

## Erschütterungstechnische Untersuchung im Zuge der Elektrifizierung der Regiobahn-Infrastruktur

Hier: Planfeststellungsabschnitt I – Mettmann-Stadtwald bis  
 Wuppertal-Dornap

Bericht VA 5992-8 vom 10.11.2016 / Druckdatum: 29.03.2018

Die Akkreditierung gilt für  
 den in der Urkundenanlage  
 D-PL-20140-01-00  
 festgelegten Umfang der  
 Module Geräusche und  
 Erschütterungen.  
 Messstelle nach  
 § 29b BlmSchG

VMPA anerkannte  
 Schallschutzprüfstelle  
 nach DIN 4109

### Leitung:

Dipl.-Phys. Axel Hübel  
 Dipl.-Ing. Heiko Kremer-  
 Bertram  
 Staatlich anerkannter  
 Sachverständiger für  
 Schall- und Wärmeschutz  
 Dipl.-Ing. Mark Bless

### Anschriften:

Peutz Consult GmbH

Kolberger Straße 19  
 40599 Düsseldorf  
 Tel. +49 211 999 582 60  
 Fax +49 211 999 582 70  
 dus@peutz.de

Martener Straße 525  
 44379 Dortmund  
 Tel. +49 231 725 499 10  
 Fax +49 231 725 499 19  
 dortmund@peutz.de

Carmenstraße 5  
 10623 Berlin  
 Tel. +49 30 310 172 16  
 Fax +49 30 310 172 40  
 berlin@peutz.de

### Geschäftsführer:

Dr. ir. Martijn Vercammen  
 Dipl.-Ing. Ferry Koopmans  
 AG Düsseldorf  
 HRB Nr. 22586  
 Ust-IdNr.: DE 119424700  
 Steuer-Nr.: 106/5721/1489

### Bankverbindungen:

Stadt-Sparkasse Düsseldorf  
 Konto-Nr.: 220 241 94  
 BLZ 300 501 10  
 DE79300501100022024194  
 BIC: DUSSDEDDXXX

### Niederlassungen:

Mook / Nimwegen, NL  
 Zoetermeer / Den Haag, NL  
 Groningen, NL  
 Paris, F  
 Lyon, F  
 Leuven, B

Auftraggeber: Vössing Ingenieurgesellschaft mbH  
 Abt. Verkehrsplanung  
 Hansastraße 7-13  
 47058 Duisburg

Bericht-Nr.: VA 5992-8

Datum: 10.11.2016 / Druckdatum: 29.03.2018

Niederlassung: Düsseldorf

Ansprechpartner/in: Herr Pelzer



## Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung.....	3
2	Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien.....	4
3	Örtliche Gegebenheiten / Betriebsprogramm / Gebietsnutzungen.....	6
4	Beurteilungsgrundlagen für Erschütterungssimulationen.....	8
4.1	Allgemeines.....	8
4.2	Beurteilungsgrößen für Schienenverkehr.....	10
4.3	Sekundärluftschall.....	12
5	Erschütterungstechnische Berechnung.....	14
5.1	Beschreibung der Methodik.....	14
5.1.1	Prognoseunsicherheit.....	15
5.1.2	Ergebnisse der Erschütterungsprognose.....	16
5.1.3	Sekundärluftschall.....	16
5.2	Auswirkungen der baulichen Änderungen.....	17
6	Fazit.....	18



## 1 Situation und Aufgabenstellung

An der Regiobahn Infrastruktur zwischen Kaarster See und Wuppertal-Dornap sind verschiedene Ausbaumaßnahmen geplant. Dazu zählt insbesondere die Elektrifizierung sowie die Anhebung der Gleislage in einzelnen Haltepunkten.

Die Ausbaumaßnahmen sind in verschiedene Planfeststellungsabschnitte unterteilt worden.

In der vorliegenden Untersuchung werden die Umbaumaßnahmen im PFA I, km 15,735 bis km 21,4, betrachtet. Der Bau der Regiobahn Infrastruktur auf dem betrachteten PFA I wurde im Rahmen der Planfeststellung Verlängerung S28 von Mettmann-Stadtwald nach Wuppertal-Dornap im Jahr 2009 planfestgestellt. Bis zum heutigen Tag (2016) ist diese Verlängerung noch nicht vollständig umgesetzt worden: In Teilen des betrachteten Abschnittes wurden die Baumaßnahmen zur Verlängerung der Regiobahn Infrastruktur bereits durchgeführt, in anderen Teilen steht die Durchführung der Baumaßnahmen noch aus.

In Anlage 1 dieser erschütterungstechnischen Untersuchung ist ein Übersichtslageplan der örtlichen Gegebenheiten des Planfeststellungsabschnittes PFA I dargestellt.

Durch die Zugvorbeifahrten können in der benachbarten Bebauung Erschütterungssimmissionen erzeugt werden. Dies gilt allerdings auch schon für die schon bereits planfestgestellte „Verlängerung der S28“. Daher werden im Rahmen dieser Untersuchung die durch den Zugverkehr verursachten Erschütterungssimmissionen im Umfeld überschlägig prognostiziert und aufgrund der Vorgaben der DIN 4150, Teil 2, bewertet.

## 2 Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[1] <b>BlmSchG</b> Bundes-Immissionsschutzgesetz	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge	G	Aktuelle Fassung
[2] <b>16. BlmSchV</b> 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes / Verkehrslärmschutzverordnung	Bundesgesetzblatt Nr. 27/1990, ausgegeben zu Bonn am 20. Juni 1990	V	12.06.1990 geändert am 18.12.2014
[3] <b>24. BlmSchV</b> 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes / Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung	Geändert am 23.09.1997 und Begründung in Bundesdrucksache 363/96 vom 02.07.1996	V	04.02.1997
[4] <b>Erschütterungserlass</b> Messung, Beurteilung und Verminde- rung von Erschütterungssimmis- sionen	Gemeinsamer RdErl. des Mi- nisteriums für Umwelt und Na- turschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein- Westfalen u.a., IV A6 –46-63- vom 31.7.2000 und Änderung durch gem. RdErl. V-5-882) (VNr. 6/03) vom -4.11.2003	RdErl.	31.07.2000 und 04.11.2003
[5] <b>DIN 4150, Teil 1</b>	Erschütterungen im Bauwe- sen, Vorermittlungen von Schwingungsgrößen	N	Juni 2001
[6] <b>DIN 4150, Teil 2</b>	Erschütterungen im Bauwe- sen, Einwirkungen auf Men- schen in Gebäuden	N	Juni 1999
[7] <b>DIN 4150, Teil 3</b>	Erschütterungen im Bauwe- sen; Einwirkungen auf bauliche Anlagen	N	Februar 1999
[8] Körperschall und Erschütterungs- schutz, Leitfaden für den Planer, Beweissicherung, Prognose, Beur- teilung und Schutzmaßnahmen	Landesumweltamt NRW	Lit.	1999
[9] Materialien Nr. 22, Erschütterun- gen und Körperschall des landge- bundenen Verkehrs, Prognose und Schutzmaßnahmen	Landesumweltamt Nordrhein- Westfalen, Juli 1995, ISSN:0947-5206	Lit	Juli 1995



<b>Titel / Beschreibung / Bemerkung</b>		<b>Kat.</b>	<b>Datum</b>
[10] Taschenbuch der Technischen Akustik	G. Müller, M. Möser (Hrsg.), 3. Auflage	Lit.	2003
[11] A.Said, D. Fleischer, H. Fastl, H.-P. Grütz, G. Hödl „Laborversuche zur Ermittlung von Unterschwellen bei der Wahrnehmung von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr,,	DAGA 2000, Seite 496-497	Lit.	2000
[12] DB Richtlinie 800.2502 „Erschütterung und sekundärer Luftschall, Messung und Prognose“	DB AG, Abt. Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik, TZF 12	Lit.	November 2006
[13] Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes (BVerwG) zum Ausbau einer Eisenbahnstrecke; Schutz gegen Erschütterungen und sekundären Luftschall	Aktenzeichen 7 A 14/09	Lit.	21.12.2010
[14] Planunterlagen zum Umbauvorhaben	Zur Verfügung gestellt durch den Auftraggeber	P	Planstand: 16.09.2016
[15] Bericht VL 5992-3 "Erschütterungstechnische Untersuchung zur Verlängerung der Regionalbahnstrecke S28"	Peutz Consult GmbH, Düsseldorf	P	06.03.2003

## Kategorien:

G	Gesetz	N	Norm
V	Verordnung	RIL	Richtlinie
VV	Verwaltungsvorschrift	Lit	Buch, Aufsatz, Bericht
RdErl.	Runderlass	P	Planunterlagen / Betriebsangaben



### 3 Örtliche Gegebenheiten / Betriebsprogramm / Gebietsnutzungen

Der Planfeststellungsabschnitt PFA I von km 15,735 bis km 21,4 verläuft vom Bahnhof Mettmann-Stadtwald nach Osten vorbei an der Siedlung Röttgen, dem Bahnhof Dornap und fädelt dann bei km 21,4 in die bereits bestehende Schienenstrecke der Deutschen Bahn ein. In diesem Bereich verläuft die planfestgestellte Trasse der Regiobahn GmbH zwischen Bahnhof Mettmann-Stadtwald bis kurz hinter Bahnhof Wuppertal-Hahnenfurth zweigleisig; die Einfädelung in die bestehende Schienenstrecke der DB AG bei Wuppertal-Dornap ist eingleisig.

Im Umfeld der planfestgestellten Trasse der Regiobahn GmbH im Planfeststellungsbereich I befindet sich östlich des Bahnhofes Mettmann-Stadtwald ein Gewerbegebiet und - abgesehen von der Siedlung Röttgen - nur vereinzelte Wohngebäude (Wohnen im Außenbereich). In der Nähe der Einfädelung in die bestehende Schienenstrecke der DB AG im Abzweig Dornap befindet sich ebenfalls nur Gewerbe mit dem Schutzzanspruch eines Mischgebietes.

Eine Übersicht über den Planfeststellungsabschnitt im Zusammenhang mit der gesamten Maßnahme ist Anlage 1 dieser erschütterungstechnischen Untersuchung zu entnehmen.

Im Rahmen dieser erschütterungstechnischen Untersuchung sind die Auswirkungen durch die Elektrifizierung der Strecke zu untersuchen.

Von der Elektrifizierung der Infrastruktur abgesehen, sind keine baulichen Änderungen an der planfestgestellten Strecke vorgesehen.

Mit der Elektrifizierung geht ein Austausch des Wagenmaterials einher: Auf der Strecke werden dann durch die Regiobahn Fahrbetriebsgesellschaft mbH Elektrotriebwagen statt der bislang verkehrenden (geplanten) Dieseltriebwagen eingesetzt.

Die in der Berechnung angenommene Streckenbelastung wurde von der Regiobahn GmbH zur Verfügung gestellt. Aufbereitet ergeben sich Zugzahlen in der Tabelle 3.1.

Tabelle 3.1: Angenommene Streckenbelastung der Regiobahn GmbH

	<b>Geschwindigkeit [km/h]</b>	<b>Anzahl Vorbeifahrten</b>	
		<b>Tag (6 – 22 Uhr)</b>	<b>Nacht (22 – 6 Uhr)</b>
Richtung Kaarst	80	45	12
Richtung Wuppertal	80	47	10

Die Güterzüge verkehren im Planfeststellungsabschnitt I von Bahnhof Mettmann-Stadtwald bis Bahnhof Wuppertal-Hahnenfurth. Auf der Strecke zwischen Ausfädelung Bahnhof Dornap und Abzweig Dornap in die bestehende Schienenstrecke der DB AG in Wuppertal-Dornap findet kein Güterverkehr statt.

Tabelle 3.2: Zusätzliche Streckenbelastung Mettmann – Dornap-Hahnenfurth (Güterverkehr)

	<b>Anzahl Vorbeifahrten</b>	
	<b>Tag (6 – 22 Uhr)</b>	<b>Nacht (22 – 6 Uhr)</b>
Richtung Kaarst	2	1
Richtung Wuppertal	2	1

Die Entwurfsgeschwindigkeiten  $v_e$  der einzelnen Streckenabschnitte der Infrastruktur der Regiobahn GmbH im PFA I sind in Tabelle 3.3 zusammengetragen.

Tabelle 3.3: Entwurfsgeschwindigkeiten im PFA I der Infrastruktur der Regiobahn GmbH

<b>Strecke</b>	<b>Streckenabschnitt</b>		<b>Entwurfsgeschwindigkeit <math>v_e</math> in km/h</b>
	<b>Von</b>	<b>Bis</b>	
2423	D-Gerresheim	km 16,0+56	80
2423	km 16,0+56	km 19,2+98	100
2423	km 19,2+98	km 19,5+94	80
2727	km 19,5+94	km 20,8+4	80
2727	km 20,8+4	km 21,4+50	60

## 4 Beurteilungsgrundlagen für Erschütterungsimmissionen

### 4.1 Allgemeines

Die während einer Erschütterungsimmissionsmessung erfasste und registrierte Messgröße ist die Schwingsschnelle  $v(t)$  in mm/s (das Schnellesignal). Diese Größe ist gemäß DIN 4150, Teil 3 [7] ohne jegliche Zeit- und Frequenzbewertung zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf Gebäude heranzuziehen.

Entsprechend der DIN 4150, Teil 2 [6] wird zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden als Beurteilungsgröße das frequenz- und zeitbewertete Erschütterungssignal, gemessen in Raummitte der am stärksten betroffenen Geschossdecke, herangezogen. Die Frequenzbewertung erfolgt dabei nach DIN 4150, Teil 2 in Form der so genannten "KB-Bewertung". Das Ergebnis der Bewertung ist der gleitende Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals nach folgender Gleichung:

$$KB_{\tau}(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{\xi=0}^t e^{-\left(\frac{t-\xi}{\tau}\right)} \cdot KB^2(\xi) d\xi}$$

Als Zeitbewertung wird der gleitende Effektivwert mit einer Zeitkonstanten von  $\tau = 0,125$  s gebildet. Zur Konkretisierung der verwendeten Zeitkonstante wird, entsprechend der Norm, die bewertete Schwingstärke  $KB_F(t)$  genannt. Die während der Beurteilungszeit erfasste höchste bewertete Schwingstärke wird als Maximalwert  $KB_{F\max}$  bezeichnet.

Da es sich bei Erschütterungsimmissionen nicht um gleichförmige Schwingungen, sondern um stochastische Einzeltorgänge handelt, kann gemäß DIN 4150, Teil 2, der Beginn eines jeden Ereignisses (Zugvorbeifahrt) an den Anfang eines Taktes gelegt werden. Durch dieses Verfahren wird die Anwendung des Takt-Maximal-Bewertungsverfahrens auf Erschütterungen aus oberirdischem Bahnverkehr deutlich vereinfacht. Dies bedeutet nämlich, dass jedem Maximalwert  $KB_F$  einer Zugvorbeifahrt bei üblicher Zuggeschwindigkeit und -länge jeweils ein Takt zugeordnet wird. Aus diesen ermittelten Taktmaximalwerten  $KB_{FTi}$  wird der Taktmaximal-Effektivwert  $KB_{FTm}$  nach nachfolgender Gleichung berechnet:

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2}$$

Bei Anwendung dieser Gleichung sind alle Werte  $KB_{FTi} \leq 0,1$  zu Null zu setzen, jedoch gehen diese Takte in die Anzahl N ein und beeinflussen somit den Effektivwert.



Für die Beurteilung der Erschütterungssimmissionen werden zwei Beurteilungsgrößen herangezogen. Dies sind zum einen die maximal bewertete Schwingstärke  $KB_{F\max}$  sowie, falls erforderlich, die Beurteilungsschwingstärke  $KB_{FTr}$ . Die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTr}$  ist der Taktmaximal-Effektivwert über die Beurteilungszeit. Diese Beurteilungs-Schwingstärke wird nach DIN 4150, Teil 2 [6] mit folgender Gleichung berechnet:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{I}{T_r} \sum_j T_{e,j} \cdot KB_{FTm,j}^2}$$

$T_r$  = Beurteilungszeit (tags 16 h, nachts 8 h)  
 $T_{e,j}$  = Teileinwirkungszeiten  
 $KB_{FTm,j}$  = Taktmaximal-Effektivwerte die für die Teileinwirkungszeiten  $T_{e,j}$  repräsentativ sind

In die Beurteilungsschwingstärke  $KB_{FTr}$  geht also Art und Anzahl der Erschütterungssereignisse innerhalb der Beurteilungszeiten Tag und Nacht mit dem jeweiligen von der entsprechenden Erschütterungsquelle abhängigen Takt-Maximal-Effektivwert  $KB_{FTm}$  ein.

Die so ermittelten Beurteilungsgrößen  $KB_{F\max}$  und  $KB_{FTr}$  werden mit den in der DIN 4150, Teil 2, angegebenen Anhaltswerten, unter Zugrundelegung verschiedener Gebietsnutzungen für die Beurteilung von Erschütterungssimmissionen, verglichen (siehe Tabelle 4.2).

Hierbei sind drei unterschiedliche Anhaltswerte  $A_u$ ,  $A_0$  und  $A_r$  angegeben.

Ist der ermittelte  $KB_{F\max}$ -Wert kleiner oder gleich dem "unteren" Anhaltswert  $A_u$ , ist die Anforderung der DIN 4150, Teil 2, erfüllt.

Ist der ermittelte  $KB_{F\max}$ -Wert größer als der "obere" Anhaltswert  $A_0$ , sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten.

Für Werte von  $A_0 \geq KB_{F\max} \geq A_u$  ist die Beurteilungsschwingstärke  $KB_{FTr}$  zu ermitteln und mit dem Anhaltswert  $A_r$  zu vergleichen. Ist  $KB_{FTr}$  kleiner bzw. gleich dem Anhaltswert  $A_r$ , so sind die Anforderungen der Norm eingehalten.

$KB$ -Werte  $\leq 0,1$  gehen gemäß Norm nicht in die Beurteilung mit ein. Ein solcher Wert kann als Maß für die Fühlchwelle herangezogen werden, wobei die Tatsache ob ein Erschütterungssereignis gespürt wird von vielen individuellen Faktoren und dem subjektiven Empfinden abhängt (siehe auch Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung

Bewertete Schwingstärke KB	Beschreibung der Wahrnehmung
< 0,1	nicht spürbar
0,1	Fühlchwelle
0,1 – 0,4	gerade spürbar
0,4 – 1,6	gut spürbar
1,6 – 6,3	stark spürbar
> 6,3	sehr stark spürbar

## 4.2 Beurteilungsgrößen für Schienenverkehr

Die Erschütterungssimmissionen durch Schienenverkehr sind nach Kapitel 4.1 zu beurteilen und mit den Anhaltswerten der Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 2 (siehe hier Tabelle 4.2) zu vergleichen. Hierbei sind die Besonderheiten nach Punkt 6.5.3.1, 6.5.3.4 und 6.5.3.5. der DIN 4150, Teil 2 zu beachten, welche u.a. dem oberen Anhaltswert  $A_o$  eine neue Bedeutung verleihen (siehe Anmerkung \* Tabelle 4.2).

Zuschläge für Einwirkungen innerhalb der Ruhezeiten sind hierbei nicht anzuwenden (DIN 4150, Teil 2, Abschnitt 6.5.3.1).

Tabelle 4.2: Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1, Abschnitt 6.5.3.5.

Einwirkungsgrad	$A_u$		$A_o$		$A_r$	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Anhaltswerte A gemäß DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1, mit Abschnitt 6.5.3.3 und 6.5.3.5.	Zeile 2 △ GE	0,3	0,2	6	0,6*	0,15
	Zeile 3 △ MI/MK	0,2	0,15	5	0,6*	0,1
	Zeile 4 △ WR/WA	0,15	0,1	3	0,6*	0,07

\* Für Schienenverkehr hat der obere Anhaltswert  $A_o$  nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen zum Nachtzeitraum einzelne Ereignisse über dem oberen Anhaltswert, so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugehörigkeit zu forschen (z.B. Flachstelle an den Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben. Diese hohen Werte sind jedoch bei der Be- rechnung der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FT}$  zu berücksichtigen.

Bezüglich des Erschütterungsschutzes von Verkehrswegen existieren im Gegensatz zum Verkehrslärm keine rechtsverbindlich festgelegten Grenzwerte und Beurteilungskriterien. Auch die für die Beurteilung von Erschütterungssimmissionen hier hilfsweise herangezogene



DIN 4150, Teil 2 [6] , kann ausweislich der Anmerkungen unter Abschnitt 6.5.3.4 dieser Norm auf bestehende Bahnstrecken nicht unmittelbar angewendet werden.

Bewertungsmaßstab für die vorgesehenen Baumaßnahmen ist daher nicht stets die Einhaltung der in o.g. Norm angegebenen Anhaltswerte, sondern auch der Grundsatz, durch die Baumaßnahme keine wesentliche, d.h. im Einzelfall unzumutbare Erhöhung der vorhandenen Erschütterungssituation aus dem Schienenverkehr hervorzurufen.

Zur Ermittlung und Bewertung der vorhandenen sowie der erwarteten Erschütterungssimmissionen wird in Ermangelung rechtsverbindlich festgelegter Vorgehensweisen (s.o.) hilfsweise auf die DIN 4150, Teil 2, zurückgegriffen. Diese Vorgehensweise wird auch durch die aktuelle Rechtsprechung vom Bundesverwaltungsgericht bestätigt.

Das Bundesverwaltungsgericht trifft in einem Urteil zur Zumutbarkeit von Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen vom 21.12.2010 folgende Festlegung: "Die korrelierten Anhaltswerte  $A_0$  und  $A_r$  "der DIN 4150, Teil 2" bezeichnen ... nicht die Schwelle des enteignungsrechtlich nicht Zumutbaren, sondern liegen, da sie auf das billigerweise nicht Zumutbare bezogen sind, deutlich darunter. Auf Ausbaumaßnahmen sind diese Anhaltswerte aber nicht unmittelbar anwendbar (Ziffer 6.5.3.4 c). Denn hier ist die immissionsschutzrechtliche Situation entscheidend durch den vorhandenen Bestand geprägt. Aus dem Gebot der gegenseitigen Rücksichtnahme folgen besondere Duldungspflichten, sodass Erschütterungen, die sich im Rahmen einer plangegebenen oder tatsächlichen Vorbelastung halten, deswegen – jedenfalls in aller Regel – zumutbar sind, auch wenn sie die Anhaltswerte übersteigen."

Demnach können Betroffene lediglich verlangen, dass durch den Ausbau einer Bahnstrecke die schon vor Baudurchführung möglichen Erschütterungsbelastungen nicht wesentlich erhöht werden. Es besteht kein Anspruch auf Verbesserung der vorhandenen Erschütterungsvorbelastung.

Für die Bewältigung des Belanges der Erschütterungssimmissionen in der Planfeststellung (Ausbaustrecken mit Erschütterungsvorbelastungen) ist die Vorbelastung der bereits vorhandenen Schienenwege möglichst genau zu ermitteln. Der Vergleich mit der Prognose muss zur Beurteilung herangezogen werden, um feststellen zu können, ob im Falle der Erhöhung eine unzumutbare Beeinträchtigung vorliegt.

Zur Bewertung einer im Einzelfall vorliegenden Erhöhung können u.a. die Ergebnisse einer Laborstudie zur Ermittlung von Unterschiedsschwellen bei der Wahrnehmung von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr herangezogen werden. Ein Ziel dieser Laborstudie war, zu ermitteln, welcher Minimalbetrag an Erschütterungsenergieänderung benötigt wird, um wahrgenommen zu werden. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die im Leitfaden der Deutschen Bahn AG [12] getroffene Schlussfolgerung und zeigen, dass die im Labor untersuchte



Erschütterungsdifferenz von 25%-Erhöhung als Laborunterschiedsschwelle, d.h. als untere Grenze der Wahrnehmung zu verstehen ist.

Die Anwendbarkeit dieser Untersuchung wird auch durch das Bundesverwaltungsgericht wie folgt bestätigt [13]: "Die Übertragbarkeit der so gefundenen Wahrnehmbarkeitsschwelle auf den für die Frage der Zumutbarkeit von Erschütterungen entscheidenden Anhaltswert  $A_r$  ist undenklich. Die Untersuchung bezieht sich zwar auf die Bewertung der maximalen Schwingstärke  $KB_{F_{max}}$ , während die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FT_r}$ , die mit dem genannten Anhaltswert korreliert, nicht unmittelbar Gegenstand der Versuchsreihe war. Beide Werte sind aber eng miteinander verknüpft, da die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FT_r}$  aus einem gewichteten Mittelwert der in der Beurteilungszeit auftretenden Erschütterungsimmissionen gebildet wird."

#### 4.3 Sekundärluftschall

Durch die durch den Schienenverkehr hervorgerufenen Erschütterungen innerhalb der Gebäude können durch die Anregung der Raumbegrenzungsflächen und der dadurch bedingten Schallabstrahlung Schallimmissionen in Form von Sekundärluftschall auftreten.

Bei oberirdisch geführten Strecken, wie es in der vorliegenden Situation der Fall ist, liegen die Anteile des Sekundärluftschalls in der Regel deutlich unterhalb der Immissionen durch direkt einfallenden Luftschall.

Innerhalb einer umfangreichen Studie zum Sekundärluftschall wurde aus einer Vielzahl von Messungen ein empirischer Zusammenhang zwischen dem Schwing schnellepegel sowie dem Sekundärluftschallpegel ermittelt.

Dieser Zusammenhang ist im Wesentlichen abhängig von der jeweiligen Bauweise der Häuser. So ergaben sich z.B. für Häuser mit Betondecken andere Abhängigkeiten zwischen Sekundärluftschall und Erschütterungen als für den Fall von Häusern mit Holzbalkendecken.

Eine messtechnische Erfassung des sekundären Luftschallanteils bei oberirdisch verlaufenden Strecken ist, da gleichzeitig direkt einfallender Luftschall auftritt, in der Regel nicht möglich. Ein solch messtechnischer Nachweis wäre nur bei einem entsprechend großen Abstand von Sekundärluftschallpegel zum direkten Luftschall möglich. Dies ist z.B. möglich, wenn eine ausreichende Schalldämmung der Fassade (Massivbauweise ohne Fenster) eines Messraums vorliegt. In solchen Fällen ist in der Regel der Sekundärluftschall bei Zugdurchfahrten auch deutlich wahrzunehmen.

Für die Beurteilung der Sekundärluftschallpegel aus Bahnbetrieb existieren keine verbindlichen Normen und Regelwerke. Eine aktuelle Rechtsverordnung, die sich mit zulässigen In-



nenraumpegeln im Zusammenhang mit der Dimensionierung von passiven Lärmschutzmaßnahmen beschäftigt, ist die 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes.

Aus den Regularien der 24. BImSchV lassen sich als Zumutbarkeitsschwellen mittlere Innenraumpegel von 40 dB(A) (tags) für Wohnräume und 30 dB(A) (nachts) für Schlafräume ableiten. Hierbei erfolgt keine Unterscheidung hinsichtlich der Gebietsnutzung. Das Bundesverwaltungsgericht legt in seinem Urteil vom 21.12.2010 diese Vorgehensweise ebenfalls nahe: "Ein spezielles Regelwerk zur Bestimmung der Zumutbarkeit beim sekundären Luftschall gibt es bislang nicht. Zur Schließung dieser Lücke ist auf Regelwerke zurückzugreifen, die auf von der Immissionscharakteristik vergleichbare Sachlagen zugeschnitten sind. Dabei ist in erster Linie dem Umstand Rechnung zu tragen, dass es sich bei dem hier auftretenden sekundären Luftschall um einen verkehrsinduzierten Lärm handelt. Das legt eine Orientierung an den Vorgaben der auf öffentliche Verkehrsanlagen bezogenen 24. BImSchV nahe."

## 5 Erschütterungstechnische Berechnung

### 5.1 Beschreibung der Methodik

Die Prognose von in benachbarten Wohngebäuden zu erwartenden Erschütterungen durch Zugverkehr erfolgt mit Hilfe von im Boden in unmittelbarer Gleisnähe gemessenen Erschütterungsemisionsspektren, theoretischen oder empirischen Übertragungsfunktionen für die Ausbreitung einer Erschütterung im Boden sowie typischen Übertragungsfunktionen für den Übergang vom Erdboden auf eine Geschossdecke im Gebäude für verschiedene Deckeneigenfrequenzen aus der Literatur [10] und [12].

Die Erschütterungsimmissionen gehen in Form von gemittelten Terz-F-max-Frequenzspektren in die Berechnung ein. Durch die Verwendung von Terz-F-max-Spektren liegen die berechneten Prognosen auf der sicheren Seite, da für diese Spektren zu jeder Terz der während eines Ereignisses maximal aufgetretene Messwert zugeordnet wird. Dies tritt so in der Realität allgemein nicht auf und führt daher bei der Prognose in der Regel zu höheren Werten.

Im Rahmen der erschütterungstechnischen Untersuchung zur Planfeststellung der Verlängerung der Regiobahn-Infrastruktur [15] wurden Erschütterungsmessungen im Bereich Erkrath, Haus Morp, km 6,6, an der bereits bestehenden Regiobahn-Infrastruktur durchgeführt und hieraus die durch die Vorbeifahrt der Dieseltriebwagen vom Typ Talent verursachten Erschütterungsimmissionen in 10 m Entfernung zum Gleis für eine ebenerdige Lage bestimmt. Dieses Spektrum kann Anlage 2.1 dieser EU entnommen werden.

Für die Prognose der von den Güterzugvorbeifahrten verursachten Erschütterungen wird auf das an einem Bodenmesspunkt am ebenerdigen Zufahrtsgüterzuggleis an der Buchenstraße in Düsseldorf-Reisholz in 11,5 m Entfernung vom Gleis im Erdboden gemessenen Erschütterungsspektrum zurückgegriffen, welches auch in Anlage 2.1 dieser EU dargestellt ist.

Um die variierende Entfernung zum Gleis für die Bebauung entlang der Strecke zu berücksichtigen, werden rechnerisch Übertragungsfunktionen für die Weiterleitung der Erschütterungen im Erdboden herangezogen (Transmission). Die verwendeten Übertragungsfunktionen wurden auf der Basis von eigenen Messwerten aus vergleichbaren Projekten und Literaturangaben [10] ermittelt und neigen (im konservativen Sinne) eher zur Überschätzung der Schwingungstransmission.

Für die Prognose der Erschütterungen in den Gebäuden werden typische Übertragungsfunktionen für Beton- und Holzdecken aus der Literatur herangezogen [12].



Die Ergebnisse der Erschütterungsberechnung sind in Anlagen 2.1 – 2.5 dieser EU dargestellt. Jeweils sind für 10 verschiedene Deckeneigenfrequenzen die sich aus der Prognoseberechnung für einen Abstand von 10 – 90 m zum Gleis ergebenden Erschütterungsimmissionen grafisch dargestellt. Zum Vergleich sind die Anhaltswerte der DIN 4150-2 für Erschütterungsimmissionen in Wohngebieten (WA) angegeben.

Es können sich in den detailliert dargestellten Berechnungen in den Anlagen scheinbare Rechenfehler um 0,1 dB in den spektralen Darstellungen ergeben. Diese röhren aus der Tatsache, das intern mit genaueren Zahlen gerechnet wurde, als in den auf eine Nachkommastelle gerundeten Werten, welche in den Anlagen dargestellt werden.

### 5.1.1 Prognoseunsicherheit

Die generelle messtechnische Unsicherheit bei der Ermittlung von  $KB_F$ -Werten kann gemäß DIN 4150 Teil 2 [6] mit 15 % beziffert werden. Die zur Prognose herangezogenen Übertragungsfunktionen für die Transmission im Erdboden, den Übergang vom Fundament auf die Decken im Gebäude sind ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet.

Als Eingangsdaten für die Prognose werden jedoch Emissionsspektren herangezogen, welche die Zugvorbeifahrten mit den höchsten Erschütterungsimmissionen verursacht haben. Im Mittel aller Zugvorbeifahrten wird eine niedrigere Erschütterungsimmission auftreten. Weiterhin wurden für die Prognose sogenannte Terz-F-Max-Spektren verwendet, welche in der Regel bis zu 10 dB über dem gemittelten Emissionsspektrum liegen. Eine Prognoseunsicherheit von 20 % bewirkt eine Pegelunsicherheit, die deutlich geringer (< 2 dB) ist. Erfahrungsgemäß werden daher die zukünftig zu erwartenden Erschütterungen tendenziell konservativ überschätzt.

### 5.1.2 Ergebnisse der Erschütterungsprognose

Den in Anlage 2 dieser EU dargestellten Prognoseberechnungen zufolge ist davon auszugehen, dass ab einer Entfernung von 35 m zum nächstgelegenen Gleis die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2, für Erschütterungsimmissionen für Wohngebiete für den Tag- und Nachtzeitraum bei der vorgesehenen Frequentierung auch für die ungünstigste angenommene Deckenart (Holzbalkendecke mit Resonanzfrequenz 12,5 Hz) eingehalten werden. Für die typischerweise im Wohnbau häufig vorliegenden Betondecken wird eine Einhaltung bereits ab 20 m Abstand zum Gleis prognostiziert.

Im betrachteten Planfeststellungsabschnitt befinden sich nur in der Siedlung Röttgen Wohngebäude in einem Abstand von weniger als 20 m zu den Gleisen. In diesem Bereich sind die planfestgestellten Baumaßnahmen zur Verlängerung der Regiobahn-Infrastruktur bereits abgeschlossen. Hier ist daher die Überschreitung von Anhaltswerten nicht das alleinige Kriterium für eine mögliche Erfordernis von Maßnahmen. Es zeigt nur, in welchem Korridor überhaupt eine Betroffenheit auftreten kann. Wesentlich ist aber, ob durch die zu beurteilende Baumaßnahme, die Elektrifizierung, eine Erhöhung vorliegt.

Die gewerblich genutzten Gebäude an der Dornaper Str. (km 21,1, Einfädelung in bestehende DB-Schienenstrecke) weisen ebenfalls einen Abstand von weniger als 20 m zum nächstgelegenen Gleis auf. Bei den in diesen Gebäuden sicherlich vorliegenden Betondecken wird der hier zu betrachtenden Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 für Mischgebiete im Tageszeitraum  $A_r = 0,1$  schon bei einer Entfernung von 12 m zum Gleis und damit an allen Gebäuden an der Dornaper Straße eingehalten (vgl. Anlage 2 dieser EU).

### 5.1.3 Sekundärluftschall

Durch die durch den Schienenverkehr hervorgerufenen Erschütterungen innerhalb der Gebäude können durch die Anregung der Raumbegrenzungsflächen und der dadurch bedingten Schallabstrahlung Schallimmissionen in Form von Sekundärluftschall auftreten.

Bei oberirdisch geführten Strecken, wie es in der vorliegenden Situation der Fall ist, liegen die Anteile des Sekundärluftschalls in der Regel deutlich unterhalb der Immissionen durch direkt einfallenden Luftschall.

Aus den Regularien der 24. BImSchV lassen sich mittlere Innenraumpegel von 40 dB(A) (tags) für Wohnräume und 30 dB(A) (nachts) für Schlafräume als Zumutbarkeitsschwelle ableiten. Hierbei erfolgt keine Unterscheidung hinsichtlich der Gebietsnutzung.

Innerhalb einer umfangreichen Studie [8] zum Sekundärluftschall wurde aus einer Vielzahl von Messungen ein empirischer Zusammenhang zwischen dem Schwingschnellepegel so-

wie dem Sekundärluftschallpegel ermittelt. Somit können aus den prognostizierten Erschütterungsimmissionen die zu erwartenden sekundären Luftschallimmissionen ermittelt werden. Wie Anlage 2.4 dieser EU entnommen werden kann, ist in einem Abstand von mehr als 10 m entlang der gesamten Strecke mit einer Einhaltung der Anforderungen der 24. BImSchV für die sekundären Luftschallimmissionen in allen Gebäuden der Prognoseberechnung zu Folge zu erwarten.

## 5.2 Auswirkungen der baulichen Änderungen

Die Umbaumaßnahmen im Planfeststellungsabschnitt PFA I umfassen ausschließlich die Elektrifizierung der bereits planfestgestellten Trasse.

Durch die Elektrifizierung der Strecke und den Ersatz von Dieseltriebwagen durch Elektrotriebwagen ist keine nennenswerte Erhöhung der Erschütterungsimmissionen zu erwarten, da für die Erschütterungsimmissionen die Masse und Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Züge, die Bodenbeschaffenheit und die Bauart der Gebäude ausschlaggebend sind. Durch die leicht geänderten Radsatzmassen der Züge sind allenfalls nur marginale Änderungen für die Erschütterungsimmissionen zu erwarten.

Aus dem zu beurteilenden baulichen Eingriff der Elektrifizierung ist also keine nennenswerte Erhöhung der Erschütterungsimmissionen zu erwarten. Daher ist davon auszugehen, dass durch die geplante Elektrifizierung keine wesentliche Erhöhung der Erschütterungsimmissionen im Sinne des Urteils des Bundesverwaltungsgerichts [13] (d.i. eine Erhöhung um mehr als 25 %) zu erwarten ist.

In Teilen des Planfeststellungsabschnittes I sind die planfestgestellten Baumaßnahmen zur „Verlängerung der S28“ noch nicht durchgeführt worden. Die betrifft aber nur die Strecke östlich der Siedlung Röttgen. In diesem Bereich ist der dargestellten Prognoseberechnung aber davon auszugehen, dass aufgrund des hohen Abstandes der Gebäude von der Trasse bzw. der geringeren Schutzbedürftigkeit der gewerblich genutzten Gebäude an der Dornaper Straße die anzusetzenden Anhaltswerte der DIN 4150-2 auch bei elektrifizierter, verlängerter Strecke eingehalten werden.

Bei einer Beurteilung der Gesamtmaßnahme (d.h. planfestgestellte „Verlängerung der S28“ inkl. der Elektrifizierung der Regiobahn-Infrastruktur) ergibt sich aus erschütterungstechnischer Sicht keine gegenüber der Planfeststellung der „Verlängerung der S28“ geänderte erschütterungstechnische Situation. Die in den Gebäuden entlang der Strecke zu erwartenden Erschütterungsimmissionen unterscheiden sich kaum von den in der Planfeststellung der „Verlängerung der S28“ in 2009 prognostizierten Erschütterungsimmissionen [15]. Durch die Elektrifizierung als Planänderung 8. der Planfeststellung von 2005 ergibt sich also keine Veränderung der bereits planfestgestellten erschütterungstechnischen Situation.

## 6 Fazit

Aufgrund der geplanten Elektrifizierung der Regiobahn-Infrastruktur im Planfeststellungsabschnitt I, Mettmann-Stadtwald bis Wuppertal-Dornap (km 15,735 bis km 21,4) wurde eine erschütterungstechnische Untersuchung durchgeführt.

Der Bau der Regiobahn-Infrastruktur auf dem betrachteten Streckenabschnitt wurde 2009 als Maßnahme "Verlängerung der S28 Bahnhof Mettmann-Stadtwald bis Wuppertal-Dornap" planfestgestellt. Die planfestgestellten Baumaßnahmen sind 2016 bereits teilweise erfolgt.

Die zu erwartenden Erschütterungssimmissionen in schutzbedürftigen Nutzungen wurden mit Hilfe von an einer vergleichbaren Strecke gemessenen Erschütterungsspektren für die Güterzugvorbeifahrten und mit Hilfe der im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zur „Verlängerung der S28“ an der Trasse der Regiobahn GmbH gemessenen Erschütterungsspektren für die Triebwagenvorbeifahrten überschlägig prognostiziert und mit den Anforderungen der DIN 4150, Teil 2, verglichen.

Aus der Prognose ergibt sich ein Korridor von 35 m Abstand zur Gleistrasse, innerhalb derer eine Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2, für Wohngebiete im Tages- und Nachtzeitraum nicht ausgeschlossen werden kann. Im betrachteten Planfeststellungsabschnitt I befinden sich innerhalb der Siedlung Röttgen Wohngebäude innerhalb dieses Korridors. Für die näher zur Trasse gelegenen gewerblich genutzten Bauten an der Dornaper Straße bei km 21,1 ist von einer Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 für Mischgebiete auszugehen.

Durch die geplante Elektrifizierung ist jedoch keine nennenswerte Erhöhung der Erschütterungssimmissionen zu erwarten. Gegenüber der 2009 bereits planfeststellten Situation („Verlängerung der S28“ ohne Elektrifizierung) ergibt sich daher nur eine allenfalls marginale Veränderung der Erschütterungssimmissionen in den betrachteten Gebäuden. Durch die geplante Elektrifizierung ist keine wesentliche Erhöhung der Erschütterungssimmissionen im Sinne des Urteils des Bundesverwaltungsgerichts [13] im Vergleich zur planfestgestellten Situation zu erwarten.

Der überschlägigen Prognoseberechnungen zu Folge ist mit einer Einhaltung der in Anlehnung an die 24. BImSchV formulierten Anforderungen an die sekundären Luftschallimmissionen in den benachbarten Wohngebäuden ab einem Abstand von 10 m zum Gleis zu rechnen.

Durch die geplante Elektrifizierung ergibt sich daher keine Veränderung der erschütterungstechnischen Untersuchung und Beurteilung, welche bereits im Rahmen der Planfeststellung der „Verlängerung der S28“ durchgeführt worden ist. Daher ergeben sich allein durch die



Elektrifizierung keine erschütterungstechnischen Betroffenheiten im betrachteten Planfeststellungsabschnitt I.

Dieser Bericht besteht aus 19 Seiten und 3 Anlagensätzen.

Peutz Consult GmbH

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Axel Hübel".

ppa. Dipl.-Phys. Axel Hübel  
(Messstellenleitung)

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Martin Pelzer".

i.V. Martin Pelzer  
(Projektbearbeitung)





Anlagenverzeichnis dieser erschütterungstechnischen Untersuchung

Anlage 1                   Übersichtslageplan zum Planfeststellungsabschnitt I

Anlage 2                   Spektren zu Erschütterungen und sekundärem Luftschall

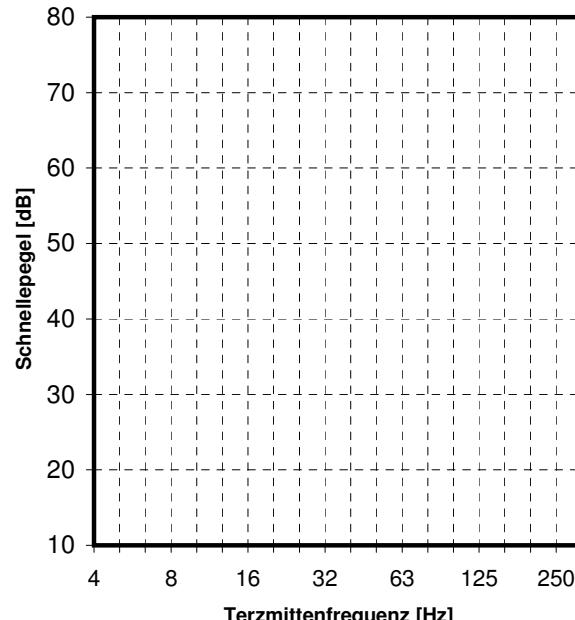
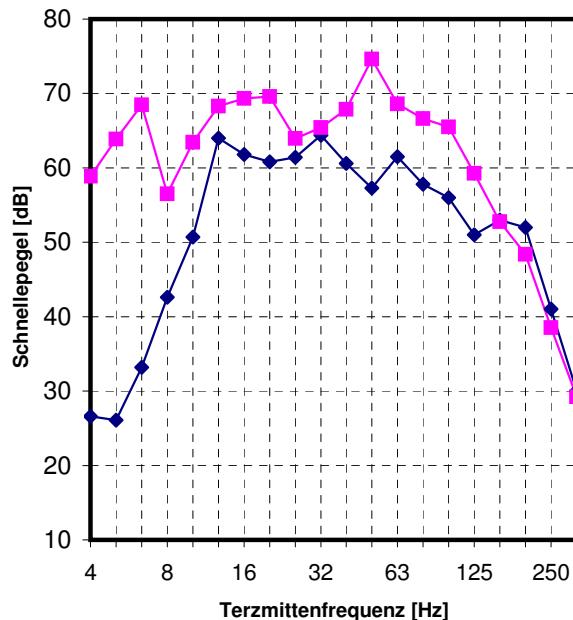
Anlage 3                   Pläne: Korridor möglicher Überschreitungen

## Übersichtsplan PFAI (Mettmann-Stadtwald bis Wuppertal-Dornap)

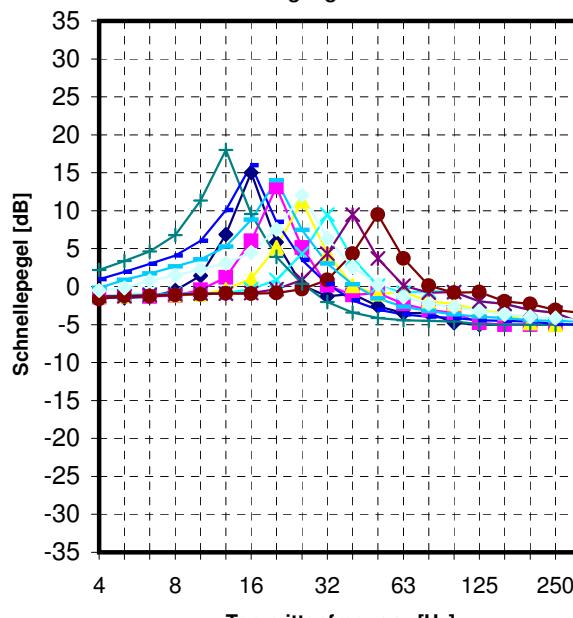
**PEUTZ**

### Eingangsspektren zur Prognose PFA I

Emissionsspektren inkl. Geschwindigkeitskorrektur und ggf. Minderungsmaßnahmen



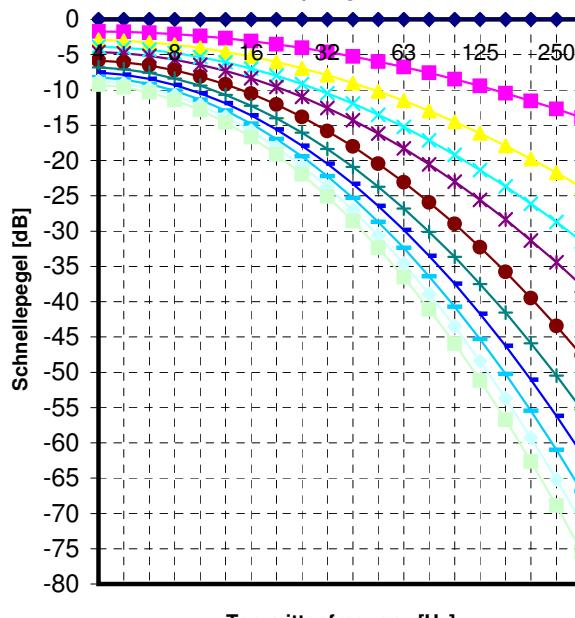
### Übertragungsfunktionen



Terzmittelfrequenz [Hz]

Boden > 16 Hz Betondecke  
Boden > 20 Hz Betondecke  
Boden > 25 Hz Betondecke  
Boden > 31.5 Hz Betondecke  
Boden > 40 Hz Betondecke  
Boden > 50 Hz Betondecke  
Boden > Holzdecke

### Bodendämpfungsfunktionen



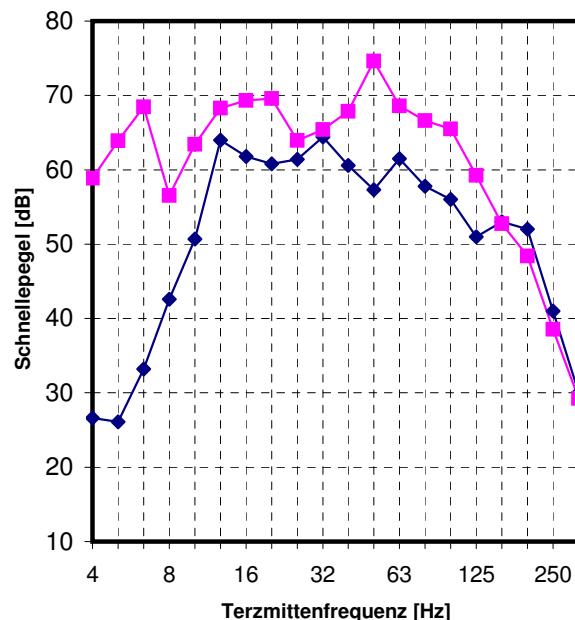
Terzmittelfrequenz [Hz]

10 m      15 m      20 m      25 m  
30 m      40 m      50 m      60 m  
70 m      80 m      90 m

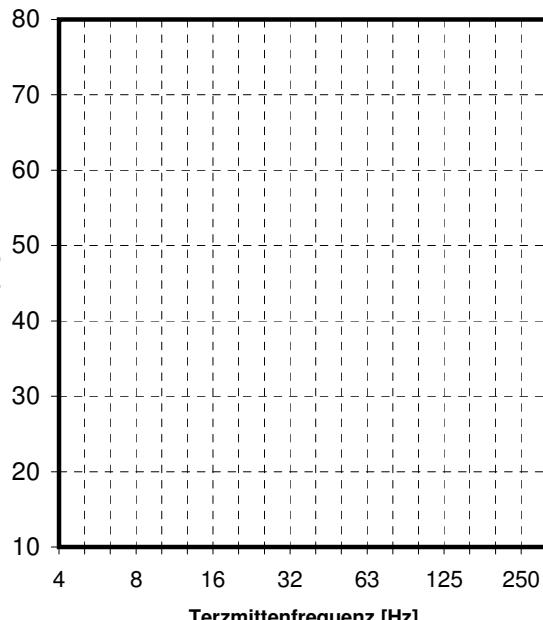
alle Spektren [dB], re 5\*10-5 mm/s

### Vorgegebene Spektren zur Berechnung der Emission PFA I

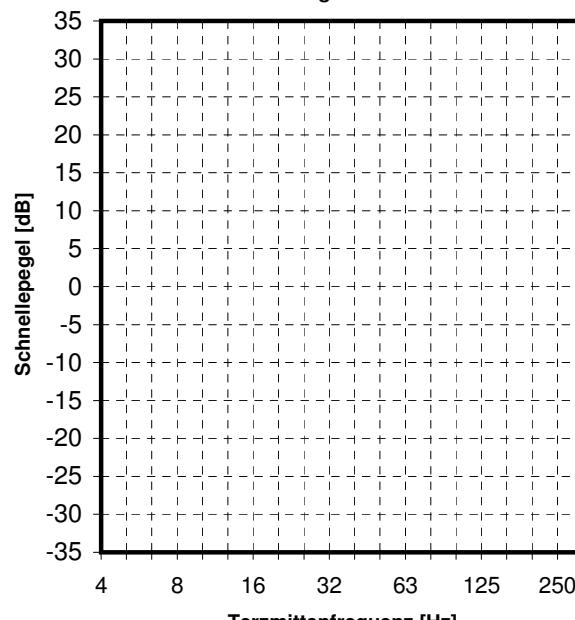
Emissionsspektren 1- 20



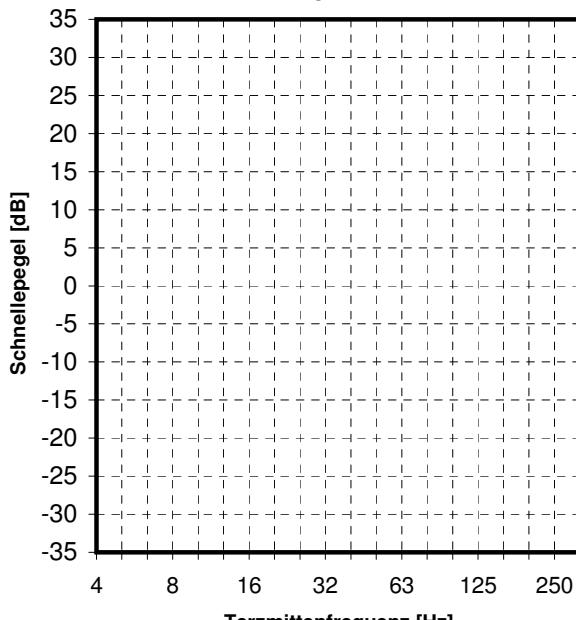
Schnellepegel [dB]



Geschwindigkeitskorrektur



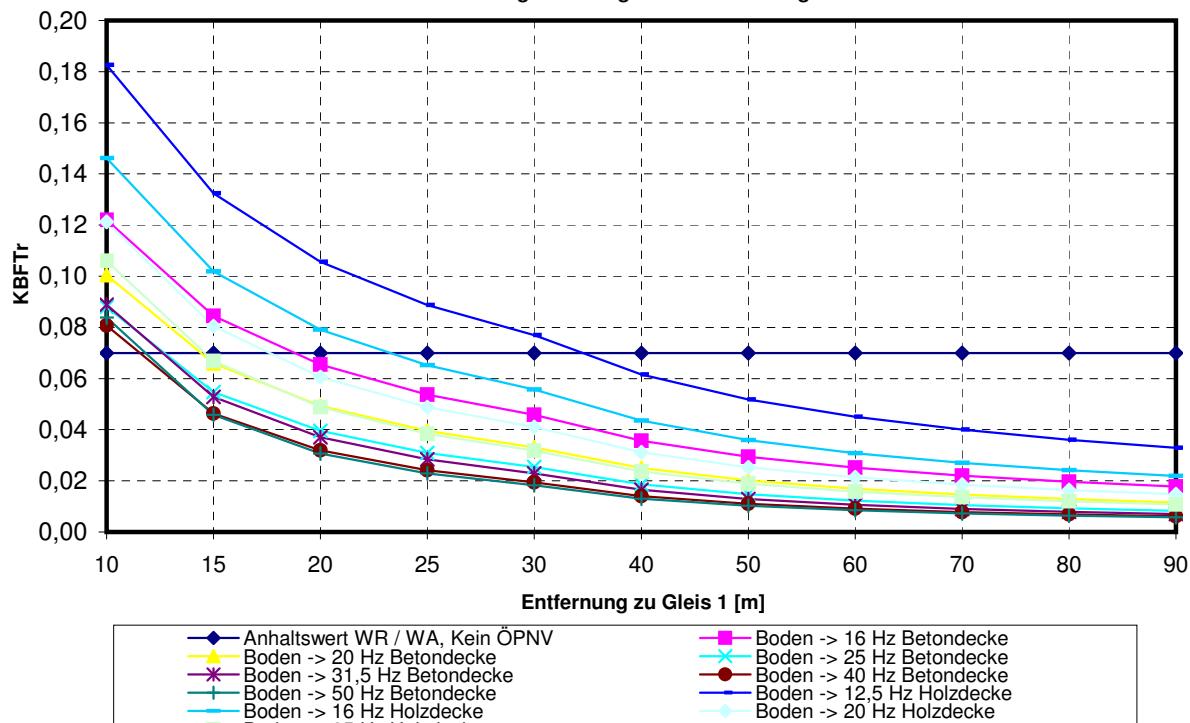
Schnellepegel [dB]



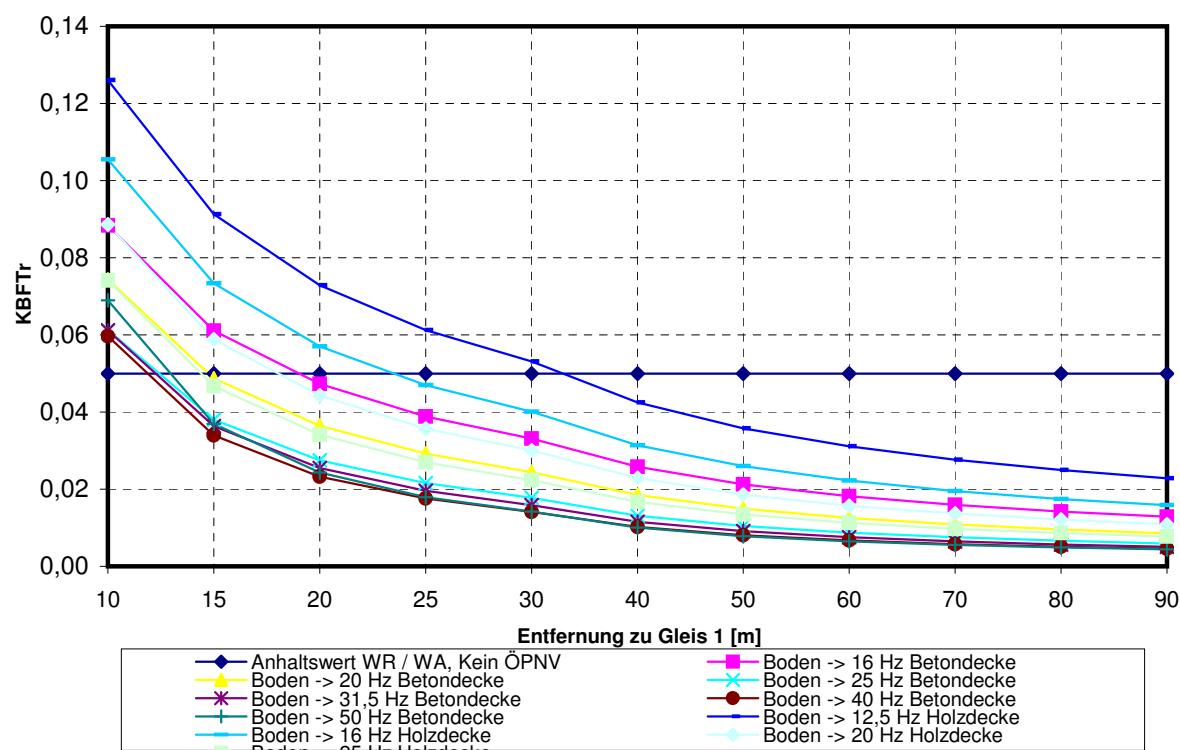
alle Spektren [dB], re 5\*10-5 mm/s

Prognostizierte Beurteilungs-Schwingstärken PFA I

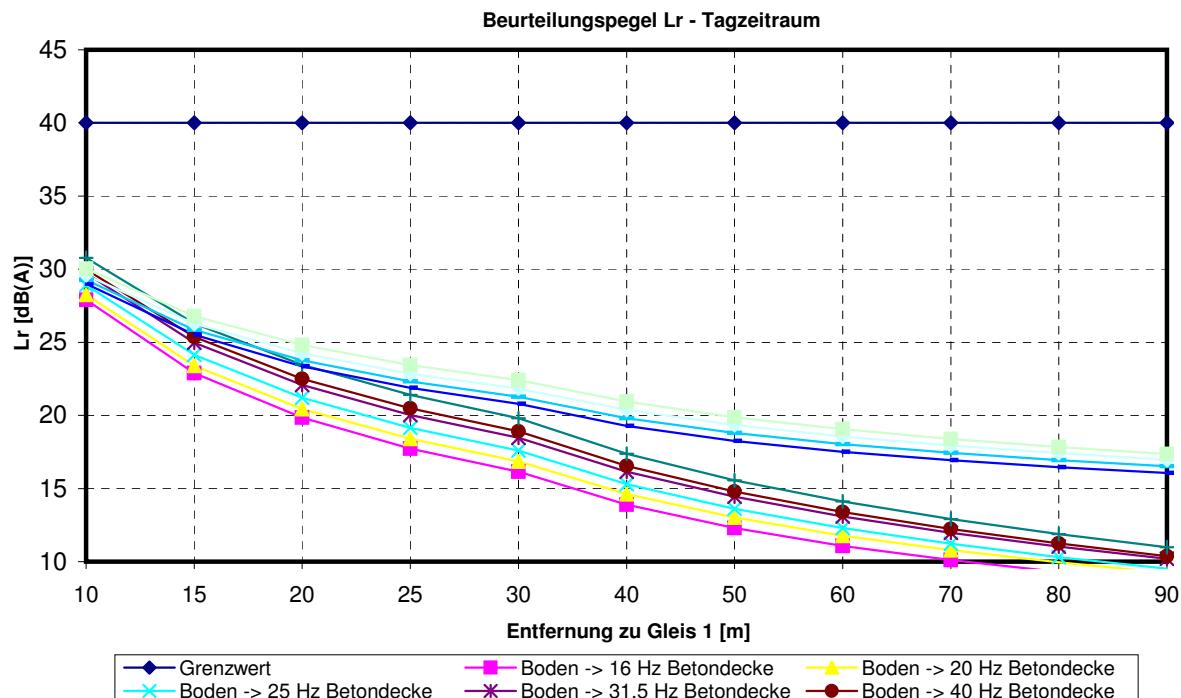
Beurteilungs-Schwingstärke KBFT<sub>r</sub> - Tagzeitraum



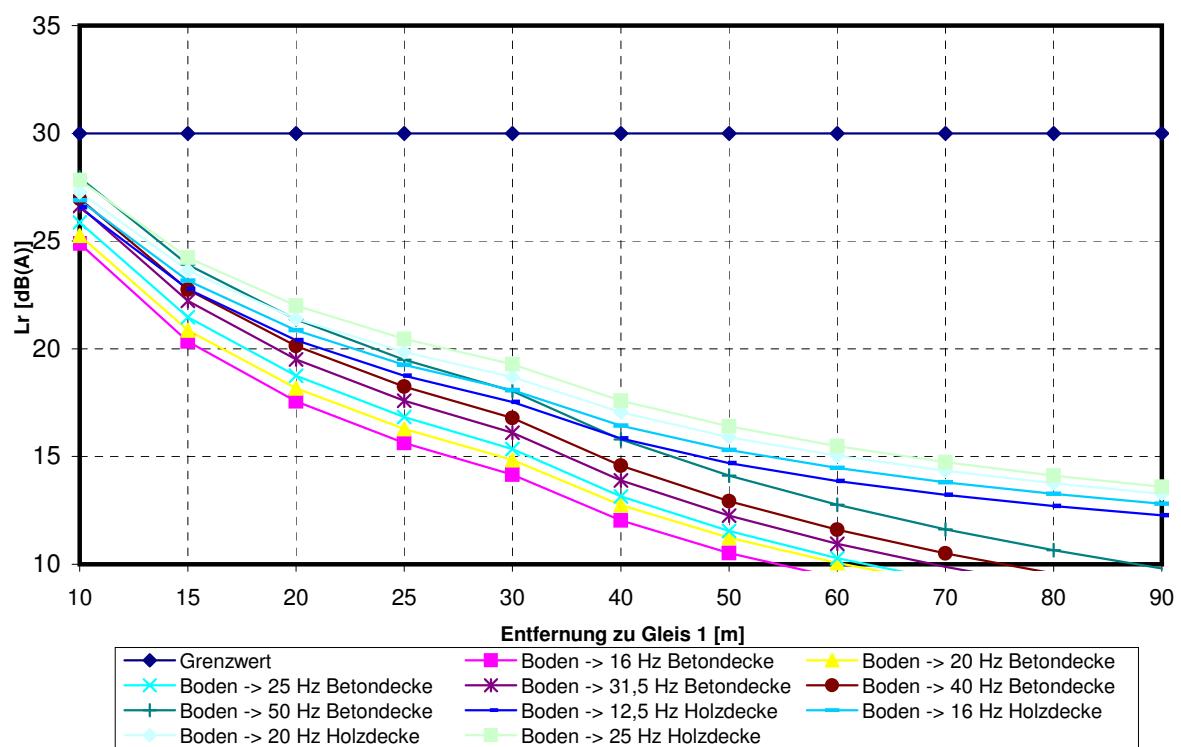
Beurteilungs-Schwingstärke KBFT<sub>r</sub> - Nachtzeitraum



Prognostizierte Beurteilungspegel Sekundärluftschall PFA I



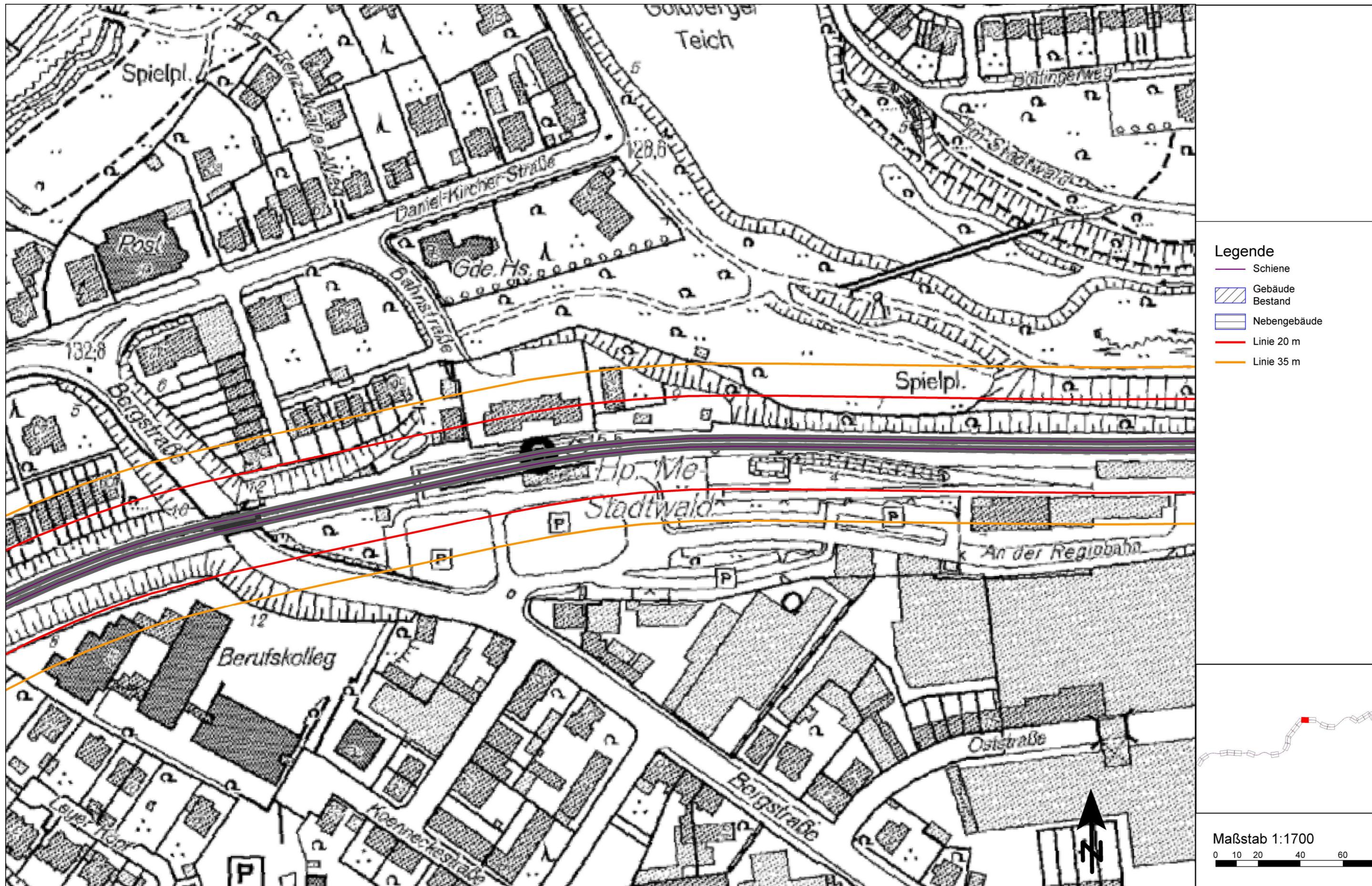
Beurteilungspegel L<sub>r</sub> - Nachtzeitraum



Eingangsdaten zur Prognose PFA I																					
Frequenz [Hz]	4	8	16	32	63	125	250	Anzahl Ereignisse													
								Tag	Nacht												
<b>Emissionsspektren</b>																					
Talent	25,2	26,6	26,1	33,2	42,6	50,7	64,0	61,8	60,8	61,4	64,4	60,6	57,3	61,5	57,8	56,0	51,0	53,0	52,0	41,0	30,0
GZ	48,0	58,9	63,9	68,5	56,5	63,4	68,3	69,3	69,6	63,9	65,4	67,9	74,6	68,6	66,6	65,5	59,3	52,7	48,4	38,5	29,2
<b>Übertragungsfunktionen</b>																					
Boden > 16 Hz Betondecke	-1,5	-1,4	-1,5	-1,3	-0,5	1,4	6,9	15,0	5,9	0,2	-1,3	-1,0	-2,6	-3,5	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	
Boden > 20 Hz Betondecke	-1,4	-1,4	-1,2	-1,3	-1,2	-0,4	1,2	6,0	13,1	5,1	0,2	-1,1	-0,8	-2,3	-3,1	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	-5,0	
Boden > 25 Hz Betondecke	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-1,1	-0,4	1,1	5,2	11,3	4,4	0,1	-1,0	-0,7	-1,9	-2,3	-3,1	-3,5	-4,8	-5,0	-5,0	
Boden > 31,5 Hz Betondecke	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,3	0,9	4,4	9,5	3,7	0,1	-0,8	-0,6	-0,7	-1,9	-2,3	-3,1	-3,5	
Boden > 40 Hz Betondecke	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,3	0,9	4,4	9,5	3,7	0,1	-0,8	-0,7	-1,9	-2,3	-3,1	-3,5	
Boden > 50 Hz Betondecke	-2,0	-1,6	-1,2	-1,3	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,3	0,9	4,4	9,5	3,7	0,1	-0,8	-0,7	-1,9	-2,3	-3,1	-3,5
Boden > 12,5 Hz Holzdecke	1,2	2,2	3,4	4,6	6,8	11,3	18,0	9,6	3,9	0,4	-2,0	-3,4	-4,1	-4,4	-4,5	-4,6	-4,9	-5,0	-5,0	-5,0	
Boden > 16 Hz Holzdecke	0,0	1,0	2,0	3,0	4,1	6,0	10,1	16,0	8,5	3,5	0,3	-1,8	-3,0	-3,7	-4,0	-4,1	-4,4	-4,5	-4,6	-4,9	
Boden > 20 Hz Holzdecke	-0,4	-0,2	0,9	1,7	2,6	3,6	5,3	8,8	14,0	7,5	3,1	0,3	-1,6	-2,7	-3,2	-3,7	-4,0	-4,1	-4,4	-4,6	
Boden > 25 Hz Holzdecke	-0,2	-0,5	-0,2	0,7	1,5	2,3	3,1	4,5	7,6	12,0	6,4	2,6	0,2	-1,4	-2,3	-2,7	-3,2	-3,7	-4,0	-4,1	-4,4
<b>Angesetzte Bodendämpfungen</b>																					
10 m	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	
15 m	-1,7	-1,7	-1,8	-1,9	-2,1	-2,4	-2,7	-3,1	-3,5	-4,0	-4,6	-5,3	-6,0	-6,7	-7,6	-8,5	-9,4	-10,5	-11,6	-12,7	-13,9
20 m	-2,9	-2,9	-3,0	-3,3	-3,6	-4,0	-4,6	-5,3	-6,0	-6,9	-7,9	-9,0	-10,2	-11,5	-13,0	-14,5	-16,1	-17,9	-19,8	-21,7	-23,8
25 m	-3,8	-3,9	-4,0	-4,3	-4,8	-5,4	-6,1	-7,0	-8,0	-9,2	-10,5	-11,9	-13,5	-15,3	-17,1	-19,2	-21,3	-23,7	-26,1	-28,7	-31,5
30 m	-4,6	-4,6	-4,8	-5,2	-5,7	-6,4	-7,3	-8,3	-9,6	-11,0	-12,5	-14,3	-16,2	-18,3	-20,5	-23,0	-25,6	-28,4	-31,3	-34,4	-37,7
40 m	-5,8	-5,8	-6,1	-6,5	-7,2	-8,1	-9,2	-10,5	-12,1	-13,8	-15,8	-18,0	-20,4	-23,1	-25,9	-29,0	-32,3	-35,8	-39,5	-43,5	-47,6
50 m	-6,8	-6,8	-7,1	-7,6	-8,4	-9,4	-10,7	-12,2	-14,0	-16,1	-18,4	-20,9	-23,7	-26,8	-30,1	-33,7	-37,5	-41,6	-45,9	-50,5	-55,3
60 m	-7,5	-7,6	-7,9	-8,4	-9,3	-10,5	-11,9	-13,6	-15,6	-17,9	-20,5	-23,3	-26,4	-29,8	-33,5	-37,5	-41,7	-46,3	-51,1	-56,2	-61,6
70 m	-8,2	-8,2	-8,5	-9,2	-10,1	-11,4	-12,9	-14,8	-17,0	-19,4	-22,2	-25,3	-28,7	-32,4	-36,4	-40,7	-45,3	-50,2	-55,5	-61,0	-66,8
80 m	-8,7	-8,8	-9,1	-9,8	-10,8	-12,1	-13,8	-15,8	-18,1	-20,8	-23,7	-27,0	-30,7	-34,6	-38,9	-43,5	-48,4	-53,7	-59,3	-65,2	-71,4
90 m	-9,2	-9,3	-9,6	-10,4	-11,4	-12,8	-14,6	-16,7	-19,1	-21,9	-25,1	-28,6	-32,4	-36,6	-41,1	-46,0	-51,2	-56,7	-62,6	-68,9	-75,5
<b>Beurteilungsschwingstärken KBFT</b>																					
<b>Tagzeitraum</b>																					
<b>Entfernung</b>	<b>10 m</b>	<b>15 m</b>	<b>20 m</b>	<b>25 m</b>	<b>30 m</b>	<b>40 m</b>	<b>50 m</b>	<b>60 m</b>	<b>70 m</b>	<b>80 m</b>	<b>90 m</b>										
Boden > 16 Hz Betondecke	0,122	0,084	0,065	0,054	0,046	0,036	0,029	0,025	0,022	0,020	0,018										
Boden > 20 Hz Betondecke	0,101	0,066	0,049	0,040	0,033	0,025	0,020	0,017	0,015	0,013	0,012										
Boden > 25 Hz Betondecke	0,088	0,055	0,040	0,031	0,025	0,019	0,015	0,012	0,011	0,009	0,008										
Boden > 31,5 Hz Betondecke	0,089	0,053	0,037	0,028	0,023	0,017	0,013	0,011	0,009	0,008	0,007										
Boden > 40 Hz Betondecke	0,081	0,046	0,032	0,024	0,019	0,014	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006										
Boden > 50 Hz Betondecke	0,084	0,046	0,031	0,023	0,018	0,013	0,010	0,009	0,007	0,006	0,006										
Boden > 12,5 Hz Holzdecke	0,183	0,132	0,106	0,089	0,077	0,062	0,052	0,045	0,040	0,036	0,033										
Boden > 16 Hz Holzdecke	0,146	0,102	0,079	0,065	0,056	0,044	0,036	0,031	0,026	0,022	0,020										
Boden > 20 Hz Holzdecke	0,121	0,080	0,061	0,049	0,041	0,031	0,025	0,021	0,019	0,016	0,015										
Boden > 25 Hz Holzdecke	0,106	0,067	0,049	0,038	0,032	0,024	0,019	0,016	0,014	0,012	0,011										
<b>Anhaltswert DIN 4150-2</b>	<b>WR / WA Kein ÖPNV</b>											<b>0,07</b>									
<b>Nachtzeitraum</b>																					
<b>Entfernung</b>	<b>10 m</b>	<b>15 m</b>	<b>20 m</b>	<b>25 m</b>	<b>30 m</b>	<b>40 m</b>	<b>50 m</b>	<b>60 m</b>	<b>70 m</b>	<b>80 m</b>	<b>90 m</b>										
Boden > 16 Hz Betondecke	0,088	0,061	0,047	0,039	0,033	0,026	0,021	0,018	0,016	0,014											

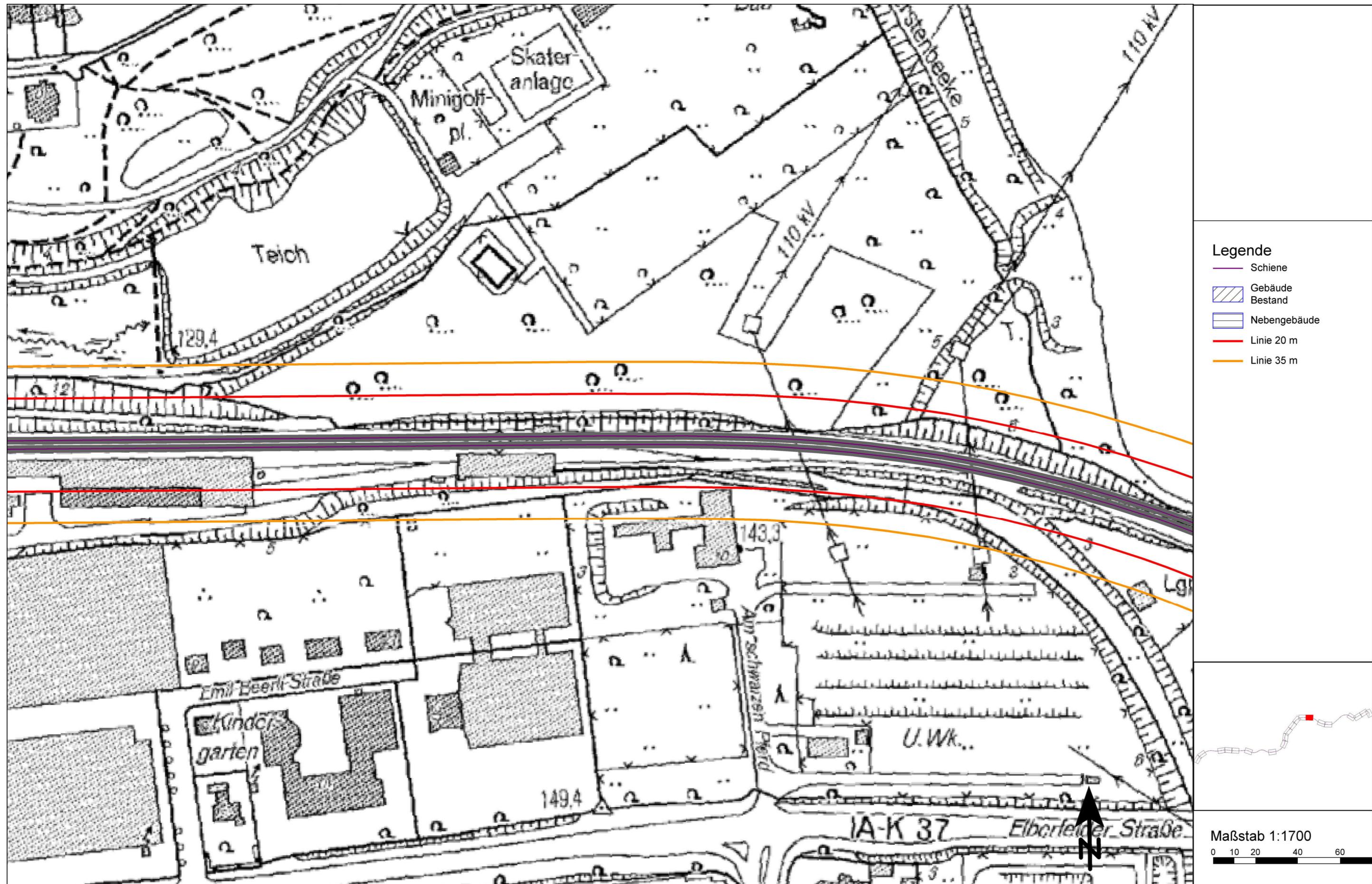
Elektrifizierung der Regiobahn-Infrastruktur: Prognostizierte Erschütterungsimmisionen  
Korridor möglicher Überschreitungen der Anforderungen der DIN 4150 im PFA I

**PEUTZ**



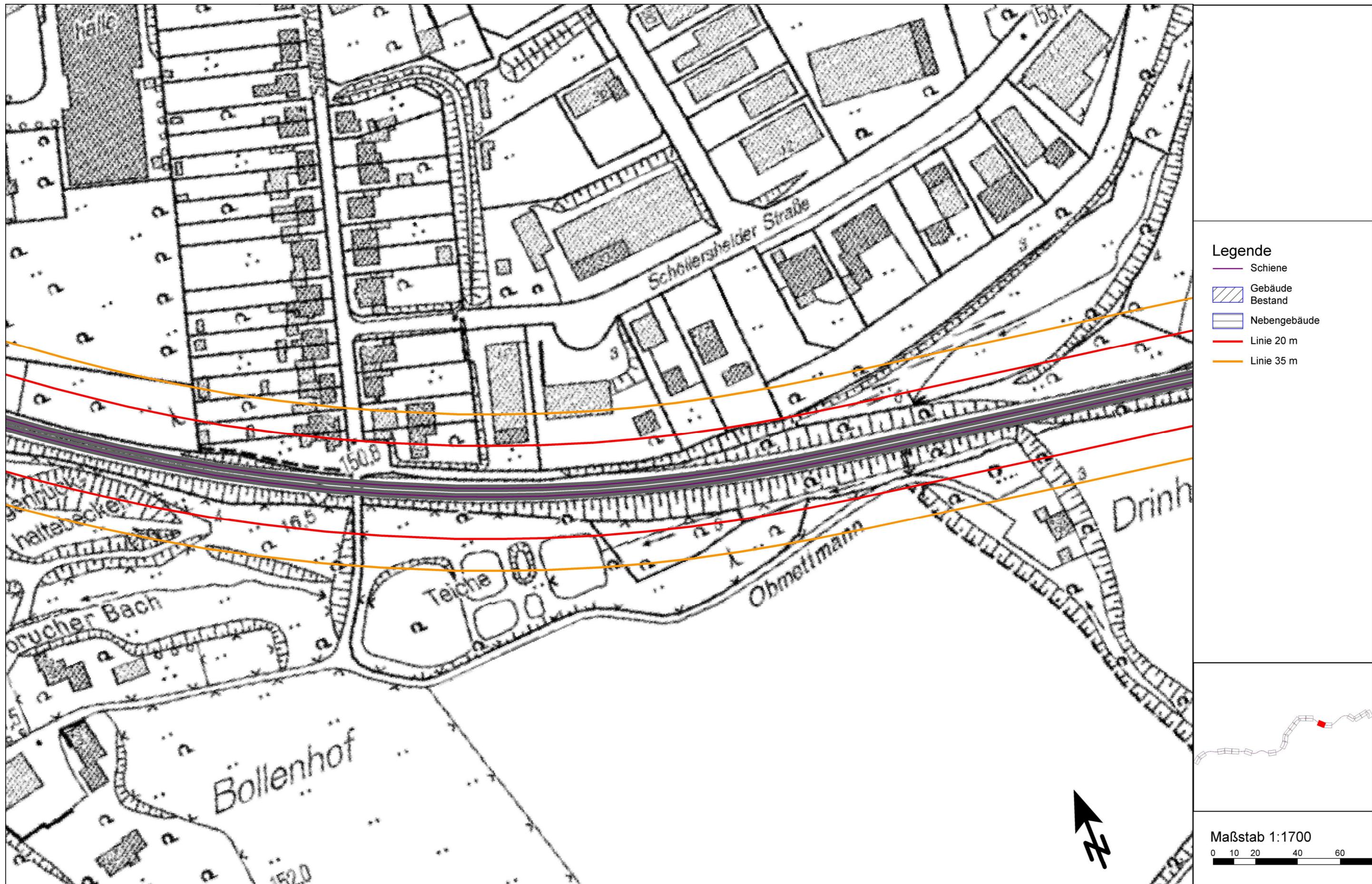
Elektrifizierung der Regiobahn-Infrastruktur: Prognostizierte Erschütterungsimmisionen  
Korridor möglicher Überschreitungen der Anforderungen der DIN 4150 im PFA I

**PEUTZ**



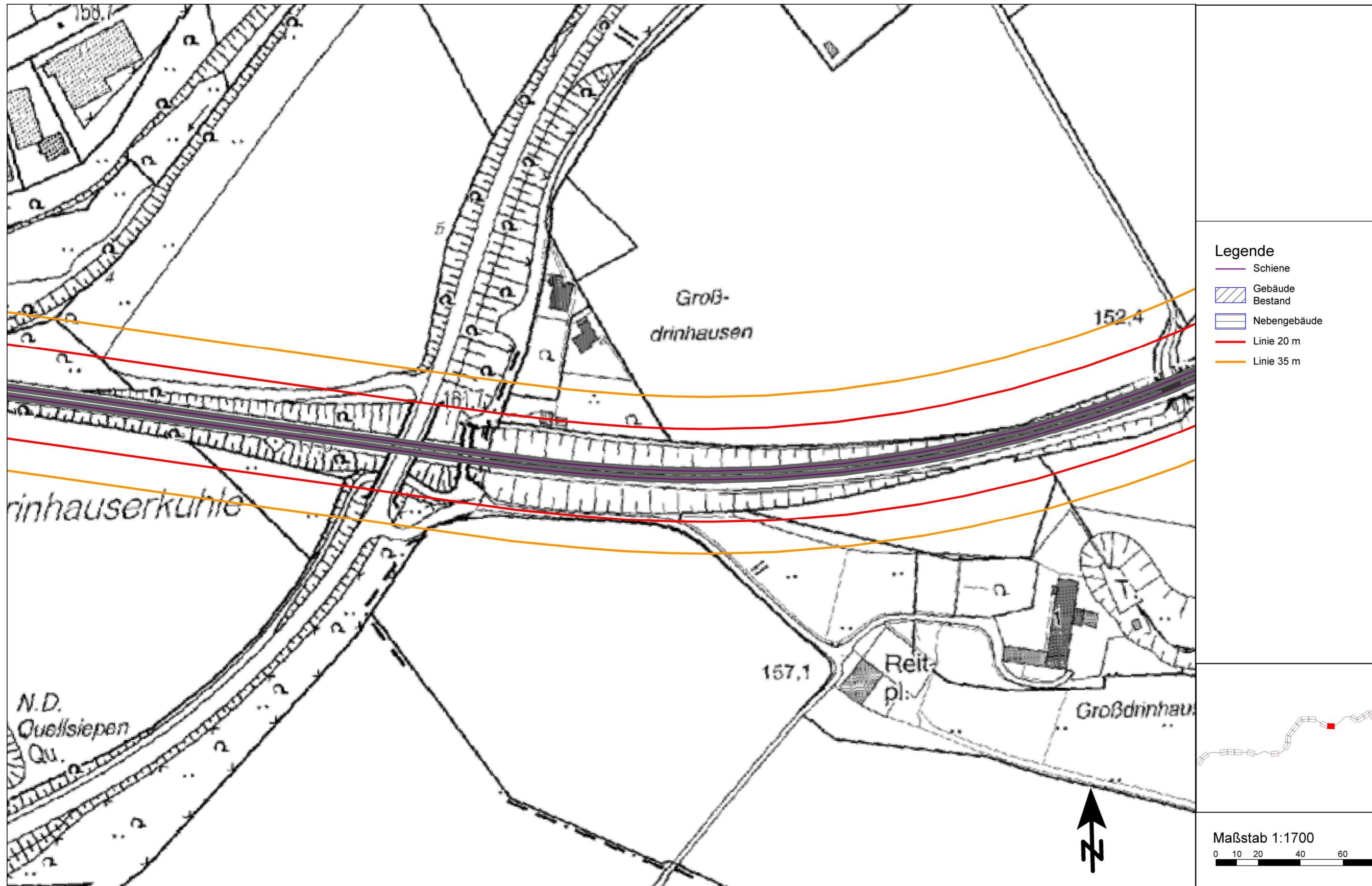
Elektrifizierung der Regiobahn-Infrastruktur: Prognostizierte Erschütterungsimmisionen  
Korridor möglicher Überschreitungen der Anforderungen der DIN 4150 im PFA I

**PEUTZ**



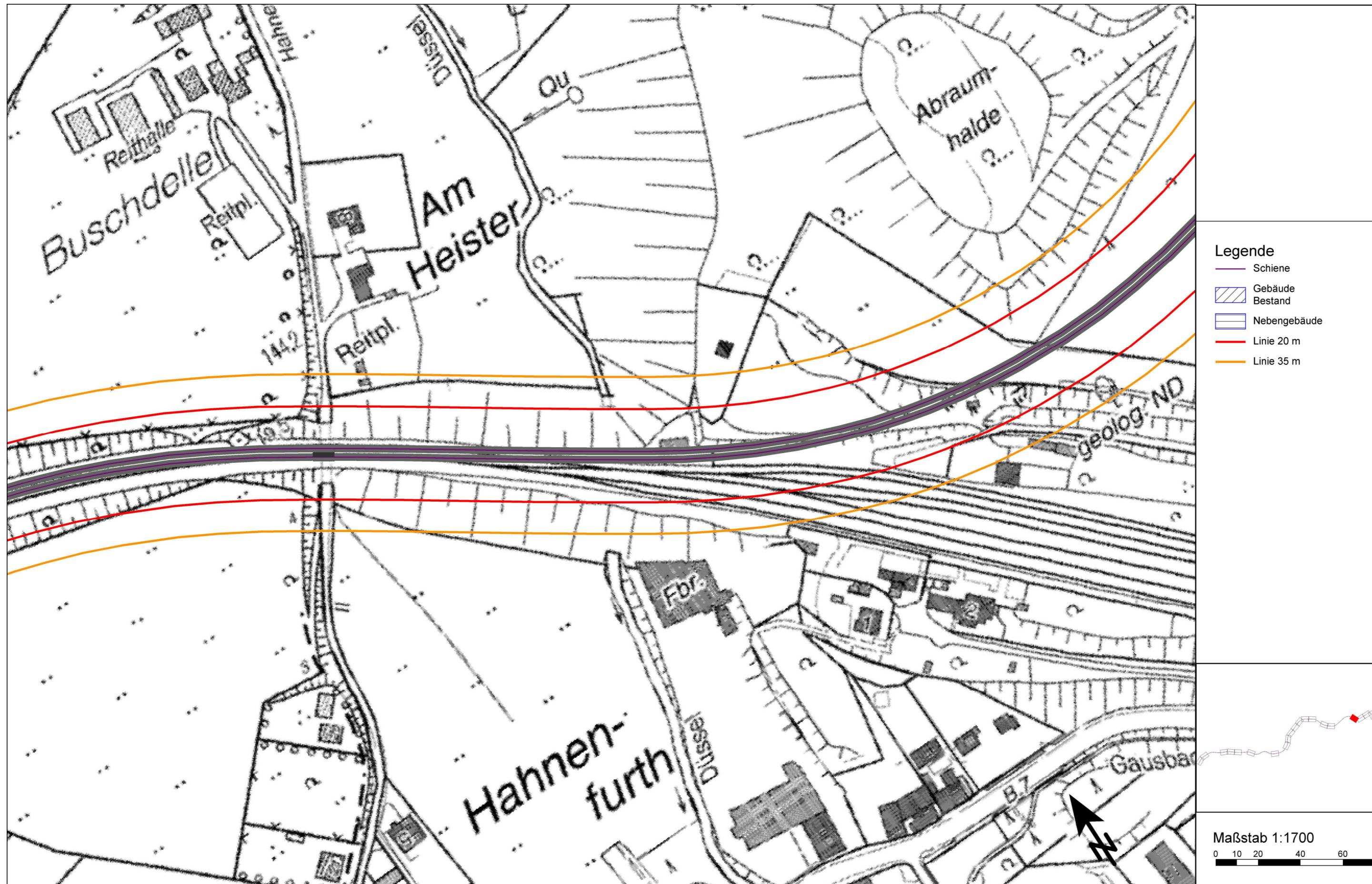
Elektrifizierung der Regiobahn-Infrastruktur: Prognostizierte Erschütterungsimmisionen  
Korridor möglicher Überschreitungen der Anforderungen der DIN 4150 im PFA I

**PEUTZ**



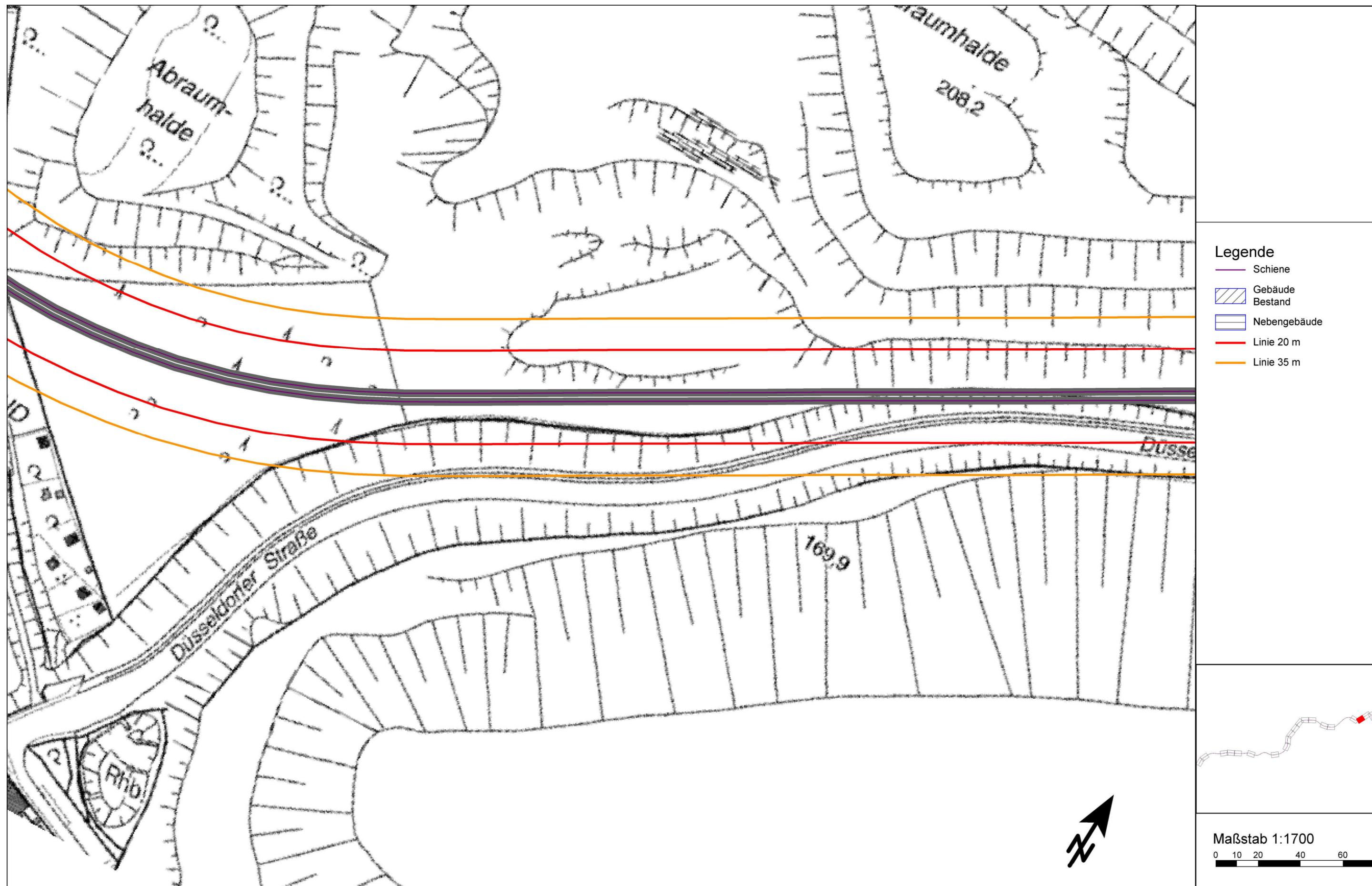
Elektrifizierung der Regiobahn-Infrastruktur: Prognostizierte Erschütterungsimmisionen  
Korridor möglicher Überschreitungen der Anforderungen der DIN 4150 im PFA I

**PEUTZ**



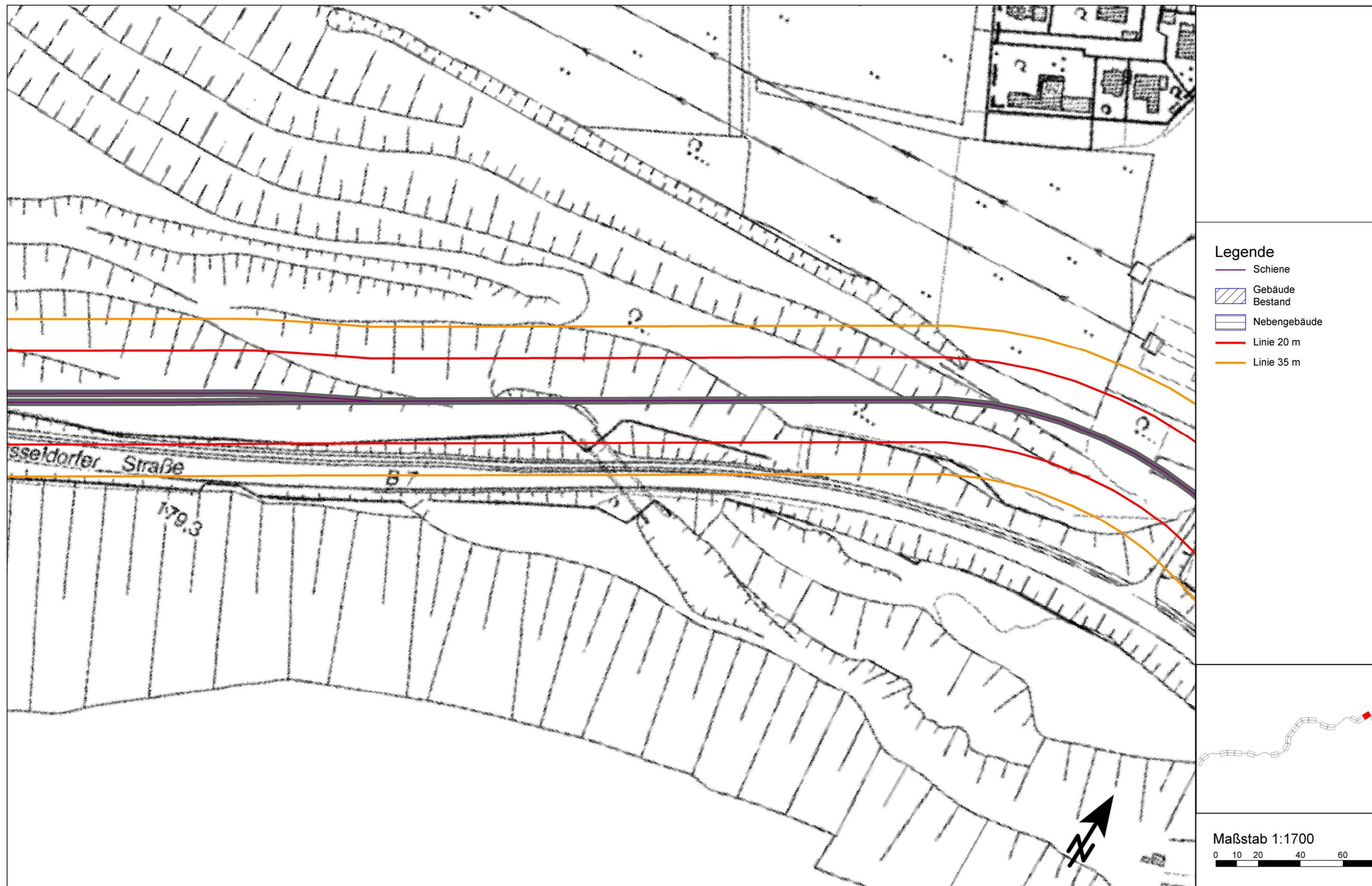
Elektrifizierung der Regiobahn-Infrastruktur: Prognostizierte Erschütterungsimmisionen  
Korridor möglicher Überschreitungen der Anforderungen der DIN 4150 im PFA I

**PEUTZ**



Elektrifizierung der Regiobahn-Infrastruktur: Prognostizierte Erschütterungsimmisionen  
Korridor möglicher Überschreitungen der Anforderungen der DIN 4150 im PFA I

**PEUTZ**



Elektrifizierung der Regiobahn-Infrastruktur: Prognostizierte Erschütterungsimmisionen  
Korridor möglicher Überschreitungen der Anforderungen der DIN 4150 im PFA I

**PEUTZ**

