

ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG

VORHABEN:	Umbau Knoten Frankfurt (Main) – Sportfeld, 2. Ausbaustufe 6-gleisiger Ausbau Frankfurt (Main)-Sportfeld – Abzweig Gutleuthof
UMFANG:	Ermittlung und Beurteilung der schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens
AUFTRAGGEBER	DB Netz AG Hahnstraße 49 60528 Frankfurt am Main
BEARBEITUNG:	KREBS+KIEFER FRITZ AG Heinrich-Hertz-Straße 2 64295 Darmstadt T 06151 885-383 F 06151 885-220
AKTENZEICHEN:	20108001-VVE-3 ersetzt Bericht 10225-VVE-1, FRITZ GmbH vom 30.03.2012
DATUM:	04.04.2019



Dipl.-Phys. Peter Fritz
Vorstand

Dieser Bericht umfasst 40 Seiten und 6 Anhänge mit 37 Blättern.

Dieser Bericht ist nur für den Gebrauch des Auftraggebers bzw. der DB Netz AG im Zusammenhang mit dem oben genannten Planvorhaben bestimmt. Eine darüberhinausgehende Verwendung, vor allem durch Dritte, unterliegt dem Schutz des Urheberrechts gemäß UrhG.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	6
2	Sachverhalt und Aufgabenstellung	7
3	Bearbeitungsgrundlagen	8
3.1	Rechtsgrundlagen und Regelwerke	8
3.2	Planunterlagen	9
4	Anforderungen an den Schwingungsschutz	10
4.1	Erschütterungen	10
4.1.1	Beurteilungsverfahren	11
4.1.2	Anhaltswerte	11
4.1.3	Kriterien einer wesentlichen Änderung	12
4.2	Sekundärer Luftschall	13
4.2.1	Grundlagen der Beurteilung	13
4.2.2	Anforderungswerte	14
4.2.3	Anwendung des „Schienenbonus“	15
4.2.4	Kriterien einer wesentlichen Änderung	15
5	Untersuchungsraum	16
5.1	Beschreibung des Planvorhabens	16
5.1.1	Bestandssituation	16
5.1.2	Planung	17
5.2	Immissionsschutzrechtliche Einstufung	17
6	Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise	18
6.1	Immissionsprognose	19
6.1.1	Emissionen	20
6.1.2	Transmissionen	21
6.1.2.1	Transferfunktion T ₁	21
6.1.2.2	Transferfunktion T ₂	22
6.1.2.3	Transferfunktion T ₃	22
6.1.3	Immissionen	23
6.1.3.1	Erschütterungen	23
6.1.3.2	Sekundärer Luftschall	23
6.2	Betriebsparameter	24

7	Untersuchungsergebnisse	25
7.1	Prognose-Nullfall	26
7.1.1	Erschütterungen	26
7.1.2	Sekundärer Luftschall	27
7.2	Prognose-Planfall	28
7.2.1	Erschütterungen	28
7.2.2	Sekundärer Luftschall	30
7.3	Prüfung auf wesentliche Änderung	30
7.4	Extrapolation der Untersuchungsergebnisse	31
7.5	Dimensionierung von Vorsorgemaßnahmen	32
7.5.1	Grundsätzlich mögliche Maßnahmen	32
7.5.2	Maßnahmen an der Quelle	32
7.5.2.1	Masse-Feder-Systeme	32
7.5.2.2	Unterschottermatten	33
7.5.2.3	Optimierter Schotteroberbau (System „BS0“)	33
7.5.2.4	Besohlte Schwellen	34
7.5.3	Maßnahmen im Ausbreitungsweg	34
7.5.3.1	Gefüllte Bodenschlitze	34
7.5.3.2	Senkrechte Wandelemente im Boden	34
7.5.4	Maßnahmen am Immissionsort	35
7.5.4.1	Konstruktive Änderung an Gebäuden	35
7.5.4.2	Elastische Auflagerung von Gebäuden	35
7.6	Maßnahmen	36
7.7	Prognose mit Vorsorgemaßnahmen	37
7.7.1	Besohlte Schwellen	37
7.7.2	System BS0	38
8	Abschließende Bemerkungen	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen	12
Tabelle 2: Immissionsrichtwerte für sekundären Luftschall	15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übertragung von Erschütterungen	20
--	----

Anhänge

Anhang 1	Lagepläne
Anhang 2	Betriebsprogramm
Anhang 3	Emissionen
Anhang 4	Transmission
Anhang 5	Immissionen PNF2030 / PPF2030 / Prüfung auf wesentliche Änderung
Anhang 6	Immissionen mit Vorsorgemaßnahmen / Einfügungsdämmung

Abkürzungsverzeichnis

16. BImSchV	Verkehrslärmschutzverordnung
24. BImSchV	Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung
A	Anhaltswert
A _r	Beurteilungs-Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
A _u	unterer Anhaltswert gemäß DIN 4150-2 [-]
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
BVerwG	Bundes-Verwaltungsgericht
D	Korrektursummand zur Berücksichtigung der Raumnutzung [dB]
ΔL	Pegeldifferenz [dB]
f	Frequenz [Hz]
GV	Güterverkehr
Hz	Hertz, Schwingung je Sekunde
ICE	IntercityExpress
L _i	A-bewerteter sekundärer Luftschallpegel [dB(A)]
L _{r,sek}	Beurteilungspegel für den sekundären Luftschall [dB(A)]
L _{vA}	A-bewerteter Körperschallschnellepegel in Fußbodenmitte [dB(A)]
MI	Mischgebiet gemäß § 6 BauNVO
KB _{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke [-]
KB _{FTr}	Beurteilungsschwingstärke [-]
N	Anzahl von Zügen
PNF	Prognose-Nullfall
PPF	Prognose-Planfall
r, R	Abstand [m]
S	S-Bahn
SPFV	Personenfernverkehr
SPNV	Personennahverkehr
T _r	Beurteilungszeit [tags 16 h, nachts 8 h]
T _e	Einwirkzeit der Zugereignisse [s]
v ₀	Referenzwert für die Schwingschnelle [5 • 10 ⁻⁸ m/s]
v _{max}	Höchstgeschwindigkeit [km/h]
VMN	Vorsorgemaßnahme
WA	Allgemeines Wohngebiet gemäß § 4 BauNVO

1 Zusammenfassung

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens Umbau Knoten Sportfeld, 2. Ausbaustufe wurde für den 6-gleisigen Ausbau Bahnhof Frankfurt (Main)-Stadion – Abzweig Gutleuthof geprüft, ob Konflikte aufgrund von Erschütterungen bzw. sekundären Luftschallimmissionen nach Inbetriebnahme der ausgebauten Bahnstrecke zu erwarten sind und welche Maßnahmen zur Konfliktbewältigung bzw. zur Konfliktreduzierung geeignet sind. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- ❑ Im gesamten Streckenabschnitt besteht eine erschütterungstechnische **Vorbelastung** durch die vorhandenen Gleisanlagen (Strecken 3520, 3683 und 3624). Für die Gebäude im Einwirkungsbereich wurde geprüft, ob es durch den Betrieb der künftig 6-gleisigen-Strecke zu einer Erhöhung der gegenwärtig auftretenden Erschütterungsmissionen kommen wird. Soweit dies der Fall ist, wird untersucht, ob diese eine „wesentliche Änderung“ im Hinblick auf den Immissionsschutz darstellen, die erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen erforderlich machen.
- ❑ Unter Berücksichtigung der bestehenden und der planungsbedingten Abstände zu nahe gelegenen Gebäuden kommt es im Prognose-Planfall in 1 der 4 exemplarisch untersuchten Gebäude zu einer Steigerung der Erschütterungsmissionen, die als „**wesentliche Änderung**“ einzustufen ist. Mögliche technische Vorsorgemaßnahmen zur Minderung der künftigen schienenverkehrsinduzierten Erschütterungsmissionen sind somit unter Berücksichtigung des Angemessenheitsgrundsatzes zu prüfen.
- ❑ Hinsichtlich der sekundären Luftschallimmissionen ergeben sich sowohl im Prognose-Nullfall als auch im Prognose-Planfall in allen untersuchten Gebäude Beurteilungspegel, die die in Anlehnung an die **24. BImSchV** herangezogenen Immissionsrichtwerte unterschreiten. Die Prüfung auf „wesentliche Änderung“ der Beurteilungspegel ist somit nicht erforderlich. Ein Anspruch auf mögliche Vorsorgemaßnahmen hinsichtlich der sekundären Luftschallimmissionen besteht nicht.
- ❑ Die untersuchten Gebäude sind repräsentativ für die jeweils umliegenden Gebäude und deren Schwingungsübertragungsverhalten. Die Untersuchungsergebnisse für die exemplarischen Gebäude lassen sich daher auf die Gesamtheit aller im Einwirkungsbereich der geplanten Baumaßnahme gelegenen Gebäude extrapolieren. Aufgrund der prognostizierten Betroffenheit in den einzelnen Streckenabschnitten werden daher erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen erforderlich.
- ❑ Als geeigneten Vorsorgemaßnahmen kommen im betroffenen Streckenabschnitt EÜ Goldsteinstraße Schotteroberbauten mit „besohnten Schwellen“ bzw. mit System BSO für

die neu zu bauenden bzw. baulich zu verändernden Gleise in Betracht. Die Vorsorgemaßnahme sollte in den nachfolgend aufgeführten Teilbereichen vorgesehen werden:

Strecke 3657: von Bahn-km 33,6+20 bis Bahn-km 33,7+10

Strecke 3520: von Bahn-km 33,6+20 bis Bahn-km 33,7+10

Die Kilometrierungsangabe bezieht sich hierbei auf die Strecke 3520.

- ☐ Durch diese Schutzmaßnahmen kann gewährleistet werden, dass es, nach Realisierung der Ausbaumaßnahmen in allen Immissionsorten, an denen eine Vorsorgemaßnahme berücksichtigt wurde, gegenüber der Vorbelastung zu keinen höheren Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen durch den Schienenverkehr kommt.

2 Sachverhalt und Aufgabenstellung

Der Ausbau des Schienenverkehrsknotens Frankfurt (Main)-Sportfeld ist als Teilmaßnahme im Projekt Frankfurt RheinMain^{plus} erfasst. Das Gesamtvorhaben besteht aus drei Ausbaustufen, wobei die 2. Ausbaustufe den Bau von zwei zusätzlichen Gleisen zwischen Frankfurt (Main)-Sportfeld und dem Abzweig Gutleuthof einschließlich der Umgestaltung des Ostkopfes des Bahnhofs Frankfurt (Main)-Sportfeld vorsieht.

Beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge kommt es im Kontaktbereich zwischen Rad und Schiene zu Schwingungsanregungen, die auf Störungen des stationären Abrollvorgangs zurückzuführen sind. Verantwortlich hierfür sind einerseits Inhomogenitäten der Schiene, andererseits auch das Rad selbst, welches in der Regel einen ungleichmäßigen Verschleiß aufweist. Die impulsförmige Anregung des Radsatzes und des Gleiskörpers wiederum hat die Anregung von Eigenschwingungen des Gesamtsystems zur Folge. Auch schwankende Vertikalsteifigkeiten bei Schotteroberbauten mit Schwellen oder bei festen Fahrbahnen sind ursächlich für einen instationären Abrollvorgang.

Die aus den dynamischen Lasten resultierenden Schwingungen des Gleisoberbaus werden über das Erdreich auf nahestehende Gebäude übertragen, die ihrerseits zu Schwingungen angeregt werden. Die auftretenden Schwingungsamplituden sind in der Regel so gering, dass Bauwerkschäden als Folge der dynamischen Beanspruchung ausgeschlossen werden können. Dennoch können Schwingungen bereits bei geringen Schwingstärken zu Beeinträchtigungen des Wohlbefindens von Menschen in Gebäuden führen. Über die Geschossdecken werden Schwingungen des Gebäudekörpers auf den Menschen übertragen, die vom Körper direkt als mechanische Schwingungsimmissionen wahrgenommen werden. Weiterhin führen die in ein Bauwerk eingeleiteten Schwingungen zu einer Schallabstrahlung der Raumbegrenzungsflächen in Form von hörbarem

(sekundärem) Luftschall. Selbst Immissionen, die als mechanische Schwingungen nicht mehr spürbar sind, können dann akustisch wahrnehmbar sein.

Geräusche und Erschütterungen zählen gemäß **§ 3** des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (**BImSchG**) /1/ je nach Stärke und Wahrnehmbarkeit zu den Immissionen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen.

Im Rahmen der Planung für den 6-gleisigen Ausbau des Knotens Frankfurt (Main)-Sportfeld – Abzweig Gutleuthof ist daher zu prüfen, ob die Einwirkungen aus Erschütterungen bzw. sekundärem Luftschall, hervorgerufen vom künftigen Betrieb nach Fertigstellung der Baumaßnahme, zu erheblichen Belästigungen von Menschen in Gebäuden führen können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im gesamten Untersuchungsraum eine erschütterungstechnische Vorbelastung durch die vorhandenen Bahnstrecken 3624, 3520 und 3683 besteht. Sofern zukünftig Erschütterungs- oder sekundäre Luftschallimmissionen zu erwarten sind, die die Beurteilungsanhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** bzw. die Immissionsrichtwerte in Anlehnung an die **24. BImSchV** überschreiten, sind die Belastungen im Planfall der gegebenen Vorbelastung (Nullfall) gegenüberzustellen. Anhand dieses Vergleichs wird dann geprüft, ob die geplante Baumaßnahme zu einer „**wesentlichen Änderung**“ führen kann, das heißt zu einer erheblichen Erhöhung der Immissionen gegenüber der Vorbelastungssituation.

Soweit relevante Konfliktpotentiale festgestellt werden, sind geeignete Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung bzw. zur Minimierung der Immissionskonflikte zu erarbeiten. Hierbei ist der Grundsatz der wirtschaftlichen Verhältnismäßigkeit zum Schutzzweck zu beachten.

3 Bearbeitungsgrundlagen

3.1 Rechtsgrundlagen und Regelwerke

Für die Durchführung der erschütterungstechnischen Untersuchung werden die folgenden Normen und Regelwerke herangezogen:

- /1/ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der aktuell gültigen Fassung
- /2/ Verwaltungs-Verfahrensgesetz (VwVfG) in der aktuell gültigen Fassung

- /3/ 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärm-schutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990, geändert durch Artikel 1 der Verord-nung vom 18. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2269)
- /4/ 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV) vom 4. Februar 1997 in ihrer berich-tigten Fassung vom 16. Mai 1997
- /5/ Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes vom 21.12.2010, Az. BVerwG 7 A 14.09
- /6/ DIN 4150, Teil 1 „Erschütterungen im Bauwesen: Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Juni 2001
- /7/ DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen: Einwirkungen auf Menschen in Gebäu-den“, Juni 1999
- /8/ DIN 45669, Teil 1 „Messung von Schwingungsimmissionen: Anforderungen an Schwin-gungsmesser“, September 2010
- /9/ DIN 45669, Teil 2 „Messung von Schwingungsimmissionen: Messverfahren“, Juni 2005
- /10/ Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkun-gen, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Bericht LIS 107
- /11/ DB-Richtlinie 820.2050, Erschütterungen und sekundärer Luftschall, Stand vom 15.09.2017
- /12/ Übertragung vom Erdreich auf das Gebäudefundament, Ankopplungsspektren für ver-schiedene Gebäudetypen, 18. Symposium-Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessun-gen, Ziegler Consultants, Empa Dübendorf, Stand vom Mai 2015

3.2 Planunterlagen

Zur Bearbeitung standen nachfolgende Planunterlagen und Schriftsätze zur Verfügung:

- /13/ Umbau Knoten Frankfurt (Main)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe, Sechsgleisiger Ausbau Frank-furt (Main)-Sportfeld – Abzweig Gutleuthof, Lagepläne Vorplanung und Erläuterungsbe-richt, DB ProjektBau GmbH, Niederlassung Mitte, Frankfurt am Main, Stand 2004
- /14/ Umbau Knoten Frankfurt (Main)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe, Sechsgleisiger Ausbau Frank-furt (Main)-Sportfeld – Abzweig Gutleuthof, Trassierungsentwurf Bf Ffm-Stadion, Entwurf-splanung; Vermessungsbüro Riemenschneider, Rodgau, Maßstab 1:500, Stand vom Okto-ber 2014

- /15/ Betriebskonzept Prognose 2030 mit Aufteilung Tag / Nacht, DB Netz AG, Regionalbereich Mitte, Frankfurt am Main
- /16/ Angaben zu den Bebauungsplänen im Umfeld der Trasse, Internetangebot der Stadt Frankfurt am Main, Stadtplanungsamt, www.planas-frankfurt.de
- /17/ Planungsverband Ballungsraum Frankfurt / Rhein-Main: Auszüge aus dem Flächennutzungsplan 2009, www.planungsverband.de
- /18/ LoD1-Daten, Aktualität: 06.02.2018, erhalten vom Hessischen Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation am 13.09.2018
- /19/ Messbericht – Erschütterungen: Umbau Knoten Frankfurt (Main)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe, 6-gleisiger Ausbau Frankfurt (Main)-Sportfeld – Abzweig Gutleuthof, Erschütterungstechnische Bestandsanalyse auf Grundlage von Messungen in vier Gebäuden in dem für den Ausbau vorgesehenen Streckenabschnitt, FRITZ GmbH, Bericht Nr. 10225-VME-1 vom 03.11.2011
- /20/ Erschütterungstechnische Untersuchung: Umbau Knoten Frankfurt (Main)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe, 6-gleisiger Ausbau Frankfurt (Main)-Sportfeld – Abzweig Gutleuthof, Ermittlung und Beurteilung der schienenverkehrsinduzierten Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens, FRITZ GmbH, Bericht Nr. 10225-VVE-1 vom 30.12.2012

4 Anforderungen an den Schwingungsschutz

4.1 Erschütterungen

Im Gegensatz zur schalltechnischen Problemstellung existieren derzeit keine gesetzlichen Bestimmungen, in denen Grenzwerte für Erschütterungsimmissionen festgelegt sind. Daher werden die in Fachkreisen anerkannten Anhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** /7/ herangezogen. Bei Einhaltung dieser Anhaltswerte kann davon ausgegangen werden, dass die Erschütterungen keine erheblich belästigenden Einwirkungen darstellen, die als niedrigste Qualifikationsstufe schädlicher Umwelteinwirkungen anzusehen sind.

Die Rechtsgrundlage für Ansprüche auf Schutzmaßnahmen ist in **§ 74 (2)** Verwaltungsverfahrensgesetz (**VwVfG**) /2/ begründet. Hiernach sind dem Träger eines Vorhabens Vorkehrungen oder die Einrichtung und Unterhaltung von Anlagen aufzuerlegen, die zum Wohl der Allgemeinheit oder zur Vermeidung nachteiliger Wirkungen erforderlich sind. Sind solche Vorkehrungen oder Anlagen untunlich, das heißt mit angemessenem Aufwand zum Schutzzweck nicht realisierbar,

oder sind die Maßnahmen mit dem Vorhaben nicht vereinbar, so besteht ein entsprechender Entschädigungsanspruch.

In dem hier zu beurteilenden Einwirkungsbereich besteht bereits eine erschütterungstechnische Vorbelastung. Soweit künftig eine Überschreitung der Anhaltswerte gemäß **DIN 4150-2 /7/** zu erwarten ist, ist der Sachverhalt zu klären, ob die geplante Baumaßnahme zu einer „wesentlichen Erhöhung“ der Erschütterungsimmissionen führt. Hierbei sind die Kriterien des gegenwärtigen Kenntnisstands zur Wirkung von Erschütterungen, sowie die diesbezügliche Rechtsprechung anzuwenden.

4.1.1 Beurteilungsverfahren

Zur Bewertung der Erschütterungsimmissionen im Einwirkungsbereich von Bahnanlagen sind gemäß **DIN 4150-2 /7/** zwei Beurteilungsgrößen heranzuziehen:

- ☐ die maximale zeit- u. frequenzbewertete Schwingstärke **KB_{Fmax}**,
- ☐ die Beurteilungsschwingstärke **KB_{FTr}**.

Die Beurteilung erfolgt anhand der Kriterien **A_u** (für **KB_{Fmax}**) und **A_r** (für **KB_{FTr}**). Ist **KB_{Fmax}** kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert **A_u**, so werden die Anforderungen der Norm erfüllt. Dann gilt als nachgewiesen, dass die schienenverkehrsinduzierten Erschütterungsimmissionen **nicht** als „**erheblich belästigend**“ einzustufen sind. Übersteigt die maximale bewertete Schwingstärke den unteren Anhaltswert, erfolgt die Beurteilung in einem weiteren Prüfschritt auf Basis der Beurteilungsschwingstärke **KB_{FTr}** im Vergleich zu dem Beurteilungsanhaltswert **A_r**.

4.1.2 Anhaltswerte

Die Anhaltswerte **A** zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen werden in der **DIN 4150-2 /7/** jeweils in Abhängigkeit von der Art der baulichen Nutzung der Umgebung des Einwirkungsortes sowie für den Tag- und den Nachtzeitraum angegeben. Die Anhaltswerte sind in **Tabelle 1** angegeben.

Zeile	Einwirkungsort	Tag		Nacht	
		A _u	A _r	A _u	A _r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichtspersonal und Bereitschaftspersonen untergebracht sind	0,40	0,20	0,30	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind	0,30	0,15	0,20	0,10
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	0,20	0,10	0,15	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind	0,15	0,07	0,10	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0,10	0,05	0,10	0,05

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungen

4.1.3 Kriterien einer wesentlichen Änderung

Nach der aktuellen Rechtsprechung /5/ müssen sich Betroffene vorhandene Vorbelastungen aus Erschütterungsimmissionen zurechnen lassen, das heißt die Vorbelastung ist bei der Prüfung möglicher Vorsorgeansprüche und bei der Abwägung geeigneter Schutzvorkehrungen zu berücksichtigen.

Es können nach der gegenwärtigen Rechtslage reale und geldwerte Ausgleichsansprüche beim Vorhandensein erheblich belästigender Erschütterungsimmissionen an baulich geänderten Schienenverkehrswegen nur dann bestehen, wenn die Vorbelastung durch bestehende Bahnanlagen durch das Hinzutreten weiterer Erschütterungseinwirkungen in beachtlicher Weise erhöht wird und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche, unzumutbare Beeinträchtigung liegt.

Dies wird durch das aktuelle Urteil des Bundesverwaltungsgerichts /5/ bestätigt. Unter Punkt 14 des Urteils wird angeführt, dass ein Erschütterungsschutz nur dann verlangt werden kann, wenn die Erschütterungsbelastung durch den Ausbau in **beachtlicher** Weise erhöht und gerade in dieser Erhöhung eine zusätzliche, dem Betroffenen billigerweise nicht mehr zumutbare Belastung vorliegt.

Im Zusammenhang mit der Frage, welche Erhöhung der Erschütterungsimmission eine unzumutbare Beeinträchtigung darstellt, bestätigt das Gericht, dass eine Verstärkung der Erschütterungen dann wesentlich ist, wenn sich diese gegenüber der Vorbelastung um

mindestens **25 %** erhöhen. Hierbei wird die Festsetzung der Größe dieser Wahrnehmungsschwelle durch empirische, hinreichend abgesicherte Erkenntnisse gestützt. Hierzu können Ergebnisse einer Laborstudie im Auftrag der Deutschen Bahn AG herangezogen werden.

Diese Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass eine Erschütterungsdifferenz von 25 % Erhöhung "praktisch als Labor-Unterschiedsschwelle" anzusehen ist. Bei der Durchführung der Laboruntersuchungen, bei denen mehreren Probanden Erschütterungssignale zur Beurteilung ausgesetzt wurden, wurden strenge Vergleichsbedingungen mit kurzen Pausen (ca. 3 Sekunden) zwischen den beiden angebotenen Signalen (Reiz und Vergleich) angewendet. Es wird darauf hingewiesen, dass unter realen Bedingungen die Pausenstruktur zwischen den einzelnen Zugvorbeifahrten wesentlich größer ist, so dass die Wahrnehmung von Erschütterungsdifferenzen erst bei größeren Reizdifferenzen zu erwarten ist.

4.2 Sekundärer Luftschall

4.2.1 Grundlagen der Beurteilung

Zur Ermittlung und Beurteilung von Geräuschemissionen aus sekundärem Luftschall existieren derzeit weder normative Festsetzungen noch gültige Rechtsverordnungen. Daher ist es erforderlich, sich für eine sachgerechte Beurteilung an andere Gesetze, Verordnungen und Regelwerke auf Grundlage von Plausibilitätsbetrachtungen anzulehnen.

Bei der Beurteilung schienenverkehrsinduzierter sekundärer Luftschallimmissionen ist zunächst zu berücksichtigen, dass es sich hierbei – wenn auch im weiteren Sinne – um Verkehrslärmimmissionen handelt. Demzufolge kann das Bundes-Immissionsschutzgesetz (**BImSchG**) /1/ herangezogen werden, das sich in den **§§ 41 bis 43** mit Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgereusche befasst wird. In **§ 43 BImSchG** wird die Bundesregierung ermächtigt, die erforderlichen Rechtsvorschriften zu erlassen. Hierbei wird explizit darauf hingewiesen, dass den Besonderheiten des Schienenverkehrs Rechnung zu tragen sei. Dies ist für primäre Luftschallimmissionen mit Erlass der Verkehrslärmschutzverordnung (**16. BImSchV**) /3/ geschehen. Eine Regelung zum sekundären Luftschall wurde bislang noch nicht erlassen.

Ein Anhaltspunkt für die Beurteilung sekundärer Luftschallimmissionen ergibt sich aus der Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (**24. BImSchV**) /3/, die – wenn auch indirekt – Vorgaben für zulässige Innenraumpegel aus Verkehrslärmimmissionen in Abhängigkeit von der Raumnutzung angibt – auch wenn der sekundäre Luftschall streng genommen nicht den Regelungen der **24. BImSchV** unterliegt, da deren Anwendung die Überschreitung der Immissionsgrenzwerte nach **§ 2** der **16. BImSchV** /3/ durch den Bau oder die wesentliche Änderung einer öffentlichen Straße oder eines Schienenverkehrsweges voraussetzt. In Anlehnung an die

24. BImSchV scheint es dennoch gerechtfertigt, den aus Tabelle 1 der **24. BImSchV** (Korrektursummand D zur Berücksichtigung der Raumnutzung) abgeleiteten Beurteilungspegel im Innenraum (Korrektursummand D zuzüglich 3 dB(A)) als Beurteilungsmaßstab auch hinsichtlich sekundären Luftschalls heranzuziehen (siehe hierzu auch Kapitel 4.2.2).

Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass das Heranziehen von Anforderungswerten gemäß Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung für die Beurteilung sekundärer Luftschallimmissionen implizit die in der Rechtsprechung allgemein anerkannten Zumutbarkeitsschwellen bei Innenraumpegeln tagsüber von 40 dB(A) für Wohnräume und nachts von 30 dB(A) für Schlafräume berücksichtigt. Der Verordnungsgeber der **24. BImSchV** hat diese Zumutbarkeitsschwellen ebenfalls zu Grunde gelegt.

Diese wurden vom Bundesverwaltungsgericht bereits in der Zeit vor Inkrafttreten der Verkehrslärmschutzverordnung (**16. BImSchV**) am Maßstab des **§ 74 (2) Satz 2 VwVfG** bestimmt. Da die **24. BImSchV** nicht nur Anforderungswerte für Wohn- und Schlafräume nennt, sondern ebenfalls Anforderungen für andere Nutzungen, sollen diese Anforderungswerte für die Beurteilung sekundärer Luftschallimmissionen hilfsweise herangezogen werden. Ungeachtet dessen ist die maßgebliche Grundlage der Beurteilung die von der Rechtsprechung entwickelte Zumutbarkeitsschwelle, von denen auch der Verordnungsgeber der **24. BImSchV** ausgegangen ist.

4.2.2 Anforderungswerte

In der Anlage zur **24. BImSchV** /5/ sind die mathematischen Beziehungen angegeben, nach denen das erforderliche bewertete Schalldämm-Maß der gesamten Außenfläche eines Raumes rechnerisch zu ermitteln ist, wenn auf Grund von Grenzwertüberschreitungen dem Grunde nach ein Rechtsanspruch auf Lärmvorsorgemaßnahmen besteht. Zur Vermeidung von Kommunikations- bzw. Schlafstörungen wurde festgelegt, dass die Beurteilungspegel in Wohnräumen tagsüber 40 dB(A) bzw. in Schlafräumen nachts 30 dB(A) nicht überschreiten sollten. Für andere schutzbedürftige Räume gelten entsprechende Innenschallpegel.

Im Korrektursummanden **D** sind zum einen die Innenraumpegel für die jeweilige Raumart einbezogen, zum anderen eine Korrektur von **3 dB**, die berücksichtigt, dass die Dämmwirkung von Außenbauteilen bei gerichtet einfallendem Schall geringer ausfällt als im diffusen Schallfeld. Unter Berücksichtigung dieses Sachverhaltes können die in **Tabelle 2** angegebenen Immissionsrichtwerte für eine Beurteilung des Innenschallpegels gemäß **24. BImSchV** abgeleitet werden. Der für den Tag und die Nacht zulässige Beurteilungspegel berechnet sich aus dem Korrektursummanden D wie folgt:

$$L_{r,N/T} = D + 3 \text{ dB.}$$

Zeile	Raumnutzung	L _{ri,T} [dB(A)]	L _{ri,N} [dB(A)]
1	Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden	-	30
2	Wohnräume	40	-
3	Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume	40	-
4	Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume	45	-
5	Großraumbüros, Schalterräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständige Arbeitsplätze vorhanden sind	50	-
6	Sonstige Räume, die nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind	entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen	
L _{ri,T}	Beurteilungspegel innerhalb von Räumen für den Tag		
L _{ri,N}	Beurteilungspegel innerhalb von Räumen für die Nacht		

Tabelle 2: Immissionsrichtwerte für sekundären Luftschall

4.2.3 Anwendung des „Schienenbonus“

Die **24. BImSchV** /4/ sieht mit dem „Schienenbonus“ einen Lästigkeitsabschlag bei der Ermittlung des Beurteilungspegels von schienenverkehrsinduziertem Lärm vor. Die Anwendung des Schienenbonus in Höhe von 5 dB(A) wurde von dem Bundesverwaltungsgericht /5/ bestätigt.

Durch Artikel des 11. Gesetzes zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes ist dieser Abschlag ab dem 01. Januar 2015 jedoch nicht mehr anzuwenden, soweit zu diesem Zeitpunkt das Planfeststellungsverfahren noch nicht eröffnet ist und die Auslegung des Plans noch nicht öffentlich bekannt gemacht wurde.

Das Planfeststellungsverfahren für das zu untersuchende Vorhaben wurde vor dem 31.12.2014 eröffnet und die Pläne öffentlich gemacht. Daher wird in der vorliegenden erschütterungstechnischen Untersuchung der Schienenbonus für den sekundären Luftschall weiterhin angewendet.

4.2.4 Kriterien einer wesentlichen Änderung

Für den sekundären Luftschall wird in Anlehnung an die schalltechnische Problemstellung bei der Bewertung nach **16. BImSchV** /2/ eine Erhöhung der Beurteilungspegel um mindestens

3 dB(A) als wesentlich eingestuft. Hierbei wird auch für die Pegel des sekundären Luftschall die übliche Rundungsregel angewendet. Es wird stets auf ganz dB(A) aufgerundet. Ein Anspruch auf Vorsorgemaßnahmen ergibt sich demgemäß infolge einer wesentlichen Erhöhung der Beurteilungspegel um mindestens **2,1 dB(A)** bei gleichzeitiger Immissionsrichtwertüberschreitung. Hierbei ist zu beachten, dass im Falle der wesentlichen Änderung erst die Differenz des Beurteilungspegels gerundet wird und nicht bereits die Pegel der einzelnen Lastfälle.

5 Untersuchungsraum

5.1 Beschreibung des Planvorhabens

Das Gesamtvorhaben „Umgestaltung des Knotens Frankfurt (Main)-Sportfeld“ ist als Teilmaßnahme im Projekt Frankfurt RheinMain^{plus} erfasst und besteht aus insgesamt drei Baustufen. Die 1. Ausbaustufe umfasst den Umbau des Bf Frankfurt (Main)-Sportfeld mit einer Neuordnung der Fahrwege und Bahnsteige, die 2. Ausbaustufe den Bau von 2 zusätzlichen Gleisen zwischen Frankfurt (Main)-Sportfeld und Abzweig Gutleuthof. In der 3. Ausbaustufe erfolgt der Anschluss der geplanten Neubaustrecke Rhein/Main – Rhein/Neckar (Strecke 3657).

5.1.1 Bestandssituation

Im Abschnitt zwischen Frankfurt (Main)-Sportfeld und dem Abzweig Gutleuthof verlaufen die beiden Bahnstrecken 3520 Mainz Hbf – Frankfurt (Main) Hbf und 3683 Frankfurt (Main) Hbf – Kelsterbach derzeit als jeweils zweigleisige Strecken in unmittelbarer Parallellage. Ausgehend vom Bf Sportfeld mit Trassierung nahezu in West-Ost-Richtung schwenken beide Strecken vom Ostkopf aus in Richtung Norden, mit Verlauf durch den Bf Niederrad, und überqueren den Main auf zwei getrennten Brücken, um nördlich des Mains wieder in Richtung Osten zum Bahnhof Frankfurt (Main) Hbf zu verschwenken.

In diesem Streckenabschnitt verkehren der gesamte Fernverkehr, der größte Teil des Regionalverkehrs und die S-Bahn-Linie S 7 derzeit auf den südlich bzw. östlich gelegenen Gleisen der Strecke 3520, wobei der größte Teil des Fernverkehrs nördlich des Mains über die Strecke 3620 in Richtung Hbf Südseite geführt wird. Die nördlich bzw. westlich gelegenen Gleise der Strecke 3683 werden durch die S-Bahn-Linien S 8 und S 9 sowie die in Richtung Frankfurt(Main) verkehrenden Züge der RegionalExpress-Linie von Frankfurt nach Saarbrücken belegt.

Südlich des Bf Niederrad erreicht auch die Strecke 3624 aus Richtung Louisa die Parallellage zu den Strecken 3520 und 3683. Diese von Süden her eingleisige Strecke teilt sich in Höhe des Bf Niederrad in zwei Gleise auf, die südlich der Mainbrücken nacheinander höhengleich in die Stre-

cke 3520 einmünden. Auf einem etwa 1,5 km langen Abschnitt zwischen der Eisenbahnüberführung Golfstraße und den Mainbrücken verlaufen somit bereits im Bestand fünf bzw. sechs Gleise in Parallellage.

5.1.2 Planung

Gegenstand der vorliegenden Planung ist die 2. Ausbaustufe einschließlich der Umgestaltung des Ostkopfes des Bf Frankfurt (Main)-Sportfeld. Der sechsgleisige Ausbau bis zum Abzweig Gutleuthof erfolgt durch den Neubau zweier Gleise in östlicher Parallellage zu den bestehenden Strecken 3683 und 3520. Die neuen Gleise bilden die unmittelbare Verlängerung der heute im Bf Sportfeld endenden Strecke 4010.

Da das Streckengleis 3624 künftig südlich des Bf Niederrad höhenfrei in die Strecke 3520 einmünden soll, muss dieses Gleis neben den neu zu errichtenden Gleisen der Strecke 3657 auch das östliche Gleis der Strecke 3520 höhenfrei queren. Dazu ist neben der Errichtung eines Kreuzungsbauwerks südlich der Golfstraße auch die lage- und höhenmäßige Anpassung dieses Gleises erforderlich. Nördlich des Kreuzungsbauwerks verläuft das überführte Gleis der Strecke 3624 künftig auf einer Rampe zwischen den Streckengleisen der Strecke 3520, um unmittelbar südlich des Bf Niederrad anzuschließen. Da die bestehenden Gleise der Strecke 3624 im Bereich Bf Niederrad zukünftig für diese Strecke nicht mehr benötigt werden, ist für die Strecke 3657 auf einem Abschnitt von etwa 300 m Länge kein Neubau von Gleisen erforderlich, da hier die vorhandenen Gleise der Strecke 3624 in die neue Strecke integriert werden können.

Nördlich hiervon verlaufen die neuen Gleise weiter in unmittelbarer Parallellage östlich der Strecken 3683 und 3520, überqueren den Main auf einer neu zu errichtenden Brücke und schwenken anschließend parallel zur Strecke 3620 in einem Rechtsbogen nach Osten in Richtung Frankfurt (Main) Hbf, um im Bereich des Abzweigs Gutleuthof in die Strecke 3620 einzumünden.

Durch die beschriebenen Ausbaumaßnahmen wird nicht nur die derzeit inhomogene Auslastung des Knotens Frankfurt (Main)-Sportfeld angeglichen, zugleich wird durch die Neuordnung der Fahrwege bzw. die Optimierung der Gleisanlagen eine weitgehende Trennung der Verkehrsströme erreicht.

5.2 Immissionsschutzrechtliche Einstufung

Im gesamten Untersuchungsraum besteht eine erschütterungstechnische Vorbelastung durch die vorhandenen Strecken 3624, 3520 und 3683. Sofern künftig Erschütterungs- oder sekundäre Luftschallimmissionen zu erwarten sind, die die Beurteilungsanhaltswerte gemäß **DIN 4150-2 /7/** bzw. die Immissionsrichtwerte in Anlehnung an die **24. BImSchV /4/** überschreiten, sind die Belastungen im Planfall der gegebenen Vorbelastung (Prognose-Nullfall) gegenüberzustellen.

Anhand dieses Vergleichs wird dann aufgezeigt, ob der geplante bauliche Umbau der vorhandenen Bahnanlage zu einer „**wesentlichen Änderung**“ führt, das heißt zu einer erheblichen Erhöhung der Immissionen gegenüber der Vorbelastungssituation.

6 Arbeitsgrundsätze und Vorgehensweise

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden zunächst Erschütterungsmessungen /19/ für repräsentative, dem Bauabschnitt nächstgelegene Gebäude mit schutzwürdiger Nutzung durchgeführt. Diese Gebäude befinden sich östlich der bestehenden Bahnanlagen im Abschnitt zwischen Golfstraße und Mainbrücke. Im verbleibenden Einwirkungsbereich weisen die nächstgelegenen Gebäude einen deutlich größeren Abstand zur Trasse oder eine geringere Schutzbedürftigkeit auf. Bei allen ausgewählten Gebäuden handelt es sich um Wohngebäude. Im Einzelnen wurden die Objekte

- ☐ Paul-Gerhardt-Ring 86 (**IP 1**),
- ☐ Paul-Gerhardt-Ring 64 (**IP 2**),
- ☐ Goldsteinstraße 143 (**IP 3**) und
- ☐ Schwanheimer Straße 119 (**IP 4**)

messtechnisch untersucht. Für diese Gebäude ist aufgrund der vorhandenen Bausubstanz sowie aufgrund der künftigen Abstandsverhältnisse zur Trasse und den geplanten Änderungen an den Gleisanlagen ein größtmögliches Konfliktpotential zu erwarten. Im Falle einer Konfliktfreiheit für diese „kritischen Immissionsorte“ kann davon ausgegangen werden, dass auch an der übrigen Bebauung im Einwirkungsbereich der Bahnanlage keine erheblichen Belästigungen durch Erschütterungen zu erwarten sind. Eine Darstellung der bestehenden Gleisanlage, der geplanten Baumaßnahmen sowie der vorgenannten schutzbedürftigen Gebäude ist **Anhang 1** zu entnehmen.

Die Erschütterungsmessungen dienen ausschließlich der Erhebung von bauphysikalischen Kenndaten der exemplarischen Gebäude. Die durch den derzeitigen Schienenverkehr auf der bestehenden Bahnanlage (Strecke 3683, 3520 und 3624) messtechnisch erhobenen Immissionen werden im Messbericht /19/ nachrichtlich dargestellt und für die Prognoseberechnungen nicht als Vorbelastung berücksichtigt, da die Messergebnisse nicht repräsentativ sind. Unter anderem waren während des Messzeitraums die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten der messtechnisch erfassten Fahrzeuge deutlich geringer als die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit. Des Weiteren konnten nicht alle Züge eindeutig den einzelnen Gleisen zugeordnet werden.

Im vorliegenden Fall wird der Sachverhalt der „**wesentlichen Änderung**“ überprüft, das heißt es werden die künftig zu erwartenden Immissionen nach Realisierung der Baumaßnahme mit der Vorbelastung ohne Baumaßnahme verglichen. Daher ist es nicht sinnvoll und systemkonform,

die Messwerte mit den Prognosewerten zu vergleichen, zumal die Prognose immer im Sinne einer oberen Abschätzung erstellt wird und mit einer Fehlerbandbreite von bis zu 50 % behaftet sein kann. Hierdurch würde eine systembedingte unrealistische Veränderung der künftig zu erwartenden Immissionen gegenüber der Vorbelastung ausgewiesen werden.

Daher wird im vorliegenden Fall ein Prognosemodell für den **Prognose-Nullfall** (PNF), das heißt ohne Berücksichtigung der Baumaßnahme, und für den **Prognose-Planfall** (PPF) nach Realisierung der Baumaßnahme erstellt. Die für den Prognose-Nullfall ausgewiesenen Ergebnisse werden dann als Vorbelastung berücksichtigt. Anhand des Vergleiches der Immissionen im Prognose-Planfall mit denen im Prognose-Nullfall wird geprüft, ob sich durch die Baumaßnahme eine „**wesentliche Erhöhung**“ ergeben kann und ob hierdurch ein Anspruch auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen ausgelöst wird.

In beiden betrachteten Fällen wird das für das Jahr 2030 prognostizierte Betriebsprogramm der einzelnen Strecken herangezogen /13/.

6.1 Immissionsprognose

Bei der Prognose der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall für schutzwürdige Räume eines Gebäudes wird von der in **Abbildung 1** skizzierten Übertragungskette ausgegangen.

Diese berücksichtigt neben den erschütterungstechnischen Quellstärken (Emissionen) und der Ausbreitung der Schwingungen im Untergrund (Transmission T_1) das Schwingungsverhalten, der zu untersuchenden Gebäude (Transmission T_2 und T_3). Die dargestellten Übertragungswege werden separat ermittelt und dann zu einer Gesamtübertragungsfunktion überlagert. Da die Übertragungsfunktionen zum Teil stark frequenzabhängig sind, ist für die Prognose ein Berechnungsverfahren anzuwenden, das die spektrale Zusammensetzung sowohl der Schwingungsemissionen als auch der einzelnen Transferfunktionen berücksichtigt. Die spektrale Auflösung erfolgt hierbei in Form von Terzbändern im Bereich von 4 Hz bis 315 Hz.

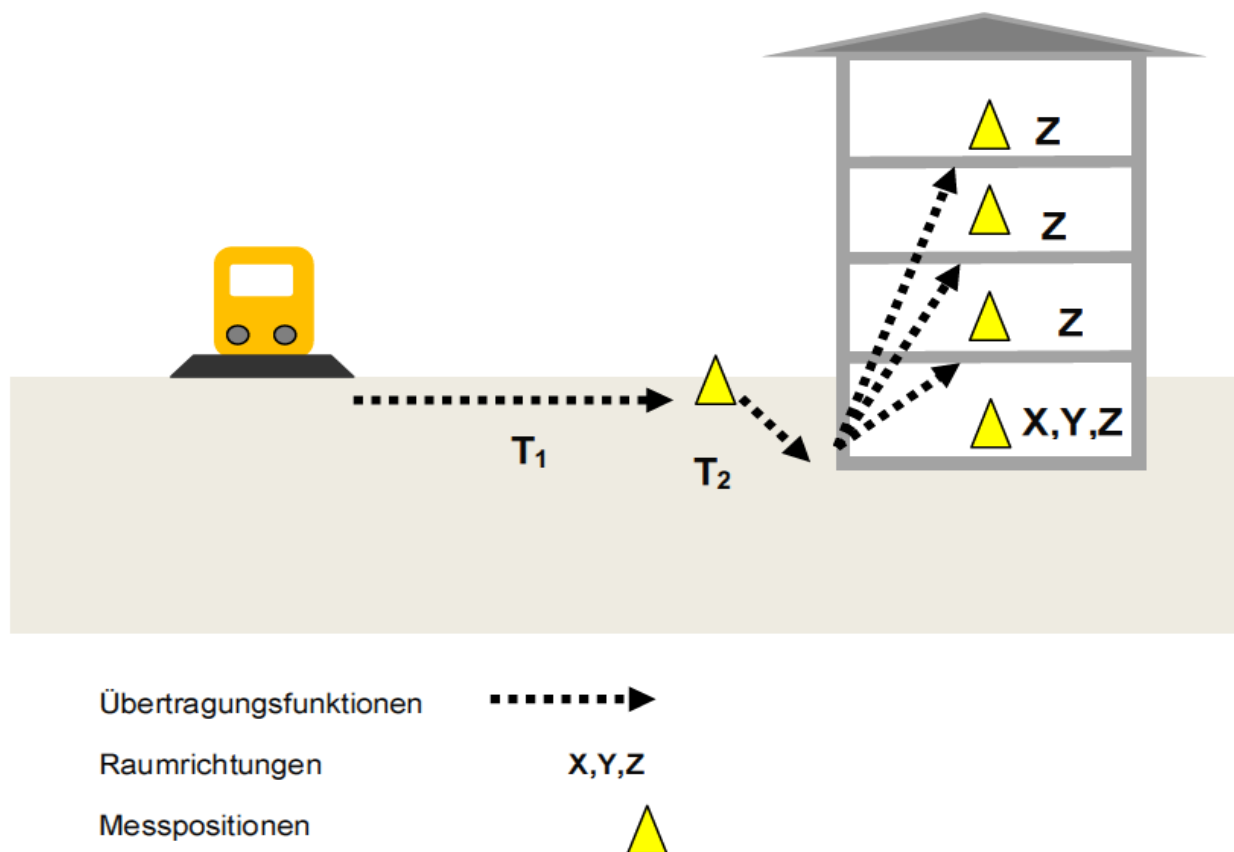


Abbildung 1: Übertragung von Erschütterungen

Die der Prognose zu Grunde gelegten Komponenten werden im Folgenden beschrieben.

6.1.1 Emissionen

Bei oberirdischen Schienenverkehrswegen wird die **Emission** (Quellstärke) durch die in einem festgelegten Abstand zur Gleisachse im Erdboden gemessenen Schwingstärken charakterisiert. Die Auswahl geeigneter Emissionen für die Erstellung der Erschütterungsprognose erfolgt empirisch, indem Emissionsspektren mit vergleichbaren emissionsrelevanten Parametern aus vorliegenden Messergebnissen für bereits gebaute und in Betrieb befindliche Strecken herangezogen werden. Dem Grunde nach ist bei diesem Verfahren das Prinzip der größtmöglichen Annäherung zu praktizieren, wobei vorrangig Fahrzeugtyp, Fahrgeschwindigkeiten und die Oberbauform übereinstimmen sollten. Im Regelfall sind jedoch weitere Korrekturen an den Emissionen auf der Grundlage allgemeiner Erkenntnisse über Erschütterungsemissionen und -immissionen vorzunehmen. Korrekturen sind z. B. zur Berücksichtigung von Geschwindigkeitsdifferenzen erforderlich.

Grundsätzlich gilt bei der Ermittlung des Emissionsansatzes der Grundsatz der oberen Abschätzung. Alle Emissionsansätze sind so zu treffen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit gewährleistet werden kann, dass die nach Inbetriebnahme tatsächlich auftretenden Immissionen an betroffenen Gebäuden geringer sein werden als die prognostizierten Einwirkungen.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden Emissionsspektren zu Grunde gelegt, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen und im Bereich Frankfurt am Main ermittelt wurden. Des Weiteren wurden Korrekturen zur Berücksichtigung von Geschwindigkeitsdifferenzen, der Dammlage und von Weichenbereichen berücksichtigt.

Die für die Prognose herangezogenen Emissionsspektren sind in **Anhang 3.1** bis **Anhang 3.4** in tabellarischer und graphischer Form dokumentiert. Die angewandten Korrekturfunktionen sind in **Anhang 3.5** bis **Anhang 3.7** dargestellt. Die in der Prognose angewandten korrigierten Emissionsspektren sind für die unterschiedlichen Bereiche und Lastfälle in **Anhang 3.8** bis **Anhang 3.17** zusammengefasst.

6.1.2 Transmissionen

Der Übertragungsweg von schienenverkehrsinduzierten Schwingungen auf die für die Beurteilung relevanten Geschossdecken eines Gebäudes wird in einzelne Übertragungsfunktionen (Transferfunktionen) untergliedert:

6.1.2.1 Transferfunktion T_1

Als Transferfunktion T_1 wird die entfernungsbedingte Amplitudenabnahme der Schwingschnelle zwischen Emissionsort und einem Ort im Erdreich unmittelbar vor einem Gebäude bezeichnet. Sie setzt sich aus geometrischer Ausbreitungsdämpfung und frequenzabhängiger Materialdämpfung des Ausbreitungsmediums, das heißt dem Boden, zusammen. Um den Bereich der freien Wellenausbreitung (Fernfeld) von den komplexen Vorgängen in unmittelbarer Nähe der Erschütterungsquellen (Nahfeld) zu trennen, wird ein Bezugsabstand R_1 zur Quellenmitte festgelegt, der den Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld definiert. Im Fernfeld ($R > R_1$) wird die Funktion rechnerisch unter Berücksichtigung der gegebenen Bodenverhältnisse bestimmt:

$$T_1 = \left(\frac{R}{R_1} \right)^{-n} e^{(-\alpha(R-R_1))}$$

mit

- n** Exponent, der von Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingungen abhängt [-],
- α** $\approx 2 \pi D/\lambda$
Abklingkoeffizient [m^{-1}],
- D** Dämpfungsgrad [-],

- λ = c/f
Wellenlänge [m],
 c Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle [m/s],
 f Frequenz [Hz],
 R_1 Bezugsabstand [m],
 R Entfernung des Immissionsortes von der Quelle [m].

Im vorliegenden Fall wird von **1 %** Dämpfung und von der im Planungsbereich typischen Wellenausbreitungsgeschwindigkeit von

$$c = 200 \text{ m/s}$$

ausgegangen. Der Exponent für den als Linienquelle zu betrachtenden oberirdischen Schienenverkehr liegt gemäß **DIN 4150-1** /6/ zwischen **0,3** und **0,5**. Im Sinne einer oberen Abschätzung wird dieser Exponent im Streckenabschnitt ohne Weichenbereich mit

$$n = 0,3$$

berücksichtigt. Für die Streckenabschnitte mit Weichenbereichen wird gemäß **DIN 4150-1** ein Exponent für die Punktquelle von

$$n = 1,0$$

berücksichtigt.

6.1.2.2 Transferfunktion T_2

Die Transferfunktion T_2 beschreibt das Übertragungsverhalten vom Boden auf das Gebäudefundament. Sie unterliegt selbst bei verschiedenen Gebäudetypen relativ geringen Schwankungen und weist keine ausgeprägte spektrale Abhängigkeit auf. Erschütterungen werden umso leichter auf ein Gebäude übertragen, je geringer die Gebäudemasse ist.

Eine messtechnische Ermittlung des Übertragungsverhaltens vom Boden auf das Fundament war im vorliegenden Fall nicht möglich. Daher wurde die Transferfunktion T_2 aus Messungen an vergleichbaren Gebäudetypen /12/ übernommen. Eine grafische und tabellarische Darstellung findet sich in **Anhang 4**.

6.1.2.3 Transferfunktion T_3

Die Transferfunktion T_3 beschreibt das Übertragungsverhalten innerhalb des Gebäudes vom Fundament auf die Geschossdecken schutzwürdiger Räume. Für die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen im Hinblick auf die Störwirkung von Menschen beim Aufenthalt in Gebäuden

sind die Schwingungseinwirkungen in der Raummitte maßgebend. Die Transferfunktion 3 kennzeichnet im Wesentlichen das Resonanzverhalten einer Decke und weist neben starken spektralen Abhängigkeiten ausgeprägte Maxima im Bereich der Deckeneigenfrequenz auf. Sie ist in hohem Maße gebäudeabhängig und kann stark variieren. Ursächlich hierfür sind vor allem Spannweiten und Konstruktionsweise der Decken.

Da die Transferfunktion T_3 maßgebend Einfluss auf das Prognoseergebnis nimmt, werden diese Übertragungsfunktionen an den repräsentativen Gebäuden aus den Ergebnissen der Erschütterungsmessungen ermittelt. Hierzu wurden für jeweils 3 Geschossdecken der untersuchten Gebäude die Biegeeigenfrequenzen der Geschossdecken messtechnisch bestimmt. In jeweils 3 Räumen wurde das Übertragungsverhalten der Gebäude vom **Fundament** auf die **Geschossdecken** der Gebäude bei Zugvorbeifahrten auf den bestehenden Strecken bestimmt.

Eine detaillierte Beschreibung der durchgeführten Erschütterungsmessungen zur Erhebung der bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäude und eine grafische Darstellung der für das Prognosemodell berücksichtigten T_3 -Funktionen findet sich im Messbericht /19/.

6.1.3 Immissionen

6.1.3.1 Erschütterungen

Als Erschütterungsimmissionen werden die bauwerksbezogenen, gemäß **DIN 4150-2** in der Mitte von Räumen ermittelten KB-bewerteten Schwingstärken bezeichnet. Die KB-Bewertung ist eine frequenzbezogene Bezugsbewertungskurve für Erschütterungssignale. Sie wird herangezogen für die Bewertung bei nicht vorgegebener Körperhaltung und setzt sich zusammen aus Elementen der Bewertung von Einwirkungen im Stehen und Sitzen (vgl. **DIN 45669-1** /8/).

Als maßgebende Beurteilungsgröße gemäß **DIN 4150-2** wird die Beurteilungsschwingstärke **KB_{FT}** ausgewiesen und beurteilt. Da hier die Schwingstärke der Vertikalkomponente (Z-Richtung) die der Horizontalkomponenten (X-, Y-Richtung) übersteigt, wird die Untersuchung ausschließlich für die Vertikalkomponenten der Erschütterungsimmissionen durchgeführt.

6.1.3.2 Sekundärer Luftschall

Im vorliegenden Fall wurde zur Bestimmung des Beurteilungspegels für den sekundären Luftschall die Richtlinie 820.2050 der DB AG /11/ herangezogen. Die Berechnung des A-bewerteten sekundären Luftschallpegels erfolgt nach den Gesamtpegel-Korrelationsbeziehungen. Hierin wird ein linearer Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten Schwinggeschwindigkeitspegel und dem sekundären Luftschallpegel genannt. Die Abhängigkeiten wurden dabei für verschiedene Deckenkonstruktionsformen (Stahlbetondecken, Holzbalkendecken) beschrieben. Demnach kann zur Ermittlung der Einwirkungen aus sekundärem Luftschall, hervorgerufen durch

schienengebundenen Personen- und Güterverkehr, in erster Näherung folgende Beziehung herangezogen werden:

$$L_{\text{sek,A}} = 15,75 + 0,60 \cdot L_{\text{v,A}} \quad [\text{dB(A)}] \text{ bei Stahlbetondecken}$$

$$L_{\text{sek,A}} = 19,88 + 0,47 \cdot L_{\text{v,A}} \quad [\text{dB(A)}] \text{ bei Holzbalkendecken,}$$

mit

$L_{\text{sek,A}}$ A-bewerteter sekundärer Luftschallpegel [dB(A)],

$L_{\text{v,A}}$ A-bewerteter Gesamt-Schwinggeschwindigkeitspegel [dB(A)]

Der Auswertebereich wird bei der Einzelmethode bis 100 Hz beschränkt, da erfahrungsgemäß oberhalb von 80 Hz keine pegelbestimmenden Anteile im Spektrum des sekundären Luftschallpegels vorhanden sind.

6.2 Betriebsparameter

Für die Ermittlung der Beurteilungsschwingstärken ist die Kenntnis der Intensität von Schwingungsimmissionen sowie deren Einwirkdauer erforderlich. Die Intensität am Einwirkungsort wird maßgeblich durch die fahrzeugspezifische Emission sowie die gelände- und gebäudespezifische Übertragung geprägt. Hinsichtlich der Erschütterungen ist bei der Ermittlung der Einwirkdauer das 30-Sekunden-Taktverfahren gemäß **DIN 4150-2** zu beachten.

Für die vorliegende Untersuchung wurde der **Prognosehorizont 2030** für den Prognose-Nullfall (ohne Baumaßnahme) und den Prognose-Planfall (mit Baumaßnahme) berücksichtigt /14/. Eine Zusammenfassung der relevanten Verkehrsdaten für den für den Prognose-Nullfall (**PNF**) und den Prognose-Planfall (**PPF**) findet sich in **Anhang 2**.

In Anbetracht des Sachverhaltes, dass die maximale Streckengeschwindigkeit für Strecke 3624

$$v_{\text{max}} = 80 \text{ km/h}$$

beträgt, ist die geometrische Vorbeifahrtzeit von Güterzügen auf der Strecke 3624 im vorliegenden Fall größer als 30 Sekunden. Dementsprechend ist es hier erforderlich, zur Berücksichtigung der Einwirkung durch Erschütterungen pro Vorbeifahrt eines Güterzuges zwei Takte einzusetzen.

Die Einwirkzeit des sekundären Luftschalls, jeweils bezogen auf den Beurteilungszeitraum Tag (06.00 Uhr bis 22.00 Uhr) bzw. Nacht (22.00 Uhr bis 06.00 Uhr), ergibt sich aus der Gesamtzahl der in dem betreffenden Streckenabschnitt innerhalb des Beurteilungszeitraumes verkehrenden Schienenfahrzeuge und deren geschwindigkeitsabhängiger Vorbeifahrtzeit. Um zu berücksichtigen, dass Fahrzeuge bereits vor und auch nach der Vorbeifahrt wahrgenommen werden können,

wird bei der Bestimmung der signifikanten Einwirkungszeit einer Zugvorbeifahrt mit der 1,5-fachen Zuglänge gerechnet. Die Einwirkungszeit **T_e** einer Zugvorbeifahrt beträgt dabei

$$T_e = 1,5 \cdot \text{Zuglänge} \cdot 3,6 / v_{\max}$$

mit

v_{max} zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit [km/h].

Die Einwirkungszeiten sind ebenfalls in **Anhang 2** dokumentiert.

7 Untersuchungsergebnisse

Zur Beurteilung der Fragestellung, ob schienenverkehrsinduzierte Erschütterungsimmissionen bzw. sekundäre Luftschallimmissionen im Bereich der vorhandenen bzw. geplanten Bahnanlage imstande sind, erhebliche Belästigungen von Menschen in Gebäuden hervorzurufen, werden vier repräsentative, den Gleisachsen nächstgelegene Gebäude untersucht. Alle untersuchten Gebäude befinden sich östlich der Bahnanlage im Abschnitt zwischen Golfstraße und Mainbrücke. Die Trasse verläuft dort in Dammlage. In Höhe der Immissionsorte Paul-Gerhardt-Ringe 64 (**IP 2**) und Schwanheimer Straße 119 (**IP 4**) sind im Prognose-Nullfall Weichen vorhanden. Im Prognose-Planfall entfällt die Weiche bei **IP 2**. Im Bereich der Strecke 3520, gegenüber vom Immissionsort Paul-Gerhardt-Ringe 86 (**IP 1**) ist hingegen eine Weiche im Prognose-Planfall geplant.

Die untersuchten repräsentativen Gebäude weisen im Nullfall Abstände zur jeweils nächstgelegenen Gleisachse von

$$r = 15,0 \text{ m} \dots 49,0 \text{ m}$$

auf. Künftig werden die Abstände zur nächstgelegenen Gleisachse infolge der beiden neuen in Teilbereichen östlich angebauten Gleise der Strecke 3657 reduziert. Im Prognose-Planfall ergeben sich Abstände von

$$r = 9,0 \text{ m} \dots 35,5 \text{ m}.$$

Die Ergebnisse der Immissionsprognosen für Erschütterungen und sekundären Luftschall im Null- und Planfall sind in **Anhang 5.1** und **Anhang 5.2** tabellarisch dokumentiert.

Die Immissionen werden für alle untersuchten Räume getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum ausgewiesen und beurteilt. **Grün** hinterlegte Felder bedeuten, dass die jeweils gültigen Anforderungen an den Immissionsschutz erfüllt werden. Bei **rot** hinterlegten Feldern sind die Anforder-

rungen nicht erfüllt. Sind Felder **gelb** gekennzeichnet, so sind weitere Beurteilungsschritte erforderlich. Sofern die prognostizierten betriebsbedingten Immissionen das Erfordernis von Vorsorgemaßnahmen ausweisen, werden diese anschließend diskutiert.

7.1 Prognose-Nullfall

7.1.1 Erschütterungen

Die Erschütterungsimmissionen für den Nullfall sind in **Anhang 5.1** dargestellt. In der Tabelle des Anhangs werden die maximalen bewerteten Schwingstärken **KB_{Fmax}** ausgewiesen. Es ergeben sich Schwingstärken für die untersuchten Gebäude im Bereich von bis zu

- ☐ **KB_{Fmax} = 0,148** für Paul-Gerhardt-Ring 86 (**IP 1**),
- ☐ **KB_{Fmax} = 0,180** für Paul-Gerhardt-Ring 64 (**IP 2**),
- ☐ **KB_{Fmax} = 0,475** für Goldsteinstraße 143 (**IP 3**),
- ☐ **KB_{Fmax} = 0,055** für Schwanheimer Straße 119 (**IP 4**).

Im Untersuchungsbereich besteht nur für das Gebäude Goldsteinstraße 143 (**IP 3**) ein rechtskräftiger Bebauungsplan /16/, der dort ein Mischgebiet (**MI**) ausweist. Für die restlichen Immissionsorte erfolgt die Gebietseinstufung nach der tatsächlichen Nutzung und in Anlehnung an den Flächennutzungsplan /17/. Die Art der baulichen Nutzung im Bereich Paul-Gerhardt-Ring 86 und 64 (**IP 1** und **IP 2**) entspricht demgemäß einem Allgemeinen Wohngebiet (**WA**), für das Gebäude Schwanheimer Straße 119 (**IP 4**) einem Mischgebiet.

Es gelten somit folgende unteren Anhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** für den Tag- bzw. Nachtzeitraum:

$$A_u (\text{WA}) = 0,150 / 0,100,$$

$$A_u (\text{MI}) = 0,200 / 0,150.$$

Die Ergebnisse belegen, dass die unteren Anhaltswerte für den Tag- bzw. Nachtzeitraum in nahezu allen Räumen der exemplarischen Gebäude **IP 1** bis **IP 3** überschritten werden. Zur Beurteilung der Erschütterungsimmissionen wird gemäß **DIN 4150-2** daher die Bildung der Beurteilungsschwingstärke **KB_{FTr}**, als 2. Beurteilungsschritt erforderlich. Die Schwingstärken liegen im gerade bis gut spürbaren Bereich des menschlichen Empfindens. An **IP 4** hingegen werden die heranzuziehenden Anhaltswerte eingehalten. Hier werden die Anforderungen der **DIN 4150-2** bereits im 1. Beurteilungsschritt eingehalten. Die Darstellung der **KB_{FTr}**-Werte erfolgt daher rein informativ.

In der Tabelle von **Anhang 5.1** sind zusätzlich die prognostizierten Beurteilungsschwingstärken (**KB_{FTr}**) zusammengefasst. Für den Nullfall ergeben sich maximale Schwingungsimmisionen von

- ☐ **KB_{FTr} = 0,022 / 0,024** für Paul-Gerhardt-Ring 86 (**IP 1**),
- ☐ **KB_{FTr} = 0,026 / 0,028** für Paul-Gerhardt-Ring 64 (**IP 2**),
- ☐ **KB_{FTr} = 0,091 / 0,083** für Goldsteinstraße 143 (**IP 3**),
- ☐ **KB_{FTr} = 0,000 / 0,000** für Schwanheimer Straße 119 (**IP 4**)

für den Tag- bzw. Nachtzeitraum. Gemäß **DIN 4150-2** gelten die Beurteilungsanhaltswerte von

$$\begin{aligned} A_r (WA) &= 0,070 / 0,050, \\ A_r (MI) &= 0,100 / 0,070. \end{aligned}$$

Demnach werden die Beurteilungsanhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** im Nullfall im Gebäude Goldsteinstraße 143 (**IP 3**) überschritten. Es ergeben sich maximale Ausschöpfungen der Beurteilungsanhaltswerte im Tag- bzw. Nachtzeitraum an dem Immissionsort von

$$p_{\text{Tag/Nacht}} \leq 91 \% / 118 \%.$$

Es sind somit bereits infolge der Vorbelastung erhebliche Belästigungen im Sinne der **DIN 4150-2** vorhanden.

7.1.2 Sekundärer Luftschall

Die Ergebnisse der sekundären Luftschallimmissionen sind ebenfalls in **Anhang 5.1** dargestellt. Für den Nullfall werden Beurteilungspegel in den Innenräumen der untersuchten Gebäude von bis zu

- ☐ **L_{r,Tag/Nacht} = 11,3 / 11,3 dB(A)** für Paul-Gerhardt-Ring 86 (**IP 1**),
- ☐ **L_{r,Tag/Nacht} = 18,8 / 18,9 dB(A)** für Paul-Gerhardt-Ring 64 (**IP 2**),
- ☐ **L_{r,Tag/Nacht} = 16,7 / 16,3 dB(A)** für Goldsteinstraße 143 (**IP 3**),
- ☐ **L_{r,Tag/Nacht} = 6,4 / 6,0 dB(A)** für Schwanheimer Straße 119 (**IP 4**)

für den Tag- bzw. Nachtzeitraum prognostiziert. Zur Beurteilung der sekundären Luftschallimmissionen werden für die untersuchten Wohngebäude tagsüber die Richtwerte für Wohnräume und nachts die Richtwerte für Schlafräume von

$$IRW_{\text{Tag/Nacht}} = 40 / 30 \text{ dB(A)}$$

zu Grunde gelegt.

Somit werden die in Anlehnung an die **24. BImSchV** abgeleiteten Immissionsrichtwerte für den Tag- bzw. Nachtzeitraum an allen messtechnisch untersuchten Gebäuden im Nullfall eingehalten. Demzufolge sind erhebliche Belästigungen infolge sekundärer Luftschallimmissionen durch die bestehende Bahnstrecke nicht gegeben.

7.2 Prognose-Planfall

7.2.1 Erschütterungen

In **Anhang 5.2** sind die prognostizierten Erschütterungsimmissionen für den Planfall dargestellt. In der Tabelle des Anhangs werden die maximalen bewerteten Schwingstärken **KB_{Fmax}** ausgewiesen. Künftig ergeben sich maximale bewertete Schwingstärken von bis zu

- ☐ **KB_{Fmax} = 0,118** für Paul-Gerhardt-Ring 86 (**IP 1**),
- ☐ **KB_{Fmax} = 0,155** für Paul-Gerhardt-Ring 64 (**IP 2**),
- ☐ **KB_{Fmax} = 0,479** für Goldsteinstraße 143 (**IP 3**),
- ☐ **KB_{Fmax} = 0,070** für Schwanheimer Straße 119 (**IP 4**).

Die unteren Anhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** werden – wie bereits im Prognose-Nullfall – in 3 Gebäuden überschritten. Zur weiteren Beurteilung der Einwirkungen wird die Bildung der Beurteilungsschwingstärke erforderlich. Im Gebäude Schwanheimer Straße 119 werden die Anforderungen gleichfalls bereits im 1. Beurteilungsschritt eingehalten.

In **Anhang 5.2** sind die prognostizierten Beurteilungsschwingstärken ebenfalls zusammengefasst. Die Schwingungsimmissionen erreichen demnach im Planfall Beurteilungsschwingstärken tagsüber bzw. nachts von

- ☐ **KB_{FTr} = 0,014 / 0,015** für Paul-Gerhardt-Ring 86 (**IP 1**),
- ☐ **KB_{FTr} = 0,023 / 0,024** für Paul-Gerhardt-Ring 64 (**IP 2**),
- ☐ **KB_{FTr} = 0,123 / 0,088** für Goldsteinstraße 143 (**IP 3**),
- ☐ **KB_{FTr} = 0,000 / 0,000** für Schwanheimer Straße 119 (**IP 4**)

Es zeigt sich, dass bei **IP 1** und **IP 2** die **KB_{Fmax}**-Werte im Planfall gegenüber denen des Nullfalls geringer werden. Hier liefert der Güterverkehr auf der Strecke 3520 den höchsten Pegel. Im Planfall rückt die Strecke 3520 gegenüber der Lage im Nullfall deutlich ab. Zusätzlich entfällt im Planfall der Weichenbereich bei **IP 2**. Hierdurch resultieren geringere maximale bewertete Schwingstärken. Bei **IP 3** und **IP 4** ist ebenfalls der Güterverkehr auf der Strecke 3520 pegelbestimmend. Die Gleislage der Strecken 3520 und 3683 bleibt im Nullfall und Planfall gleich. Die Strecke 3657 rückt hingegen deutlich zu den Gebäuden hin. Somit erhöhen sich die **KB_{Fmax}**-Werte an **IP 3**.

Demnach können die Beurteilungsanhaltswerte gemäß **DIN 4150-2** – wie im Nullfall bereits ausgewiesen – auch im Planfall bei **IP 3** nicht eingehalten werden. Es ergeben sich maximale Ausschöpfungen der Beurteilungsanhaltswerte im Tag- bzw. Nachtzeitraum an dem Immissionsort von

$$p_{\text{Tag/Nacht}} \leq 123 \% / 126 \%$$

Eine Prüfung, ob sich die Erschütterungsimmissionen infolge der neu zu bauenden Gleises so weit erhöhen, dass der Sachverhalt einer „**wesentlichen Änderung**“ gegeben ist, wird hier somit erforderlich.

Es ist festzustellen, dass die Beurteilungsschwingstärken gegenüber den in **Abschnitt 7.1.1** für den Nullfall genannten Werten in den verschiedenen Gebäuden und Beurteilungszeiträumen teilweise sinken aber auch zum Teil ansteigen.

Bei **IP1** erhöht sich im Planfall der Anteil der Personenfernverkehrszüge aufgrund der neuen Strecke 3657 deutlich gegenüber dem des Nullfalls. Gleichzeitig rücken jedoch die Gleise der Strecke 3624 und 3520 von dem Immissionsort weg.

An **IP 2** ist im Nullfall der Güterverkehr auf den Streckengleisen 3520 und 3624 pegelbestimmend. Im Planfall rücken die Streckengleise 3657 an die schutzwürdige Bebauung deutlich heran. Dort verkehrt künftig eine große Anzahl von Personenfernverkehrszügen (ICE) im Tagzeitraum, die dann gegenüber dem abrückenden Güterverkehr auf den Streckengleisen 3624, 3520 einen maßgeblichen Anteil der Gesamtimmission darstellen. Der Wegfall von Weichen führt jedoch zur Minderungen der **KB_{FTr}**-Werten.

Bei **IP 3** ist im Nullfall ebenfalls der Güterverkehr auf den Strecken 3624 und 3520 maßgebend. Im Planfall mündet das Streckengleis 3624 bereits bei km 33,4 in die Strecke 3520. Der Güterverkehr von Strecke 3624 fährt dann bereits ab der Einbindung in 3520 mit höheren Geschwindigkeiten. Die Streckengleise 3657 rücken jedoch deutlich an das Gebäude heran. Daraus resultiert insgesamt eine Erhöhung der Immissionen.

Bei **IP4** verschieben sich im Planfall die neuen nächstgelegenen Gleise der Strecke 3657 in Richtung des Gebäudes. Auf diesen Gleisen verkehren ausschließlich InterCityExpress (ICE). Die Lage der Gleise der Strecken 3520 und 3684 bleibt im Nullfall und Planfall unverändert. Die Gesamtimmission wird vorrangig durch den Personenfernverkehr auf der Strecke 3657 bestimmt. Sowohl im Nullfall als auch im Planfall bleiben jedoch die ermittelten Immissionen unterhalb der Fühlschwelle.

7.2.2 Sekundärer Luftschall

Die Ergebnisse zu sekundären Luftschallimmissionen im Prognose-Planfall sind in **Anhang 5.2** dargestellt. In den untersuchten Gebäuden ergeben sich Beurteilungspegel bis zu

- $L_{r,Tag/Nacht} = 13,8 / 11,9 \text{ dB(A)}$ für Paul-Gerhardt-Ring 86 (**IP 1**),
- $L_{r,Tag/Nacht} = 18,3 / 16,3 \text{ dB(A)}$ für Paul-Gerhardt-Ring 64 (**IP 2**),
- $L_{r,Tag/Nacht} = 19,1 / 16,0 \text{ dB(A)}$ für Goldsteinstraße 143 (**IP 3**),
- $L_{r,Tag/Nacht} = 12,8 / 7,6 \text{ dB(A)}$ für Schwanheimer Straße 119 (**IP 4**)

für den Tag- bzw. Nachtzeitraum.

Somit werden die in Anlehnung an die **24. BImSchV** abgeleiteten Immissionsrichtwerte für den Tag- bzw. Nachtzeitraum an allen messtechnisch untersuchten Gebäuden im Planfall eingehalten. Demzufolge sind erhebliche Belästigungen infolge sekundärer Luftschallimmissionen durch die bestehende Bahnstrecke nicht gegeben. Deshalb wird hinsichtlich der sekundären Luftschallimmissionen die Prüfung auf „**wesentliche Änderung**“ nicht erforderlich.

Für den sekundären Luftschall zeigt sich am Tag für die Immissionsorte **IP 1**, **IP 2** und **IP 4** eine Erhöhung der Beurteilungspegel im Planfall. Dies erklärt sich mit dem für den sekundären Luftschall maßgebenden Anteil der ICE-Fahrzeuge auf den nächstgelegenen Gleisen der Strecke 3657. Im Nachtzeitraum hingegen ergibt sich bei den Immissionsorten **IP 2** bis **IP 4** eine Reduzierung der Pegel, bei **IP 1** eine geringfügige Erhöhung der Pegel.

7.3 Prüfung auf wesentliche Änderung

Im Zusammenhang mit dem geplanten 6-gleisigen Ausbau der bestehenden Bahnanlage ist durch das Heranrücken der Gleise (Strecke 3657) an die östlich der Trasse gelegene Bebauung zunächst eine Erhöhung der Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen an nahegelegenen Gebäuden im Einwirkungsbereich der Baumaßnahme zu erwarten.

Die Prognoseberechnungen zu Null- und Planfall belegen, dass in 1 der 4 exemplarischen Gebäude die Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in beiden Lastfällen überschritten werden. Die in Anlehnung an die **24. BImSchV** einzuhaltenden Richtwerte für den Beurteilungspegel werden sowohl im Nullfall als auch im Planfall an allen Immissionsorten unterschritten.

Hinsichtlich der Erschütterungsimmissionen sind Vorsorgemaßnahmen in Betracht zu ziehen, wenn der Sachverhalt einer „**wesentlichen Änderung**“ zu erwarten ist, das heißt eine Erhöhung der Beurteilungsschwingstärken um mindestens 25 % **und** ebenfalls eine Überschreitung des Anhaltswertes für den Prognose-Planfall. Gemäß der tabellarischen Darstellung in **Anhang 5.3**

ergeben sich maximale Erhöhungen für das Gebäude Goldsteinstraße 143 (**IP 3**) am Tag bzw. in der Nacht um

$$\Delta K_{B_{Tr}} = 65 \% / 14 \%$$

Diese Ergebnisse für das exemplarisch untersuchte Gebäude **IP 3** können aufgrund der vorhandenen Bausubstanzen auf die umliegende Bebauung im jeweiligen Einwirkungsbereich übertragen werden. Ein Anspruch auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen infolge der erwartenden Erschütterungsimmissionen besteht somit in diesem Teilbereich.

Die Änderung der Beurteilungspegel des sekundären Luftschalls im Prognose-Planfalls gegenüber dem Prognose-Nullfall ist ebenfalls in **Anhang 5.3** dokumentiert. Im Tag- bzw. im Nachtzeitraum werden maximale Pegelerhöhungen um

$$\Delta L_r = + 6,4 \text{ dB(A)} / + 1,7 \text{ dB(A)}$$

ausgewiesen. Eine wesentliche Erhöhung um mindestens 2,1 dB(A) bei gleichzeitiger Immissionsrichtwertüberschreitung ist jedoch an keinem der untersuchten Objekte gegeben. Somit besteht aufgrund der sekundären Luftschallimmissionen kein Anspruch auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen.

7.4 Extrapolation der Untersuchungsergebnisse

Die Prognose der künftigen Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall infolge des Schienenverkehrs erfolgte für vier exemplarische Gebäude, für die aufgrund ihres Abstandes zur Trasse und ihrer Bausubstanz das größtmögliche Konfliktpotential zu erwarten ist. Die Untersuchungsergebnisse für die exemplarischen Gebäude lassen sich auf die Gesamtheit aller im Einwirkungsbereich der geplanten Baumaßnahme liegenden Gebäude extrapolieren.

Eine wesentliche Erhöhung der Erschütterungsimmissionen kann im Bereich der EÜ Goldstein für 4 weitere Wohngebäude nicht ausgeschlossen werden. Alle weiteren Gebäude im Bereich der EÜ weisen einen größeren Abstand zur Trasse auf. Die Gebäude sind in den Lageplänen in **Anhang 1** gekennzeichnet.

Ein Anspruch auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen besteht somit nach der aktuellen Rechtslage in einem Teilbereich des Untersuchungsbereiches.

7.5 Dimensionierung von Vorsorgemaßnahmen

7.5.1 Grundsätzlich mögliche Maßnahmen

Grundsätzlich können Maßnahmen zum Erschütterungsschutz an Bahnstrecken in drei Gruppen untergliedert werden:

- ☐ Maßnahmen an der Quelle,
- ☐ Maßnahmen im Ausbreitungsweg,
- ☐ Maßnahmen am Immissionsort.

Maßnahmen an der Quelle beziehen sich auf den Oberbau und zielen darauf ab, die erschütterungstechnische Quellstärke (Emission) im Zusammenwirken Fahrzeug-Fahrweg zu reduzieren. Maßnahmen im Ausbreitungsweg sollen zu einer „Abschirmung“ einer Erschütterungsquelle führen. Bei Maßnahmen am Immissionsort handelt es sich ebenfalls um abschirmende Maßnahmen. Allerdings wird hierbei nicht die Quelle, sondern der Immissionsort selbst, das heißt entweder das gesamte Gebäude oder ein Teil des Gebäudes durch elastische Lagerungen abgeschirmt. Im Folgenden wird auf die einzelnen, grundsätzlich möglichen Maßnahmen näher eingegangen.

7.5.2 Maßnahmen an der Quelle

7.5.2.1 Masse-Feder-Systeme

Zur Emissionsminderung im Gleisbereich können elastisch gelagerte Gleistragplatten, so genannte **Masse-Feder-Systeme** eingesetzt werden. Bei entsprechender Auslegung der Federelemente und bei einem hinreichend steifen Untergrund können solche Systeme auf vertikale Oberbaueigenfrequenzen von deutlich unter 10 Hz abgestimmt werden. Mit dem Einsatz solcher schweren Masse-Feder-Systeme lassen sich die Immissionen aus dem Bahnverkehr in weiten Bereichen erheblich vermindern. In Teilbereichen, in denen sich Gebäudestrukturen mit sehr tiefen Eigenfrequenzen (zum Beispiel weit gespannte Decken mit Eigenfrequenzen von 8 Hz bis 10 Hz) befinden, lassen sich keine signifikanten Minderungen der Erschütterungen erzielen, da die Einfügungsdämmung solcher Masse-Feder-Systeme in dem Frequenzbereich unter Umständen positive Werte erreicht.

Der Einbau von Masse-Feder-Systemen wurde bereits häufig bei unterirdischen Schienenverkehrsanlagen mit großem Erfolg praktiziert. Der Einbau von Systemen mit Einzellagern in einer oberirdischen Strecke ist insoweit nur theoretisch möglich, da die Federelemente auf einem massiven Unterbau zur Erhöhung der Anschlussimpedanzen für die Federelemente des Systems aufgelagert werden müssen. Ferner kann nicht für die Dauer des Lebenszyklus eines solchen

Systems gewährleistet werden, dass die elastisch abgefederte Gleistragplatte stets frei schwingen kann. Durch den Schmutzeintrag durch Oberflächenwasser kann der Hohlraum zwischen Untergrund und schwingender Gleistragplatte verschlossen werden, so dass die Abfederung der Gleistragplatte und somit auch die Einfügungsdämmung nicht mehr gewährleistet ist. Unter anderem hat dieser Sachverhalt dazu geführt, dass schwere Masse-Feder-Systeme im Außenbereich keine Anwendung finden.

Leichte Masse-Feder-Systeme, also Masse-Feder-Systeme, deren vertikale Oberbaueigenfrequenz oberhalb von 10 Hz liegt, können auch im Außenbereich eingesetzt werden, da hier als Federelement flächige Mattenlager zum Einsatz kommen können, die beim Betonieren der Gleistragplatte als verlorene Schalung eingebracht werden. Hier besteht die Gefahr des Verschmutzens und somit auch des Blockierens des Luftspaltes nicht.

7.5.2.2 Unterschottermatten

Bei oberirdischen Vollbahnstrecken wurden Unterschottermatten bisher nur vereinzelt und meist mit geringem Erfolg eingesetzt. Um die Funktionsfähigkeit einer Unterschottermatte zu erhöhen, muss ein möglichst steifer Unterbau vorliegen. Dies kann in Form einer mindestens 40 cm bis 50 cm starken zementverfestigten Tragschicht oder in Form einer Betontragplatte realisiert werden. Bei entsprechend dimensionierten Unterschottermatten können Minderungen im Frequenzbereich ab 50 Hz erreicht werden. Die erreichbare Abstimmfrequenz eines solchen Systems liegt bei ca. 20 Hz bis 30 Hz. Hieraus ergibt sich, dass Unterschottermatten im Bereich tiefer Frequenzen, die im Wesentlichen für die Erschütterungswirkung verantwortlich sind, ein lediglich geringes Minderungspotential bieten. Darüber hinaus können aus dem Einsatz von Unterschottermatten oberbautechnische Probleme resultieren, wie beispielsweise eine Minderung der Gleislagestabilität oder „Schotterfließen“.

7.5.2.3 Optimierter Schotteroberbau (System „BSO“)

Das System „BSO“ verbindet die Vorteile des herkömmlichen Schotteroberbaus mit den Vorteilen der Festen Fahrbahn. Konstruktiv besteht dieses System aus einem Betontrog mit einer Schotterfüllung auf einer Unterschottermatte. Die Unterschottermatte dient in erster Linie zur Reduzierung der Schotterbelastung. Durch den Einsatz geeigneter Unterschottermatten kann eine mittlere Pegelreduzierung der Körperschallemission von ca.

$$\Delta L_v = -3,0 \text{ dB}$$

erreicht werden. Die Einfügungsdämmung des Systems ergibt sich zum einen aus der Wirkung der Unterschottermatte und zum anderen aus der Masse des Betontroges. In der Überlagerung der beiden Effekte ergibt sich eine breitbandige Wirkung, so dass das System gut für den Einsatz an oberirdischen Streckenabschnitten geeignet ist. Wesentliche Nachteile des Systems sind die hohen Kosten und der ggf. erforderliche erhebliche bauliche Eingriff in bestehende Gleisanlagen.

7.5.2.4 Besohlte Schwellen

Eine weitere oberbautechnische Möglichkeit zur Reduzierung der Körperschallemissionen stellen elastische Schwellensole unter Betonschwellen dar, die so genannten „Besohnten Schwellen“. Prinzipiell kann jede Schwellenform mit einer elastischen Sohle ausgerüstet werden. Durch die elastische Schwellenbesohlung wird der harte Kontakt zwischen Betonschwellensole und die Schotterpressung verringert. Die Schwellensole besitzen in der Regel Steifigkeiten von 10 kN/mm bis 80 kN/mm je Stützpunkt. Im erschütterungstechnisch relevanten „tieferen“ Frequenzbereich bis ca. 40 Hz erfolgt jedoch nur eine geringe Minderung der Schwingungsemissionen im Vergleich zu dem Optimalen Schotteroberbau. Ab ca. 40 Hz bewirkt dieses System deutliche Pegelminderungen in den einzelnen Frequenzbändern. Große Vorteile des Schutzsystems sind die relativ geringen Kosten und der einfache Einbau.

7.5.3 Maßnahmen im Ausbreitungsweg

7.5.3.1 Gefüllte Bodenschlitze

Durch Abschirmeinrichtungen im Untergrund (gas- oder elastomergefüllte Schlitzwände) können deutliche Immissionsminderungen im Nahbereich der Abschirmeinrichtung erreicht werden. Aufgrund der großen Wellenlänge von Erschütterungswellen im Untergrund wirkt die Abschirmung jedoch nur kleinräumig. Bei Abständen von mehr als 10 m hinter der Abschirmeinrichtung lässt die Wirkung erheblich nach. Die erzielbare Wirkung solcher Abschirmeinrichtungen hängt darüber hinaus empfindlich von den geologischen Verhältnissen ab. Durch Reflexionen oder Refraktionen an ausgeprägten Schichtgrenzen kann die Wirksamkeit der Maßnahme deutlich verringert werden.

Die Realisierung derartiger Abschirmmaßnahmen ist aufgrund der nötigen Tieferenstreckung der Abschirmung sehr aufwendig. Die erforderliche Tieferenstreckung ist abhängig von der Wellenlänge der zu mindernden Schwingung. Um eine möglichst hohe Abschirmwirkung zu erzielen, muss die Einbautiefe in der Größenordnung der 1- bis 1,5-fachen Wellenlänge liegen. Dies bedeutet, dass bei typischen Bodenverhältnissen zur Minderung von Schwingungen im Frequenzbereich ab 12 Hz bereits Einbautiefen von 10 m bis 15 m nötig sind. Daher ist der Einsatz bautechnisch derart aufwendiger Maßnahmen zur Minderung tieffrequenter Schwingungen technisch wie wirtschaftlich im Regelfall nicht vertretbar. Geeignet ist die Maßnahme ausschließlich zum Schutz besonders exponierter einzelner Gebäude mit hohem Schutzanspruch im unmittelbaren Nahbereich eines Schienenverkehrsweges.

7.5.3.2 Senkrechte Wandelemente im Boden

Die Abschirmwirkung beruht im Wesentlichen auf einer Änderung des Wellenwiderstandes bei Ausbreitung einer Welle im Ausbreitungsmedium. Daher kann eine Abschirmwirkung wie oben beschrieben durch das Einbringen offener oder mit „weichen“ Materialien verfüllten Schlitzen erreicht werden. Eine Abschirmwirkung kann ebenfalls durch massive Wandeinbauten in den

Untergrund (zum Beispiel Bohrpfahlwände) erreicht werden. Genau wie bei den mediumgefüllten Schlitten beschränkt sich die Wirkung derartiger Einbauten auf den unmittelbaren Nahbereich hinter der Abschirmmaßnahme. Die oben getroffenen Aussagen zu den Einbautiefen gelten gleichermaßen für die senkrechten Wandelemente im Boden.

7.5.4 Maßnahmen am Immissionsort

7.5.4.1 Konstruktive Änderung an Gebäuden

Durch Maßnahmen an Deckenbauteilen, wie zum Beispiel Erhöhung der Deckenmassen (Ausbetonieren von Fehlböden) bzw. Versteifung der Decken durch Einziehen zusätzlicher Tragsysteme (Stahlprofile), können die dynamischen Eigenschaften von Deckenaufbauten so verändert werden, dass ungünstige Resonanzkopplungen abgebaut werden. Die Maßnahmen stellen in der Regel einen erheblichen baulichen Eingriff in das Gebäude dar und sind daher lediglich in begründeten Ausnahmefällen zu empfehlen.

7.5.4.2 Elastische Auflagerung von Gebäuden

Im Sinne einer passiven Erschütterungsschutzmaßnahme kann eine nachträgliche elastische Lagerung eines Gebäudes zur Minderung der Erschütterungsimmissionen in diesem Gebäude erfolgen. Prinzipiell ist eine elastische Lagerung von Gebäuden eine wirkungsvolle Maßnahme.

Bei Neuplanungen können derartige Abfederungsmaßnahmen mit vertretbarem technischem und finanziellem Aufwand realisiert werden. Bei einer nachträglichen Auflagerung von Gebäuden sind zahlreiche konstruktive Probleme zu berücksichtigen, auf die an dieser Stelle nicht im Einzelnen eingegangen werden soll. Die nachträgliche Auflagerung von Gebäuden wurde in vielen Fällen zur Sanierung von Gebäuden eingesetzt, zum Beispiel zum Ausgleich unterschiedlicher Setzungen in Bergsenkungsgebieten. Die Auflagerung zur Behebung von Setzungsschäden geht zwar von einer anderen Zielsetzung aus, unterscheidet sich jedoch von einer Auflagerung aus Gründen des Schwingungsschutzes lediglich in der Auswahl der Federkörper.

Besteht eine Eignung des Gebäudes für eine solche nachträgliche Auflagerung, so ist bei entsprechender Auswahl der geeigneten Federkörper eine erhebliche Minderung der Immissionen zu erwarten. Zur Entkopplung des Gebäudes können sowohl Elastomer-Federelemente als auch Stahlfederelemente in Erwägung gezogen werden. Bei Lagerung mit Elastomerelementen sind Abstimmfrequenzen bis herab zu 10 Hz möglich. Mit Stahlfedersystemen lassen sich vertikale Gebäudeeigenfrequenzen von bis zu 4 Hz realisieren. Aufgrund der erheblichen Kosten für eine derartige Maßnahme ist der Aufwand lediglich für besonders exponierte einzelne Objekte angemessen. Der Einsatz solcher Maßnahmen ist daher ausschließlich im Einzelfall sinnvoll.

7.6 Maßnahmen

Als geeignete Vorsorgemaßnahmen kommen im Untersuchungsbereich unter Berücksichtigung aller technischen und wirtschaftlichen Aspekte und unter Beachtung des Grundsatzes einer wirtschaftlichen Angemessenheit generell nur

- ☐ der Einbau besohlter Schwellen oder
- ☐ der Einbau eines Optimierten Schotteroberbaus (System BSO)

in Betracht. Alle anderen in **Kapitel 7.5** genannten Maßnahmen scheiden aufgrund technischer oder auch wirtschaftlicher Zwangspunkte aus. In Anbetracht des Sachverhaltes, dass der Oberbau als Schotteroberbau ausgeführt werden soll, handelt es sich hierbei um in der Praxis bewährte Technologien, die darüber hinaus im Rahmen der Genehmigungsplanung bzw. der Ausführungsplanung individuellen Erfordernissen leicht angepasst werden können.

Für das System BSO werden umfangreiche Eingriffe in die Bahngleise erforderlich. Um eine optimale Wirkung des Systems zu erzielen, wäre der Einbau eines BSO-Trogs im Bereich der EÜ Goldsteinstraße in die neuen Gleise der Strecke 3657 und in die Bestandsgleise der Strecke 3520 erforderlich. Dies bedeutet, dass hier in die bestehenden Streckengleise 3520 eingegriffen werden müsste, im Rahmen der Baumaßnahme sind jedoch nur punktuelle Eingriffe in diese Gleise geplant. Dies würde zu erheblichen Betriebsbeeinträchtigungen durch deutlich längere Sperrpausen führen.

Einen weiteren Nachteil des Systems BSO stellen die wesentlich höheren Kosten für das System dar. Die wesentlichen Vorteile der besohnten Schwellen liegen hingegen in den relativ geringen Kosten und im einfachen Einbau des Schutzsystems. Daher wird für die Streckenabschnitte, in denen eine Vorsorgemaßnahme erforderlich wird, der Einbau besohlter Schwellen empfohlen.

Die Dimensionierung von Vorsorgemaßnahmen erfolgt für die Teilabschnitte der Strecken 3657, und 3520, wo der Sachverhalt einer wesentlichen Änderung im Hinblick auf Erschütterungsimmisionen gegeben ist. Die beschriebene oberbautechnische Vorsorgemaßnahme ist für nachfolgende, ausgewiesene Streckenabschnitte vorzusehen:

- ☐ **Strecke 3657:** von Bahn-km 33,6+20 bis Bahn-km 33,7+10
- ☐ **Strecke 3520:** von Bahn-km 33,6+20 bis Bahn-km 33,7+10

Die Kilometrierung bezieht sich auf die Strecke 3520.

Insgesamt ist somit der Einsatz von besohnten Schwellen über Abschnittslängen von 90 m je Streckengleis vorzusehen. Hieraus ergibt sich eine Gesamtlänge für alle Gleise von

$$l = 360 \text{ m.}$$

Die Einfügungsdämmkurve der berücksichtigten besohnten Schwellen ist in **Anhang 6.5** dargestellt.

Nachrichtlich wird im Rahmen dieser erschütterungstechnischen Untersuchung auch die Wirkungsweise des Systems BSO untersucht. Die Einfügungsdämmung für das System BSO findet sich in **Anhang 6.6**.

7.7 Prognose mit Vorsorgemaßnahmen

7.7.1 Besohlte Schwellen

Unter Berücksichtigung der empfohlenen Vorsorgemaßnahmen (besohlte Schwellen) in den in **Kapitel 7.6** angegebenen Streckenabschnitten ergeben sich die in **Anhang 6.1** und **Anhang 6.2** dokumentierten Erschütterungsimmissionen. Hier werden die Vorsorgemaßnahmen nur im Bereich vom Immissionsort **IP 3** betrachtet. In den anderen Streckenabschnitten sind keine Vorsorgemaßnahmen zu berücksichtigen.

Die Schwingungsimmissionen im Planfall mit Schutzsystem erreichen für das Gebäude Goldsteinstraße 143 (**IP 3**) maximale bewertete Schwingstärken im Tag- bzw. Nachtzeitraum von

$$KB_{Fmax} = 0,375.$$

Die maximalen Beurteilungsschwingstärken werden in **Anhang 6.1** mit

$$KB_{FTr} = 0,100 / 0,071$$

tagsüber bzw. nachts ausgewiesen. Dies bedeutet eine maximale Ausschöpfung im Tag- bzw. Nachtzeitraum von

$$p_{Tag/Nacht} = 100 \% / 102 \%$$

Gemäß der tabellarischen Darstellung in **Anhang 6.2** ergeben sich maximale Erhöhungen für das Gebäude Goldsteinstraße 143 (**IP 3**) am Tag von

$$\Delta KB_{FTr} = + 10 \%.$$

In der Nacht können die Einwirkungen unter Berücksichtigung der Vorsorgemaßnahmen im Vergleich zum Prognose-Nullfall reduziert werden.

Diese Ergebnisse für das exemplarische Gebäude belegen, dass die Erschütterungsimmissionen deutlich reduziert werden können. Eine Einhaltung der Anhaltswerte der **DIN 4150-2** kann nicht in allen Räumen erreicht werden. Allerdings wird der Anhaltswert im Nachtzeitraum nur geringfügig überschritten. Gleichwohl erfolgt eine vollständige Konfliktlösung. Durch die Schutzmaßnahme kann somit gewährleistet werden, dass sich nach Realisierung der Ausbaumaßnahmen in allen anspruchsberechtigten Objekten eine deutliche Verminderung der Erschütterungseinwirkungen durch den schienenverkehrsinduzierten Verkehr gegenüber der Vorbelastung (Prognose-Nullfall) einstellen wird. Dieses Ergebnis für das repräsentativ untersuchte Gebäude lässt sich auf die Gesamtheit aller im Einwirkungsbereich der Baumaßnahme gelegenen Gebäude extrapolieren.

7.7.2 System BS0

Unter Berücksichtigung der empfohlenen Vorsorgemaßnahmen (System BS0) in den in **Kapitel 7.6** angegebenen Streckenabschnitten ergeben sich die in **Anhang 6.3** und **Anhang 6.4** dokumentierten Erschütterungsimmissionen. Hier werden die Vorsorgemaßnahmen nur im Bereich vom Immissionsort **IP 3** betrachtet. In den anderen Streckenabschnitten sind keine Vorsorgemaßnahmen zu berücksichtigen.

Die Schwingungsimmissionen im Planfall mit Schutzsystem erreichen für das Gebäude Goldsteinstraße 143 (**IP 3**) maximale bewertete Schwingstärken im Tag- bzw. Nachtzeitraum von

$$KB_{Fmax} = 0,357.$$

Die maximalen Beurteilungsschwingstärken werden in **Anhang 6.3** mit

$$KB_{FTr} = 0,087 / 0,065$$

tagsüber bzw. nachts ausgewiesen. Dies bedeutet eine maximale Ausschöpfung im Tag- bzw. Nachtzeitraum von

$$p_{Tag/Nacht} = 87 \% / 93 \%$$

Gemäß der tabellarischen Darstellung in **Anhang 6.3** ergeben sich maximale Reduzierungen für das Gebäude Goldsteinstraße 143 (**IP 3**) am Tag und in der Nacht von bis zu

$$\Delta KB_{FTr} = - 35 \% / -37 \%.$$

Diese Ergebnisse für das exemplarische Gebäude belegen, dass die Erschütterungsimmissionen deutlich reduziert werden können. Mit dem System BSO wird ebenfalls eine vollständige Konfliktlösung erreicht werden.


8 Abschließende Bemerkungen

Im Umfeld des Bf Niederrad im Streckenabschnitt zwischen Knoten Frankfurt (Main) Sportfeld und Abzweig Gutleutstraße besteht derzeit bereits eine erhebliche Vorbelastung infolge Erschütterungen durch den Schienenverkehr auf den Strecken 3624, 3250 und 3683. Aufgrund der geringen Abstände der Bebauung und der gebäudespezifischen Eigenschaften ergeben sich Restkonflikte für 1 der 4 untersuchten Gebäude. Somit wird durch die geplante Ausbaumaßnahme in Teilbereichen der Strecke in nahe gelegenen Gebäuden eine „**wesentliche Erhöhung**“ der Immissionen aus Erschütterungen hervorgerufen. Demnach besteht nach aktueller Rechtslage ein Anspruch auf erschütterungstechnische Vorsorgemaßnahmen zur Minderung von Erschütterungsimmissionen.

Durch den Einsatz besohlter Schwellen bzw. von System BSO als Vorsorgemaßnahme kann gewährleistet werden, dass die Erschütterungsimmissionen durch den Schienenverkehr nach Realisierung der Ausbaumaßnahme in allen Immissionsorten, bei denen die Schutzmaßnahme eingebaut wird, gegenüber der Vorbelastung sinken werden. Mit den untersuchten Maßnahmen können die bestehenden Konflikte gelöst werden.

Die sekundären Luftschallimmissionen sind sowohl im Prognose-Nullfall als auch im Prognose-Planfall als unkritisch einzustufen. Der Sachverhalt einer „**wesentlichen Änderung**“ ist in diesem Zusammenhang nicht gegeben. Mittels der untersuchten Vorsorgemaßnahme zur Minderung der Erschütterungseinwirkungen können die sekundären Luftschallimmissionen gegenüber der Vorbelastung nochmals deutlich reduziert werden.

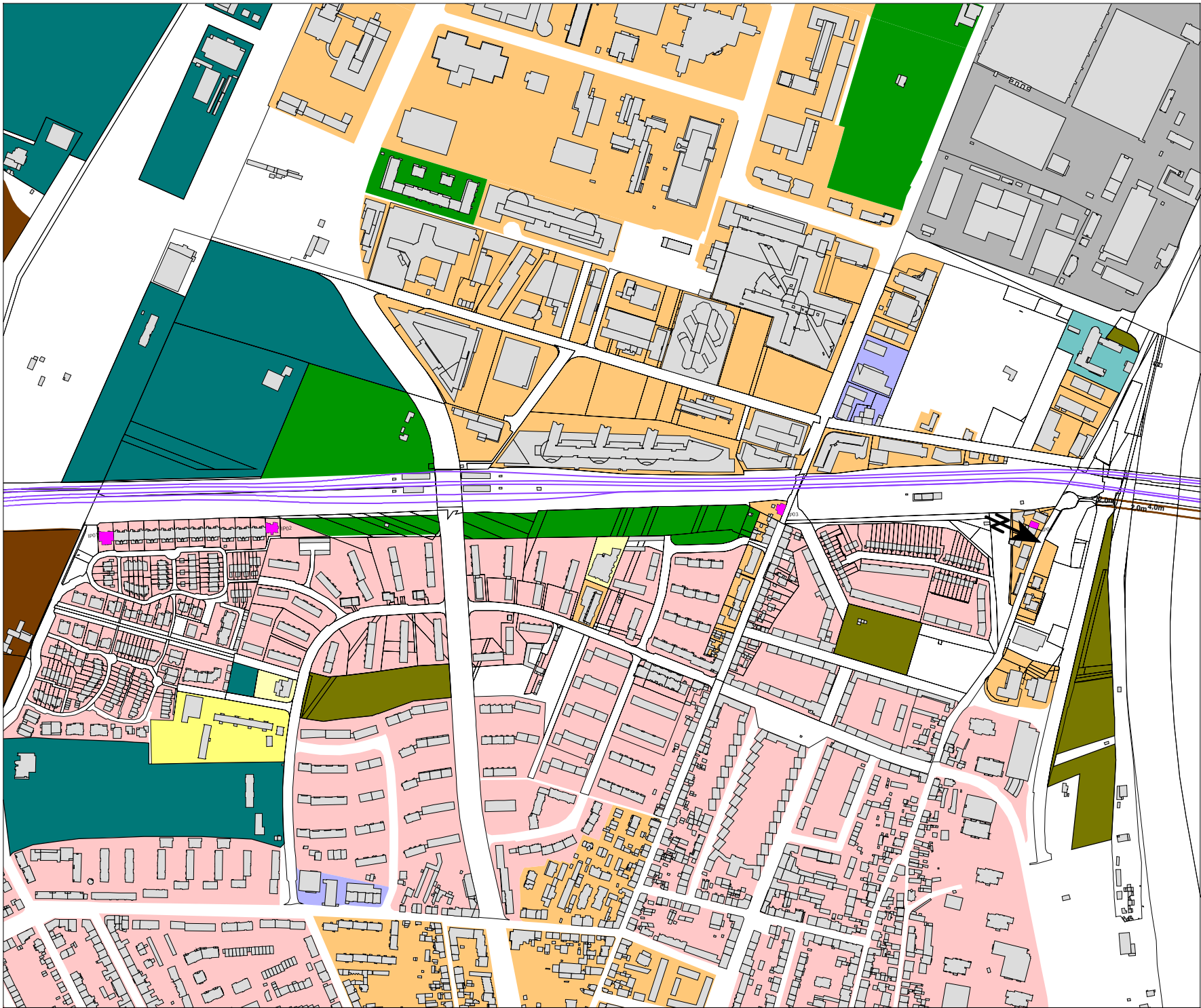
AUFGESTELLT:


Dipl.-Phys. Andreas Malizki

GEPRÜFT:


Dipl.-Ing. Mario Graefen

ANHANG



- Gebäude
- Emission Schiene (Vorbelastung)
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind
- Gebiete zum Gemeinbedarf (z.B. Verwaltung, Kirche, Kindergärten, Veranstaltung)
- Sportanlagen
- Besonders schutzwürdige Einwirkungsorte, z. B. Krankenhaus
- Schulen
- Immissionsorte

KREBS + KIEFER
FRITZ AG

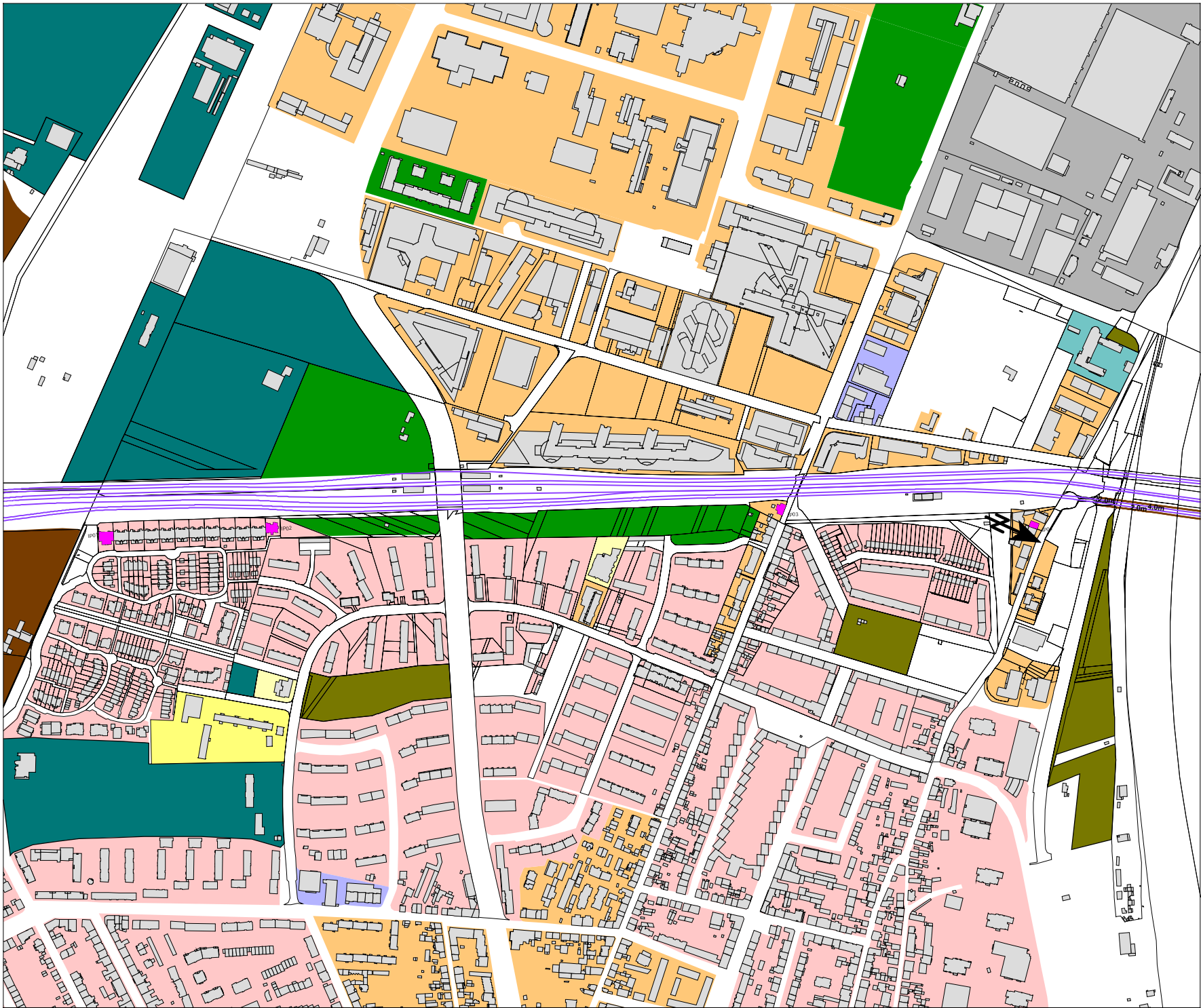
Heinrich-Hertz-Straße 2
64695 Darmstadt
Telefon (06151) 985-383
www.kuk.de

04.04.2019; Bericht Nr. 20108001-VWE-3
DIB Netz AG
Umbau des Knotens Frankfurt (M) - Sportfeld, 2. Ausbaustufe
- ÜBERSICHTSLAGEPLAN -
Prognose - Nullfall 2030

Maßstab 1:5000

0 40 80 160 240 320 m

ANHANG 1.1



- Gebäude
- Emission Schiene (Vorbelastung)
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind
- Gebiete zum Gemeinbedarf (z.B. Verwaltung, Kirche, Kindergärten, Veranstaltung)
- Sportanlagen
- Besonders schutzwürdige Einwirkungsorte, z. B. Krankenhaus
- Schulen
- Immissionsorte
- Schienenachse
- Emission Schiene
- Trog
- Beugungskante
- Kleingartengebiete
- Gemeinbedarf: Öffentliche Zwecke
- Wohngebäude Außenbereich
- Bahnanlage

KREBS + KIEFER
FRITZ AG

Heinrich-Hertz-Straße 2
64695 Darmstadt
Telefon (06151) 985-383
www.kuk.de

04.04.2019; Bericht Nr. 20108001-WE-3
DIB Netz AG

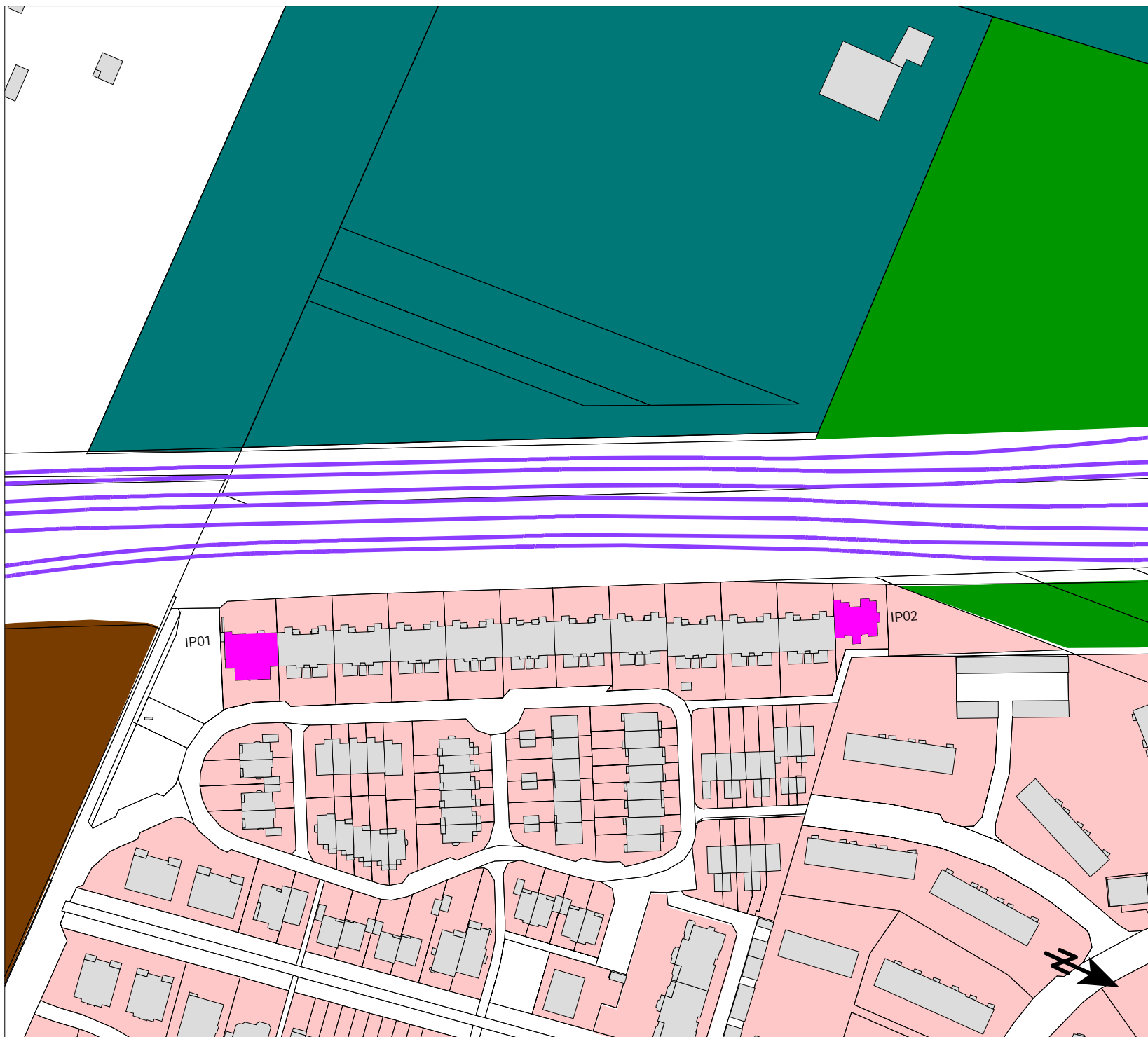
Umbau des Knotens Frankfurt (M) - Sportfeld, 2. Ausbaustufe

- ÜBERSICHTSLAGEPLAN -
Prognose - Planfall 2030

Maßstab 1:5000

0 40 80 160 240 320 m

ANHANG 1.2



- Gebäude
- Emission Schiene
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagenuntergebracht sind
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind
- Gebiete zum Gemeinbedarf (z.B. Verwaltung, Kirche, Kindergärten, Veranstaltung)
- Sportanlagen
- Besonders schutzwürdige Einwirkungsorte, z. B. Krankenhaus
- Schulen
- Immissionsorte

KREBS + KIEFER
FRITZ AG

Heinrich-Hertz-Straße 2
64696 Darmstadt
Telefon (06151) 885-383
www.kuk.de

04.04.2019; Bericht Nr. 20108001-VE-3

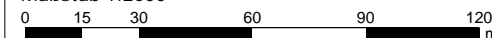
DB Netz AG

Umbau des Knotens Frankfurt (M) - Sportfeld, 2. Ausbaustufe

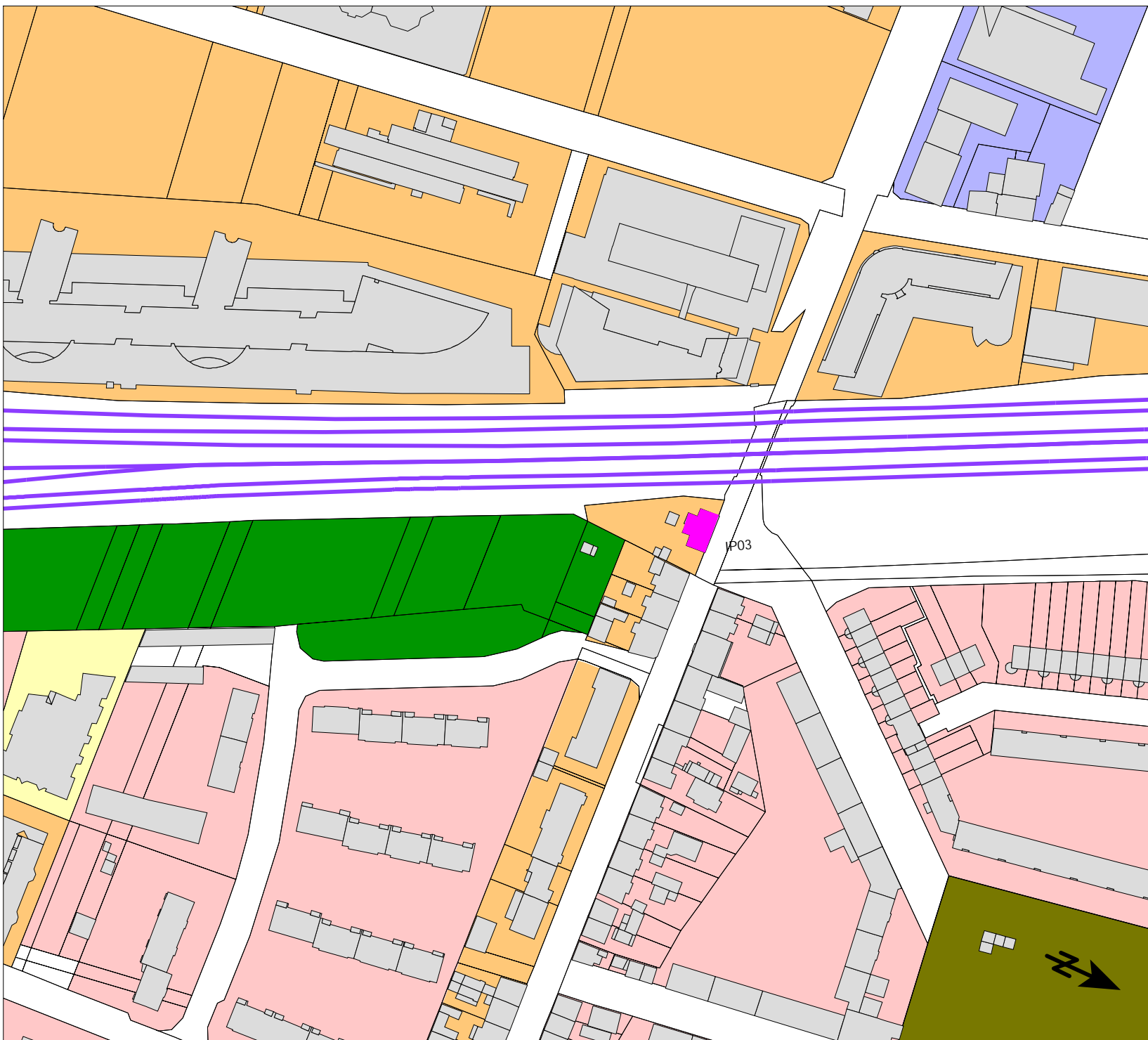
- ÜBERSICHTSLAGEPLAN -

Prognose - Planfall 2030

Maßstab 1:2000



ANHANG 1.3



- Gebäude
- Emission Schiene
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind
- Gebiete zum Gemeinbedarf (z.B. Verwaltung, Kirche, Kindergärten, Veranstaltung)
- Sportanlagen
- Besonders schutzwürdige Einwirkungsorte, z. B. Krankenhaus
- Schulen
- Immissionsorte

KREBS + KIEFER
FRITZ AG

Heinrich-Hertz-Straße 2
64696 Darmstadt
Telefon (06151) 885-383
www.kuk.de

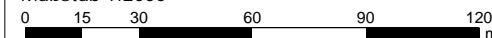
04.04.2019; Bericht Nr. 20108001-V-E-3

DB Netz AG

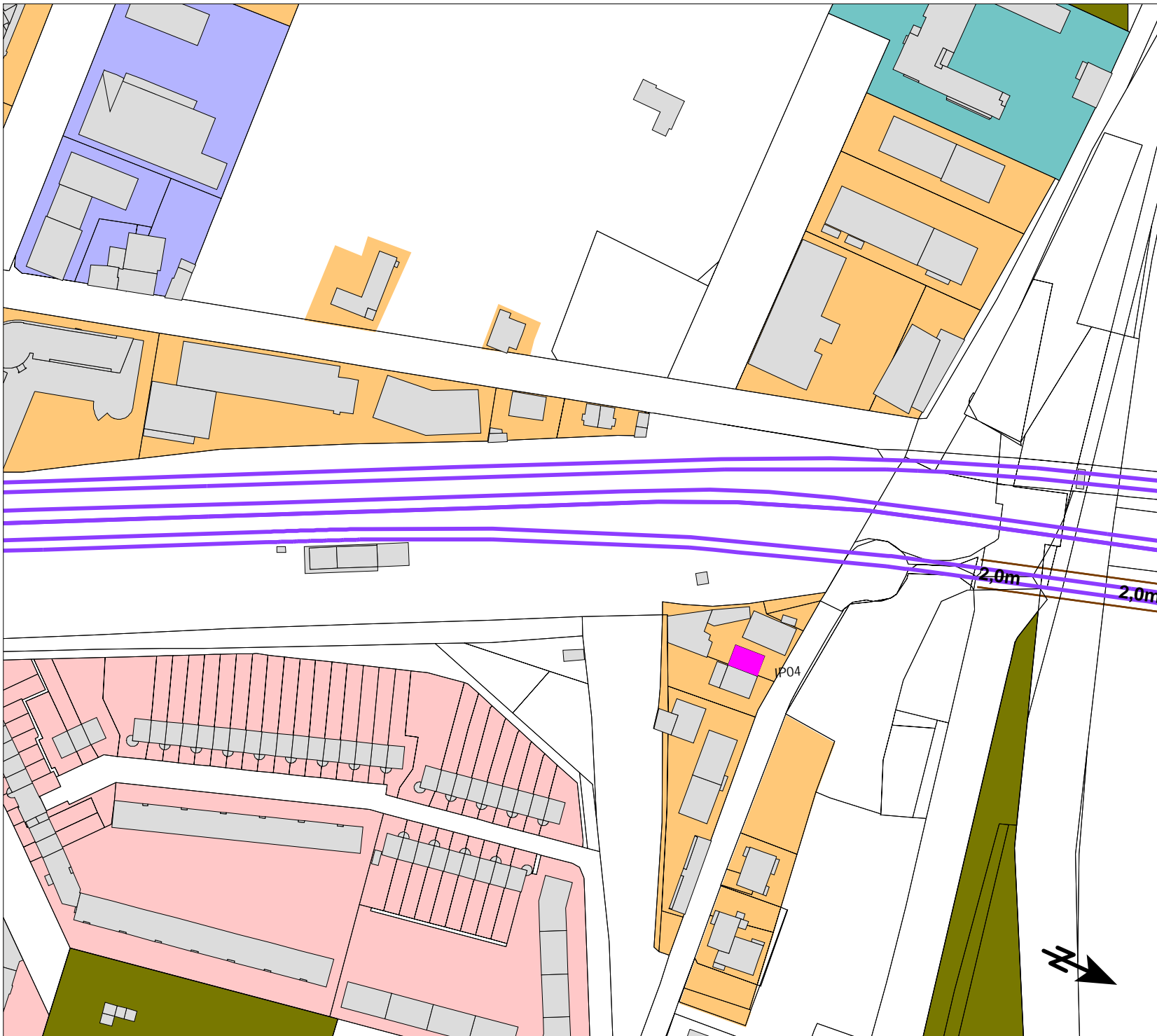
Umbau des Knotens Frankfurt (M) - Sportfeld, 2. Ausbaustufe

- ÜBERSICHTSLAGEPLAN -
Prognose - Planfall 2030

Maßstab 1:2000



ANHANG 1.4



- Gebäude
- Emission Schiene
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagenuntergebracht sind
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind
- Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind
- Gebiete zum Gemeinbedarf (z.B. Verwaltung, Kirche, Kindergärten, Veranstaltung)
- Sportanlagen
- Besonders schutzwürdige Einwirkungsorte, z. B. Krankenhaus
- Schulen
- Immissionsorte

KREBS + KIEFER
FRITZ AG

Heinrich-Hertz-Straße 2
64696 Darmstadt
Telefon (06151) 885-383
www.kuk.de

04.04.2019; Bericht Nr. 20108001-VE-3
DB Netz AG
Umbau des Knotens Frankfurt (M) - Sportfeld, 2. Ausbaustufe
- ÜBERSICHTSLAGEPLAN -
Prognose - Planfall 2030

Maßstab 1:2000
0 15 30 60 90 120 m

ANHANG 1.5

Betriebsprogramm

Prognose - Nullfall 2030

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\A2-Betriebsprogramm.xlsx]2.1

Strecke: 3683 FFM Abzweig Kleyerstraße-Flughafen-Kelsterbach
Streckenabschnitt: Bf Niederrad
Richtung: beide Richtungen

Zugart	Anzahl		Zuglänge [m]	vmax [km/h]	Vorbeifahrtzeit [s]
	Tag	Nacht			
S-Bahn	156	44	140	100	7,6

Summe:	156	44			
--------	-----	----	--	--	--

Strecke: 3520 Frankfurt am Main Stadion - Frankfurt-Niederrad
Streckenabschnitt: Bf Niederrad
Richtung: beide Richtungen

Zugart	Anzahl		Zuglänge [m]	vmax [km/h]	Vorbeifahrtzeit [s]
	Tag	Nacht			
SPFV	2	1	140	100	7,6
SPNV	39	9	140	100	7,6
S-Bahn	124	12	140	100	7,6
GV	19	11	740	100	40,0

Summe:	184	33			
--------	-----	----	--	--	--

bei der geometrischen Vorbeifahrtzeit wird die 1,5-fache Zuglänge berücksichtigt.

Betriebsprogramm

Prognose - Nullfall 2030

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\A2-Betriebsprogramm.xlsx]2.2

Strecke: 3624 Forsthaus (Frankfurt) - Frankfurt-Niederrad
Streckenabschnitt: Bf Niederrad
Richtung: beide Richtungen

Zugart	Anzahl		Zuglänge [m]	vmax [km/h]	Vorbeifahrtzeit [s]
	Tag	Nacht			
GV	14	8	740	80	50,0

Summe:	14	8			
--------	----	---	--	--	--

bei der geometrischen Vorbeifahrtzeit wird die 1,5-fache Zuglänge berücksichtigt.

Betriebsprogramm

Prognose-Planfall 2030

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\A2-Betriebsprogramm.xlsx]2.3

Strecke: 3683 FFM Abzweig Kleyerstraße-Flughafen-Kelsterbach
 Streckenabschnitt: Bf Niederrad
 Richtung: beide Richtungen

Zugart	Anzahl		Zuglänge [m]	vmax [km/h]	Vorbeifahrtzeit [s]
	Tag	Nacht			
S-Bahn	156	42	140	100	7,6

Summe:	156	42			
--------	-----	----	--	--	--

Strecke: 3520 Frankfurt am Main Stadion - Frankfurt-Niederrad
 Streckenabschnitt: Bf Niederrad
 Richtung: beide Richtungen

Zugart	Anzahl		Zuglänge [m]	vmax [km/h]	Vorbeifahrtzeit [s]
	Tag	Nacht			
SPFV	2	1	140	100	7,6
SPNV	80	13	140	100	7,6
S-Bahn	124	18	140	100	7,6
GV	19	11	740	100	40,0

Summe:	225	43			
--------	-----	----	--	--	--

bei der geometrischen Vorbeifahrtzeit wird die 1,5-fache Zuglänge berücksichtigt.

Betriebsprogramm

Prognose-Planfall 2030

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\A2-Betriebsprogramm.xlsx]2.4

Strecke: 3624 Forsthaus (Frankfurt) - Frankfurt-Niederrad
Streckenabschnitt: Bf Niederrad
Richtung: beide Richtungen

Zugart	Anzahl		Zuglänge [m]	vmax [km/h]	Vorbeifahrtzeit [s]
	Tag	Nacht			
GV	14	8	740	80	50,0

Summe:	14	8			
--------	----	---	--	--	--

Strecke: 3657 FFM Stadion - Niederrad - Gutleuthof
Streckenabschnitt: Bf Niederrad
Richtung: beide Richtungen

Zugart	Anzahl		Zuglänge [m]	vmax [km/h]	Vorbeifahrtzeit [s]
	Tag	Nacht			
ICE	189	19	420	100	22,7
SPNV	32	6	140	100	7,6
Leerreisezüge	4	2	420	100	22,7

Summe:	225	27			
--------	-----	----	--	--	--

bei der geometrischen Vorbeifahrtzeit wird die 1,5-fache Zuglänge berücksichtigt.

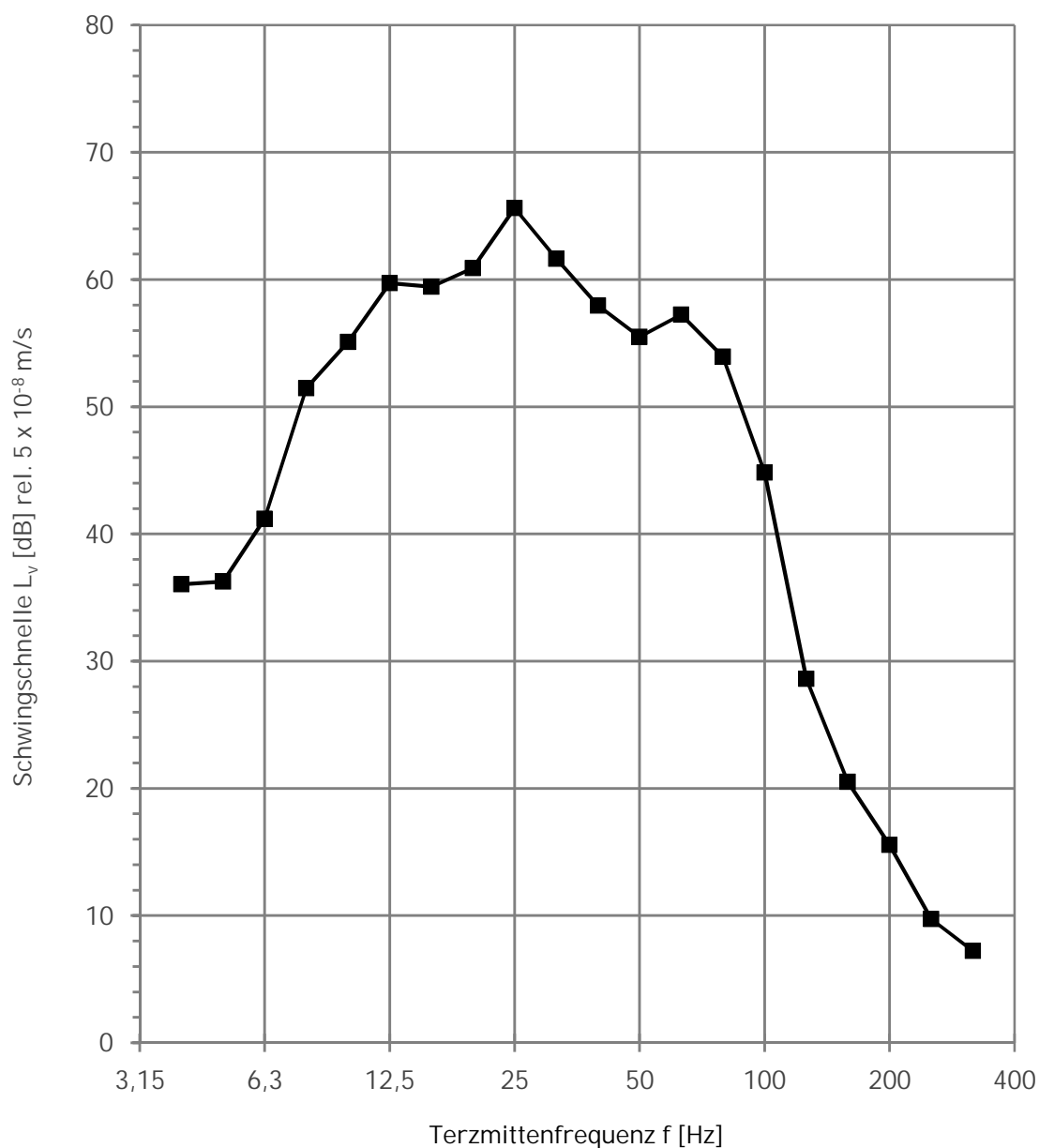
Emissionsspektrum

SPFV unkorrigiert

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\A3_Emissionen.xlsx\3.1

Quelle: Emissions- und Ausbreitungsmessungen, Bereich Frankfurt am Main
FRITZ GmbH, 2014

Abstand 1. Gleisachse: 8,0 [m]
Fahrzeuge: SPFV/ICE/Leerreisezüge
Geschwindigkeit: 112 [km/h]
Schwingrichtung: z
Mittelwert



L_v [dB]	f [Hz]
36,1	4
36,3	5
41,2	6,3
51,4	8
55,1	10
59,7	12,5
59,4	16
60,9	20
65,6	25
61,6	31,5
57,9	40
55,5	50
57,2	63
53,9	80
44,8	100
28,6	125
20,5	160
15,5	200
9,7	250
7,2	315
70,2	Σ

Emissionsspektrum

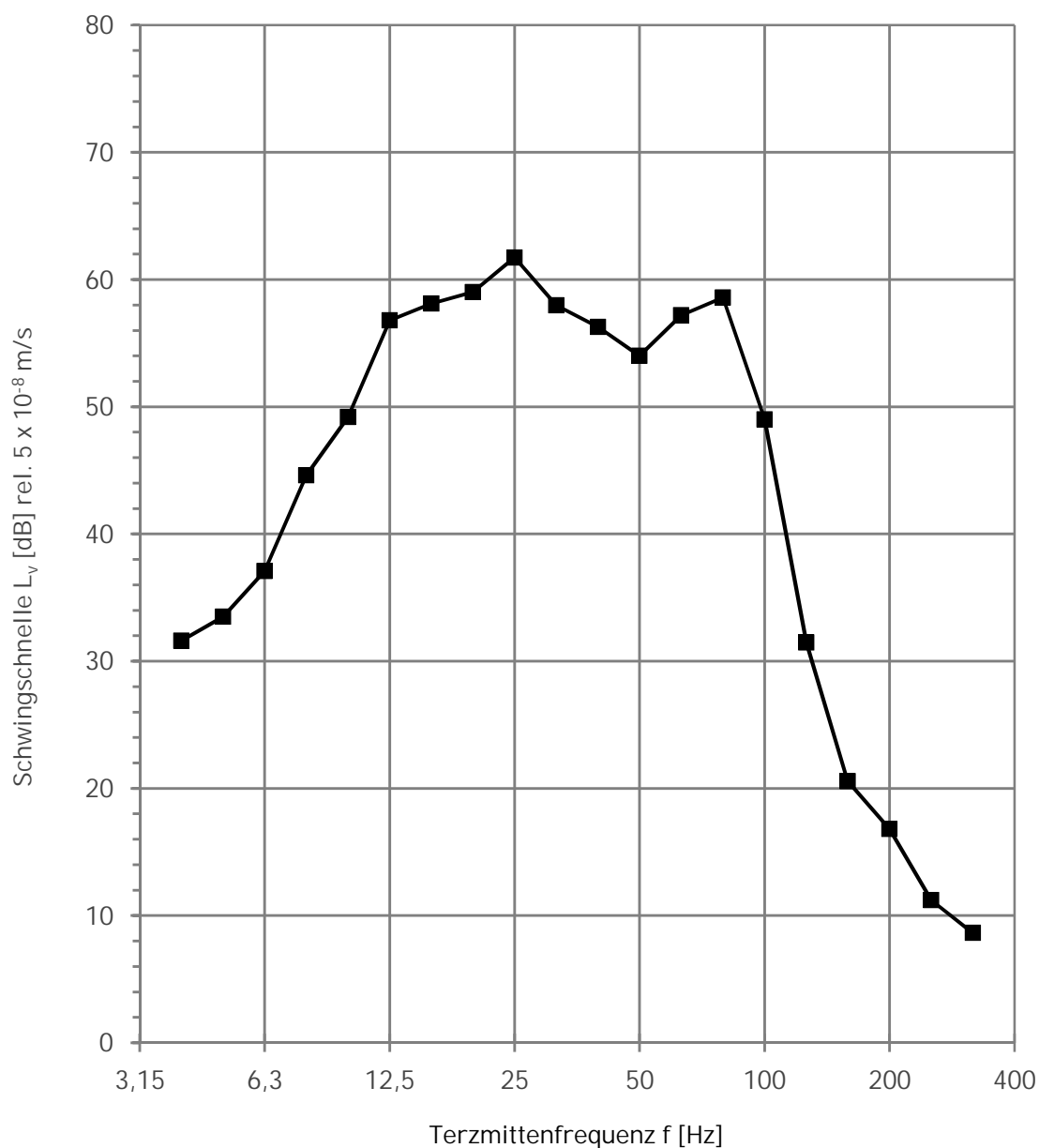
SPNV unkorrigiert

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\A3_Emissionen.xlsx]3.2

Quelle: Emissions- und Ausbreitungsmessungen, Bereich Frankfurt am Main
FRITZ GmbH, 2014

Abstand 1. Gleisachse: 8,0 [m]
Fahrzeuge: SPNV
Geschwindigkeit: 102 [km/h]
Schwingrichtung: z

Mittelwert



L_v [dB]	f [Hz]
31,6	4
33,5	5
37,1	6,3
44,6	8
49,2	10
56,8	12,5
58,1	16
59,0	20
61,7	25
58,0	31,5
56,3	40
54,0	50
57,2	63
58,6	80
49,0	100
31,5	125
20,6	160
16,8	200
11,2	250
8,6	315
67,9	Σ

Emissionsspektrum

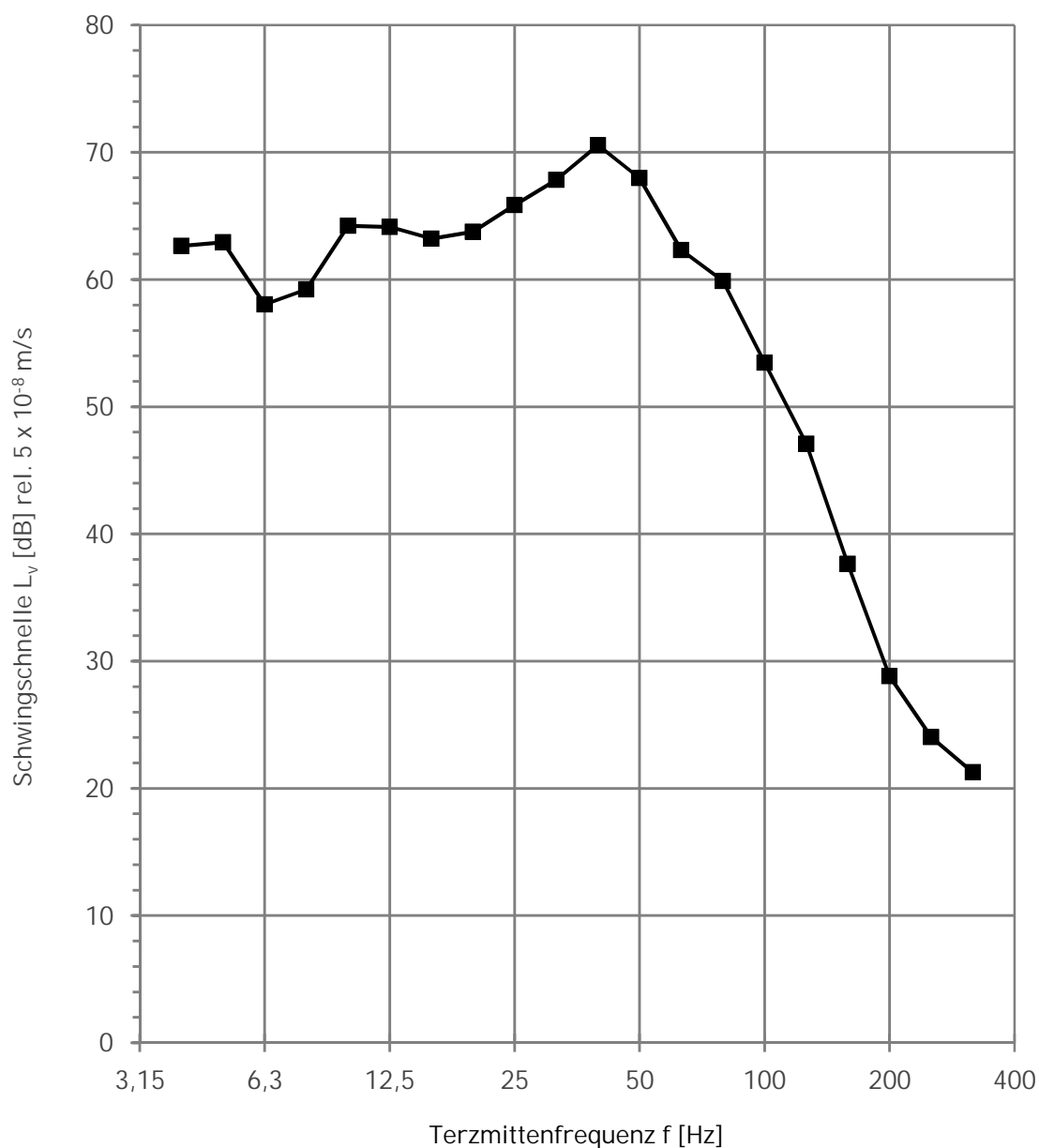
SGV unkorrigiert

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\A3_Emissionen.xlsx\3.3

Quelle: Emissions- und Ausbreitungsmessungen, Bereich Frankfurt am Main
FRITZ GmbH, 2014

Abstand 1. Gleisachse: 8,0 [m]
Fahrzeuge: GV
Geschwindigkeit: 94 [km/h]
Schwingrichtung: z

Mittelwert



L_v [dB]	f [Hz]
62,6	4
62,9	5
58,0	6,3
59,2	8
64,2	10
64,1	12,5
63,2	16
63,8	20
65,9	25
67,8	31,5
70,6	40
68,0	50
62,3	63
59,9	80
53,5	100
47,1	125
37,6	160
28,8	200
24,0	250
21,3	315
76,6	Σ

Emissionsspektrum

S-Bahn unkorrigiert

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\A3_Emissionen.xlsx\3.4

Quelle: Emissions- und Ausbreitungsmessungen, Bereich Frankfurt am Main
FRITZ GmbH, 2014

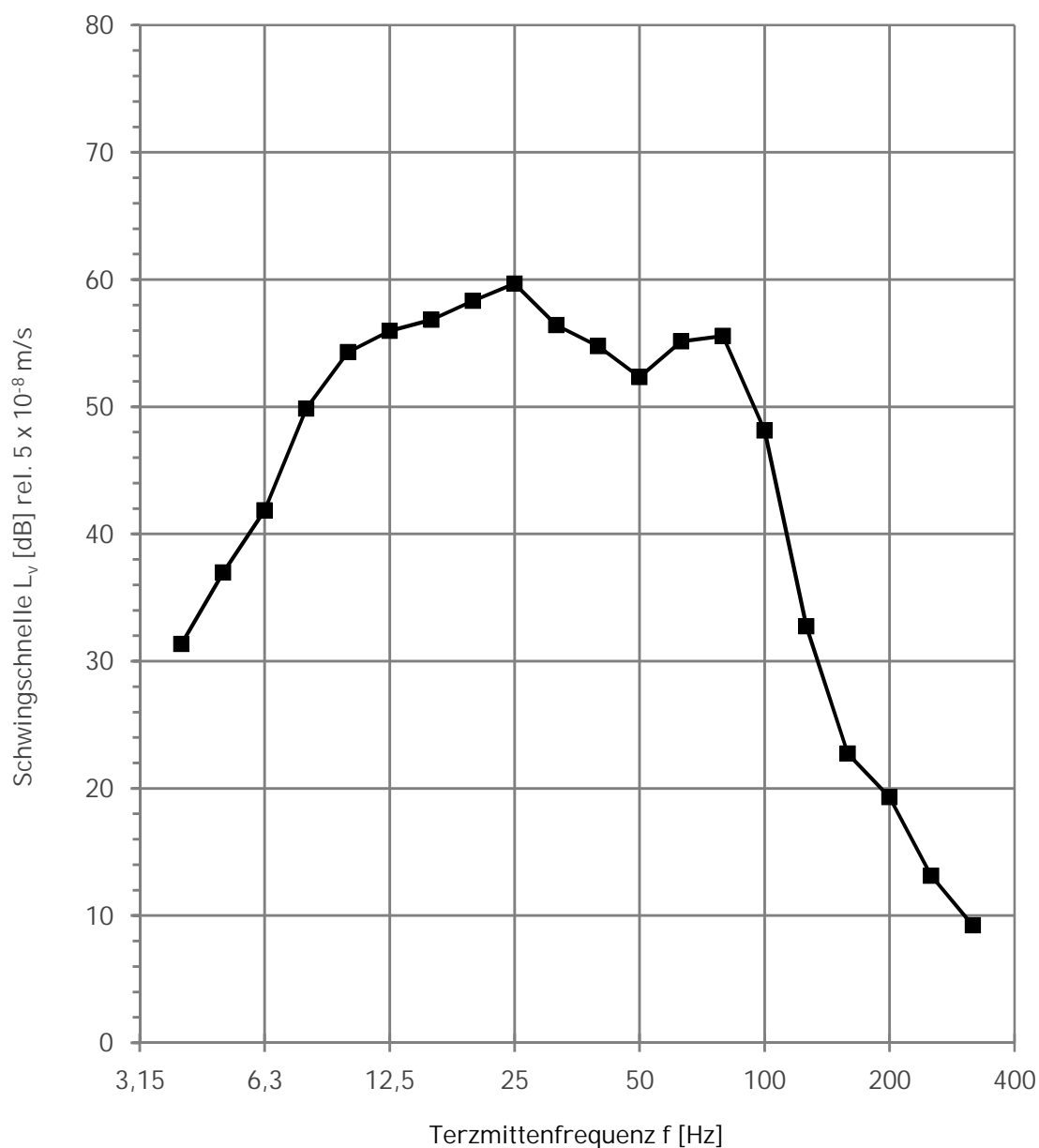
Abstand 1. Gleisachse: 8,0 [m]

Fahrzeuge: S-Bahn

Geschwindigkeit: 100 [km/h]

Schwingrichtung: z

Mittelwert



L_v [dB]	f [Hz]
31,4	4
37,0	5
41,8	6,3
49,9	8
54,3	10
56,0	12,5
56,8	16
58,3	20
59,7	25
56,4	31,5
54,8	40
52,3	50
55,1	63
55,6	80
48,1	100
32,7	125
22,7	160
19,3	200
13,1	250
9,2	315
66,6	Σ

03.04.2019

Korrekturfunktion

Geschwindigkeit

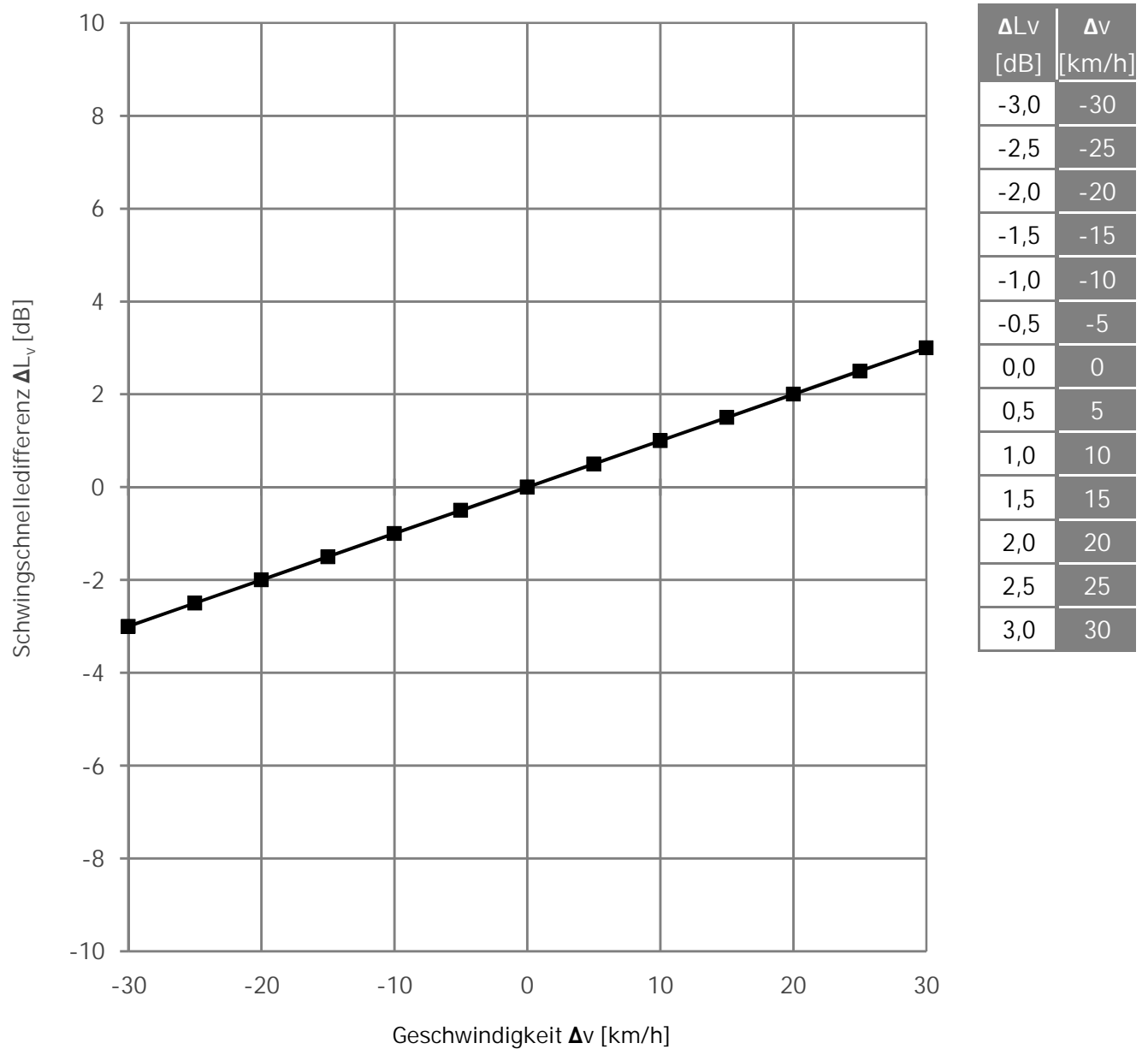
\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\A3_Emissionen.xlsx]3.5

Quelle: empirisch

Bezugsspektrum A:

Bezugsspektrum B:

Schwingrichtung: vertikal (z)



Korrekturfunktion

Streckenlage

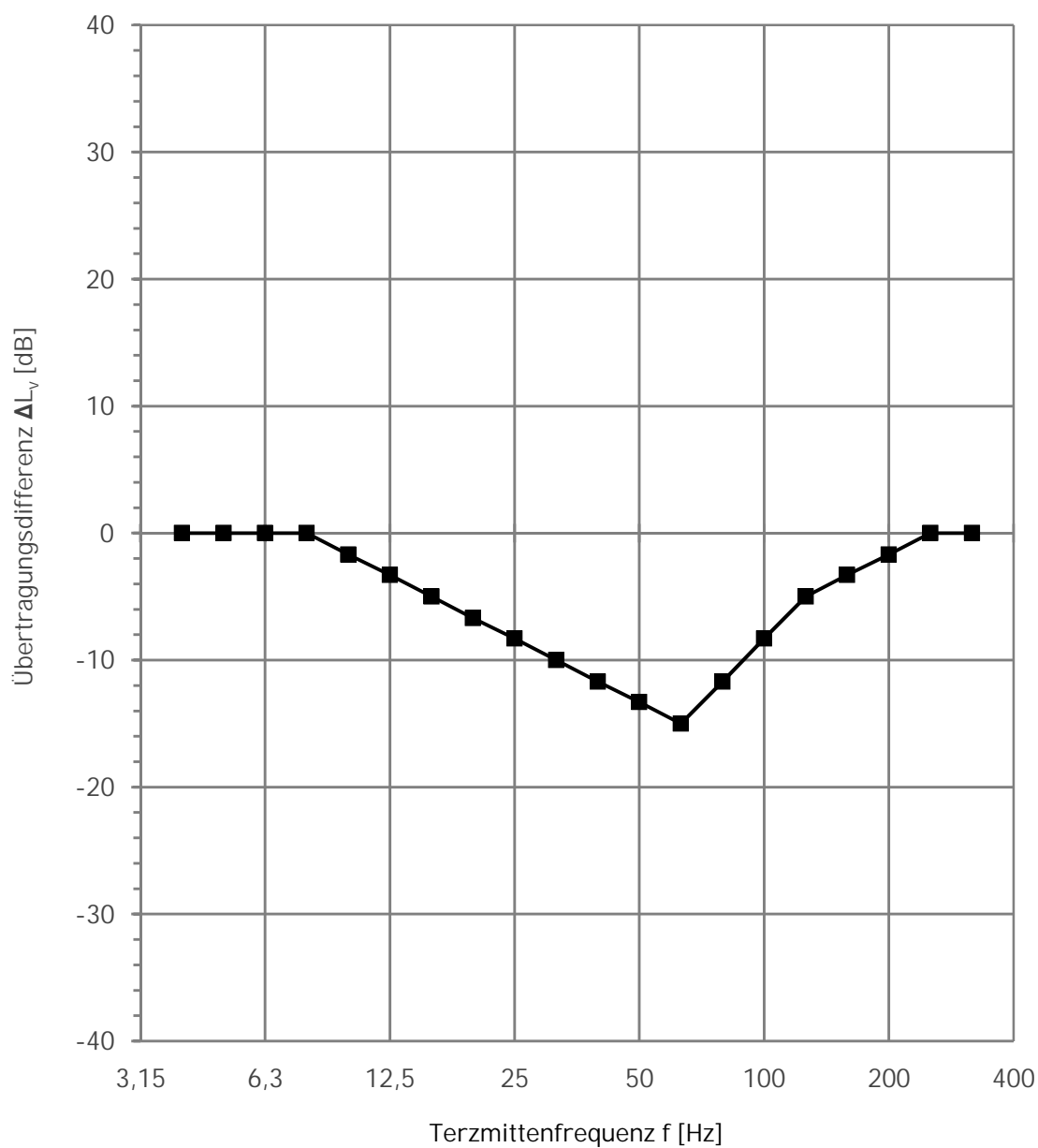
\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\A3_Emissionen.xlsx\3.6

Quelle: Handbuch Schall und Erschütterungen beim Schienenverkehr
STUVA Köln, F. Krüger, 1993

Bezugsspektrum A: ebenerdige Trasse

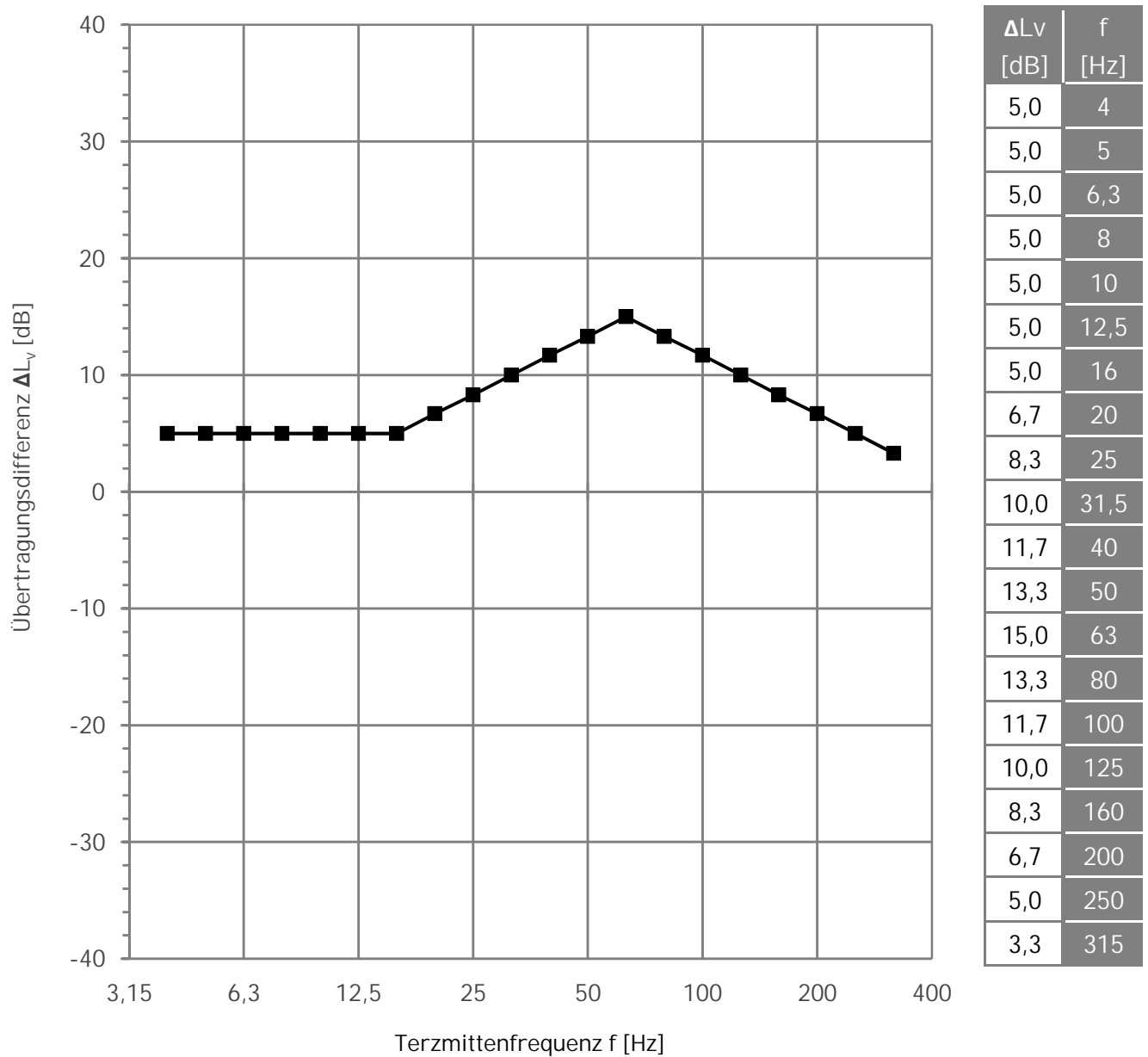
Bezugsspektrum B: Einschnitt und Damm

Schwingrichtung: vertikal (z)



Quelle: Handbuch Schall und Erschütterungen beim Schienenverkehr
Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V. (STUVA)
Köln, F. Krüger, 1993
Tabelle 11.1: Mittlere relative Einflüsse verschiedener Parameter

Schwingrichtung: vertikal (z)



Emissionsspektrum

SPFV korrigiert

Strecke 3657 / 3520

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Anderung-PPF2030-SMN3.xls\Differenz

Prognose-Nullfall /-Planfall

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	SPFV	SPFV
K2		Geschwindigkeit	112 km/h	100 km/h
K3	Fahrweg	Weichenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	ja
K5		Oberbau	Sch0 mit Betonschwellen	Sch0 mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	36,1	36,3	41,2	51,4	55,1	59,7	59,4	60,9	65,6	61,6	57,9	55,5	57,2	53,9	44,8	28,6	20,5	15,5	9,7	7,2	70,2

Berücksichtigte Korrekturen in dB

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
L_{K1}																				
L_{K2}	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
L_{K3}																				
L_{K4}	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,7	-3,3	-5,0	-6,7	-8,3	-10,0	-11,7	-13,3	-15,0	-11,7	-8,3	-5,0	-3,3	-1,7	0,0	0,0
L_{K5}																				
L_{K6}																				
L_{K7}																				
L_{K8}																				
L_{K9}																				
L_{K10}																				
L_{K11}																				
L_{K12}																				
L_{K13}																				
L_{K14}																				
L_{K15}																				

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
P	34,9	35,1	40,0	50,2	52,2	55,2	53,2	53,0	56,1	50,4	45,0	41,0	41,0	41,0	35,3	22,4	16,0	12,6	8,5	6,0	62,1

Emissionsspektrum

SPFV korrigiert Strecke 3520

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Aenderung-PPF2030-SMN3.xls\Differenz

Prognose-Nullfall /-Planfall Weichenbereich

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	SPFV	SPFV
K2		Geschwindigkeit	112 km/h	100 km/h
K3	Fahrweg	Weichenbereich	nein	ja
K4		Dammlage	nein	ja
K5		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	36,1	36,3	41,2	51,4	55,1	59,7	59,4	60,9	65,6	61,6	57,9	55,5	57,2	53,9	44,8	28,6	20,5	15,5	9,7	7,2	70,2

Berücksichtigte Korrekturen in dB

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
L_{K1}																				
L_{K2}	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
L_{K3}	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,7	8,3	10,0	11,7	13,3	15,0	13,3	11,7	10,0	8,3	6,7	5,0	3,3
L_{K4}	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,7	-3,3	-5,0	-6,7	-8,3	-10,0	-11,7	-13,3	-15,0	-11,7	-8,3	-5,0	-3,3	-1,7	0,0	0,0
L_{K5}																				
L_{K6}																				
L_{K7}																				
L_{K8}																				
L_{K9}																				
L_{K10}																				
L_{K11}																				
L_{K12}																				
L_{K13}																				
L_{K14}																				
L_{K15}																				

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
P	40,1	40,3	45,2	55,4	57,4	60,4	58,4	59,9	64,6	60,6	56,9	54,5	56,2	54,5	47,2	32,6	24,5	19,5	13,7	9,5	69,7

Emissionsspektrum

SPNV korrigiert

Strecke 3657 / 3520

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Anderung-PPF2030-SMN3.xls\Differenz

Prognose-Nullfall /-Planfall

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	SPNV	SPNV
K2		Geschwindigkeit	102 km/h	100 km/h
K3	Fahrweg	Weichenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	ja
K5		Oberbau	Sch0 mit Betonschwellen	Sch0 mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	31,6	33,5	37,1	44,6	49,2	56,8	58,1	59,0	61,7	58,0	56,3	54,0	57,2	58,6	49,0	31,5	20,6	16,8	11,2	8,6	67,9

Berücksichtigte Korrekturen in dB

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
L_{K1}																				
L_{K2}	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
L_{K3}																				
L_{K4}	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,7	-3,3	-5,0	-6,7	-8,3	-10,0	-11,7	-13,3	-15,0	-11,7	-8,3	-5,0	-3,3	-1,7	0,0	0,0
L_{K5}																				
L_{K6}																				
L_{K7}																				
L_{K8}																				
L_{K9}																				
L_{K10}																				
L_{K11}																				
L_{K12}																				
L_{K13}																				
L_{K14}																				
L_{K15}																				

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
P	31,4	33,3	36,9	44,4	47,3	53,3	52,9	52,1	53,2	47,8	44,4	40,5	42,0	46,7	40,5	26,3	17,1	14,9	11,0	8,4	60,2

Emissionsspektrum

SPNV korrigiert

Strecke 3657 / 3520

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Anderung-PPF2030-SMN3.xls\Differenz

Prognose-Nullfall /-Planfall

Weichenbereich

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	SPNV	SPNV
K2		Geschwindigkeit	102 km/h	100 km/h
K3	Fahrweg	Weichenbereich	nein	ja
K4		Dammlage	nein	ja
K5		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	31,6	33,5	37,1	44,6	49,2	56,8	58,1	59,0	61,7	58,0	56,3	54,0	57,2	58,6	49,0	31,5	20,6	16,8	11,2	8,6	67,9

Berücksichtigte Korrekturen in dB

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
L_{K1}																				
L_{K2}	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
L_{K3}	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,7	8,3	10,0	11,7	13,3	15,0	13,3	11,7	10,0	8,3	6,7	5,0	3,3
L_{K4}	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,7	-3,3	-5,0	-6,7	-8,3	-10,0	-11,7	-13,3	-15,0	-11,7	-8,3	-5,0	-3,3	-1,7	0,0	0,0
L_{K5}																				
L_{K6}																				
L_{K7}																				
L_{K8}																				
L_{K9}																				
L_{K10}																				
L_{K11}																				
L_{K12}																				
L_{K13}																				
L_{K14}																				
L_{K15}																				

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
P	36,4	38,3	41,9	49,4	52,3	58,3	57,9	58,8	61,5	57,8	56,1	53,8	57,0	60,0	52,2	36,3	25,4	21,6	16,0	11,7	68,2

Emissionsspektrum

GV korrigiert

Strecke 3657 / 3520

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Anderung-PPF2030-SMN3.xls\Differenz

Prognose-Nullfall /-Planfall

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	GV	GV
K2		Geschwindigkeit	94 km/h	100 km/h
K3	Fahrweg	Weichenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	ja
K5		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	62,6	62,9	58,0	59,2	64,2	64,1	63,2	63,8	65,9	67,8	70,6	68,0	62,3	59,9	53,5	47,1	37,6	28,8	24,0	21,3	76,4

Berücksichtigte Korrekturen in dB

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
L_{K1}																				
L_{K2}	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
L_{K3}																				
L_{K4}	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,7	-3,3	-5,0	-6,7	-8,3	-10,0	-11,7	-13,3	-15,0	-11,7	-8,3	-5,0	-3,3	-1,7	0,0	0,0
L_{K5}																				
L_{K6}																				
L_{K7}																				
L_{K8}																				
L_{K9}																				
L_{K10}																				
L_{K11}																				
L_{K12}																				
L_{K13}																				
L_{K14}																				
L_{K15}																				

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
P	63,2	63,5	58,6	59,8	63,1	61,4	58,8	57,7	58,2	58,4	59,5	55,3	47,9	48,8	45,8	42,7	34,9	27,7	24,6	21,9	71,3

Emissionsspektrum

GV korrigiert

Strecke 3657 / 3520

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Anderung-PPF2030-SMN3.xls\Differenz

Prognose-Nullfall /-Planfall

Weichenbereich

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	GV	GV
K2		Geschwindigkeit	94 km/h	100 km/h
K3	Fahrweg	Weichenbereich	nein	ja
K4		Dammlage	nein	ja
K5		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	62,6	62,9	58,0	59,2	64,2	64,1	63,2	63,8	65,9	67,8	70,6	68,0	62,3	59,9	53,5	47,1	37,6	28,8	24,0	21,3	76,4

Berücksichtigte Korrekturen in dB

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
L_{K1}																				
L_{K2}	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
L_{K3}	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,7	8,3	10,0	11,7	13,3	15,0	13,3	11,7	10,0	8,3	6,7	5,0	3,3
L_{K4}	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,7	-3,3	-5,0	-6,7	-8,3	-10,0	-11,7	-13,3	-15,0	-11,7	-8,3	-5,0	-3,3	-1,7	0,0	0,0
L_{K5}																				
L_{K6}																				
L_{K7}																				
L_{K8}																				
L_{K9}																				
L_{K10}																				
L_{K11}																				
L_{K12}																				
L_{K13}																				
L_{K14}																				
L_{K15}																				

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
P	68,2	68,5	63,6	64,8	68,1	66,4	63,8	64,4	66,5	68,4	71,2	68,6	62,9	62,1	57,5	52,7	43,2	34,4	29,6	25,2	78,5

Emissionsspektrum

GV korrigiert

Strecke 3624

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Anderung-PPF2030-SMN3.xls\Differenz

Prognose-Nullfall /-Planfall

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	GV	GV
K2		Geschwindigkeit	94 km/h	80 km/h
K3	Fahrweg	Weichenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	ja
K5		Oberbau	Sch0 mit Betonschwellen	Sch0 mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	62,6	62,9	58,0	59,2	64,2	64,1	63,2	63,8	65,9	67,8	70,6	68,0	62,3	59,9	53,5	47,1	37,6	28,8	24,0	21,3	76,4

Berücksichtigte Korrekturen in dB

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	
L_{K1}																					
L_{K2}	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	
L_{K3}																					
L_{K4}	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,7	-3,3	-5,0	-6,7	-8,3	-10,0	-11,7	-13,3	-15,0	-11,7	-8,3	-5,0	-3,3	-1,7	0,0	0,0	
L_{K5}																					
L_{K6}																					
L_{K7}																					
L_{K8}																					
L_{K9}																					
L_{K10}																					
L_{K11}																					
L_{K12}																					
L_{K13}																					
L_{K14}																					
L_{K15}																					

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
P	61,2	61,5	56,6	57,8	61,1	59,4	56,8	55,7	56,2	56,4	57,5	53,3	45,9	46,8	43,8	40,7	32,9	25,7	22,6	19,9	69,3

Emissionsspektrum

GV korrigiert

Strecke 3624

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Anderung-PPF2030-SMN3.xls\Differenz

Prognose-Nullfall

Weichenbereich

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	GV	GV
K2		Geschwindigkeit	94 km/h	80 km/h
K3	Fahrweg	Weichenbereich	nein	ja
K4		Dammlage	nein	ja
K5		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	62,6	62,9	58,0	59,2	64,2	64,1	63,2	63,8	65,9	67,8	70,6	68,0	62,3	59,9	53,5	47,1	37,6	28,8	24,0	21,3	76,4

Berücksichtigte Korrekturen in dB

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
L_{K1}																				
L_{K2}	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
L_{K3}	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,7	8,3	10,0	11,7	13,3	15,0	13,3	11,7	10,0	8,3	6,7	5,0	3,3
L_{K4}	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,7	-3,3	-5,0	-6,7	-8,3	-10,0	-11,7	-13,3	-15,0	-11,7	-8,3	-5,0	-3,3	-1,7	0,0	0,0
L_{K5}																				
L_{K6}																				
L_{K7}																				
L_{K8}																				
L_{K9}																				
L_{K10}																				
L_{K11}																				
L_{K12}																				
L_{K13}																				
L_{K14}																				
L_{K15}																				

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
P	66,2	66,5	61,6	62,8	66,1	64,4	61,8	62,4	64,5	66,4	69,2	66,6	60,9	60,1	55,5	50,7	41,2	32,4	27,6	23,2	76,5

Emissionsspektrum

S-Bahn korrigiert Strecke 3520 / 3683

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Anderung-PPF2030-SMN3.xls\Differenz

Prognose-Nullfall /-Planfall

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	S-Bahn	S-Bahn
K2		Geschwindigkeit	100 km/h	100 km/h
K3	Fahrweg	Weichenbereich	nein	nein
K4		Dammlage	nein	ja
K5		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	31,4	37,0	41,8	49,9	54,3	56,0	56,8	58,3	59,7	56,4	54,8	52,3	55,1	55,6	48,1	32,7	22,7	19,3	13,1	9,2	66,6

Berücksichtigte Korrekturen in dB

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
L_{K1}																				
L_{K2}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
L_{K3}																				
L_{K4}	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,7	-3,3	-5,0	-6,7	-8,3	-10,0	-11,7	-13,3	-15,0	-11,7	-8,3	-5,0	-3,3	-1,7	0,0	0,0
L_{K5}																				
L_{K6}																				
L_{K7}																				
L_{K8}																				
L_{K9}																				
L_{K10}																				
L_{K11}																				
L_{K12}																				
L_{K13}																				
L_{K14}																				
L_{K15}																				

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
P	31,4	37,0	41,8	49,9	52,6	52,7	51,8	51,6	51,4	46,4	43,1	39,0	40,1	43,9	39,8	27,7	19,4	17,6	13,1	9,2	60,2

Emissionsspektrum

S-Bahn korrigiert Strecke 3520

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Anderung-PPF2030-SMN3.xls\Differenz

Prognose-Nullfall /-Planfall

Weichenbereich

			Ausgangs-Spektrum A	Prognose-Spektrum P
K1	Betrieb	Zuggattung	S-Bahn	S-Bahn
K2		Geschwindigkeit	100 km/h	100 km/h
K3	Fahrweg	Weichenbereich	nein	ja
K4		Dammlage	nein	ja
K5		Oberbau	SchO mit Betonschwellen	SchO mit Betonschwellen
K6	Tunnel	Tunnelform		
K7	Bauwerk	Wandstärke		
K8		Tunnelgründung		
K9		Bodenverhältnisse		
K10		Emissionspunkt	8 m Punkt	8 m Punkt
K11	Sonstiges	Meßverfahren	Max-Hold	Max-Hold
K12				
K13				
K14				
K15				

Ausgangsspektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
A	31,4	37,0	41,8	49,9	54,3	56,0	56,8	58,3	59,7	56,4	54,8	52,3	55,1	55,6	48,1	32,7	22,7	19,3	13,1	9,2	66,6

Berücksichtigte Korrekturen in dB

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
L_{K1}																				
L_{K2}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
L_{K3}	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,7	8,3	10,0	11,7	13,3	15,0	13,3	11,7	10,0	8,3	6,7	5,0	3,3
L_{K4}	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,7	-3,3	-5,0	-6,7	-8,3	-10,0	-11,7	-13,3	-15,0	-11,7	-8,3	-5,0	-3,3	-1,7	0,0	0,0
L_{K5}																				
L_{K6}																				
L_{K7}																				
L_{K8}																				
L_{K9}																				
L_{K10}																				
L_{K11}																				
L_{K12}																				
L_{K13}																				
L_{K14}																				
L_{K15}																				

Prognosespektrum in dB

Referenz: $v_0=5 \cdot 10^{-8}$ m/s

f[Hz]	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	Σ
P	36,4	42,0	46,8	54,9	57,6	57,7	56,8	58,3	59,7	56,4	54,8	52,3	55,1	57,2	51,5	37,7	27,7	24,3	18,1	12,5	67,4

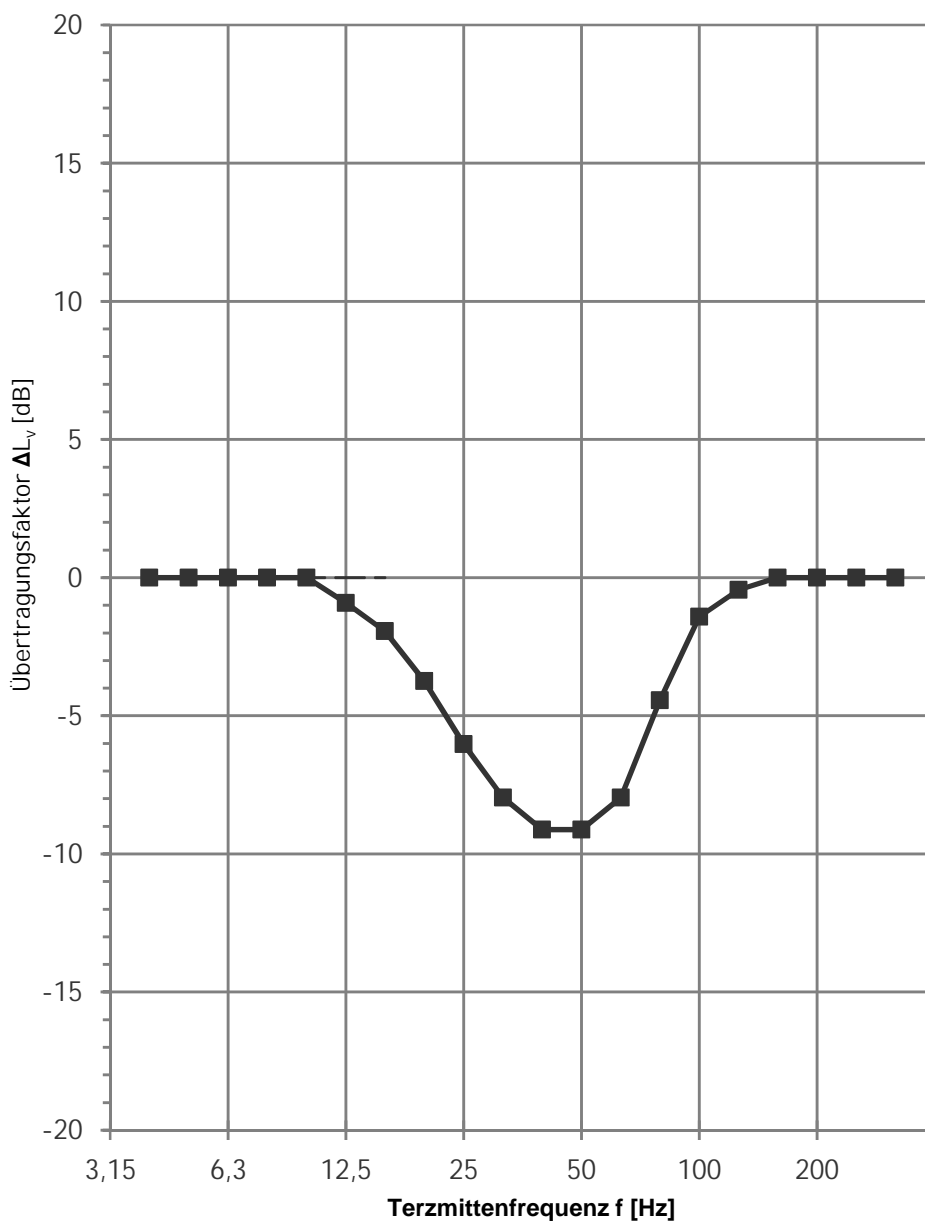
Übertragungsfunktion

Erdreich - Fundament (T2)

\\kuk\da\Bauphysik\B-Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03-Erschütterungen\A-Prognose-2030\A4-Transferfunktion.xlsx\T2-Funktion

Quelle: 18. Symposium-Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessungen
ZIEGLER CONSULTANTS
an der Empa Dübendorf, 29. Mai 2015
Bild 4.1 Ankopplungsspektren für verschiedene Gebäudetypen
Übertragung vom Erdreich auf das Gebäudefundament

Gebäudetyp: Einfamilienhäuser
Schwingrichtung: vertikal (z)



ΔL_v [dB]	f [Hz]
0,0	4
0,0	5
0,0	6,3
0,0	8
0,0	10
-0,9	12,5
-1,9	16
-3,7	20
-6,0	25
-8,0	31,5
-9,1	40
-9,1	50
-8,0	63
-4,4	80
-1,4	100
-0,4	125
0,0	160
0,0	200
0,0	250
0,0	315

02.04.2019

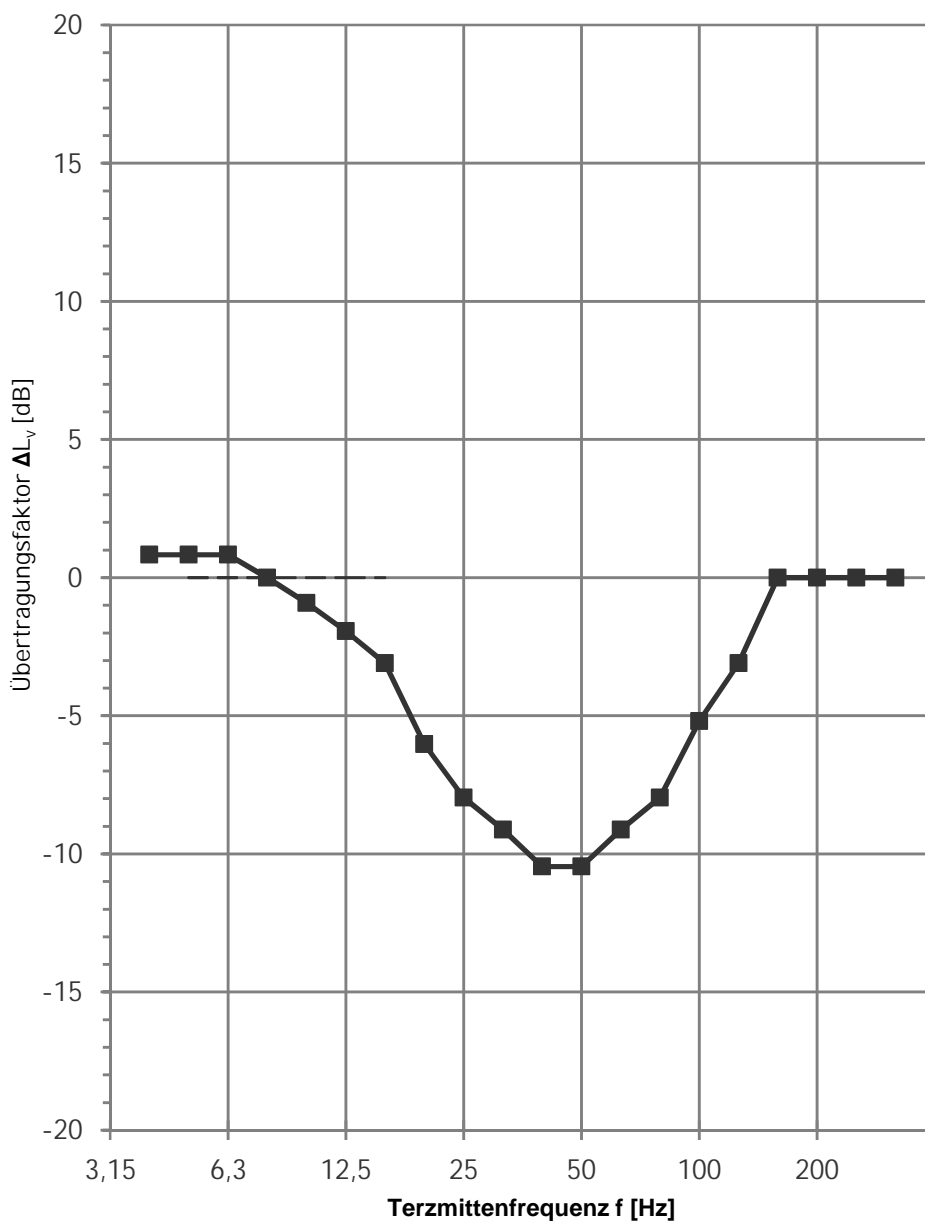
Übertragungsfunktion

Erdreich - Fundament (T2)

\\kuk\da\Bauphysik\B-Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03-Erschütterungen\A-Prognose-2030\A4-Transferfunktion.xlsx\T2-Funktion (2)

Quelle: 18. Symposium-Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessungen
ZIEGLER CONSULTANTS
an der Empa Dübendorf, 29. Mai 2015
Bild 4.1 Ankopplungsspektren für verschiedene Gebäudetypen
Übertragung vom Erdreich auf das Gebäudefundament

Gebäudetyp: Mehrfamilienhäuser
Schwingrichtung: vertikal (z)



ΔL_v [dB]	f [Hz]
0,8	4
0,8	5
0,8	6,3
0,0	8
-0,9	10
-1,9	12,5
-3,1	16
-6,0	20
-8,0	25
-9,1	31,5
-10,5	40
-10,5	50
-9,1	63
-8,0	80
-5,2	100
-3,1	125
0,0	160
0,0	200
0,0	250
0,0	315

02.04.2019

Erschütterungs-Prognose - Prognose-Nullfall 2030

Beurteilung der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Aenderung-PPF2030.xls\B-I Nullfall

<div> <div></div> <div>eingehalten</div> <div></div> <div>Prüfung durch A_r</div> <div></div> <div>nicht eingehalten</div> </div>																
IP	Straße	H.-Nr.	PLZ	Ort	Nutzung	GN	R_{min} [m]	Stockwerk	KB_{Fmax}		KB_{FTR}		Auslastung		L_r	
									Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	30	2.OG	0,122	0,122	0,018	0,019	26%	39%	9,6	9,5
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	30	2.OG	0,084	0,084	0,000	0,000	0%	0%	11,3	11,3
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	30	2.OG	0,148	0,148	0,022	0,024	32%	47%	10,0	9,8
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	24	4.OG	0,180	0,180	0,026	0,028	37%	56%	18,8	18,9
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Kind	WA	24	4.OG	0,148	0,148	0,022	0,023	31%	46%	18,6	18,6
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	24	4.OG	0,171	0,171	0,025	0,027	35%	53%	18,7	18,8
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Wohnen	MI	15	EG	0,475	0,475	0,091	0,083	91%	118%	14,1	13,7
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Kind	MI	15	EG	0,301	0,301	0,056	0,051	56%	72%	16,7	16,3
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Schlafen	MI	15	EG	0,210	0,210	0,031	0,033	31%	47%	16,1	15,7
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	70	EG	0,034	0,034	0,000	0,000	0%	0%	5,3	4,9
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	70	1.OG	0,047	0,047	0,000	0,000	0%	0%	6,2	6,0
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	70	1.OG	0,055	0,055	0,000	0,000	0%	0%	6,4	5,9

Erschütterungs-Prognose - Prognose-Planfall 2030

Beurteilung der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Aenderung-PPF2030.xls\B-I Planfall

<div> <div></div> <div>eingehalten</div> <div></div> <div>Prüfung durch A_r</div> <div></div> <div>nicht eingehalten</div> </div>																
IP	Straße	H.-Nr.	PLZ	Ort	Nutzung	GN	R _{min} [m]	Stock- werk	KB _{Fmax}		KB _{FTR}		Auslastung		L _r	
									Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	30	2.OG	0,097	0,097	0,000	0,000	0%	0%	12,2	10,0
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	30	2.OG	0,067	0,067	0,000	0,000	0%	0%	13,8	11,9
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	30	2.OG	0,118	0,118	0,014	0,015	20%	30%	12,5	10,2
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	19	4.OG	0,155	0,155	0,023	0,024	32%	49%	18,3	16,3
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Kind	WA	19	4.OG	0,135	0,135	0,020	0,021	28%	42%	17,9	15,8
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	19	4.OG	0,142	0,142	0,021	0,022	30%	44%	18,1	16,2
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Wohnen	MI	15	EG	0,479	0,479	0,123	0,088	123%	126%	16,6	13,4
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Kind	MI	15	EG	0,304	0,304	0,086	0,057	86%	82%	19,1	16,0
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Schlafen	MI	15	EG	0,212	0,212	0,050	0,036	50%	51%	18,5	15,4
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	36	EG	0,050	0,050	0,000	0,000	0%	0%	11,5	6,4
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	36	1.OG	0,058	0,058	0,000	0,000	0%	0%	11,8	6,9
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	36	1.OG	0,070	0,070	0,000	0,000	0%	0%	12,8	7,6

Änderung der Erschütterungen und des sekundären Luftschalls

Beurteilung der Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall

X:\Projekte2\2014\14197-ABSE-DBPB-EU Zepernick\C-Bearbeitung\B-Erschütterungen\A-Bahnbetrieb\14197-Planfall Nullfall Differenz-2014.xls]B-I

Erhöhung der Beurteilungsschwingstärke $\Delta K_{B_{FTT}} < 25\%$

Erhöhung der Beurteilungsschwingstärke $\Delta K_{B_{FTT}} \geq 25\%$

$\Delta K_{B_{FTT}} \geq 25\%$ und Überschreitung des Beurteilungsanhaltswertes

Erhöhung der Beurteilungspegel $\Delta L_r < 2,1 \text{ dB(A)}$

Erhöhung der Beurteilungspegel $\Delta L_r \geq 2,1 \text{ dB(A)}$

$\Delta L_r \geq 2,1 \text{ dB(A)}$ und Überschreitung des Immissionsrichtwertes

IP	Straße	H.-Nr.	PLZ	Ort	Nutzung	GN	Raum Nr.	Änderung PPF gegenüber PNF			
								$\Delta K_{B_{FTT}} [\%]$		$\Delta L_r [\text{dB(A)}]$	
								Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	2.OG	-100%	-100%	+2,6	+0,5
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	2.OG	+0%	+0%	+2,5	+0,7
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	2.OG	-36%	-36%	+2,5	+0,4
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	4.OG	-14%	-14%	-0,5	-2,6
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Kind	WA	4.OG	-9%	-9%	-0,7	-2,8
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	4.OG	-17%	-16%	-0,6	-2,6
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Wohnen	MI	EG	+35%	+6%	+2,5	-0,2
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Kind	MI	EG	+54%	+14%	+2,3	-0,3
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Schlafen	MI	EG	+65%	+9%	+2,4	-0,3
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	EG	+0%	+0%	+6,2	+1,5
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	1.OG	+0%	+0%	+5,6	+0,9
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	1.OG	+0%	+0%	+6,4	+1,7

Erschütterungs-Prognose - Prognose-Planfall 2030

Beurteilung der Immissionen - mit Vorsorgemaßnahme "besohlte Schwelle"


\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Aenderung-PPF2030-SMN1.xls\B-I Planfall

<div> <div></div> <div>eingehalten</div> <div></div> <div>Prüfung durch A_r</div> <div></div> <div>nicht eingehalten</div> </div>																
IP	Straße	H.-Nr.	PLZ	Ort	Nutzung	GN	R_{min} [m]	Stock- werk	KB_{Fmax}		KB_{FTR}		Auslastung		L_r	
									Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	30	2.OG	0,097	0,097	0,000	0,000	0%	0%	12,2	10,0
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	30	2.OG	0,067	0,067	0,000	0,000	0%	0%	13,8	11,9
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	30	2.OG	0,118	0,118	0,014	0,015	20%	30%	12,5	10,2
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	19	4.OG	0,155	0,155	0,023	0,024	32%	49%	18,3	16,3
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Kind	WA	19	4.OG	0,135	0,135	0,020	0,021	28%	42%	17,9	15,8
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	19	4.OG	0,142	0,142	0,021	0,022	30%	44%	18,1	16,2
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Wohnen	MI	15	EG	0,375	0,375	0,100	0,071	100%	102%	14,2	11,1
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Kind	MI	15	EG	0,238	0,238	0,061	0,042	61%	60%	16,3	13,4
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Schlafen	MI	15	EG	0,165	0,165	0,022	0,023	22%	33%	15,1	12,2
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	36	EG	0,050	0,050	0,000	0,000	0%	0%	11,5	6,4
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	36	1.OG	0,058	0,058	0,000	0,000	0%	0%	11,8	6,9
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	36	1.OG	0,070	0,070	0,000	0,000	0%	0%	12,8	7,6

Änderung der Erschütterungen und des sekundären Luftschalls

Beurteilung der Immissionen - mit Vorsorgemaßnahme "besohlte Schwelle"

X:\Projekte2\2014\14197-ABSE-DBPB-EU Zepernick\C-Bearbeitung\B-Erschütterungen\A-Bahnbetrieb\14197-Planfall Nullfall Differenz-2014.xls\B-I

 Erhöhung der Beurteilungsschwingstärke $\Delta K_{B_{FTF}} < 25\%$

 Erhöhung der Beurteilungsschwingstärke $\Delta K_{B_{FTF}} \geq 25\%$

 $\Delta K_{B_{FTF}} \geq 25\%$ und Überschreitung des Beurteilungsanhaltswertes

 Erhöhung der Beurteilungspegel $\Delta L_r < 2,1 \text{ dB(A)}$

 Erhöhung der Beurteilungspegel $\Delta L_r \geq 2,1 \text{ dB(A)}$

 $\Delta L_r \geq 2,1 \text{ dB(A)}$ und Überschreitung des Immissionsrichtwertes

IP	Straße	H.-Nr.	PLZ	Ort	Nutzung	GN	Raum Nr.	Änderung PPF gegenüber PNF			
								$\Delta K_{B_{FTF}} [\%]$		$\Delta L_r [\text{dB(A)}]$	
								Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	2.OG	-100%	-100%	+2,6	+0,5
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	2.OG	+0%	+0%	+2,5	+0,7
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	2.OG	-36%	-36%	+2,5	+0,4
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	4.OG	-14%	-14%	-0,5	-2,6
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Kind	WA	4.OG	-9%	-9%	-0,7	-2,8
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	4.OG	-17%	-16%	-0,6	-2,6
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Wohnen	MI	EG	+10%	-14%	+0,1	-2,6
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Kind	MI	EG	+8%	-17%	-0,4	-2,9
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Schlafen	MI	EG	-27%	-29%	-1,0	-3,5
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	EG	+0%	+0%	+6,2	+1,5
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	1.OG	+0%	+0%	+5,6	+0,9
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	1.OG	+0%	+0%	+6,4	+1,7

Erschütterungs-Prognose - Prognose-Planfall 2030

Beurteilung der Immissionen mit Vorsorgemaßnahme "System BSO"

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\Aenderung-PPF2030-SMN3.xls\B-I Planfall

<div> <div></div> <div>eingehalten</div> <div></div> <div>Prüfung durch A_r</div> <div></div> <div>nicht eingehalten</div> </div>																
IP	Straße	H.-Nr.	PLZ	Ort	Nutzung	GN	R _{min} [m]	Stockwerk	KB _{Fmax}		KB _{FTR}		Auslastung		L _r	
									Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	30	2.OG	0,097	0,097	0,000	0,000	0%	0%	12,2	10,0
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	30	2.OG	0,067	0,067	0,000	0,000	0%	0%	13,8	11,9
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	30	2.OG	0,118	0,118	0,014	0,015	20%	30%	12,5	10,2
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	19	4.OG	0,155	0,155	0,023	0,024	32%	49%	18,3	16,3
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Kind	WA	19	4.OG	0,135	0,135	0,020	0,021	28%	42%	17,9	15,8
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	19	4.OG	0,142	0,142	0,021	0,022	30%	44%	18,1	16,2
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Wohnen	MI	15	EG	0,357	0,357	0,087	0,065	87%	93%	15,0	11,9
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Kind	MI	15	EG	0,194	0,194	0,044	0,032	44%	45%	17,5	14,5
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Schlafen	MI	15	EG	0,147	0,147	0,020	0,021	20%	29%	17,0	13,9
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	36	EG	0,050	0,050	0,000	0,000	0%	0%	11,5	6,4
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	36	1.OG	0,058	0,058	0,000	0,000	0%	0%	11,8	6,9
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	36	1.OG	0,070	0,070	0,000	0,000	0%	0%	12,8	7,6

Änderung der Erschütterungen und des sekundären Luftschalls

Beurteilung der Immissionen mit Vorsorgemaßnahme "System BSO"

X:\Projekte2\2014\14197-ABSE-DBPB-EU Zepernick\C-Bearbeitung\B-Erschütterungen\A-Bahnbetrieb\14197-Planfall Nullfall Differenz-2014.xls]B-I

Erhöhung der Beurteilungsschwingstärke $\Delta K_{B_{FTF}} < 25\%$

Erhöhung der Beurteilungsschwingstärke $\Delta K_{B_{FTF}} \geq 25\%$

$\Delta K_{B_{FTF}} \geq 25\%$ und Überschreitung des Beurteilungsanhaltswertes

Erhöhung der Beurteilungspegel $\Delta L_r < 2,1 \text{ dB(A)}$

Erhöhung der Beurteilungspegel $\Delta L_r \geq 2,1 \text{ dB(A)}$

$\Delta L_r \geq 2,1 \text{ dB(A)}$ und Überschreitung des Immissionsrichtwertes

IP	Straße	H.-Nr.	PLZ	Ort	Nutzung	GN	Raum Nr.	Änderung PPF gegenüber PNF			
								$\Delta K_{B_{FTF}} [\%]$		$\Delta L_r [\text{dB(A)}]$	
								Tag	Nacht	Tag	Nacht
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	2.OG	-100%	-100%	+2,6	+0,5
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	2.OG	+0%	+0%	+2,5	+0,7
1	Paul-Gerhardt-Ring	86	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	2.OG	-36%	-36%	+2,5	+0,4
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Wohnen	WA	4.OG	-14%	-14%	-0,5	-2,6
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Kind	WA	4.OG	-9%	-9%	-0,7	-2,8
2	Paul-Gerhardt-Ring	64	60528	Frankfurt	Schlafen	WA	4.OG	-17%	-16%	-0,6	-2,6
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Wohnen	MI	EG	-4%	-21%	+0,9	-1,8
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Kind	MI	EG	-22%	-37%	+0,8	-1,8
3	Goldsteinstraße	143	60528	Frankfurt	Schlafen	MI	EG	-35%	-37%	+0,8	-1,8
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	EG	+0%	+0%	+6,2	+1,5
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	1.OG	+0%	+0%	+5,6	+0,9
4	Schwanheimer Straße	119	60528	Frankfurt	Wohnen/Schlaf	MI	1.OG	+0%	+0%	+6,4	+1,7

Einfügungs-dämmung

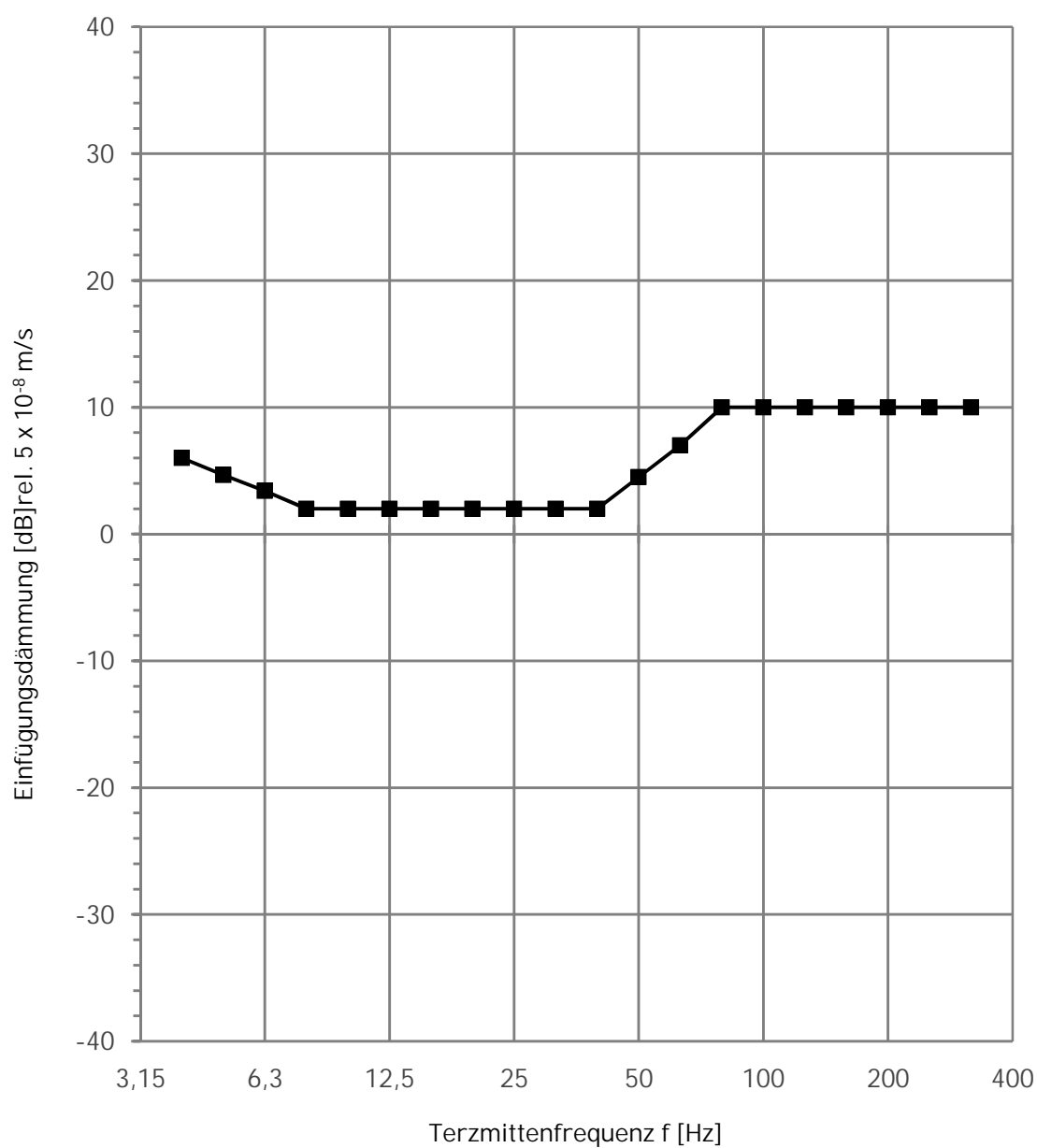
besohlte Schwellen

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\A6-Vorsorgemaßnahmen.xlsx\6.6

Oberbau: besohlte Schwelle im Vergleich zu konventionellem Schotteroberbau

Steifigkeit USM: mittlere Bodensteifigkeit
mittleres Bettungsmodul ca. 0,12 N/mm³

Schwingrichtung: vertikal (z)



EFD [dB]	f [Hz]
6,0	4
4,7	5
3,4	6,3
2,0	8
2,0	10
2,0	12,5
2,0	16
2,0	20
2,0	25
2,0	31,5
2,0	40
4,5	50
7,0	63
10,0	80
10,0	100
10,0	125
10,0	160
10,0	200
10,0	250
10,0	315

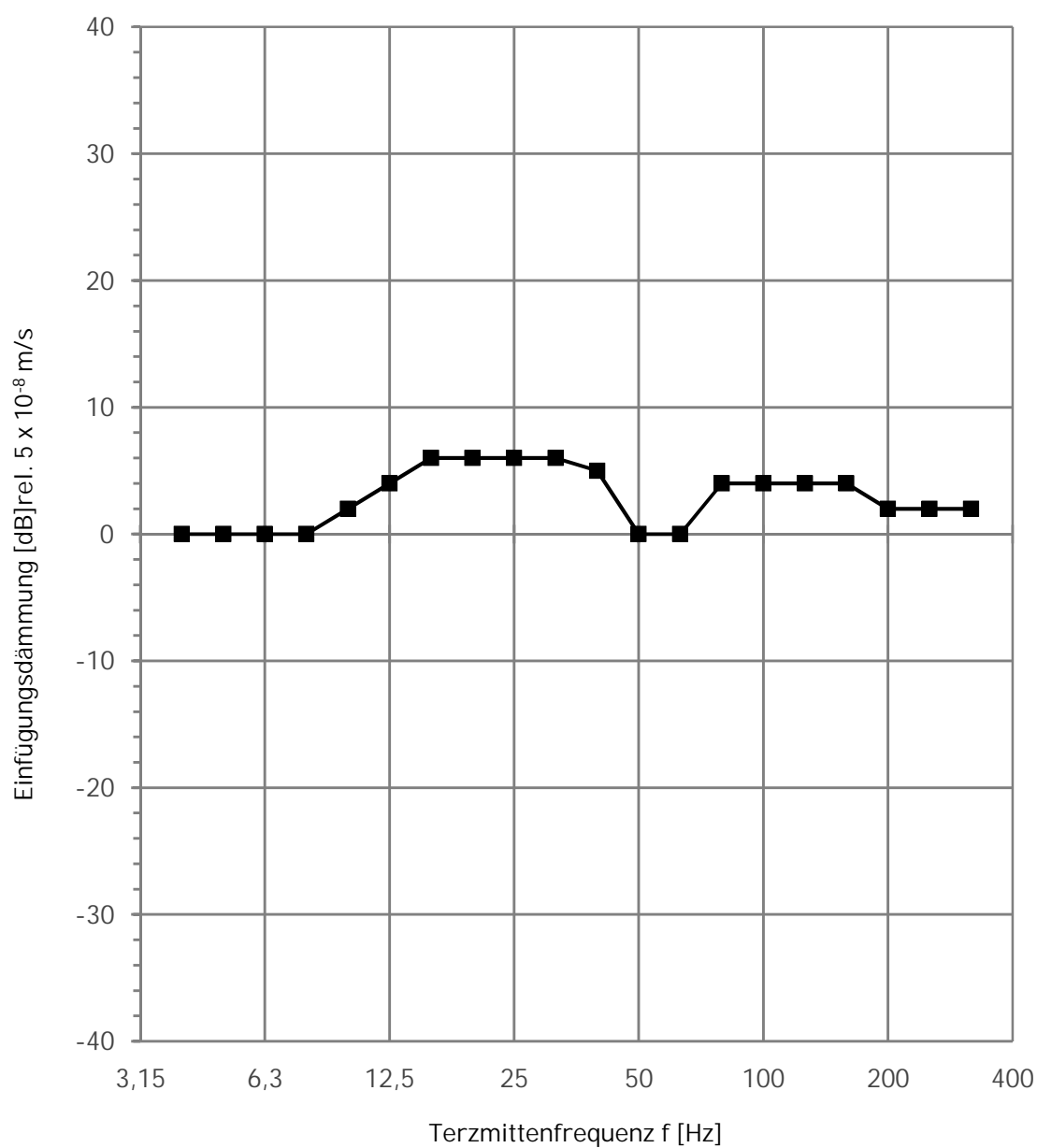
Einfügungsdämmung

System BSO

\\kuk\da\Bauphysik\B_Projekte\2010\8001-Knoten Sportfeld\C-Bearbeitung\03_Erschuetterungen\A-Prognose-2030\A6-Vorsorgemaßnahmen.xlsx\6.5

Oberbau: BSO-Trog im Vergleich zu konventionellem Schotteroberbau
 Betontrog: $d \geq 60 \text{ cm}$
 Steifigkeit USM: $c_{\text{stat}} = 0,15 \text{ N/mm}^3$

Schwingrichtung: vertikal (z)



EFD [dB]	f [Hz]
0,0	4
0,0	5
0,0	6,3
0,0	8
2,0	10
4,0	12,5
6,0	16
6,0	20
6,0	25
6,0	31,5
5,0	40
0,0	50
0,0	63
4,0	80
4,0	100
4,0	125
4,0	160
2,0	200
2,0	250
2,0	315