

Erschütterungstechnische Untersuchung zum Planvorhaben an der Steinstraße in Duisburg

Bericht VL 7483-1 vom 26.02.2016

Auftraggeber: aurelis Real Estate GmbH & Co. KG
Region West
Zum Portsmouthplatz 6
47051 Duisburg

Bericht-Nr.: VL 7483-1
Datum: 26.02.2016
Niederlassung: Düsseldorf
Ansprechpartner: Herr Pelzer

Peutz Consult GmbH Beratende Ingenieure VBI

Messstelle nach
§ 26 BImSchG zur
Ermittlung der Emissionen
und Immissionen von
Geräuschen und
Erschütterungen

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:

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

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

Geschäftsführer:

Dipl.-Ing. Gerard Perquin
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: DUSSEDDXXX

Niederlassungen:

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

www.peutz.de

Inhaltsverzeichnis

1 Situation und Aufgabenstellung..... 3

2 Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien..... 4

3 Örtliche Gegebenheiten / Betriebsprogramm / Gebietsnutzungen..... 6

4 Beurteilungsgrundlagen für Erschütterungen..... 7

 4.1 Allgemeines..... 7

 4.2 Beurteilungsgrößen für Schienenverkehr..... 9

 4.3 Sekundärluftschall..... 11

5 Erschütterungsmessungen..... 13

 5.1 Ort und Zeit der Messungen..... 13

 5.2 Messgeräte..... 13

 5.3 Messdurchführung..... 13

 5.4 Auswertung der Messungen..... 14

6 Auswerte- und Prognoseverfahren..... 15

 6.1 Einflussgrößen für Erschütterungen..... 15

 6.2 Beschreibung der Methodik..... 15

 6.3 Prognoseunsicherheit..... 16

7 Prognose der Erschütterungsimmissionen..... 17

8 Berechnung und Beurteilung des sekundären Luftschallpegels..... 19

9 Zusammenfassung..... 20

1 Situation und Aufgabenstellung

In Duisburg-Meiderich ist auf dem westlich an die Steinstraße bzw. den Hohen Weg angrenzenden Gelände die Errichtung einer Reihenhaussiedlung geplant.

Da sich das Gelände unmittelbar neben der Schienenstrecke 2274 zwischen Duisburg-Ruhrort und Duisburg-Meiderich befindet, könnten relevante Erschütterungs- und sekundäre Luftschallimmissionen in den geplanten Wohnhäusern auftreten. Daher soll eine erschütterungstechnische Untersuchung durchgeführt werden, um mögliche Einflüsse auf die geplante Bebauung zu untersuchen.

Hierzu wurden am 25.02.2016 Erschütterungsmessungen an fünf Messpunkten auf dem Plangrundstück durchgeführt. Hiervon ausgehend werden die in der geplanten Baubauung zu erwartenden Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen prognostiziert.

Die Ergebnisse dieser Messungen sowie der Prognose und dessen Beurteilung sind im nachfolgenden Bericht dargestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchung werden gemäß DIN 4150 Teil 2 [6] und der aktuellen Rechtslage [18] für die Erschütterungen und in Anlehnung an die Anforderungen nach 24. BImSchV [3] für die sekundären Luftschallimmissionen beurteilt. Bei Überschreitungen der Anforderungen an die Erschütterungs- oder sekundären Luftschallimmissionen werden Minderungsmaßnahmen vorgeschlagen.

2 Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[1]	BImSchG Bundes-Immissionsschutzgesetz	G	Aktuelle Fassung
[2]	16. BImSchV 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes / Verkehrslärmschutzverordnung	V	12.06 1990 geändert am 18.12.2014
[3]	24. BImSchV 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes / Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung	V	04.02.1997
[4]	Erschütterungserlass Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen	RdE	31.07.2000 und rl. 04.11.2003
[5]	DIN 4150, Teil 1	N	Juni 2001
[6]	DIN 4150, Teil 2	N	Juni 1999
[7]	DIN 4150, Teil 3	N	Februar 1999
[8]	DIN 45 669, Teil 1	N	September 2010
[9]	DIN 45 669, Teil 2	N	Juni 2005

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[10] DIN 45 669, Teil 3	Messung von Schwingungsimmissionen - Prüfung (Kalibrierung und Beurteilung) der Schwingungsmesseinrichtung; Erstprüfung, Nachprüfung, Zwischenprüfung, Prüfung für den Messeinsatz	N	Juni 2006
[11] DIN 45 672, Teil 1	Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen - Messverfahren	N	Dezember 2009
[12] DIN 45 672, Teil 2	Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen - Auswerteverfahren	N	Juli 1995
[13] Materialien Nr. 22, Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Prognose und Schutzmaßnahmen	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Juli 1995, ISSN:0947-5206	Lit	Juli 1995
[14] Taschenbuch der Technischen Akustik	G. Müller, M. Möser (Hrsg.), 3. Auflage	Lit.	2003
[15] Körperschall und Erschütterungsschutz, Leitfaden für den Planer, Beweissicherung, Prognose, Beurteilung und Schutzmaßnahmen	Landesumweltamt NRW	Lit.	1999
[16] A.Said, D. Fleischer, H. Fastl, H.-P. Grütz, G. Hölzl „Laborversuche zur Ermittlung von Unterschiedsschwellen bei der Wahrnehmung von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr„	DAGA 2000, Seite 496-497	Lit.	2000
[17] DB Richtlinie 800.2502 „Erschütterung und sekundärer Luftschall, Messung und Prognose“	DB AG, Abt. Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik, TZF 12	Lit.	November 2006
[18] Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes (BVerwG) zum Ausbau einer Eisenbahnstrecke; Schutz gegen Erschütterungen und sekundären Luftschall	Aktenzeichen 7 A 14/09	Lit.	21.12.2010
[19] Zugbelastungszahlen	Zur Verfügung gestellt von der DB Netz - AG	P	25.02.2016
[20] Unterlagen zum geplanten Bauvorhaben	Zur Verfügung gestellt vom Auftraggeber	P	Okt. 2015

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

Zwischen der DB-Strecke 2274 im Westen und der Steinstraße bzw. dem Hoher Weg im Osten erstreckt sich über mehr als 500 m ein 60 m bis 80 m breites Brachland im Duisburger Ortsteil Meiderich. Es wird erwogen, auf diesem Gelände eine Reihenhaussiedlung zu errichten.

Eine Übersicht über die örtlichen Gegebenheiten kann Anlage 1.1 entnommen werden. Ein überschlüssiges Entwicklungskonzept für die Reihenhaussiedlung ist in Anlage 1.2 dargestellt.

Zwischen dem Plangrundstück und der Schienenstrecke befindet sich ein Feldweg, der auch nach Bebauung des Plangrundstückes bestehen bleiben soll. Dem in Anlage 1.2 wiedergegebenen Entwicklungskonzept zur Folge ist ein minimaler Abstand zwischen der geplanten Wohnbebauung und der Schienenstrecke von 20 m vorgesehen.

Die Schutzbedürftigkeit der geplanten Bebauung wird als allgemeines Wohngebiet (WA) angenommen.

Die Strecke 2274 zwischen Duisburg-Meiderich und Duisburg-Ruhrort verläuft eingleisig und wird derzeit und zukünftig [19] nur durch Dieseltriebwagen des Typs LINT41 der Nordwestbahn mit einer maximalen Streckengeschwindigkeit von 70 km/h bedient. Den Verkehrsbelastungszahlen der Deutschen Bahn wird in Übereinstimmung mit dem derzeitigen Abfahrtsplan der Nordwestbahn zur Folge eine Zugbelastung von 63 Fahrten tags und 9 Fahrten im Nachtzeitraum angenommen.

4 Beurteilungsgrundlagen für Erschütterungen

4.1 Allgemeines

Die während einer Erschütterungsimmissionsmessung erfasste und registrierte Messgröße ist die Schwingschnelle $v(t)$ 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 Geschosdecke, 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:

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

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_{Fmax} bezeichnet.

Da es sich bei Erschütterungsimmissionen nicht um gleichförmige Schwingungen, sondern um stochastische Einzelvorgänge 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 Erschütterungsimmissionen werden zwei Beurteilungsgrößen herangezogen. Dies sind zum einen die maximal bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} 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:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} \sum_j T_{e,j} \cdot KB_{FTm,j}^2}$$

- 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 Erschütterungsereignisse 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_{Fmax} und KB_{FTr} werden mit den in der DIN 4150, Teil 2, angegebenen Anhaltswerten, unter Zugrundelegung verschiedener Gebietsnutzungen für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen, verglichen (siehe Tabelle 4.2).

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

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

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

Für Werte von $A_0 \geq KB_{Fmax} \geq A_u$ 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 Fühlschwelle herangezogen werden, wobei die Tatsache ob ein Erschütterungsereignis 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 [14]

Bewertete Schwingstärke KB	Beschreibung der Wahrnehmung
< 0,1	nicht spürbar
0,1	Fühlschwelle
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 Erschütterungsimmissionen 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 Δ GE	0,3	0,2	6	0,6*	0,15	0,1
	Zeile 3 Δ MI/MK	0,2	0,15	5	0,6*	0,1	0,07
	Zeile 4 Δ WR/WA	0,15	0,1	3	0,6*	0,07	0,05

* 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 Zugeinheit zu forschen (z.B. Flachstelle an den Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben. Diese hohen Werte sind jedoch bei der Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{Fr} zu berücksichtigen.

Bezüglich des Erschütterungsschutzes von Verkehrswegen existieren im Gegensatz zum Verkehrslärm keine rechtsverbindlich festgelegten Grenzwerte und Beurteilungskriterien. Auch die für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen 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 Erschütterungsimmissionen 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 [18] 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 Erschütterungsimmissionen 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 [16]. 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 [17] getroffene Schlussfolgerung und zeigen, dass die im Labor un-

tersuchte 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 [18]: "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_{Fmax} , während die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} , die mit dem genannten Anhaltswert korreliert, nicht unmittelbar Gegenstand der Versuchsreihe war. Beide Werte sind aber eng miteinander verknüpft, da die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} 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 [15] zum Sekundärluftschall wurde aus einer Vielzahl von Messungen ein empirischer Zusammenhang zwischen dem Schwingschnellepegel 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-Immissionsschutzgesetzes.

Aus den Regularien der 24. BImSchV lassen sich als Zumutbarkeitsschwelle 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 [18] 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. BImSchVnahe...."

5 Erschütterungsmessungen

5.1 Ort und Zeit der Messungen

Auf dem Plangrundstück wurde am 25.02.2016 eine Erschütterungsmessung an fünf verschiedenen Punkten im Erdboden durchgeführt, dabei befanden sich zwei Messpunkte in der nach dem Entwicklungskonzept vorgesehenen minimalen Abstand von 20 m zur Bahntrasse.

Eine detaillierte Beschreibung der Messumgebung und des Messaufbaus ist in den Anlagen 2 und 3 dargestellt.

5.2 Messgeräte

Die Erschütterungsmessungen wurden entsprechend der DIN 4150, Teil 2, in Verbindung mit DIN 45669, Teil 1 [8] und Teil 2 [9] sowie dem DB-Leitfaden zum Erschütterungs- und Körperschallschutz [17] durchgeführt.

Die Ankopplung der dreikanaligen Messaufnehmer erfolgt über Dreipunktlager gemäß DIN 45669 auf einer eingeschlammten Gartenwegsplatte bzw. auf einem auf dem Plangrundstück vorhandenem Restfundament. Die einkanaligen Messaufnehmer werden mittels Erdspeissen an den Boden gekoppelt.

Die Lage der einzelnen Messorte ist im jeweiligen Anlagensatz im Detail wiedergegeben.

Die Erschütterungsimmissionen wurden mittels Geophonen (Schwingungsmesser nach DIN 45669 A3HV 315/1) mit einem computergestützten Messsystem der Firma M. Beitzer Messtechnik (System 9800) aufgezeichnet. Die eingesetzte Messkette ist im Datenanhang dargestellt.

Die Frequenzanalysen erfolgten mittels der Auswertesoftware (System 9800) der Firma M. Beitzer Messtechnik.

5.3 Messdurchführung

Während der gesamten Messzeit wurden die Erschütterungsanregungen durch den regulären Zugverkehr registriert. Dabei wurde der Zugtyp, die Geschwindigkeit und ggf. Besonderheiten / Auffälligkeiten festgehalten.

5.4 Auswertung der Messungen

Die Auswertung der Erschütterungsimmissionen erfolgte gemäß DIN 4150 Teil 2 [6] beziehungsweise dem DB-Leitfaden zum Erschütterungs- und Körperschallschutz [17].

Die höchsten registrierten Erschütterungen betragen 0,19 mm/s am Messpunkt 1 in 9 m Entfernung zum Gleis bzw. 0,16 mm/s am Messpunkt 2 in 20 m Entfernung zu Gleis 1.

Den Messergebnissen zufolge werden durch die in Richtung Xanten verkehrenden Triebwagen aufgrund der höheren tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit höhere Erschütterungen verursacht als durch die in Richtung Duisburg verkehrenden Triebwagen. Die einzelnen Zugvorbeifahrten in dieselbe Richtung wiesen bezüglich der Erschütterungsimmissionen nur geringe Unterschiede untereinander auf.

Die Messlanze der Messpunkte 1 bis 4 befindet sich auf einem Areal, auf dem zu einem früheren Zeitpunkt eine Lagerfläche eines Gewerbes bestanden hat. Hier befindet sich dementsprechend stark verfestigter Boden. Der Messpunkt 5 (Kanal 9) wurde in 20 m Abstand zum Gleis auf einem Areal installiert, auf welchem bereits Bodenarbeiten vorgenommen wurden / welcher nicht mehr zur Lagerfläche gehörte und wo deshalb weicher Boden vorgefunden wurde. Daher wurden am Messpunkt 2 (Kanal 7) deutlich höhere Erschütterungsimmissionen als am Messpunkt 5 (Kanal 9) registriert.

Die Ergebnisse der Erschütterungsmessung sind in Anlage 4 tabellarisch und grafisch zusammengefasst.

6 Auswerte- und Prognoseverfahren

6.1 Einflussgrößen für Erschütterungen

Maßgeblich für die Höhe der Erschütterungsimmissionen ist die Höhe der Emission und der Abstand der zu betrachtenden Gebäude zu den Bahngleisen. Weitere Einflussgrößen sind:

- die Bodenbeschaffenheit auf dem Übertragungsweg,
- die Bauweise der Gebäude,
- die gefahrene Geschwindigkeit,
- der Zustand der Gleise,
- das eingesetzte Wagenmaterial.

Die Bodenbeschaffenheit auf dem Übertragungsweg sowie die Bauweise des jeweiligen Gebäudes haben bei der Prognose von Erschütterungen meist einen schwer abschätzbaren Einfluss.

Zur Bestimmung der Übertragung auf die geplanten Wohngebäude werden theoretische Ansätze aus der Literatur [17] herangezogen.

6.2 Beschreibung der Methodik

Die Prognosen der Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen erfolgen auf Basis des vorliegenden Entwicklungskonzeptes [20].

Mittels der messtechnisch erfassten Emissionen bzw. Immissionen sowie den theoretischen Übertragungsfunktionen aus der Literatur erfolgte die Prognose der in den geplanten Gebäuden im Plangebiet zu erwartenden Erschütterungsimmissionen.

Dafür wurden im ersten Schritt für die Zugvorbeifahrten Frequenzanalysen (Terz-F-max) durchgeführt und diese anschließend für jeden Zugtyp und jedes Gleis getrennt energetisch gemittelt. Diese gemittelten Terz-F-max Frequenzspektren für den Messpunkt 2 (Kanal 7, 20 m Abstand zum Gleis) bzw. für den Messpunkt 5 (Kanal 9, ebenfalls 20 m Abstand zum Gleis) gehen als Eingangsdaten in die Prognosen 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 einer Vorbeifahrt 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.

Für die Prognose der Erschütterungen in den geplanten Gebäuden im Plangebiet werden typische Übertragungsfunktionen für Betondecken mit Deckeneigenfrequenzen von 16 bis 31,5 Hz (übliche Massivbauweise) aus der Literatur [15] herangezogen. Höhere Deckeneigenfrequenzen sind bzgl. der Erschütterungsimmissionen unkritischer, da die hochfrequenten Anteile durch die Ausbreitung im Boden und den Übergang ins Gebäude am Fundament stärker gedämpft werden.

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

Weiterhin können sich durch das eingesetzte spektrale Prognoseverfahren Unterschiede in den berechneten Beurteilungsschwingstärken KB_{FT} für die rechnerische Nachbildung der Messsituation gegenüber der aus den Messwerten direkt berechneten Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} ergeben. Ursächlich hierfür ist der Einsatz von Terz-F-Max Spektren welche in der Regel eine Prognose auf der sicheren Seite ergeben (siehe oben).

Im nachfolgenden Kapitel 7 sind die zusammengefassten Ergebnisse der auf die Erschütterungsmessungen aufbauenden Prognoseberechnungen für die untersuchten möglichen Deckeneigenfrequenzen wiedergegeben. Die detaillierte Darstellung der Prognoseberechnung kann Anlage 5 für Messpunkt 2 (Kanal 7) und Anlage 6 für Messpunkt 5 (Kanal 9) entnommen werden.

6.3 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 sowie die Geschwindigkeitskorrektur 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 [17], 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.

7 Prognose der Erschütterungsimmissionen

Dem vorliegenden Entwicklungskonzept (Anlage 1.2) zufolge beträgt der minimal geplante Abstand zwischen der geplanten Wohnbebauung und dem Gleis 20 m; aufgrund des östlich des Gleises verlaufenden Feldweges ist ein geringerer Abstand auch nicht möglich. Der Abstand von 20 m wird durch die Messpunkte 2 und 5 repräsentiert.

Tabelle 7.1 fasst die Ergebnisse der Prognoseberechnung auf Grundlage der am Messpunkt 2 (Kanal 7) und Tabelle 7.2 die auf Grundlage der an Messpunkt 5 (Kanal 9) gemessenen Erschütterungen für die Plangebäude zusammen.

Die in Tabelle 4.2, Zeile 4 für Wohngebiete ausgewiesenen Anhaltswerte für die Erschütterungsimmissionen aus DIN 4150 Teil 2 [6] werden den Prognoseberechnungen zufolge an beiden betrachteten Messpunkten im Tages- und Nachtzeitraum eingehalten.

Grundlage der dargestellten Prognoseberechnungen sind theoretische Übertragungsfunktionen von Erdboden auf ein Gebäudefundament sowie in die verschiedenen Geschossdecken, welche von einer Dämpfung der Geschossdecken von mindestens 3 % ausgehen (als Anteil der kritischen Dämpfung). Diese Dämpfung wird bei üblicher Betonbauweise im Wohnungsbau erreicht.

Tabelle 7.1: Prognostizierte Erschütterungsimmissionen für verschiedene Deckeneigenfrequenzen in Gebäuden an Messpunkt MP 2 (K7, 20 m Abstand zum Gleis)

	KB_{FTr}		$A_{r(WA)}$		$KB_{FTr} \leq A_{r(WA)}$	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Betondecke, 16 Hz	0,026	0,014	0,07	0,05	JA	JA
Betondecke, 20 Hz	0,028	0,015	0,07	0,05	JA	JA
Betondecke, 25 Hz	0,034	0,018	0,07	0,05	JA	JA
Betondecke, 31,5 Hz	0,031	0,017	0,07	0,05	JA	JA

Tabelle 7.2: Prognostizierte Erschütterungsimmissionen für verschiedene Deckeneigenfrequenzen in Gebäuden an Messpunkt MP 5 (K9, 20 m Abstand zum Gleis)

	KB_{FTr}		$A_{r(WA)}$		$KB_{FTr} \leq A_{r(WA)}$	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Betondecke, 16 Hz	0,022	0,011	0,07	0,05	JA	JA
Betondecke, 20 Hz	0,023	0,012	0,07	0,05	JA	JA
Betondecke, 25 Hz	0,03	0,016	0,07	0,05	JA	JA
Betondecke, 31,5 Hz	0,022	0,012	0,07	0,05	JA	JA

8 Berechnung und Beurteilung des sekundären Luftschallpegels

Eine messtechnische Erfassung des sekundären Luftschallanteils bei oberirdisch verlaufenden Strecken ist, da gleichzeitig direkt einfallender (primärer) Luftschall auftritt, in der Regel nicht möglich. Ein solch messtechnischer Nachweis wäre nur bei einem entsprechend großen Abstand von Sekundärluftschallpegel zum direkt über die Gebäudefassade einfallenden Luftschall möglich. Dies ist z.B. möglich, wenn eine ausreichende Schalldämmung der Fassade (Massivbauweise ohne Fenster) eines Messraums vorliegt.

Durch Anwendung des in Kapitel 4.3 erwähnten empirischen Zusammenhangs zwischen auftretendem Schwingschnellepegel und dem Sekundärluftschallpegel konnten die derzeitigen und die nach dem Ausbau zu erwartenden sekundären Luftschallimmissionen analog zu der Prognose der auftretenden Erschütterungsimmissionen ermittelt werden.

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.

In der nachfolgenden Tabelle 8.1 sind die prognostizierten Sekundärluftschallimmissionen für ein Gebäude im Abstand von 20 mf (auf Grundlage der Messungen am Messpunkt 2 und Messpunkt 5) aufgeführt. Die Berechnungen zeigen, dass die in Anlehnung an die 24. BImSchV formulierten Anforderungen an die sekundären Luftschallimmissionen in den Plangebäuden voraussichtlich eingehalten werden. Einzelne Vorbeifahrten sind jedoch voraussichtlich geeignet, maximale und damit wahrnehmbare Schalldruckpegel für den sekundären Luftschall von knapp 35 dB(A) in den Plangebäuden zu erzeugen.

Tabelle 8.1: Prognostizierte Sekundärluftschallimmissionen

Gebäude		L _r [dB(A)]		A _r [dB(A)]		Einhaltung
		Tag	Nacht	Tag	Nacht	
Messpunkt 2	Betondecke 16 Hz	22	16	40	30	Ja
	Betondecke 20 Hz	22	17	40	30	Ja
	Betondecke 25 Hz	23	18	40	30	Ja
	Betondecke 31,5 Hz	24	18	40	30	Ja
Messpunkt 5	Betondecke 16 Hz	17	11	40	30	Ja
	Betondecke 20 Hz	18	12	40	30	Ja
	Betondecke 25 Hz	19	13	40	30	Ja
	Betondecke 31,5 Hz	19	14	40	30	Ja

9 Zusammenfassung

Auf dem Brachland zwischen der DB-Strecke 2257 und der Steinstraße bzw. Hoher Weg in Duisburg-Meiderich ist die Entwicklung einer Reihenhaussiedlung geplant. Da eine Bebauung mit einem minimalen Abstand von 20 m zum Gleis der Strecke 2257 vorgesehen ist, war die Durchführung einer erschütterungstechnischen Untersuchung notwendig.

Im Rahmen der erschütterungstechnischen Untersuchung wurde eine Freifeldmessung auf dem Plangrundstück an fünf Messpunkten durchgeführt. Auf der Grundlage dieser Messungen wurde eine Prognose der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen sekundären Luftschallimmissionen vorgenommen.

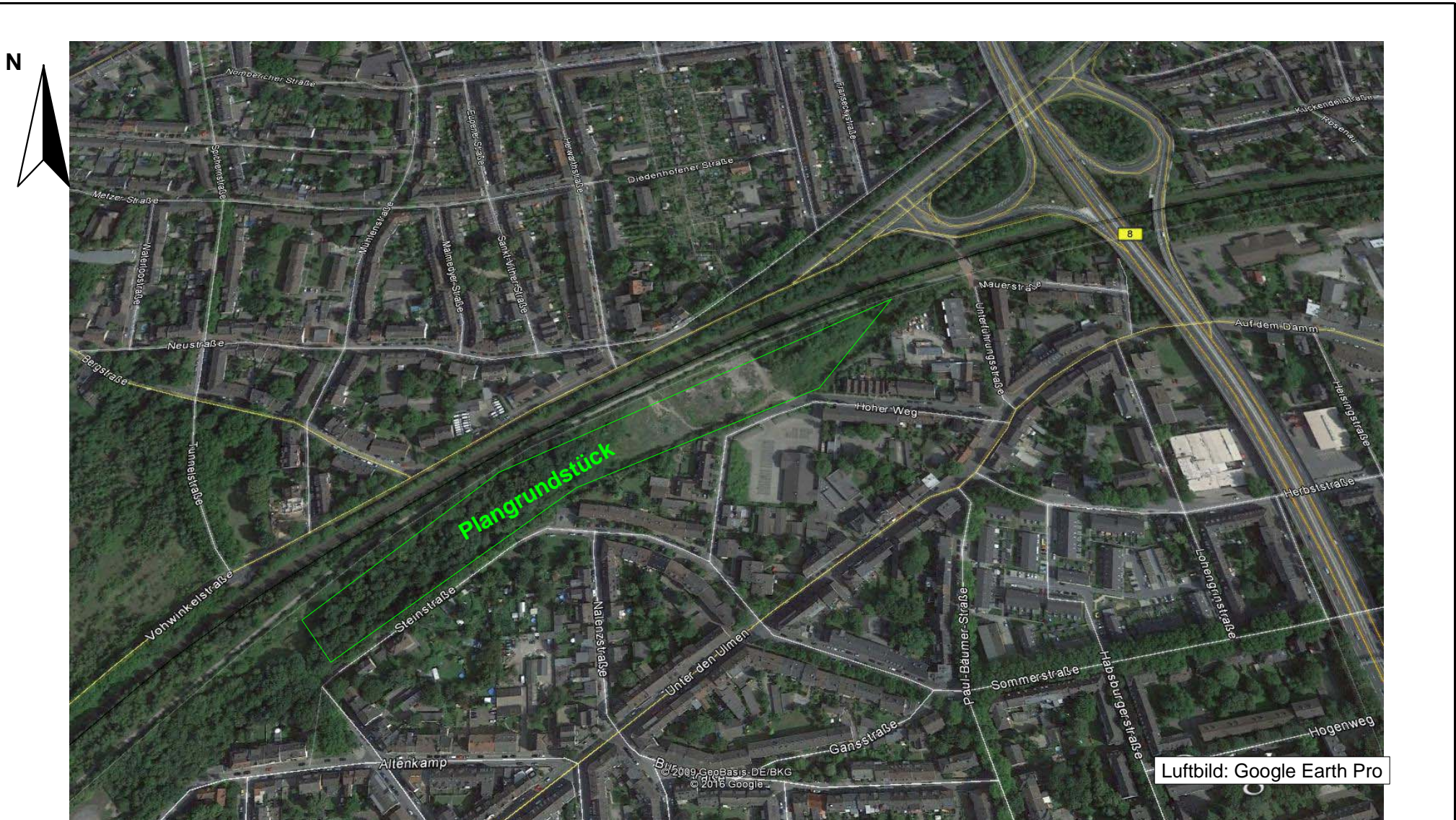
Aufgrund der an die Messungen anschließenden Prognoserechnungen kann davon ausgegangen werden, dass die Anhaltswerte für die Erschütterungsimmissionen nach DIN 4150-2 für Wohngebäude sowie die in Anlehnung an die 24. BImSchV formulierten Anforderungen an die sekundären Luftschallimmissionen im Tages- und Nachtzeitraum auf dem Plangebiet ab einem Abstand von 20 m zum Gleis eingehalten werden.

Dieser Bericht besteht aus 20 Seiten und 6 Anlagen.

Peutz Consult GmbH

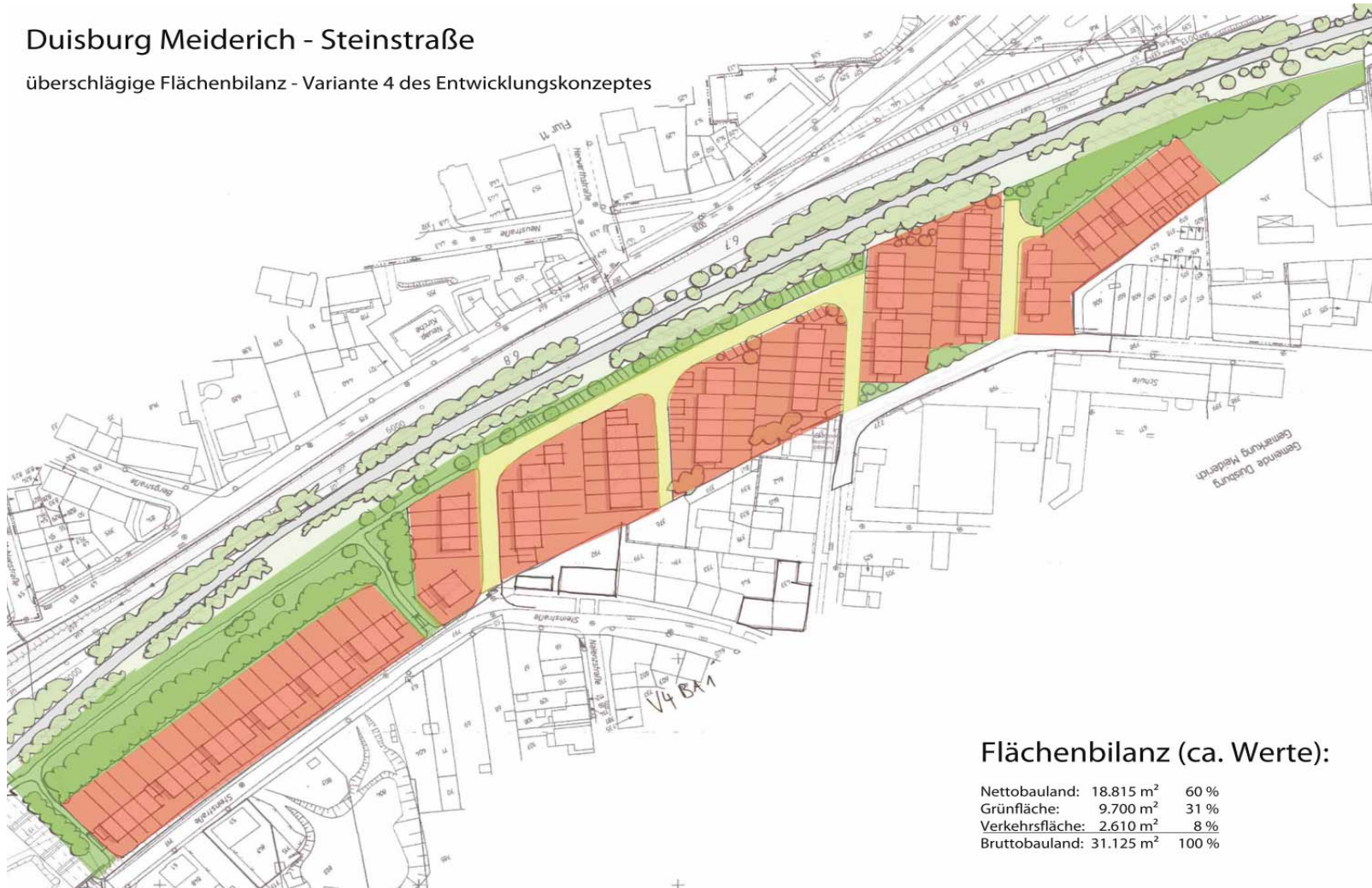


i.V. Dipl.-Ing Mark Bless



Duisburg Meiderich - Steinstraße

überschlägige Flächenbilanz - Variante 4 des Entwicklungskonzeptes



Erschütterungsmessung

Am 25.02.2016

Hoher Weg, Duisburg

Fotodokumentation



Messkette MP 1- MP 4

Straße / Nr.	Hoher Weg
Ort	Duisburg
Gebiet (BauNVO)	WA
Gebäudeart	Reihenhäuser
Nutzung	Wohnen
Geschosszahl	3
Bauart	Massiv
Keller	
Deckenart	
Sonstiges	



Feldweg entlang der Strecke 2274



MP 5 im weichen Boden

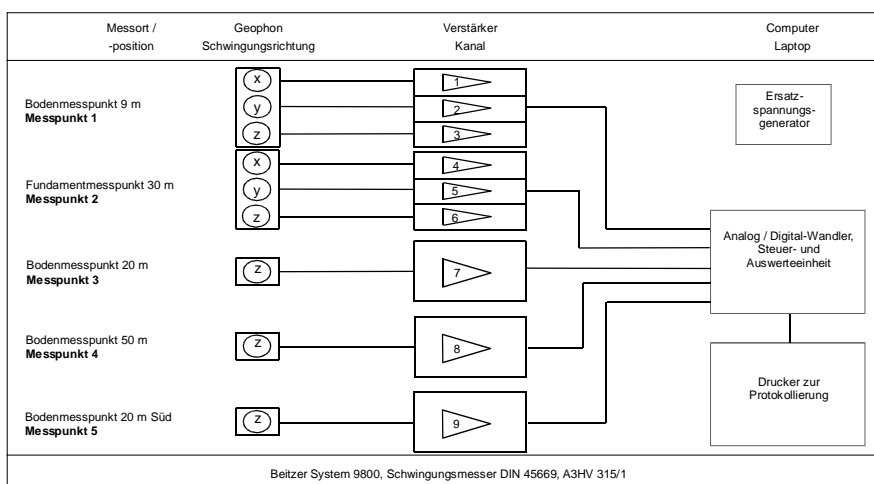
Gleislage

Gleis	Entfernung [m] zu MP 3 / MP 5		Strecke	Richtung	Lage
	IST	PLAN			
1	20	20	2274	Ruhrort - Meiderich	ebenerdig

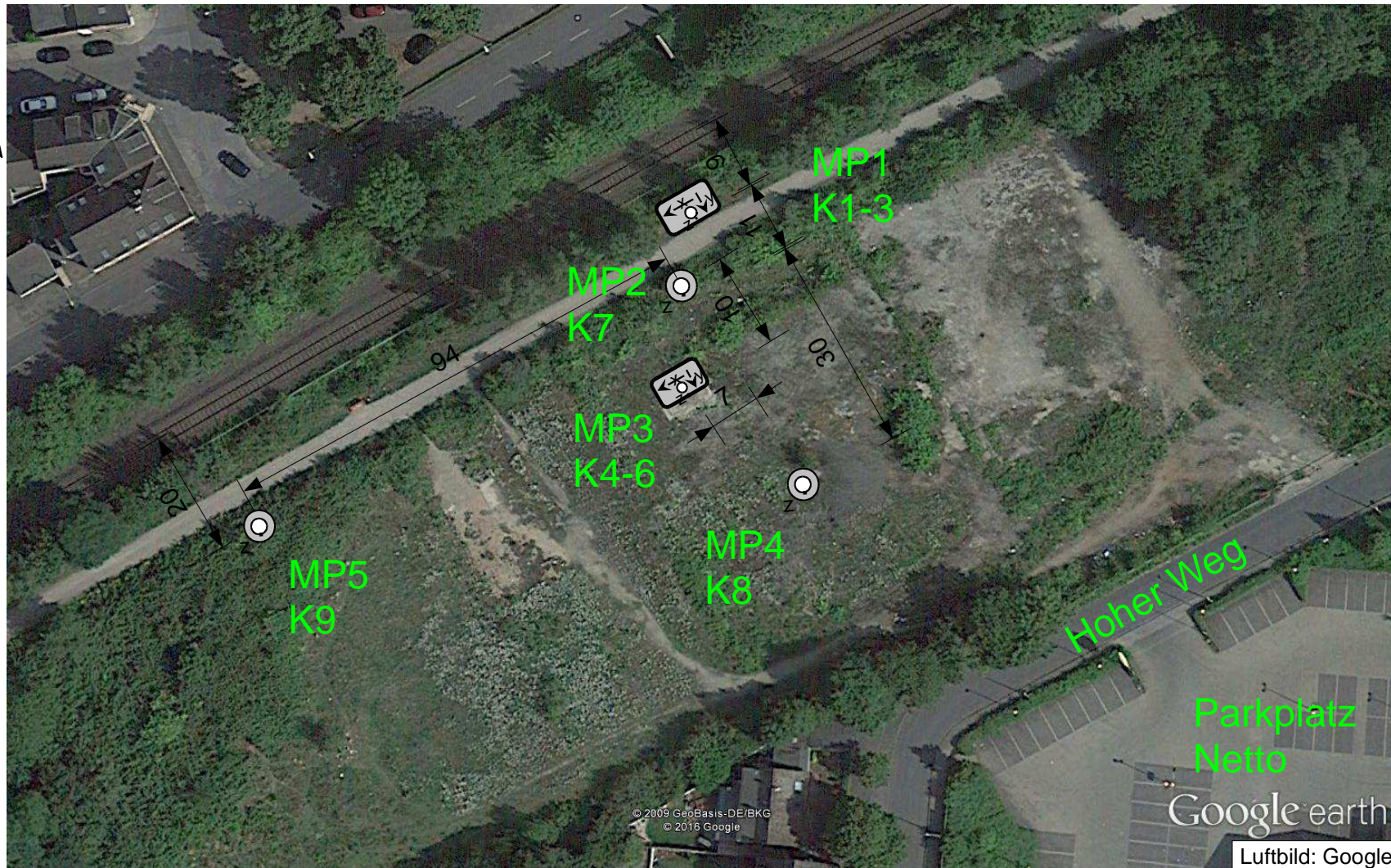
Übersicht über die Messorte

Messpunkt Nr.	Kanäle Messsystem:	Messort	Ankopplung	Abstand zu Gleis 1
1	1-3	Bodenmesspunkt	Dreipunktlager auf Gartenwegplatte	9 m
2	4-6	Bodenmesspunkt	Dreipunktlager auf Restfundament	30 m
3	7	Bodenmesspunkt	Erdspieß	20 m
4	8	Bodenmesspunkt	Erdspieß	50 m
5	9	Bodenmesspunkt Süd	Erdspieß	20 m

Messkette



Übersicht über die Messpunkte



Luftbild: Google Earth Pro

Erschütterungsmessungen in Duisburg, Hoher Weg, am 25.02.2016

Liste der Zugvorbeifahrten

Mess-Nr.	Kategorie	Lok Nr.	Gleis	v_Zug [km/h]	Messwerte				
					v_max Boden 9 m mm/s	v_max Fundament 30 m mm/s	v_max Boden 20 m mm/s	v_max Boden 50 m mm/s	v_max Boden 20 m Süd mm/s
1	Ri Xa	LINT 41	1				0,11	0,02	
2	Ri Du	LINT 41	1				0,09	0,02	
3	Ri Xa	LINT 41	1	80	0,18	0,02	0,15	0,02	
4	Ri Du	LINT 41	1		0,13	0,02	0,09	0,01	
5	Ri Xa	LINT 41	1	83	0,19	0,03	0,16	0,02	0,07
6	Ri Du	LINT 41	1		0,13	0,02	0,09	0,02	0,06
7	Ri Xa	LINT 41	1	90	0,17	0,02	0,14	0,02	0,07
8	Ri Du	LINT 41	1		0,12	0,02	0,10	0,02	0,06
9	Ri Xa	LINT 41	1	80	0,17	0,02	0,14	0,02	0,07
10	Ri Du	LINT 41	1	56	0,12	0,02	0,10	0,02	0,06
11	Ri Xa	LINT 41	1	83	0,18	0,02	0,15	0,02	0,06
12	Ri Du	LINT 41	1	62	0,12	0,02	0,11	0,01	0,06
13	Ri Xa	LINT 41	1		0,18		0,13	0,02	
14	Ri Du	LINT 41	1				0,16	0,03	

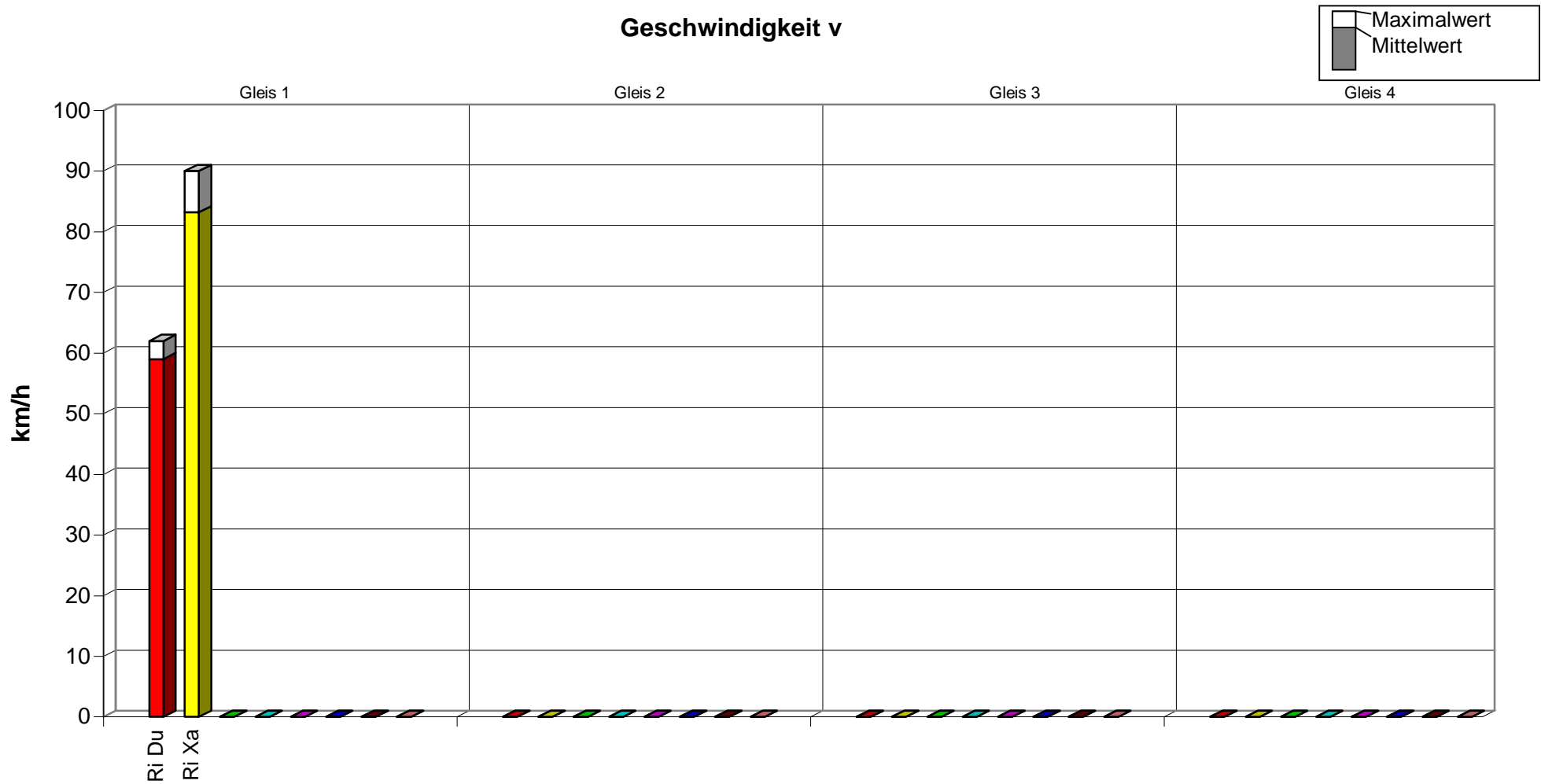
Erschütterungsmessungen in Duisburg, Hoher Weg, am 25.02.2016

Gleis / Abst. Gebäude	Gleis 1								Gleis 2							
	Fahrtrichtung		Ri Du		Ri Xa				Ri Du		Ri Xa					
Kategorie																
Anzahl ausgewert. Züge	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Geschw. [km/h]																
Maximalwert	62	90														
arithmet. Mittelwert	59	83														
Standardabweichung	7%	5%														
v_max [mm/s]																
Boden 9 m																
Maximalwert	0,13	0,19														
arithmet. Mittelwert	0,12	0,18														
Standardabweichung	6%	4%														
v_max [mm/s]																
Fundament 30 m																
Maximalwert	0,02	0,03														
arithmet. Mittelwert	0,02	0,02														
Standardabweichung	5%	8%														
v_max [mm/s]																
Boden 20 m																
Maximalwert	0,16	0,16														
arithmet. Mittelwert	0,11	0,14														
Standardabweichung	23%	12%														
v_max [mm/s]																
Boden 50 m																
Maximalwert	0,03	0,02														
arithmet. Mittelwert	0,02	0,02														
Standardabweichung	29%	8%														
v_max [mm/s]																
Boden 20 m Süd																
Maximalwert	0,06	0,07														
arithmet. Mittelwert	0,06	0,07														
Standardabweichung	4%	5%														

Y:\Projekte\VL7483_VL_SU_EU_Steinstrasse_Duisburg\02_DOKU\7483_VL_Ber_01_Anl4_zugdaten.xls]Daten1

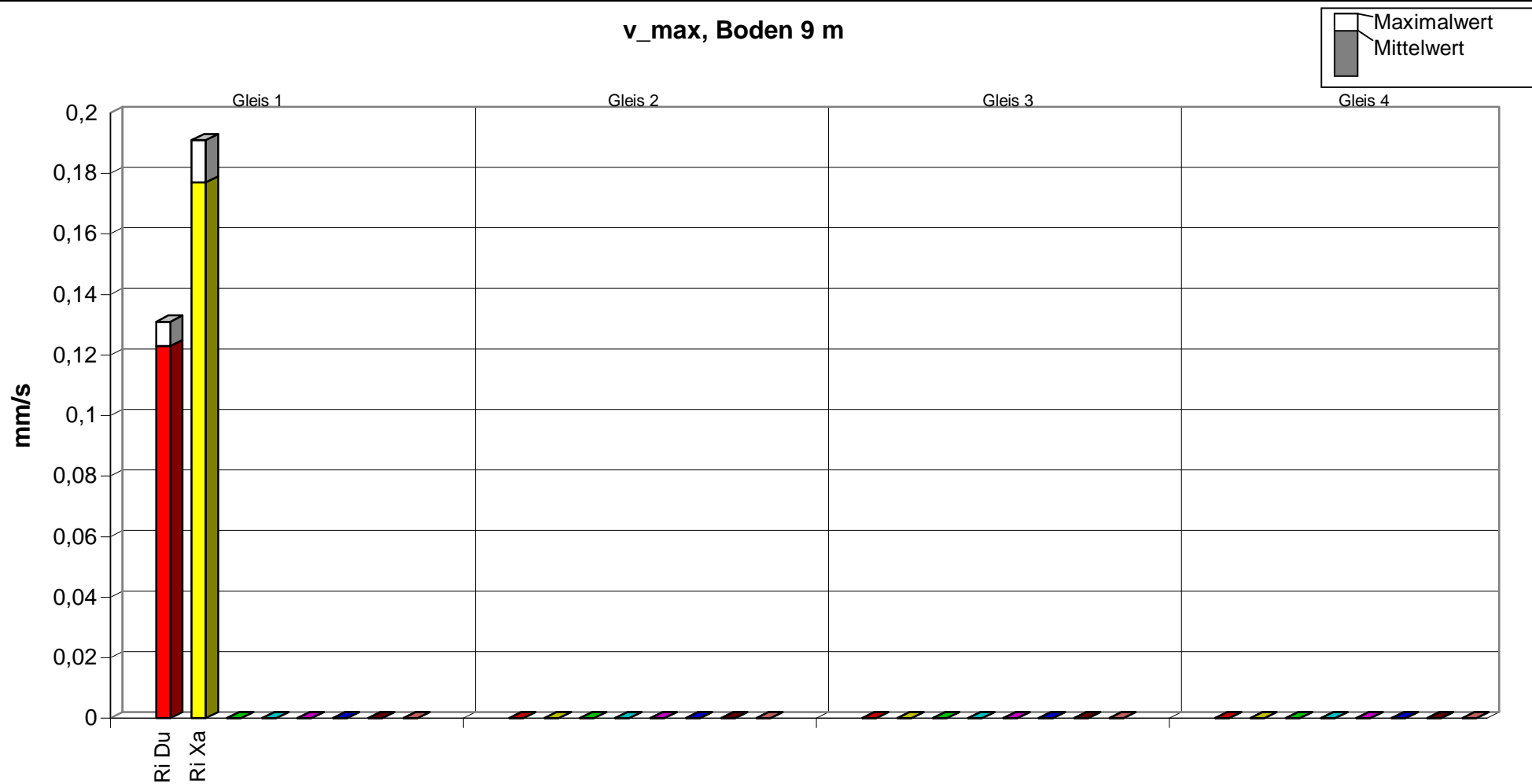
Erschütterungsmessungen in Duisburg, Hoher Weg, am 25.02.2016

Geschwindigkeit v



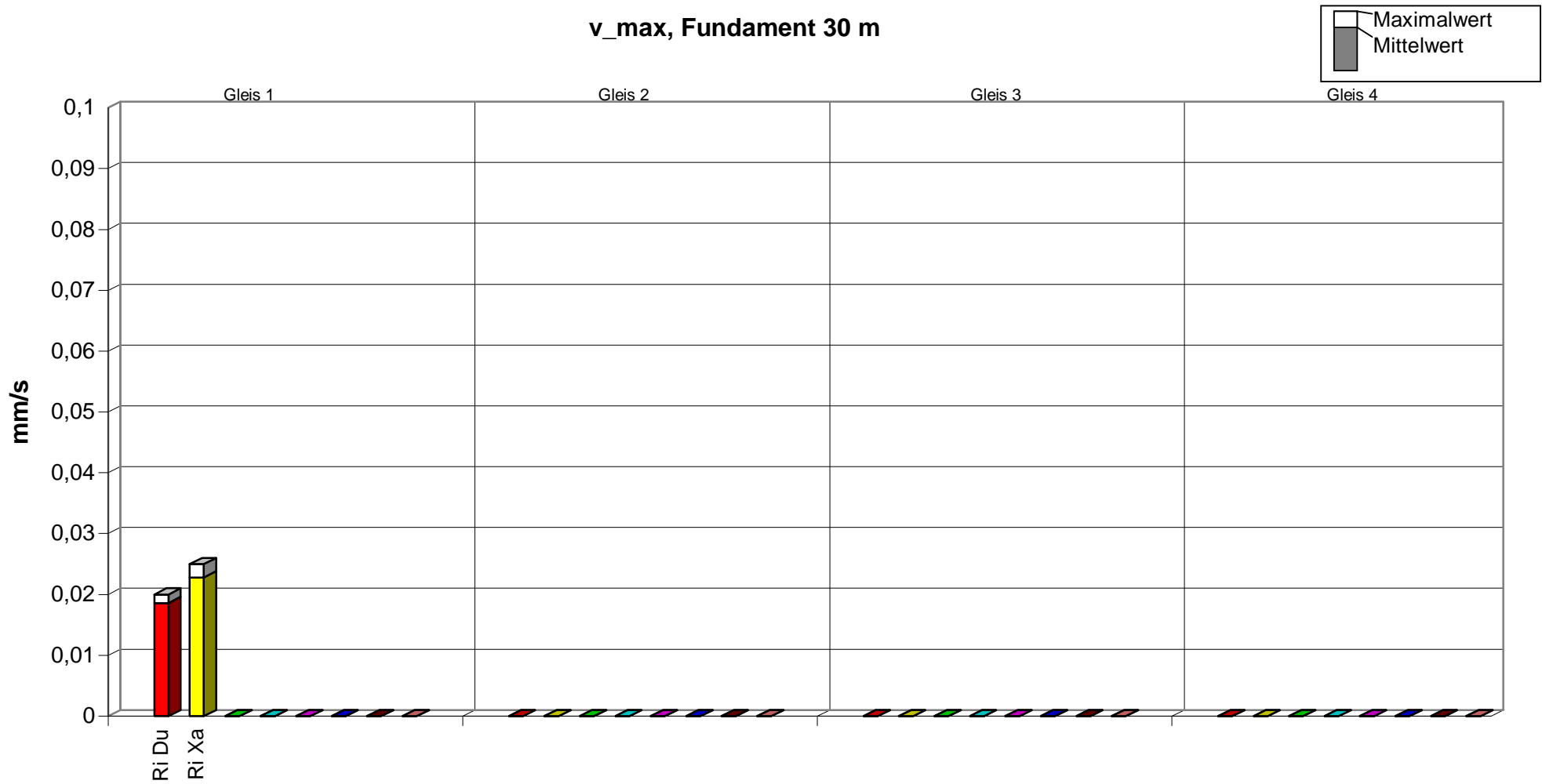
Erschütterungsmessungen in Duisburg, Hoher Weg, am 25.02.2016

v_max, Boden 9 m



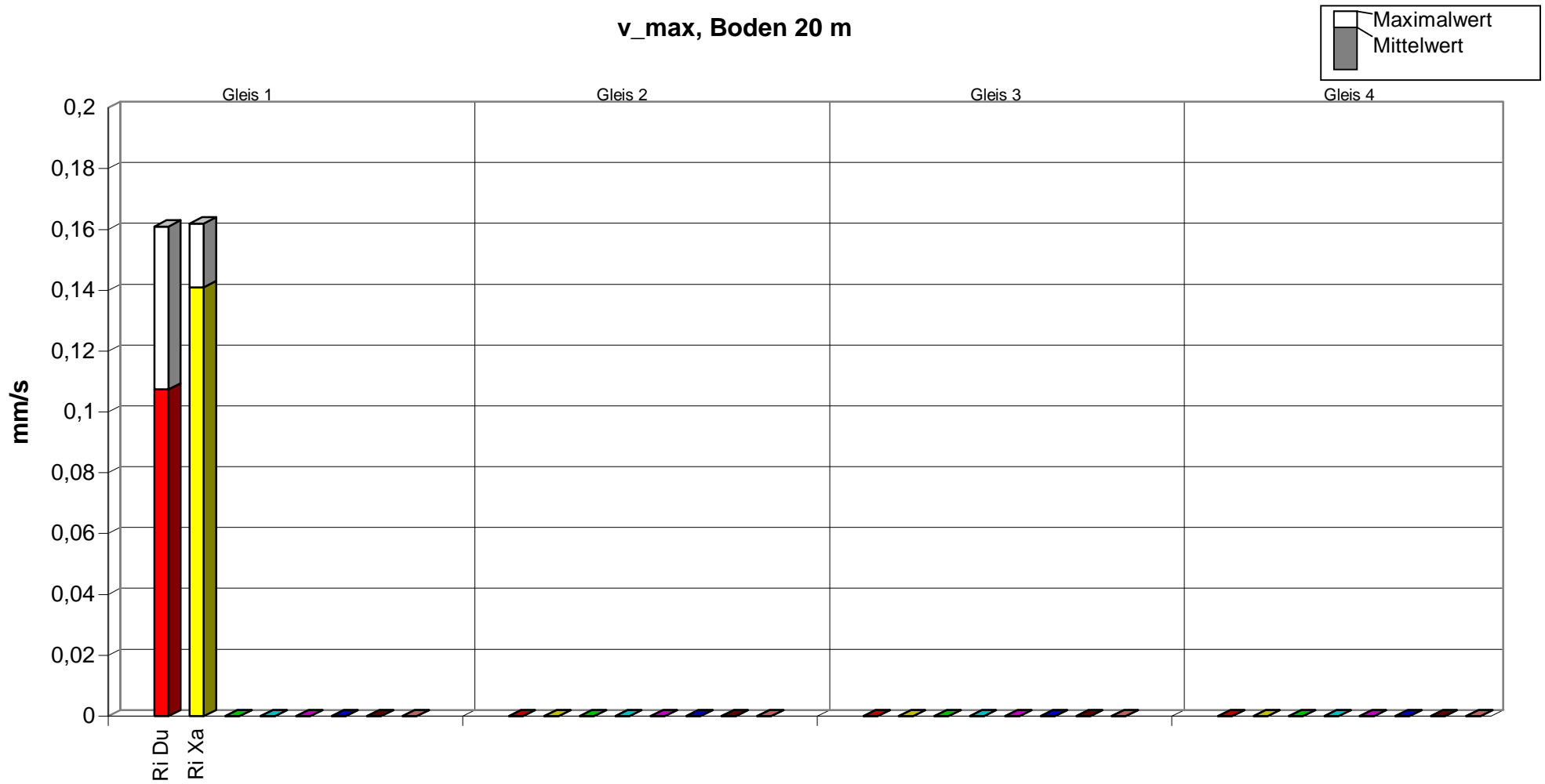
Erschütterungsmessungen in Duisburg, Hoher Weg, am 25.02.2016

v_max, Fundament 30 m



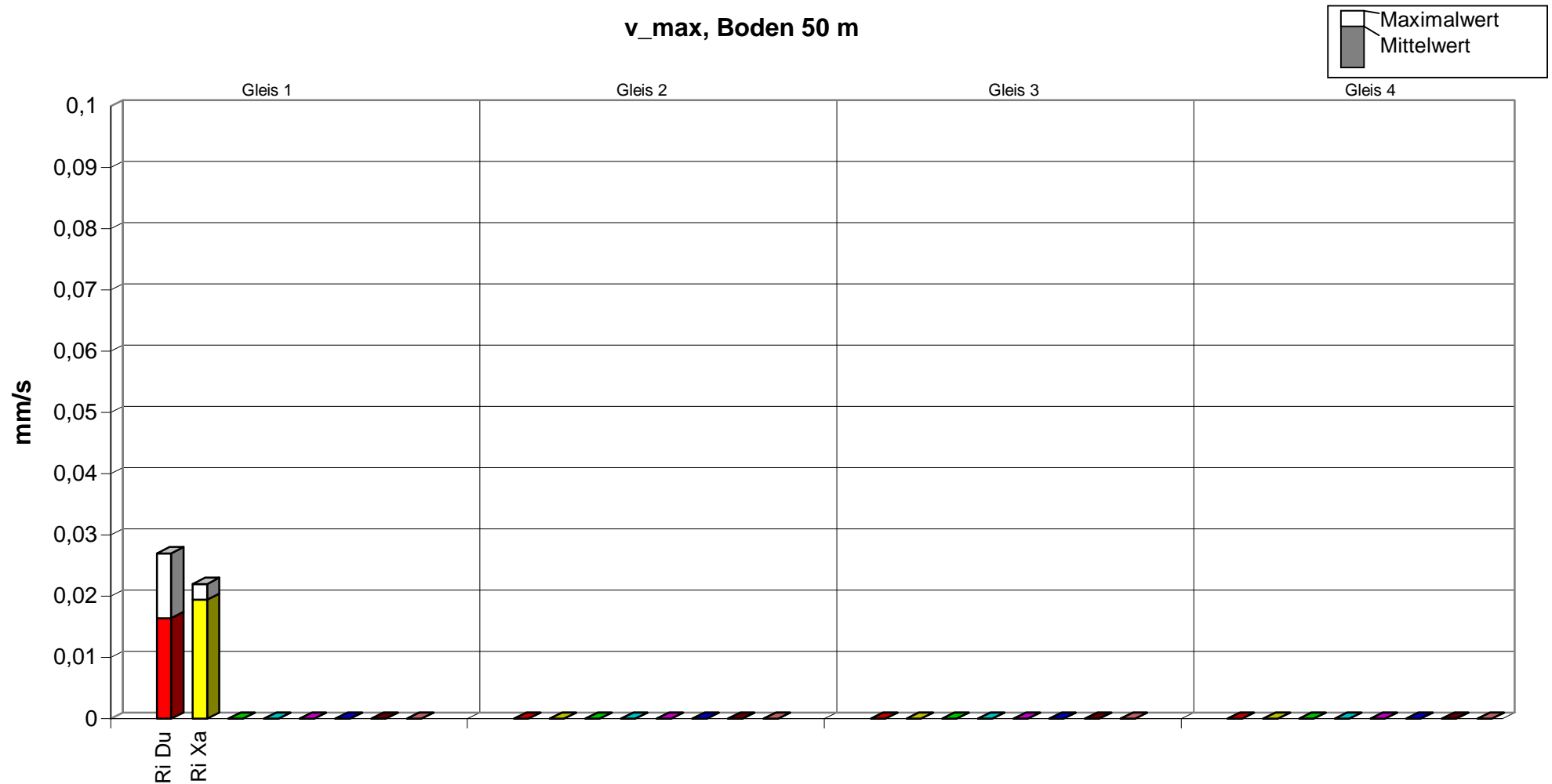
Erschütterungsmessungen in Duisburg, Hoher Weg, am 25.02.2016

v_max, Boden 20 m



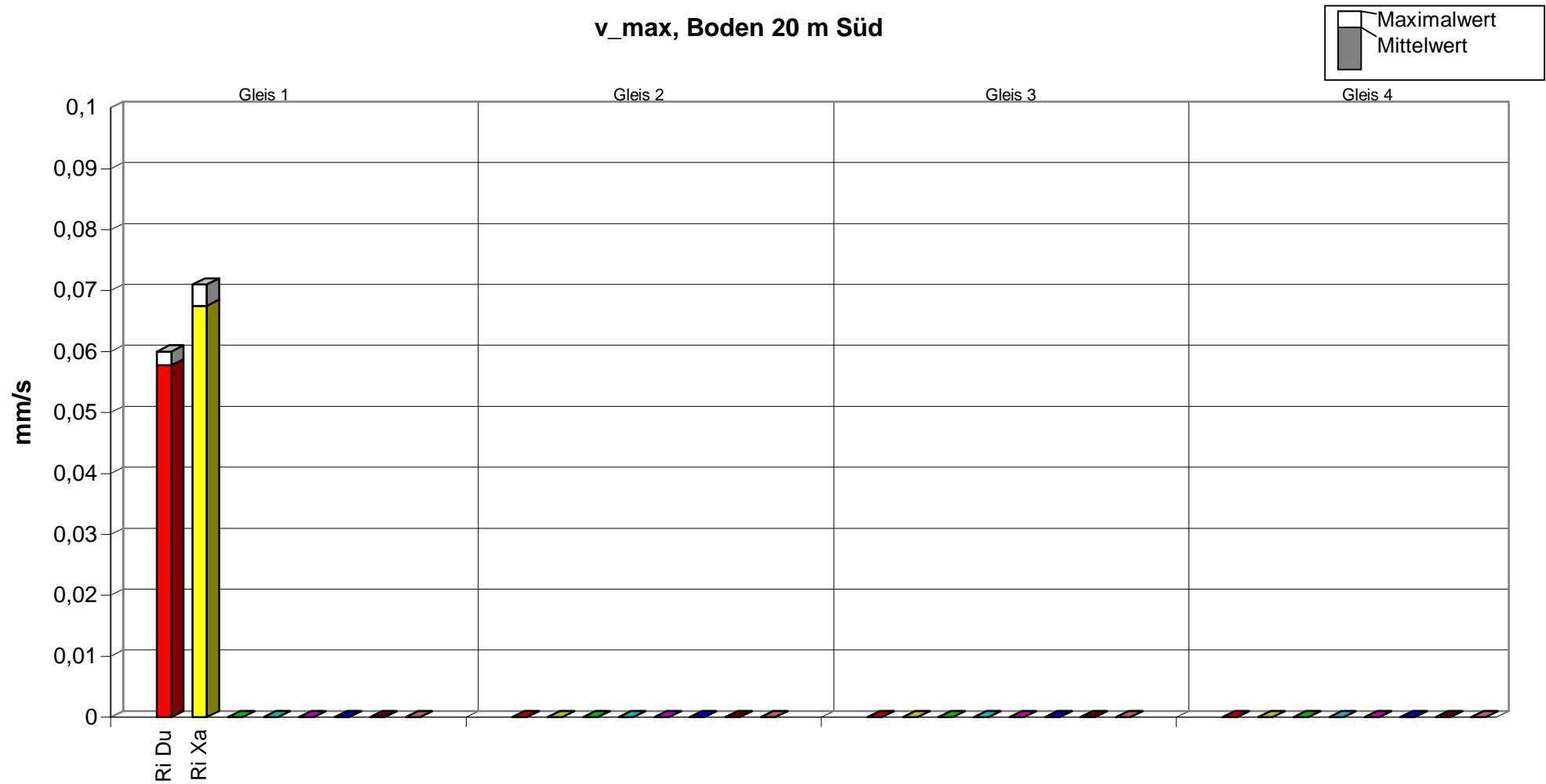
Erschütterungsmessungen in Duisburg, Hoher Weg, am 25.02.2016

v_max, Boden 50 m



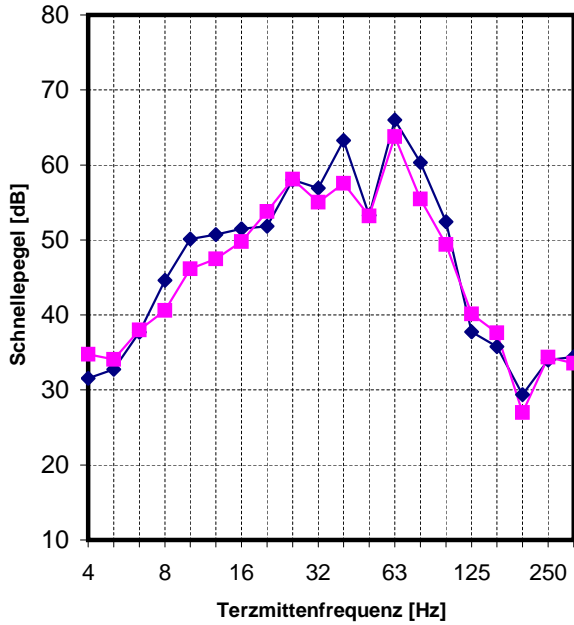
Erschütterungsmessungen in Duisburg, Hoher Weg, am 25.02.2016

v_max, Boden 20 m Süd

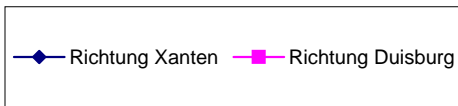
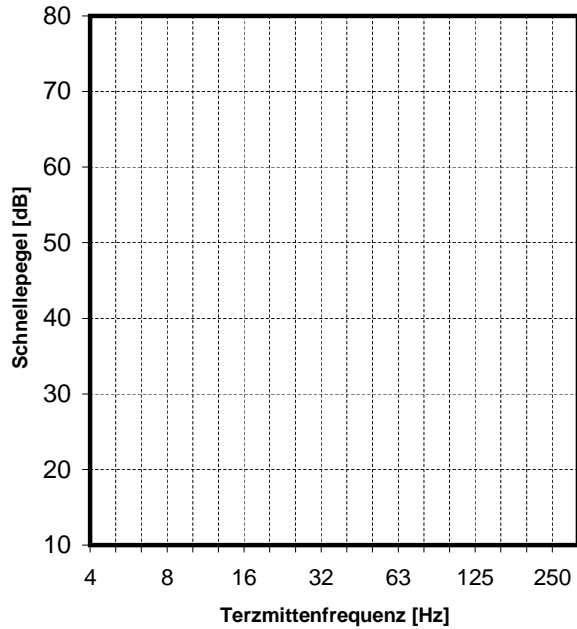


Eingangsdaten zur Prognose (Kanal 7) Hoher Weg, Duisburg

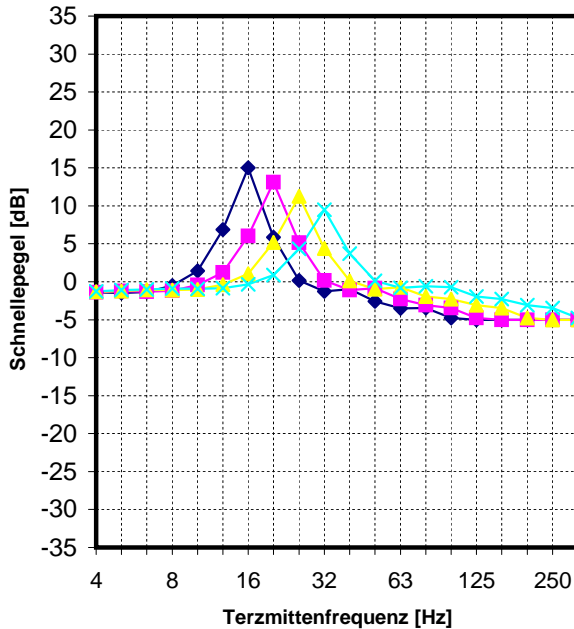
Emissionsspektren 1 bis 10



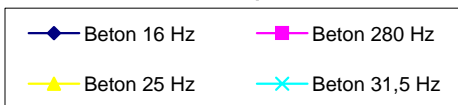
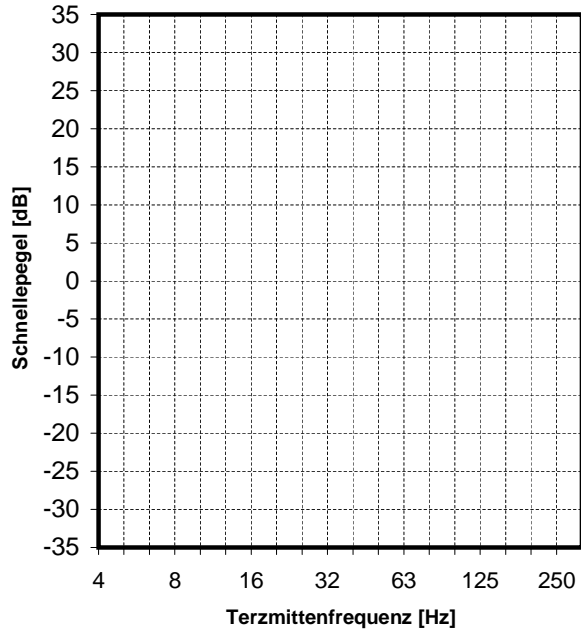
Emissionsspektren 11 bis 20



Minderungen; Übertragungsfunktionen



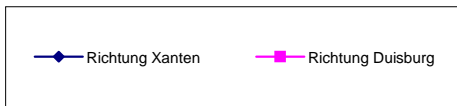
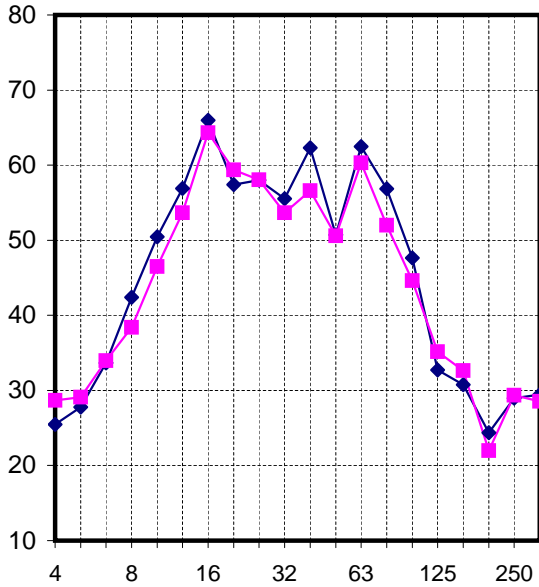
Bodendämpfungsfunktionen



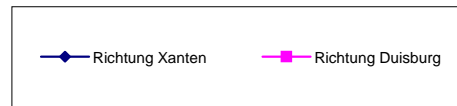
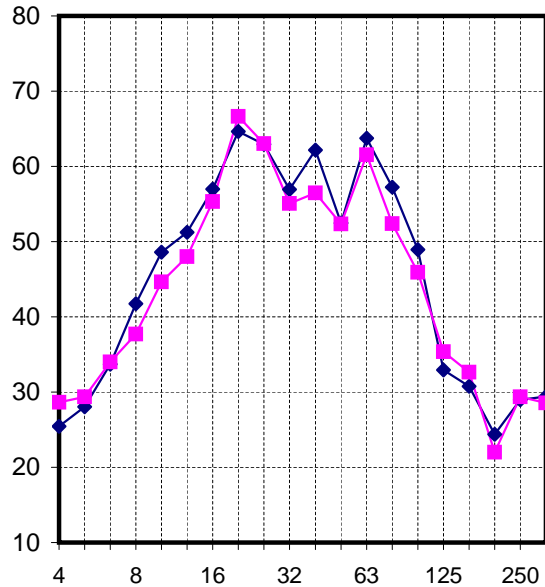
alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s

Eingangsdaten zur Prognose (Kanal 7) Hoher Weg, Duisburg

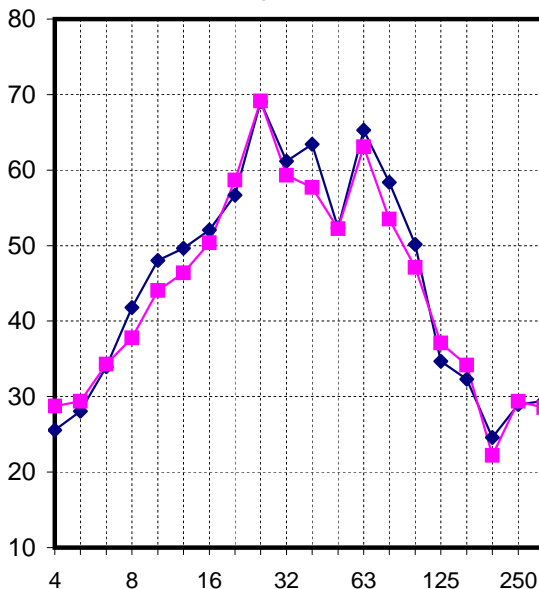
Immissionsspektren Beton 16 Hz



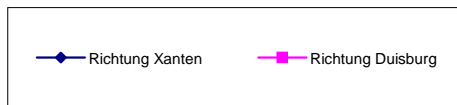
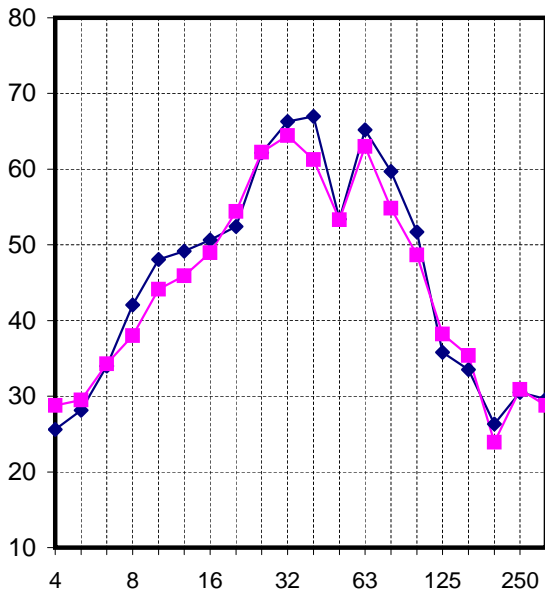
Immissionsspektren Beton 20 Hz



Immissionsspektren Beton 25 Hz



Immissionsspektren Beton 31,5 Hz



alle Spektren [dB], re 5*10⁻⁵ mm/s

Berechnung der Immissionen (Kanal 7) Hoher Weg, Duisburg

Frequenz [Hz]	4		8		16		32		63		125		250		Anzahl Ereignisse Tag Nacht								
Emissionsspektren																							
Richtung Xanten	33,1	31,6	32,8	37,7	44,6	50,1	50,7	51,5	51,8	58,0	56,9	63,3	53,3	66,0	60,3	52,4	37,7	35,8	29,4	34,0	34,4	30	5
Richtung Duisburg	35,7	34,8	34,1	38,0	40,6	46,2	47,5	49,8	53,8	58,1	55,0	57,6	53,2	63,8	55,5	49,4	40,1	37,6	27,0	34,4	33,5	31	3
Übertragungsfunktionen																							
Beton 16 Hz	-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	-5,0		
Beton 280 Hz	-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	-5,0		
Beton 25 Hz	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-1,1	-1,0	-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		
Beton 31,5 Hz	-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	-4,8		
Immissionsspektren																							
																						KB _{FTM} :	L _{max} (dB(A))
Richtung Xanten																							
Beton 16 Hz	31,6	30,2	31,3	36,3	44,1	51,5	57,6	66,5	57,7	58,2	55,6	62,3	50,7	62,5	56,8	47,6	32,7	30,8	24,4	29,0	29,4	0,16	37,1
Beton 20 Hz	31,7	30,2	31,5	36,4	43,5	49,7	52,0	57,5	64,9	63,1	57,0	62,2	52,5	63,7	57,2	48,9	33,0	30,8	24,4	29,0	29,4	0,16	37,7
Beton 25 Hz	31,6	30,3	31,5	36,6	43,5	49,1	50,3	52,5	57,0	69,3	61,3	63,4	52,3	65,3	58,4	50,2	34,7	32,3	24,6	29,0	29,4	0,20	38,5
Beton 31,5 Hz	31,8	30,3	31,7	36,7	43,8	49,2	49,9	51,1	52,7	62,4	66,4	67,0	53,4	65,2	59,7	51,7	35,8	33,5	26,3	30,5	29,6	0,20	39,0
Richtung Duisburg																							
Beton 16 Hz	34,2	33,4	32,6	36,7	40,1	47,6	54,3	64,8	59,7	58,3	53,8	56,6	50,6	60,3	52,0	44,6	35,1	32,6	22,0	29,4	28,5	0,13	35,3
Beton 20 Hz	34,3	33,3	32,9	36,7	39,4	45,7	48,7	55,8	66,9	63,2	55,2	56,5	52,3	61,5	52,4	45,9	35,4	32,6	22,0	29,4	28,5	0,15	36,0
Beton 25 Hz	34,2	33,5	32,9	37,0	39,5	45,2	47,1	50,9	59,0	69,3	59,4	57,7	52,2	63,1	53,5	47,1	37,1	34,2	22,2	29,4	28,5	0,18	36,9
Beton 31,5 Hz	34,5	33,5	33,0	37,0	39,7	45,2	46,6	49,5	54,7	62,4	64,5	61,3	53,3	63,0	54,8	48,7	38,2	35,4	23,9	30,9	28,8	0,15	37,2

(Max-Hold, Fast)
alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s

KB _{FTM} :	Beton 16 Hz		Beton 20 Hz		Beton 25 Hz		Beton 31,5 Hz	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
	0,026	0,014	0,028	0,015	0,034	0,018	0,031	0,017

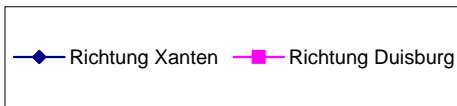
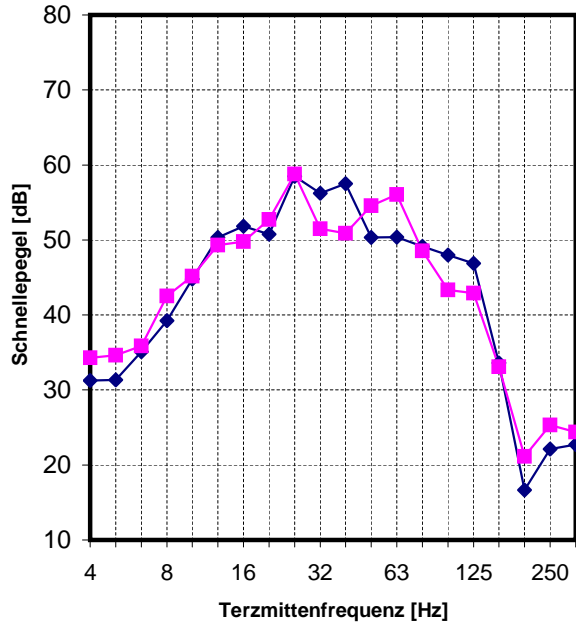
Zur Berechnung von KB_{FTM} bzw. KB_{FTM} werden die Spektren laut DIN 4150 bis maximal 80 Hz herangezogen.

L _r (dB(A)):	Beton 16 Hz		Beton 20 Hz		Beton 25 Hz		Beton 31,5 Hz	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
	21,3	15,7	21,9	16,3	22,8	17,2	23,2	17,6

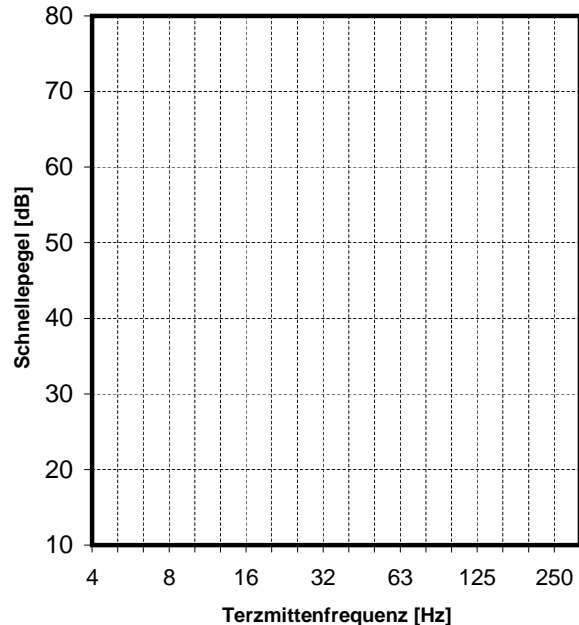
Bei dem berechneten Beurteilungspegel L_r für den Sekundärluftschall handelt es sich um den physikalischen Pegel OHNE 5 dB Schienenbonus.

Eingangsdaten zur Prognose (Kanal 9) Hoher Weg, Duisburg

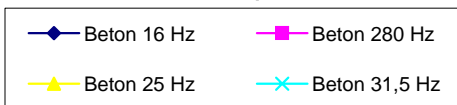
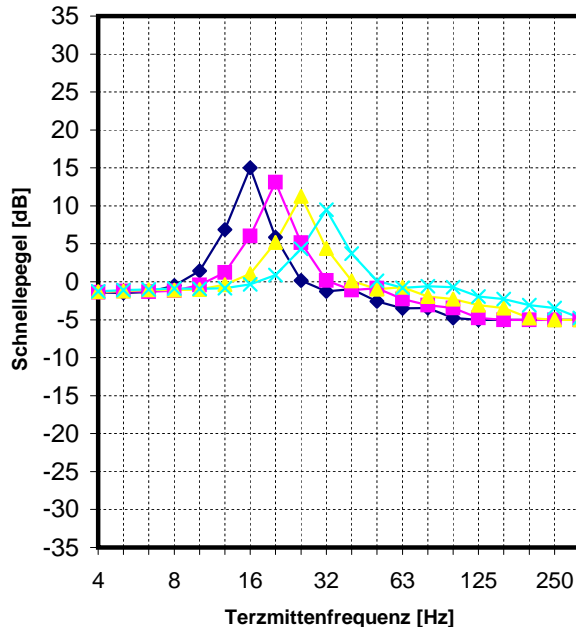
Emissionsspektren 1 bis 10



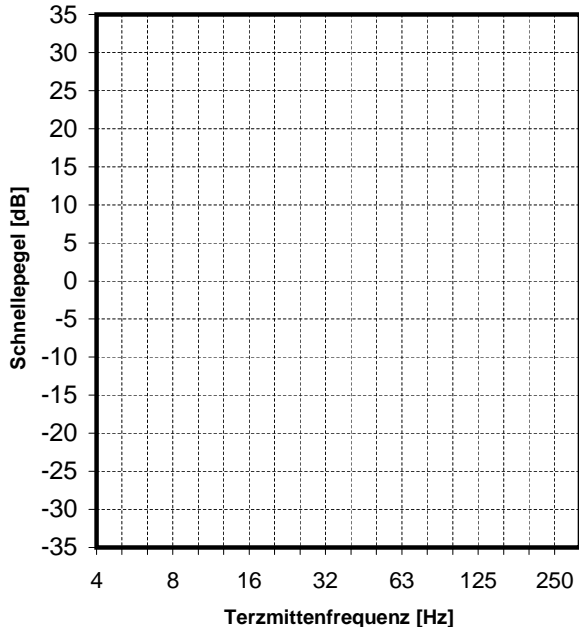
Emissionsspektren 11 bis 20



Minderungen; Übertragungsfunktionen



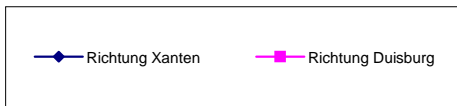
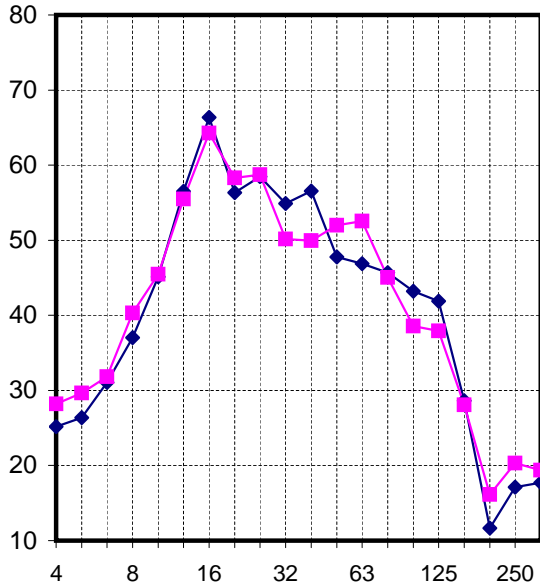
Bodendämpfungsfunktionen



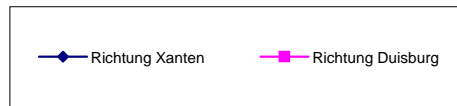
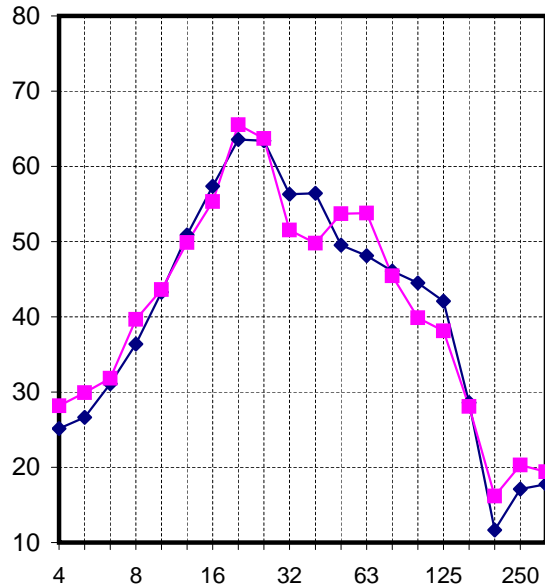
alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s

Eingangsdaten zur Prognose (Kanal 9) Hoher Weg, Duisburg

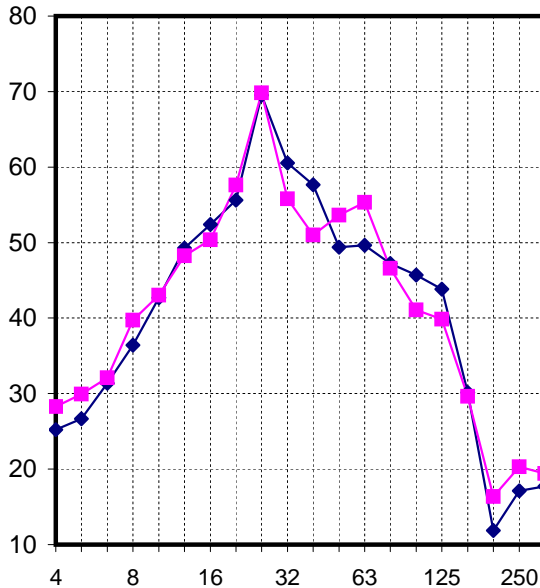
Immissionsspektren Beton 16 Hz



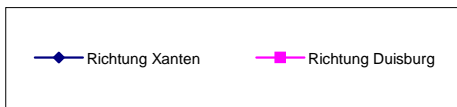
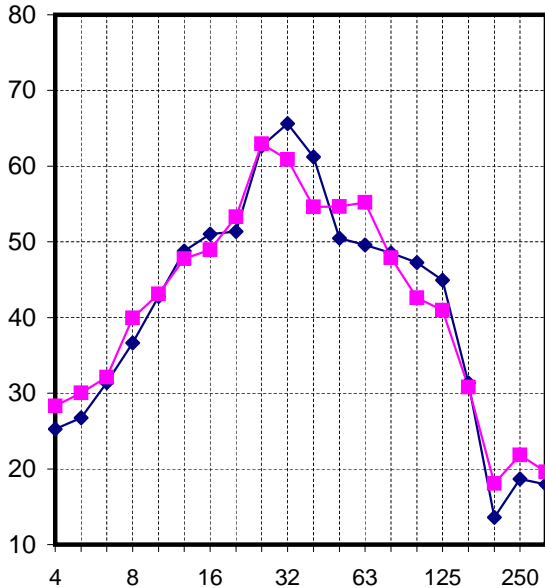
Immissionsspektren Beton 20 Hz



Immissionsspektren Beton 25 Hz



Immissionsspektren Beton 31,5 Hz



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

Berechnung der Immissionen (Kanal 9) Hoher Weg, Duisburg

Frequenz [Hz]	4		8		16		32		63		125		250		Anzahl Ereignisse									
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht								
Emissionsspektren																								
Richtung Xanten	31,1	31,2	31,4	35,1	39,2	44,8	50,3	51,8	50,8	58,5	56,2	57,5	50,4	50,4	49,2	48,0	46,9	33,6	16,6	22,1	22,7	30	5	
Richtung Duisburg	34,1	34,3	34,6	35,8	42,5	45,1	49,3	49,8	52,7	58,8	51,5	50,9	54,6	56,0	48,5	43,3	42,9	33,1	21,2	25,3	24,4	31	3	
Übertragungsfunktionen																								
Beton 16 Hz	-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	-5,0			
Beton 280 Hz	-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	-5,0			
Beton 25 Hz	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-1,1	-1,0	-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			
Beton 31,5 Hz	-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	-4,8			
Immissionsspektren																								
																							KB_{FTM}:	L_{max} (dB(A))
Richtung Xanten																								
Beton 16 Hz	29,6	29,9	29,9	33,8	38,7	46,2	57,2	66,8	56,6	58,7	55,0	56,6	47,8	46,9	45,7	43,2	41,9	28,6	11,6	17,1	17,7	0,13	31,9	
Beton 20 Hz	29,7	29,8	30,1	33,8	38,1	44,4	51,6	57,9	63,9	63,6	56,4	56,4	49,5	48,1	46,1	44,5	42,1	28,6	11,6	17,1	17,7	0,12	32,4	
Beton 25 Hz	29,6	29,9	30,1	34,1	38,1	43,8	50,0	52,9	55,9	69,7	60,6	57,6	49,4	49,7	47,2	45,7	43,8	30,1	11,9	17,1	17,7	0,17	33,6	
Beton 31,5 Hz	29,9	30,0	30,3	34,1	38,4	43,9	49,5	51,5	51,7	62,8	65,7	61,2	50,5	49,6	48,5	47,3	44,9	31,4	13,6	18,7	17,9	0,14	34,4	
Richtung Duisburg																								
Beton 16 Hz	32,6	32,9	33,1	34,5	42,0	46,6	56,2	64,8	58,6	58,9	50,2	49,9	52,0	52,5	45,1	38,6	37,9	28,1	16,2	20,3	19,4	0,11	31,6	
Beton 20 Hz	32,7	32,9	33,4	34,5	41,3	44,7	50,6	55,8	65,8	63,9	51,7	49,8	53,7	53,8	45,5	39,9	38,1	28,1	16,2	20,3	19,4	0,13	32,3	
Beton 25 Hz	32,6	33,0	33,4	34,8	41,4	44,1	48,9	50,9	57,9	70,0	55,9	51,0	53,6	55,3	46,6	41,1	39,8	29,6	16,4	20,3	19,4	0,17	33,4	
Beton 31,5 Hz	32,9	33,0	33,5	34,8	41,6	44,2	48,5	49,5	53,6	63,1	61,0	54,6	54,7	55,2	47,9	42,6	41,0	30,8	18,1	21,8	19,6	0,11	33,6	

(Max-Hold, Fast)
alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s

KB _{FTM} :	Beton 16 Hz		Beton 20 Hz		Beton 25 Hz		Beton 31,5 Hz	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
	0,022	0,011	0,023	0,012	0,030	0,016	0,022	0,012

Zur Berechnung von KB_{FTM} bzw. KB_{FTr} werden die Spektren laut DIN 4150 bis maximal 80 Hz herangezogen.

L _r (dB(A)):	Beton 16 Hz		Beton 20 Hz		Beton 25 Hz		Beton 31,5 Hz	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
	16,8	11,0	17,4	11,6	18,5	12,7	19,0	13,3

Bei dem berechneten Beurteilungspegel L_r für den Sekundärluftschall handelt es sich um den physikalischen Pegel OHNE 5 dB Schienenbonus.