0.05	0.05
50 Hz	0.03	0.02	0.03	0.04
63 Hz	0.02	0.01	0.02	0.02
80 Hz	0.01	0.01	0.02	0.02

Tabelle 4: Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} in 170m für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$

6.2. Prognostizierter sekundärer Luftschall

Die Berechnungen wurden für die 4 Messpunkte durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Anhang G tabellarisch dargestellt. Auch hier sind wieder die Nacht Werte ausschlaggebend. Die Tageswerte werden an allen Punkten eingehalten. An den Messpunkten 1 und 2 treten nachts Überschreitungen auf.

Am Messpunkt 3 wird der „zulässige“ Innenraumpegel von 35 dB(A) in der Nacht sowie für Wohnräume von 40 dB(A) tags bei allen Deckenresonanzen eingehalten. Deshalb sind die Ergebnisse für den Messpunkt 3 (32 m) an dieser Stelle in Tabelle 5 noch einmal dargestellt.

$f_{res,Decke}$	$L_{sek,Tag,ist}(A)$	$L_{sek,Nacht,ist}(A)$	$L_{sek,Tag,2025}(A)$	$L_{sek,Nacht,2025}(A)$
8 Hz	23.2	20.4	24.7	24
10 Hz	23.5	20.7	25	24.3
12.5 Hz	23.8	21	25.3	24.5
16 Hz	24.2	21.4	25.7	25
20 Hz	24.8	22	26.4	25.6
25 Hz	25.3	22.5	26.9	26.1
31.5 Hz	26.2	23.4	27.7	26.9
40 Hz	27.7	24.9	29.2	28.4
50 Hz	29.3	26.4	30.8	29.9
63 Hz	29.1	26.2	30.6	29.6
80 Hz	28.2	25.3	29.7	28.8

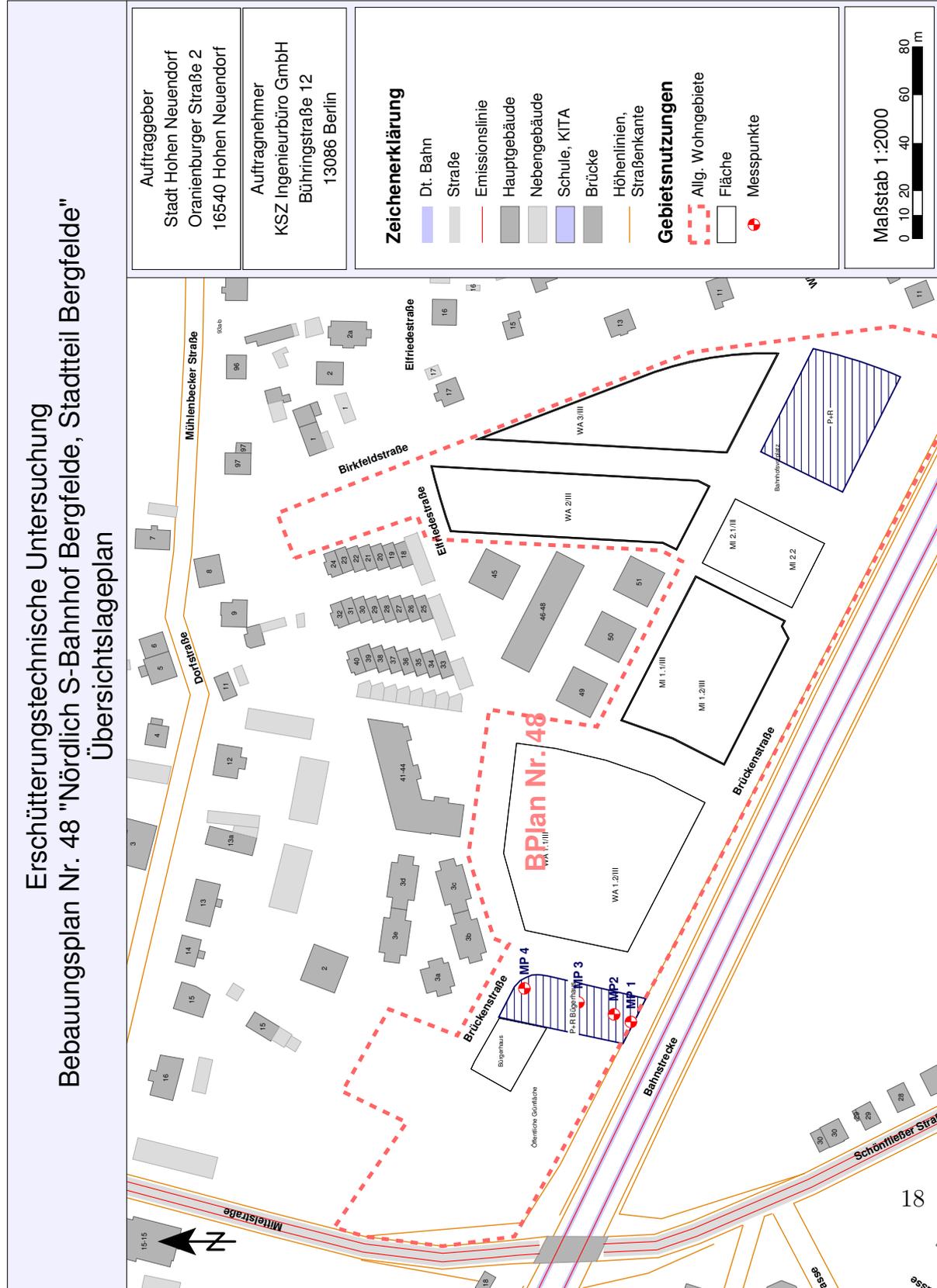
Tabelle 5: A-bewertete Sekundärschalldruckpegel $L_{sek}(A)$ für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$

6.3. Zusammenfassung

Betrachtet wurden die Erschütterungseinwirkungen auf das B-Plangebiet Nr. 48 "Nördlich S-Bahnhof Bergfelde, Stadtteil Bergfelde", welche durch den Schienenverkehr der Strecke 6087 und dem S-Bahnverkehr der Strecke 6009 verursacht werden. Es zeigt sich, dass in dem Bereich bis 130 m Abstand zur Gleismitte des nächstgelegenen Gleises die Anhaltswerte der DIN 4150-2 für Mischgebiete überschritten werden. Die Anhaltswerte für Allgemeine Wohngebiete werden erst ab 170 m Abstand eingehalten. Für den sekundären Luftschall werden die Anhaltswerte schon ab 32 m Abstand eingehalten und können somit als unproblematisch betrachtet werden.

Auf Grund der prognostizierten Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150-2 empfehlen wir, dass Bauherren und Architekten, die in diesem Bereich bauen, auf diese Problematik hingewiesen werden. Es wird geraten bauliche Maßnahmen zu ergreifen, welche die Erschütterungseinwirkung auf das Haus minimieren. Da im vorliegenden Fall bauliche Maßnahmen an der Quelle ausgeschlossen werden können, bleiben nur Maßnahmen an den Immissionsorten. Hierzu gehören z.B. die Deckenfrequenzen so abzustimmen, dass die Schwingungsübertragung minimiert wird. Dies dürfte ohne wesentliche Mehrkosten umsetzbar sein. Gegebenenfalls ist der Rat eines Baudynamikers einzuholen.

A. Übersichtsplan



B. Dokumentation der Messorte



Abbildung 1: Messpunkt 1 auf Platte



Abbildung 2: Messpunkt 2 auf Platte



Abbildung 3: Messpunkte 2, 3 und 4

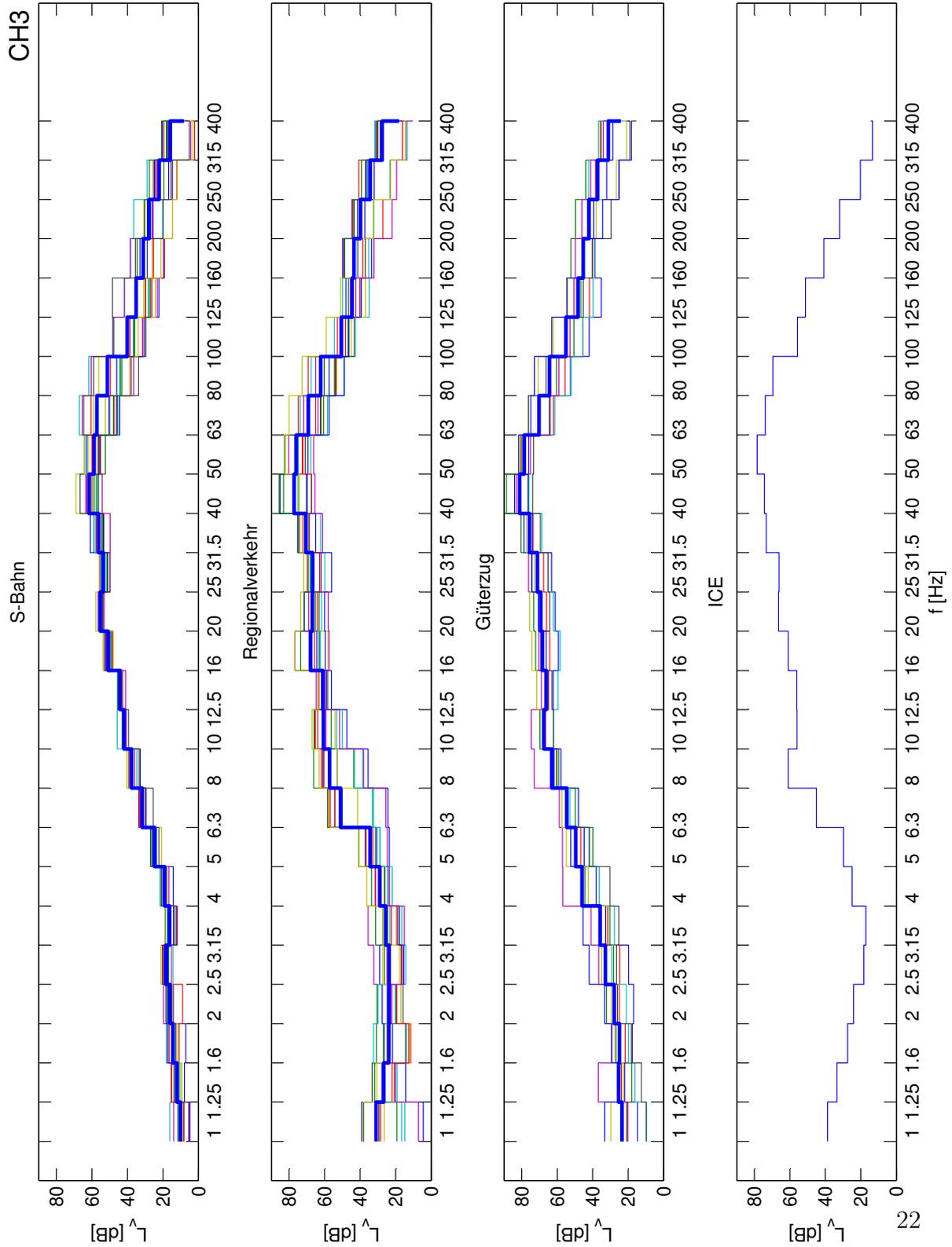


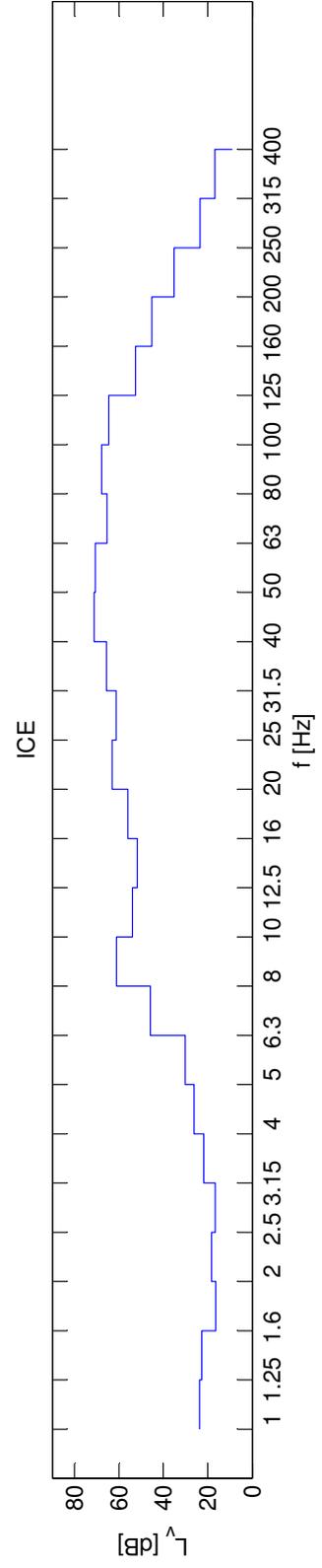
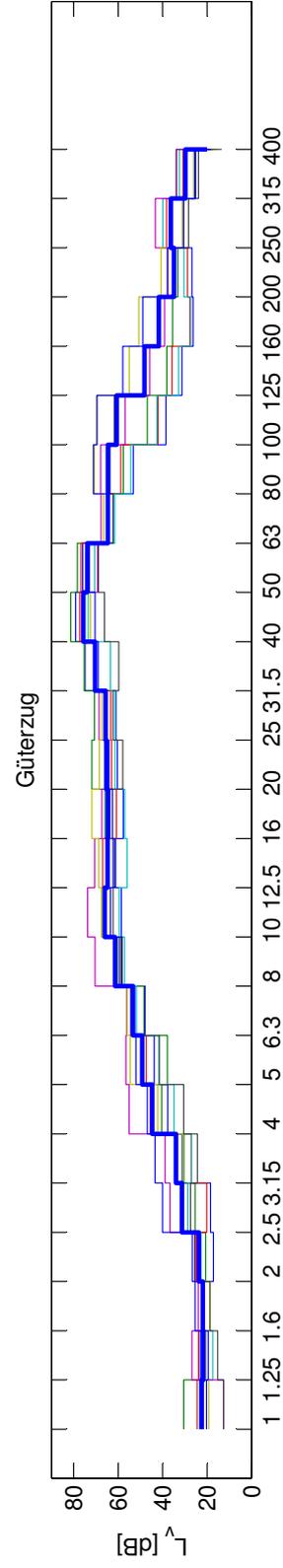
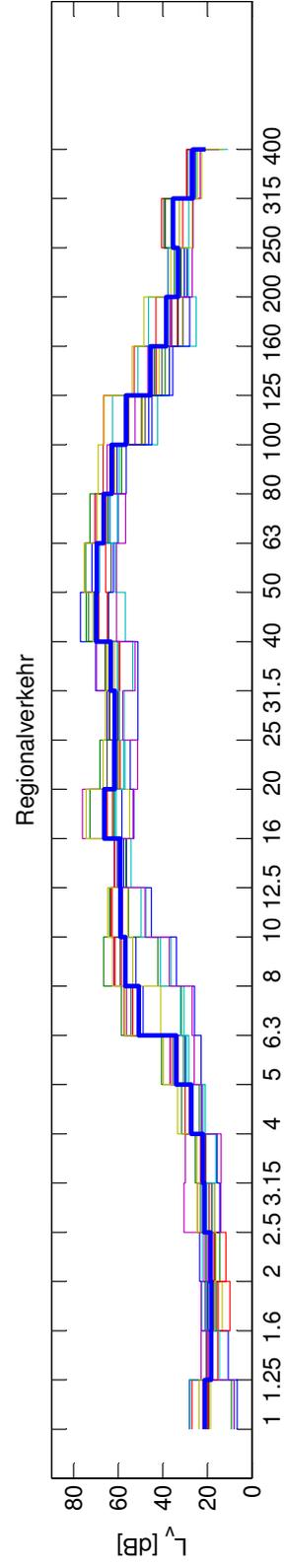
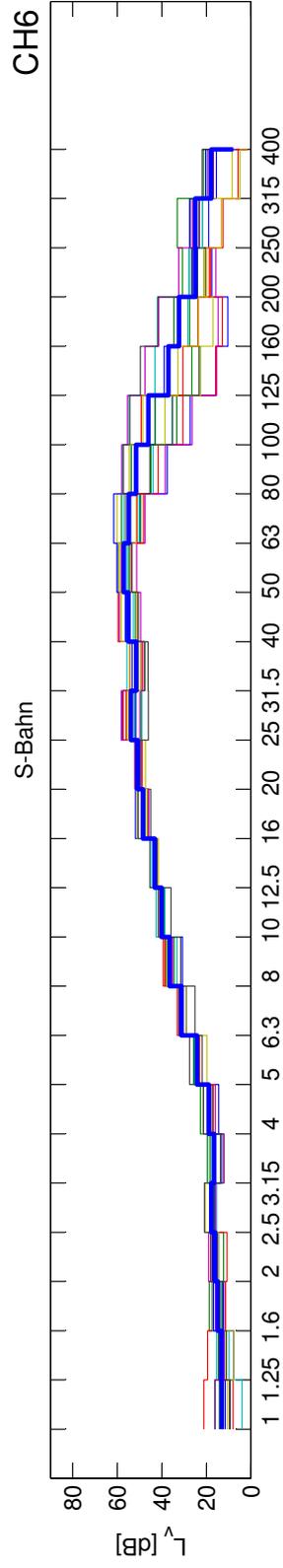
Abbildung 4: Messpunkt 1, Blickrichtung Bahnhof

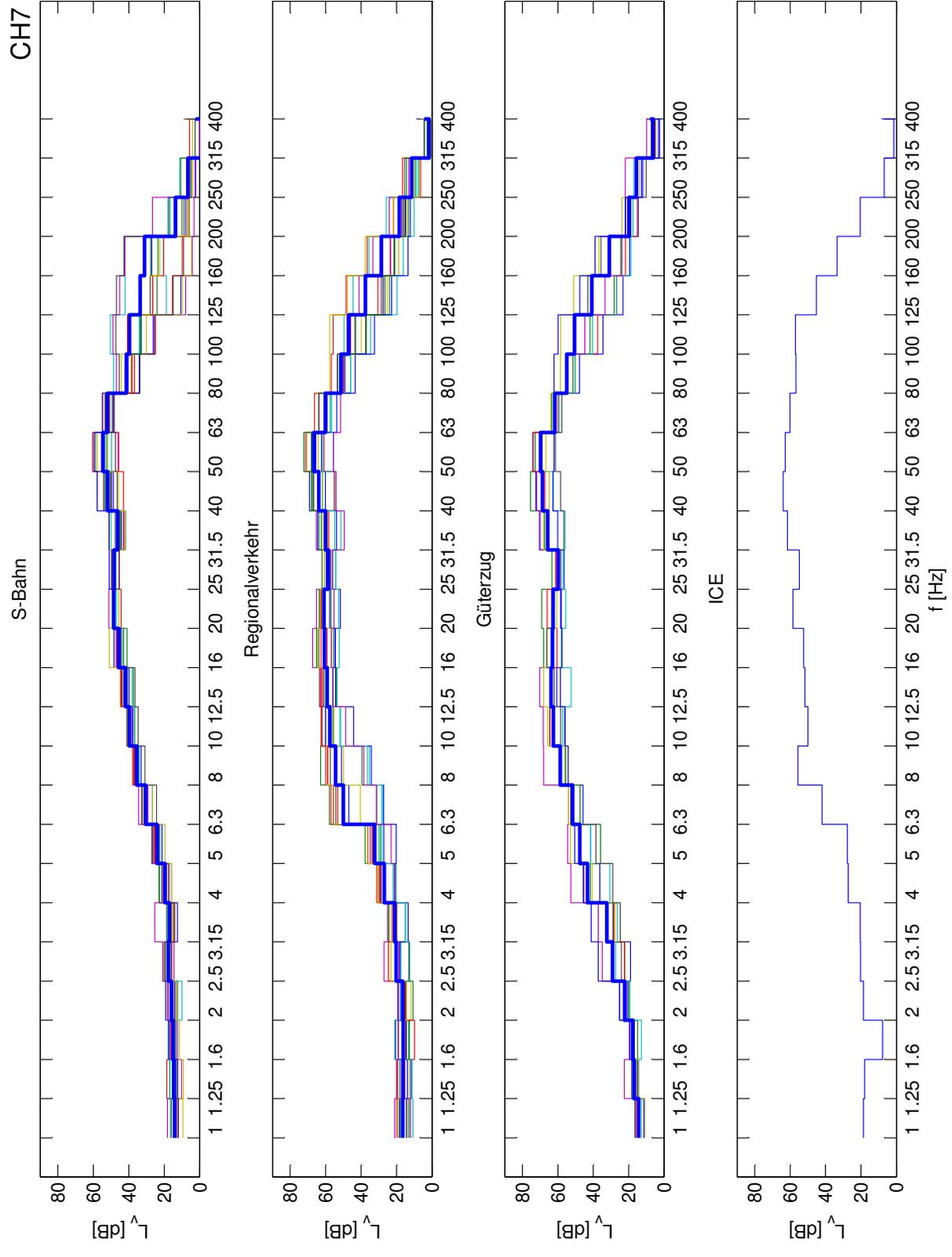


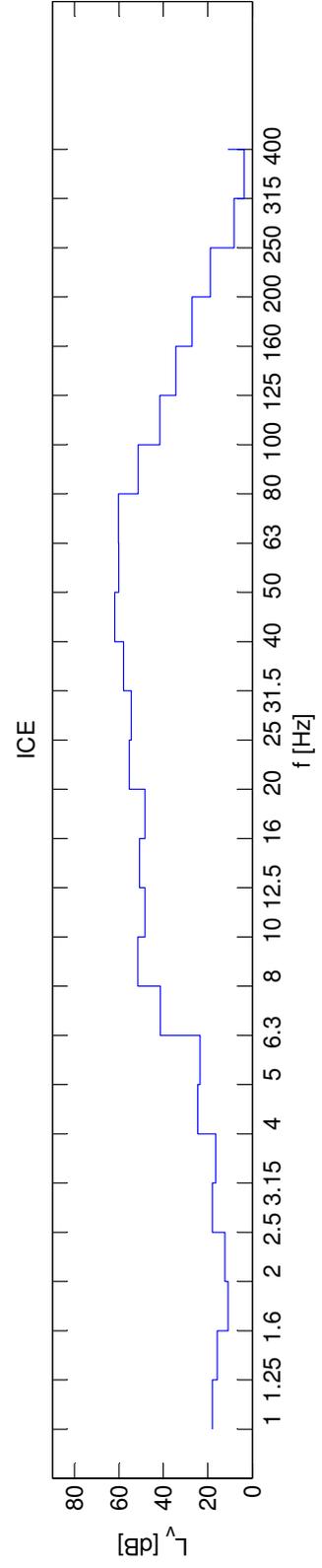
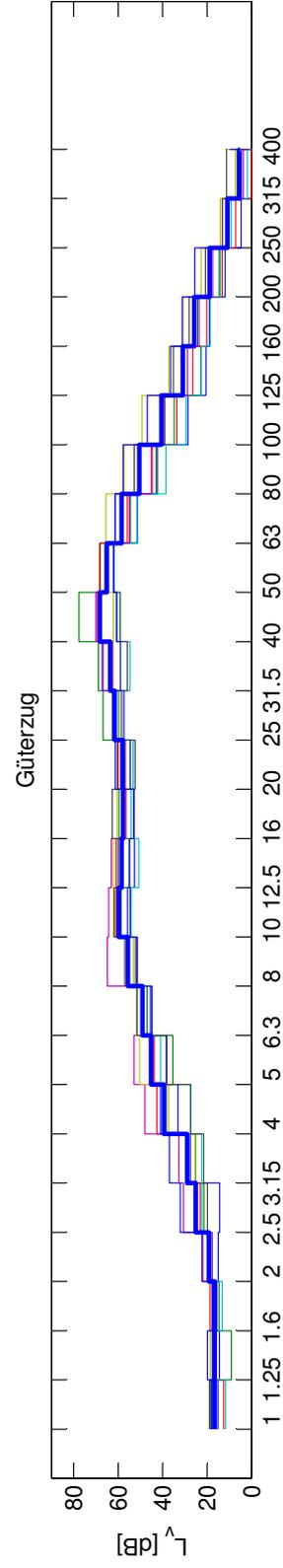
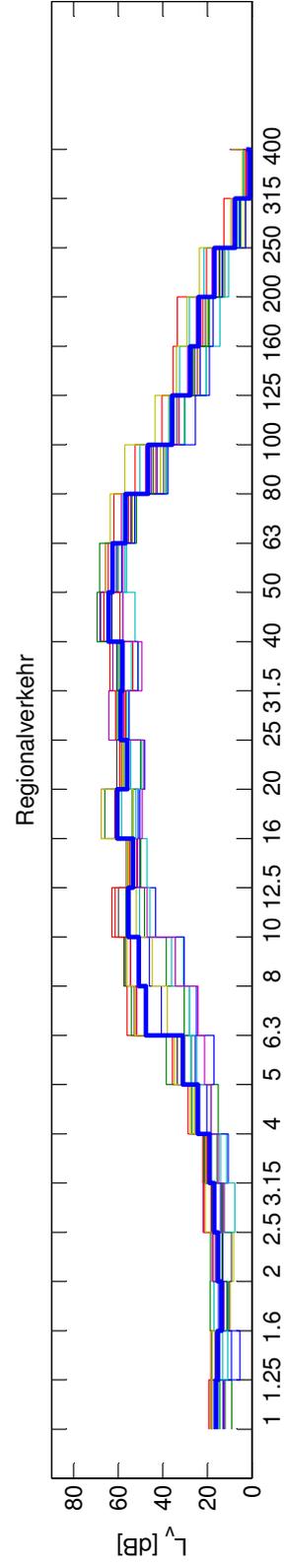
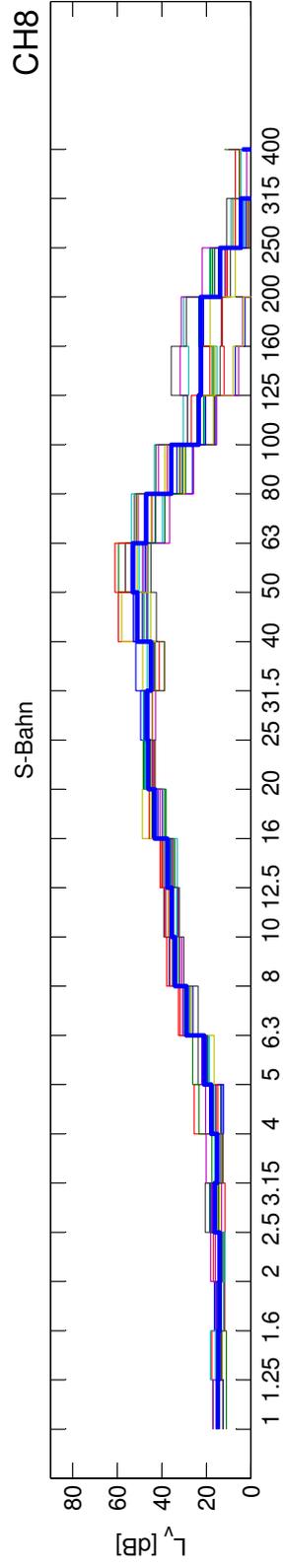
Abbildung 5: Messpunkt 2, 3 und 4 und Messfahrzeug

C. Messwerte Terzspektren

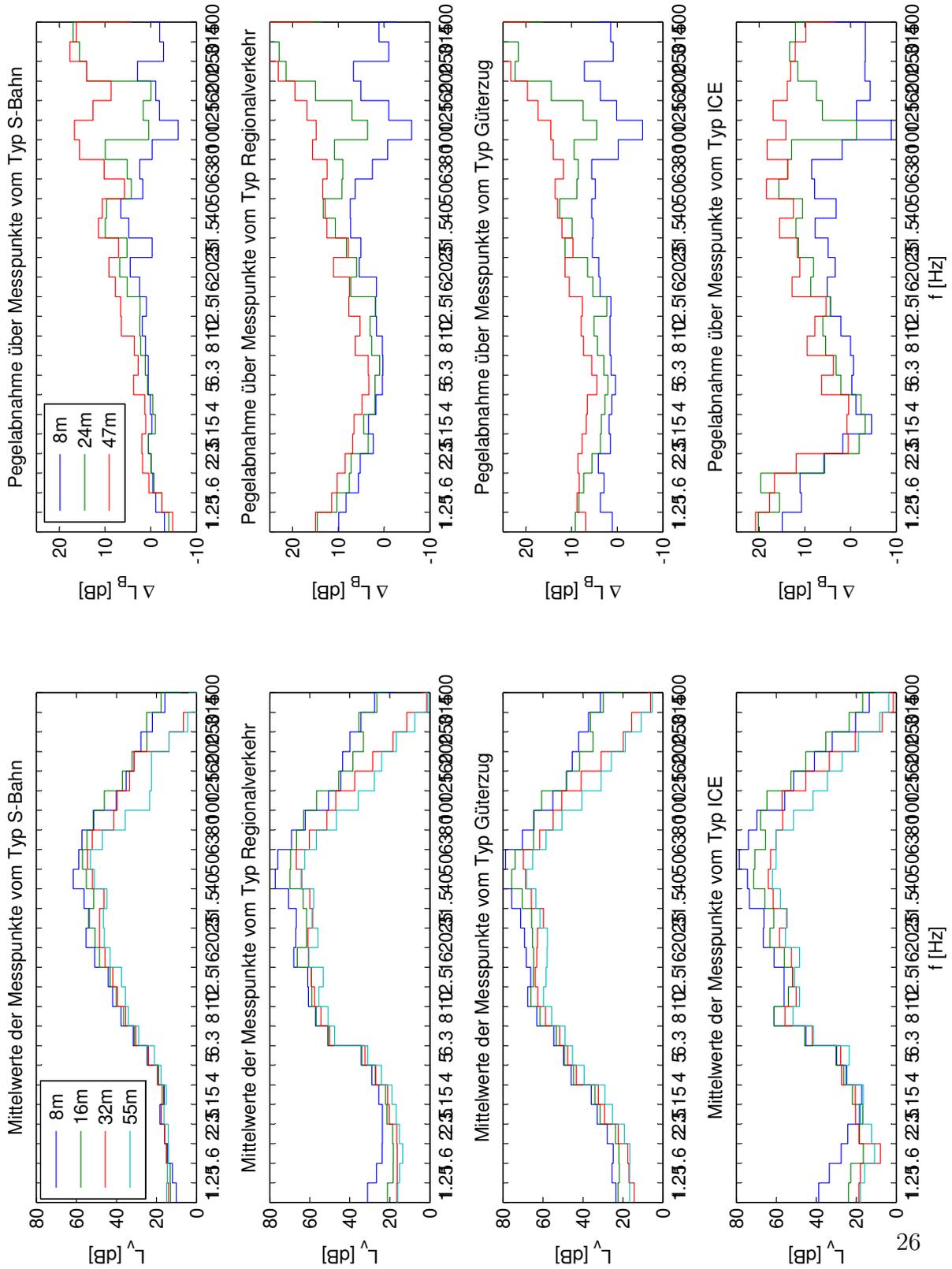








D. Mittelwerte der Terzspektren und Pegelabnahme



E. Zugzahlen

Strecke 6087 Abschnitt Hohen Neuendorf Bereich Bf Bergfelde

Zustand 2013

Anzahl		Zugart-	SB-Anteil	v_max	Länge	D Fz
Tag	Nacht	Traktion	%	km/h	m	dB(A)
11	8	GZ-E	0	100	600	0
5	1	GZ-E	0	120	600	0
2	2	RV-VT	100	120	40	0
32	8	RV-VT	100	120	80	0
16	2	RV-E	85	120	130	0
16	4	RV-E	85	120	160	0
2	0	D-E	100	120	240	0
2	0	ICE	100	120	190	-3
86	25	Summe beider Richtungen				

Prognose 2025

Anzahl		Zugart-	SB-Anteil	v_max	Länge	D Fz
Tag	Nacht	Traktion	%	km/h	m	dB(A)
41	37	GZ-E	90*	100	700	0
10	9	GZ-E	90*	120	700	0
32	6	RV-VT	100	120	80	0
32	6	RV-E	100	120	160	0
14	2	ICE	100	120	320	-3
2	0	D-E	100	120	240	0
131	60	Summe beider Richtungen				

*) Bei Anwendung des Schienenbonus ist der SB-Anteil = 0% zu setzen

Grundsätzlich ist ein Fahrbahnzuschlag von 2 dB(A) für die Fahrbahnart Schotterbett mit Betonschwellen anzusetzen. Für Brücken, schienengleiche enge Gleisradien sind ggf. die entsprechenden Zuschläge zu berücksichtigen

Legende

Traktionsarten:

- E = Bespannung mit E-Lok
- V = Bespannung mit Diesellok
- ET, - VT = Elektro- / Dieseltriebzug

Zugarten:

- GZ = Güterzug
- RV = Regionalzug
- ICE = Elektrotriebzug des HGV
- D = sonstiger Fernreisezug

Strecke 6009 Abschnitt Hohen Neuendorf Bereich Bf Bergfelde**Zustand 2013 = Prognose 2025**

Anzahl		Zugart-	SB-Anteil	v-max	Länge	D Fz	
Tag	Nacht	Traktion	%	km/h	m	dB(A)	
95	13	S	100	100	150	0	
95	13	Summe beider Richtungen					

Als Fahrbahnart ist grundsätzlich Schotterbett mit Betonschwellen anzusetzen.
Für Brücken, schienengleiche BÜ und enge Gleisradien sind ggf. die entsprechenden Zuschläge zu berücksichtigen.

Legende

Zugarten / Traktionsarten: S = Elektrotriebzug der S-Bahn Berlin

F. Ergebnisse Erschütterung

F.1. Messpunkt 1

$f_{res,Decke}$	$KB_{FTr,Tag,ist}$	$KB_{FTr,Nacht,ist}$	$KB_{FTr,Tag,2025}$	$KB_{FTr,Nacht,2025}$
8 Hz	0.1	0.09	0.14	0.16
10 Hz	0.12	0.1	0.17	0.2
12.5 Hz	0.14	0.11	0.18	0.2
16 Hz	0.19	0.15	0.24	0.25
20 Hz	0.17	0.14	0.23	0.24
25 Hz	0.17	0.14	0.23	0.26
31.5 Hz	0.21	0.17	0.29	0.32
40 Hz	0.3	0.25	0.4	0.45
50 Hz	0.27	0.22	0.37	0.39
63 Hz	0.19	0.15	0.26	0.27
80 Hz	0.15	0.12	0.2	0.21

Tabelle 6: Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} am Messpunkt 1 für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$

F.2. Messpunkt 2

$f_{res,Decke}$	$KB_{FTr,Tag,ist}$	$KB_{FTr,Nacht,ist}$	$KB_{FTr,Tag,2025}$	$KB_{FTr,Nacht,2025}$
8 Hz	0.07	0.06	0.09	0.1
10 Hz	0.08	0.07	0.12	0.14
12.5 Hz	0.09	0.08	0.12	0.14
16 Hz	0.13	0.1	0.16	0.16
20 Hz	0.1	0.08	0.13	0.14
25 Hz	0.09	0.08	0.13	0.14
31.5 Hz	0.11	0.09	0.15	0.17
40 Hz	0.14	0.12	0.21	0.24
50 Hz	0.14	0.12	0.19	0.22
63 Hz	0.11	0.09	0.14	0.15
80 Hz	0.09	0.07	0.12	0.13

Tabelle 7: Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} am Messpunkt 2 für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$

F.3. Messpunkt 3

$f_{res,Decke}$	$KB_{FTr,Tag,ist}$	$KB_{FTr,Nacht,ist}$	$KB_{FTr,Tag,2025}$	$KB_{FTr,Nacht,2025}$
8 Hz	0.05	0.04	0.06	0.07
10 Hz	0.06	0.05	0.08	0.09
12.5 Hz	0.07	0.06	0.1	0.11
16 Hz	0.08	0.06	0.1	0.11
20 Hz	0.07	0.06	0.09	0.1
25 Hz	0.06	0.05	0.08	0.08
31.5 Hz	0.06	0.05	0.09	0.1
40 Hz	0.08	0.06	0.11	0.12
50 Hz	0.09	0.07	0.12	0.13
63 Hz	0.06	0.05	0.08	0.09
80 Hz	0.05	0.04	0.06	0.07

Tabelle 8: Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} am Messpunkt 3 für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$

F.4. Messpunkt 4

$f_{res,Decke}$	$KB_{FTr,Tag,ist}$	$KB_{FTr,Nacht,ist}$	$KB_{FTr,Tag,2025}$	$KB_{FTr,Nacht,2025}$
8 Hz	0.03	0.03	0.04	0.05
10 Hz	0.04	0.04	0.06	0.07
12.5 Hz	0.05	0.04	0.06	0.07
16 Hz	0.07	0.05	0.08	0.07
20 Hz	0.05	0.04	0.06	0.06
25 Hz	0.05	0.04	0.07	0.07
31.5 Hz	0.05	0.04	0.07	0.08
40 Hz	0.07	0.06	0.09	0.1
50 Hz	0.06	0.05	0.08	0.09
63 Hz	0.05	0.04	0.06	0.06
80 Hz	0.04	0.03	0.05	0.05

Tabelle 9: Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} am Messpunkt 4 für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$

G. Ergebnisse sekundärer Luftschall

G.1. Messpunkt 1

$f_{res,Decke}$	$L_{sek,Tag,ist}(A)$	$L_{sek,Nacht,ist}(A)$	$L_{sek,Tag,2025}(A)$	$L_{sek,Nacht,2025}(A)$
8 Hz	28.6	26	30.3	29.6
10 Hz	28.9	26.3	30.6	30
12.5 Hz	29.2	26.6	30.9	30.2
16 Hz	29.7	27.1	31.3	30.7
20 Hz	30.3	27.6	31.9	31.3
25 Hz	30.8	28.1	32.4	31.7
31.5 Hz	31.7	29.1	33.4	32.7
40 Hz	33.5	30.8	35.1	34.5
50 Hz	34.8	32.2	36.5	35.8
63 Hz	34.4	31.7	36	35.2
80 Hz	33.6	30.9	35.2	34.4

Tabelle 10: A-bewertete Sekundärschalldruckpegel $L_{sek}(A)$ am Messpunkt 1 für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$

G.2. Messpunkt 2

$f_{res,Decke}$	$L_{sek,Tag,ist}(A)$	$L_{sek,Nacht,ist}(A)$	$L_{sek,Tag,2025}(A)$	$L_{sek,Nacht,2025}(A)$
8 Hz	26.9	24.2	28.5	27.8
10 Hz	27.1	24.4	28.7	28
12.5 Hz	27.3	24.6	28.9	28.2
16 Hz	27.7	25	29.3	28.6
20 Hz	28.3	25.6	29.9	29.2
25 Hz	28.9	26.1	30.4	29.7
31.5 Hz	29.7	27	31.3	30.6
40 Hz	31	28.3	32.6	31.9
50 Hz	32.1	29.4	33.7	32.9
63 Hz	32.2	29.4	33.7	32.9
80 Hz	32.9	30.1	34.4	33.6

Tabelle 11: A-bewertete Sekundärschalldruckpegel $L_{sek}(A)$ am Messpunkt 2 für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$

G.3. Messpunkt 3

$f_{res,Decke}$	$L_{sek,Tag,ist}(A)$	$L_{sek,Nacht,ist}(A)$	$L_{sek,Tag,2025}(A)$	$L_{sek,Nacht,2025}(A)$
8 Hz	23.2	20.4	24.7	24
10 Hz	23.5	20.7	25	24.3
12.5 Hz	23.8	21	25.3	24.5
16 Hz	24.2	21.4	25.7	25
20 Hz	24.8	22	26.4	25.6
25 Hz	25.3	22.5	26.9	26.1
31.5 Hz	26.2	23.4	27.7	26.9
40 Hz	27.7	24.9	29.2	28.4
50 Hz	29.3	26.4	30.8	29.9
63 Hz	29.1	26.2	30.6	29.6
80 Hz	28.2	25.3	29.7	28.8

Tabelle 12: A-bewertete Sekundärschalldruckpegel $L_{sek}(A)$ am Messpunkt 3 für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$

G.4. Messpunkt 4

$f_{res,Decke}$	$L_{sek,Tag,ist}(A)$	$L_{sek,Nacht,ist}(A)$	$L_{sek,Tag,2025}(A)$	$L_{sek,Nacht,2025}(A)$
8 Hz	21.2	18.5	22.8	22.1
10 Hz	21.5	18.8	23.1	22.4
12.5 Hz	21.9	19.1	23.5	22.7
16 Hz	22.3	19.6	23.9	23.2
20 Hz	22.9	20.2	24.5	23.8
25 Hz	23.5	20.8	25.1	24.3
31.5 Hz	24.4	21.7	26	25.3
40 Hz	26.3	23.6	27.9	27.2
50 Hz	27.5	24.6	29	28.1
63 Hz	27.3	24.4	28.8	28
80 Hz	25.8	23	27.3	26.6

Tabelle 13: A-bewertete Sekundärschalldruckpegel $L_{sek}(A)$ am Messpunkt 4 für die Fälle Tag/Nacht und Zugzahlen Ist/2025 in Abhängigkeit von den Deckenresonanzen $f_{res,Decke}$