

Erschütterungstechnische Untersuchung zum Bebauungsplan Arcadiastraße in Düsseldorf

Bericht VB 6890-1 vom 12.09.2014

Bericht-Nr.: VB 6890-1
Datum: 12.09.2014
Niederlassung: Düsseldorf
Ref.: MP / AH

Peutz Consult GmbH Beratende Ingenieure VBI

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

VMPA Güteprüfstelle
für den Schallschutz
im Hochbau

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 535
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: DUSSDEDDXXX

Niederlassungen:

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

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.....	10
5	Erschütterungsmessungen.....	12
5.1	Ort und Zeit der Messungen.....	12
5.2	Messgeräte.....	12
5.3	Messdurchführung.....	12
5.4	Auswertung, Zusammenfassung der Messergebnisse.....	13
6	Auswerte- und Prognoseverfahren.....	14
6.1	Einflussgrößen für Erschütterungen.....	14
6.2	Beschreibung der Methodik.....	15
6.3	Prognoseunsicherheit.....	16
7	Prognose der Erschütterungsimmissionen.....	17
7.1	Erschütterungsimmissionen.....	17
8	Berechnung und Beurteilung des sekundären Luftschallpegels.....	18
9	Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungsimmissionen.....	20
10	Zusammenfassung.....	22

1 Situation und Aufgabenstellung

Das Plangebiet des Bebauungsplanes Arcadiastraße in Düsseldorf erstreckt sich südlich der Sankt-Franziskus Straße/ Oberrather Straße bzw. östlich der Selbecker Straße. Zukünftig soll im Plangebiet ein Wohngebiet mit mehrgeschossigen Wohnanlagen mit direkter Anbindung an die Arcadiastraße errichtet werden.

Ein Lageplan der örtlichen Gegebenheiten und der Planung ist in Anlage 1 dargestellt.

Da sich das Gelände neben einer Schienenstrecke befindet, könnten relevante Erschütterungs- und sekundäre Luftschallimmissionen in den geplanten Wohnhäusern auftreten. Im Zuge des Bebauungsplanverfahrens soll daher eine erschütterungstechnische Untersuchung durchgeführt werden, um mögliche Restriktionen für die zulässige Bebauung festzustellen oder auszuschließen.

Hierzu wurden am 04.09.2014 Erschütterungsmessungen im Freifeld des Bebauungsplanes durchgeführt. Hiervon ausgehend werden die im Bebauungsplangebiet 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 [5] und der aktuellen Rechtslage [17] für die Erschütterungen und gemäß den Anforderungen nach 24. BImSchV [2] 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	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge	G	Aktuelle Fassung
[2]	24. BImSchV 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes / Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung	Geändert am 23.09.1997 und Begründung in Bundesratsdrucksache 363/96 vom 02.07.1996	V	04.02.1997
[3]	Erschütterungserlass Messung, Beurteilung und Vermin- derung von Erschütterungs- missionen	Gemeinsamer RdErl. des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, 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
[4]	DIN 4150, Teil 1	Erschütterungen im Bauwesen, Vorermittlungen von Schwingungsgrößen	N	Juni 2001
[5]	DIN 4150, Teil 2	Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	N	Juni 1999
[6]	DIN 4150, Teil 3	Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf bauliche Anlagen	N	Februar 1999
[7]	DIN 45 669, Teil 1	Messung von Schwingungsmissionen - Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung	N	September 2010
[8]	DIN 45 669, Teil 2	Messung von Schwingungsmissionen - Messverfahren	N	Juni 2005
[9]	DIN 45 669, Teil 3	Messung von Schwingungsmissionen - Prüfung (Kalibrierung und Beurteilung) der Schwingungsmesseinrichtung; Erstprüfung, Nachprüfung, Zwischenprüfung, Prüfung für den Messeinsatz	N	Juni 2006

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[10]	DIN 45 672, Teil 1	Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen - Messverfahren	N Dezember 2009
[11]	DIN 45 672, Teil 2	Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen - Auswerteverfahren	N Juli 1995
[12]	Materialien Nr. 22, Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Prognose und Schutzmaßnahmen	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Juli 1995, ISSN:0947-5206	Lit. Juli 1995
[13]	Taschenbuch der Technischen Akustik	G. Müller, M. Möser (Hrsg.), 3. Auflage	Lit. 2003
[14]	Körperschall und Erschütterungsschutz, Leitfaden für den Planer, Beweissicherung, Prognose, Beurteilung und Schutzmaßnahmen	Landesumweltamt NRW	Lit. 1999
[15]	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
[16]	DB Richtlinie 800.2502 „Erschütterung und sekundärer Luftschall, Messung und Prognose“	DB AG, Abt. Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik, TZF 12	Lit. November 2006
[17]	Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes (BVerwG) zum Ausbau einer Eisenbahnstrecke; Schutz gegen Erschütterungen und sekundären Luftschall	Aktenzeichen 7 A 14/09	Lit. 21.12.2010
[18]	Planungsunterlagen zum Bauvorhaben; Planstand 30.05.2014	Zur Verfügung gestellt vom Auftraggeber 05.09.2014	P 30.05.2014

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

Ein Lageplan des Plangebietes und der geplanten Bebauung ist in Anlage 1 dargestellt.

Das Plangebiet befindet sich im nordöstlichen Teil von Düsseldorf. Östlich, unmittelbar an das Plangebiet angrenzend, befindet sich eine stark frequentierte Güterzugstrecke (Strecke 2324). Nordwestlich des Plangebietes verläuft die Sankt-Franziskus-Straße, die die Eisenbahn-Güterstrecke in Hochlage überquert. Östlich verläuft die Straßenbahnstrecke (Rheinbahnlinie 712) sowie nordwestlich eine Eisenbahnstrecke (Strecke 2400).

Die in der Erschütterungsprognose angenommene Streckenbelastung der Strecke 2324 wird der DB-Prognose für das Jahr 2025 entnommen (siehe Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1: Streckenbelastung 2025 für die Strecke 2324

Zugart	Geschwindigkeit [km/h]	Anzahl Vorbeifahrten	
		Tag (6 – 22 Uhr)	Nacht (22 – 6 Uhr)
Güterzug	100	129	56
Güterzug	120	30	13
S-Bahn	120	64	8

Derzeit präsentiert sich das Plangebiet aufgrund der erfolgten Altlastenabtragung als eine fast 10 m tiefe Baugrube, der durch einen Damm von der Eisenbahnstrecke 2324 abgetrennt ist. Vor Baubeginn soll diese Grube aber verfüllt werden, sodass die Geländeoberkante etwa der jetzigen Dammhöhe entspricht.

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 [6] ohne jegliche Zeit- und Frequenzbewertung zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf Gebäude heranzuziehen.

Entsprechend der DIN 4150, Teil 2 [5] 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:

$$KB_{\tau}(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^t e^{-\left(\frac{t-\xi}{\tau}\right)} \cdot KB^2(\xi) d\xi}$$

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_{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 [5] 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 [13]

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_{FTr} 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 [5], kann ausweislich der Anmerkungen unter Abschnitt 6.5.3.4 dieser Norm auf bestehende Bahnstrecken nicht unmittelbar angewendet werden.

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 [14] 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 Innenraumpegeln 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 [17] 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 Erschütterungsmessungen

5.1 Ort und Zeit der Messungen

Auf dem Plangebiet wurde am 04.09.2014 eine Freifeldmessung an fünf Messpositionen durchgeführt.

Eine detaillierte Beschreibung der Messumgebung und des Messaufbaus ist in Anlage 2 dargestellt.

5.2 Messgeräte

Die Erschütterungsmessungen wurden entsprechend der DIN 4150, Teil 2, in Verbindung mit DIN 45669, Teil 1 [7] und Teil 2 [8] sowie dem DB-Leitfaden zum Erschütterungs- und Körperschallschutz [16] durchgeführt.

Die Bodenmesspunkte werden mittels Erdspeissen bzw. die dreikanaligen Messaufnehmer auf eingeschlammten Gehwegplatten nach DIN 45669 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. Die Zuggeschwindigkeiten wurden mit einem Radarmessgerät erfasst.

5.3 Messdurchführung

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

Neben den Vorbeifahrten auf der Strecke 2324 wurden auch die Vorbeifahrten der Straßenbahnen der Rheinbahn (Linie 712) sowie Zugverkehr auf der Strecke 2400 registriert und aufgenommen.

5.4 Auswertung, Zusammenfassung der Messergebnisse

Die Auswertung der Erschütterungsimmissionen erfolgte gemäß DIN 4150 Teil 2 [5] beziehungsweise dem DB-Leitfaden zum Erschütterungs- und Körperschallschutz [16].

Die gemessenen Schwingschnellen sind in Anlage 3 aufgeführt.

Die höchsten gemessenen Schwingschnellen bei Vorbeifahrten der Straßenbahnen auf der Linie 712 betrugen an den Messpunkten im Plangebiet 0,021 mm/s.

Die Erschütterungseinwirkungen durch die Straßenbahnvorbeifahrten können daher in der weiteren Auswertung und Beurteilung vernachlässigt werden.

Die höchsten, durch Zugvorbeifahrten auf der mehr als 140 m entfernten DB-Strecke 2400 verursachten Schwingschnellen betrugen an den Messpunkten im Plangebiet 0,03 mm/s.

Die höchsten registrierten Erschütterungen durch Güterzüge im Plangebiet betrugen 0,18 mm/s am Messpunkt 2 (Kanal 4-6) für eine Güterzugvorbeifahrt mit hörbaren Stößen (vermutlich ungünstiges Wagenmaterial) auf Gleis 2.

Am Messtag wurden Zuggeschwindigkeiten zwischen 50 und 65 km/h erfasst. Die zugelassene Streckengeschwindigkeit für Güterzüge beträgt jedoch 100 bzw. 120 km/h, sodass auch mit höheren Zuggeschwindigkeiten in der Prognose gerechnet werden muss.

6 Auswerte- und Prognoseverfahren

6.1 Einflussgrößen für Erschütterungen

Maßgeblich für die Höhe der Erschütterungsimmissionen in Gebäuden 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.

Beim Einfluss des Abstandes des zu betrachtenden Gebäudes von den Bahngleisen ist in der Regel bei einer mehrgleisigen Strecke davon auszugehen, dass je näher das Gebäude an der Bahntrasse steht, desto größer werden die Unterschiede zwischen den Immissionen aus den einzelnen Gleisen.

Vergrößert sich der Abstand von der Trasse, so gleichen sich die Immissionen aus den einzelnen Gleisen an, da der Einfluss der relativen Abstandsunterschiede gegenüber dem Gesamtabstand an Relevanz verliert.

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

Da noch umfangreiche Erdarbeiten zur Auffüllung der Baugrube geplant sind, können die Messwerte der Messposition 2, 4 und 5 nur bedingt zur Berechnung der Ausbreitungsbedingungen im Erdboden auf dem Plangebiet herangezogen werden, obwohl die Position der Messpunkte 2 und 4 der Entfernung der ersten Baureihe zu den Bahngleisen entspricht.

Zur Bestimmung der Ausbreitungsbedingungen im Erdboden und der Übertragung auf das geplante Bauwerk werden daher theoretische Ansätze aus der Literatur [13], [16] herangezogen.

Die gefahrene Geschwindigkeit beeinflusst ebenfalls die Höhe der Erschütterungsimmissionen. Hierbei verschiebt sich jedoch besonders die spektrale Zusammensetzung der Erschütterungsanregung. So kann in speziellen Fällen auch eine Minderung oder zumindest keine Verschlechterung der Erschütterungsimmissionen bei gesteigerter Geschwindigkeit auftreten, wenn zum Beispiel bei einer geringeren Streckengeschwindigkeit die Erschütterungsim-

missionen durch die Anregung der Gebäudedecken, innerhalb deren Resonanzfrequenz geprägt wird. Bei veränderten Streckengeschwindigkeiten kommt es zu einer Verschiebung des Anregespektrums und somit u. U. auch zu einer Anregung außerhalb von Deckenresonanzen.

6.2 Beschreibung der Methodik

Die Prognosen der Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen erfolgen auf Basis des vorliegenden Bebauungsplanentwurfes [18].

Mittels der messtechnisch erfassten Emissionen bzw. Immissionen erfolgte die Prognose der in den geplanten Gebäuden im Plangebiet zu erwartenden Erschütterungsmissionen.

Dafür wurden im ersten Schritt für die Zugvorbeifahrten Frequenzanalysen (Terz-F-max) durchgeführt und diese anschließend für jedes Gleis getrennt energetisch gemittelt. Diese gemittelten Terz-F-max Frequenzspektren für den Messpunkt 4 der Freifeldmessung (Position der 1. Baureihe, 40 m, in der Grube) 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.

Da die zu Grunde liegenden Frequenzspektren von Messpunkt 4 bereits der Position an der 1. Baureihe entsprechen, ist eine Berücksichtigung einer Ausbreitungsdämpfung für die Weiterleitung der Schwingungen im Erdboden des Plangebietes nicht notwendig.

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 Erschütterungsmissionen unkritischer, da die von Güterzugvorbeifahrten verursachten Erschütterungen meist niederfrequent sind und die hochfrequenten Anteile durch die Ausbreitung im Boden stärker gedämpft werden.

Des Weiteren wurde eine Geschwindigkeitskorrektur von der gemessenen auf die angegebene zugelassene Streckengeschwindigkeit durchgeführt.

Für die Prognose der durch die geplante Reaktivierung des Schienenpersonennahverkehrs verursachten Erschütterungen kann nicht auf Messungen an der Strecke 2324 zurückgegriffen werden, da hier derzeit keine S-Bahnen verkehren. Deshalb wurde für die Vorbeifahrten ein Erschütterungsemissionsspektrum einer typischen, an Rhein und Ruhr eingesetzten S-Bahn (Baureihe 425) zugrunde gelegt, welches in einem früheren Projekt an mehreren Orten

in jeweils 8 m Entfernung zum Gleis (ebenerdige Lage) gemessen worden ist. Die betrachteten Geschwindigkeiten lagen dabei etwa 100 km/h. Eine Geschwindigkeitsanpassung auf die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit für S-Bahnen erfolgt in der Prognose.

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, das intern mit genaueren Zahlen gerechnet wurde, als in den auf eine Nachkommastelle gerundeten Werten, welche in den Anlagen dargestellt werden.

In den nachfolgenden Kapiteln sind die zusammengefassten Ergebnisse der Erschütterungsmessungen und der Prognose jeweils für eine mögliche Deckeneigenfrequenz wiedergegeben. Die detaillierten Messergebnisse sind in Anlage 4 dokumentiert.

6.3 Prognoseunsicherheit

Die generelle messtechnische Unsicherheit bei der Ermittlung von KB_F -Werten kann gemäß DIN 4150 Teil 2 [5] mit 15 % beziffert werden. Die zur Prognose herangezogenen Übertragungsfunktionen für 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 [16], 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.

Im vorliegenden Fall besteht die größte Unsicherheit jedoch durch die geplanten Verfüll- und Erdarbeiten auf dem Plangebiet. Die Wohngebäude sollen in etwa auf der jetzigen Dammhöhe entstehen. Tendenziell sind nach Anhebung des Geländeniveaus jedoch an der Position der 1. Baureihe *geringere* Erschütterungsimmissionen zu erwarten, als sie in der Messung am 4.9.2014 an Messposition 4 gemessen wurden, wie auch der Vergleich zwischen den an Messposition 3 (Messposition auf Damm) und 4 (Messposition in Grube) gemessenen Schwingschnellen in Anlage 3 zeigt.

7 Prognose der Erschütterungsimmissionen

7.1 Erschütterungsimmissionen

Nach dem vorliegenden Bebauungsplanentwurf (Anhang 1) beträgt die minimale Entfernung zwischen der geplanten Bebauung und dem nächsten etwa Gleis 37 m, was Messposition 8 entspricht.

Auf Grundlage der an Messposition 5 (Kanal 9) gemessenen Schwingschnellen zufolge kann einerseits angenommen werden, dass die durch Zugvorbeifahrten auf der etwa 135 m entfernt verlaufenden Strecke 2400 verursachten Erschütterungsimmissionen für die betrachteten, typischen Eigenfunktionen von Geschossdecken unterhalb der sogenannten „Fühlschwelle“ von $KB = 0,1$ liegen werden und daher vernachlässigt werden können (siehe Kapitel 4.2).

Bezüglich der unmittelbar benachbarten Güterzugstrecke 2324 kann andererseits der in Anlage 4.1-4.3 dargestellten Prognoseberechnung auf Grundlage der an Messposition 4 (Kanal 8) gemessenen Schwingschnellen zufolge für Gebäude der 1. Baureihe nicht ohne Weiteres von einer Einhaltung der in Tabelle 4.2, Zeile 4 für Wohngebiete ausgewiesenen Anhaltswerte für die Erschütterungsimmissionen aus DIN 4150 Teil 2 [5] ausgegangen werden. In Anlage 4.1 – 4.3 sind auch die prognostizierten Erschütterungsimmissionen für Zugvorbeifahrten auf der entfernter liegenden Strecke 2400 angegeben, die wie für Messposition 5 unterhalb der „Fühlschwelle“ liegen.

Tabelle 7.1 fasst die Ergebnisse der Prognoseberechnung zu den Erschütterungsimmissionen für Gebäude der 1. Baureihe auf dem Plangebiet zusammen.

Durch die noch vorzunehmende Verfüllung der Grube ist jedoch davon auszugehen, dass die in 37 m von Gleis 1 auftretenden Erschütterungsimmissionen geringer als die prognostizierten und in Tabelle 7.1 angegebenen Erschütterungsimmissionen sein werden. Dies legen auch die auf dem Damm in 22 m Entfernung zu Gleis 1 an Messposition 3 (Kanal 7) gemessenen Erschütterungsimmissionen nahe, welche etwas geringer als die in 40 m Entfernung an Messposition 4 in der Grube gemessenen Erschütterungsimmissionen waren. In Anlage 5.1 – 5.3 sind die Ergebnisse der Prognoseberechnung für ein Gebäude an Messposition 3 dargestellt, welche geringfügig geringere Beurteilungsschwingstärken KB_{FT} als die Prognose für Messposition 4 in der Grube (Tabelle 7.1) ergibt.

Auch bei angenommenen Geschossdecken mit Resonanzfrequenzen von mindestens 25 Hz sind die einzelnen Güterzugvorbeifahrten im Gebäude bei einem prognostizierten Taktmaximal-Effektivwert von $KB_{FTm} = 0,17$ allerdings spürbar.

Tabelle 7.1: Prognostizierte Erschütterungsimmissionen in Gebäuden der 1. Baureihe

	KB_{FTr}		$A_{r(WA)}$		$KB_{FTr} \leq A_{r(WA)}$	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Betondecke 16 Hz	0,138	0,128	0,07	0,05	NEIN	NEIN
Betondecke 20 Hz	0,078	0,072	0,07	0,05	NEIN	NEIN
Betondecke 25 Hz	0,065	0,060	0,07	0,05	JA	NEIN
Betondecke 31,5 Hz	0,066	0,061	0,07	0,05	JA	NEIN

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 aufgrund der an Messposition 4 (Kanal 8) gemessenen Schwingschnellen prognostizierten Sekundärluftschallimmissionen für die Gebäude in 37 m Entfernung zum Gleis 1 (erste Baureihe) aufgeführt.

Es ist zu beachten, dass die in den Anlagen zum Bericht und in Tabelle 8.1 aufgeführten Sekundärluftschallpegel nicht den Schienenbonus von 5 dB enthalten.

Der dargestellten Prognoseberechnung zufolge kann nicht sicher von einer Einhaltung der Anforderungen an die sekundären Luftschallimmissionen für den Nachtzeitraum ausgegangen werden. Auch bzgl. der sekundären Luftschallimmissionen ist jedoch von einer Verminderung aufgrund der noch vorzunehmenden Verfüllung der Baugrube im Vergleich zur Prognoseberechnung auszugehen.

Der prognostizierte mittlere Vorbeifahrtpegel für den sekundären Luftschall für eine einzelne Zugvorbeifahrt beträgt bis zu 42 dB(A).

Tabelle 8.1: Prognostizierte Sekundärluftschallimmissionen für die 1. Baureihe

Gebäude	L _r [dB(A)]		A _r [dB(A)]		Einhaltung
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	
Betondecke 16 Hz	31	31	40	30	NEIN
Betondecke 20 Hz	32	31	40	30	NEIN
Betondecke 25 Hz	32	32	40	30	NEIN
Betondecke 31,5 Hz	33	32	40	30	NEIN

9 Maßnahmen zur Reduzierung der Erschütterungsimmissionen

Wie bereits dargestellt, ist durch die geplante Verfüllung der Grube von einer Verminderung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen im Vergleich zu der dargestellten Prognoseberechnung auszugehen; eine Quantifizierung dieser Verminderung ist jedoch nicht möglich.

Durch Anwendung verschiedener weiterer schwingungsmindernder Maßnahmen beim Bau der Gebäude, welche sich in der Vergangenheit sowohl praktikabel wie effektiv erwiesen haben, lassen sich die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen weiter (aber nur in beschränktem Maße) vermindern:

- Schotterunterbau unter die Bodenplatte
- geeignete Bodenaufbauten (schwimmender Estrich)

Auch bei Ergreifung dieser Maßnahmen kann nicht sicher von einer Einhaltung der Anforderungen der DIN 4150-2 für Wohngebiete im Nachtzeitraum ausgegangen werden (vgl. Kapitel 7). Die Anhaltswerte der DIN 4150-2 für Mischgebiete (vgl. Kapitel 4.2) werden der Prognoseberechnung zufolge für typische Eigenfrequenzen von mindestens 20 Hz (terzweise gerechnet) jedoch voraussichtlich eingehalten, sodass trotzdem vom Vorliegen gesunder Wohnverhältnisse ausgegangen werden kann.

Die einzelnen Güterzugvorbeifahrten werden hierbei allerdings in den Gebäuden voraussichtlich spürbar sein.

Sollte die Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 für Wohngebiete gewünscht werden, sind weitergehende Maßnahmen erforderlich:

Aufgrund der Abhängigkeit der Schwingungsimmissionen von der Resonanzfrequenz der jeweiligen Decke führt eine Veränderung der Deckenresonanzfrequenz zu geänderten Schwingungsimmissionen. Die Deckeneigenfrequenz hängt bei Massivdecken von der freien Spannweite der Decke sowie der Deckendicke ab. So ist eine in diesem Fall mindestens anzustrebende Deckeneigenfrequenz von über 31,5 Hz nur durch Verwendung von großen Deckendicken von mindestens 25 cm und freien Spannweiten unter 4 m (d.h. geringen Raumgrößen) zu erreichen.

Durch elastische Gebäudelagerung auf Elastomerlagern kann der Übertrag der Erschütterungen vom Fundament auf die Wohnräume eines Gebäudes gedämpft werden. Die elastische Gebäudelagerung besitzt eine Eigenfrequenz (in Abhängigkeit der Materialeigenschaften des Elastomers und der Belastung durch das Gebäude); und dämpft nur die Frequenzanteile der Erschütterungen die oberhalb des 1,4-fachen der Eigenfrequenz liegen. Im

Bereich der Eigenfrequenz verstärkt die elastische Gebäudelagerung sogar die eintreffende Erschütterungswelle. Handelsübliche elastische Gebäudelagerungen können auf minimale Eigenfrequenzen bis etwa 8 Hz abgestimmt werden. In diesem Fall findet im Frequenzbereich bis 11 Hz eine Verstärkung der Erschütterungsschwingung statt. Da das durch die Güterzugvorbeifahrten im Boden des Plangebiets verursachte Erschütterungssignal bereits hohe Energien bei sehr geringen Frequenzen aufweist (vgl. Anlage 4.1), ist der Einbau von elastischen Gebäudelagerungen nicht geeignet, die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen wesentlich zu verringern.

Eine Verminderung der Erschütterungsimmissionen unter die Anhaltswerte der DIN 4150-2 für Wohngebiete lässt sich im vorliegenden Fall nur durch eine Lagerung auf Stahlschraubenfedern nachweisen, da diese Systeme geringere Eigenfrequenzen als Elastomerlager aufweisen. Vor dem Einbau eines solchen Systems sind jedoch zur genauen Auslegung insbesondere aufgrund der durch die noch durchzuführenden Erdarbeiten verursachten Prognoseunsicherheiten Erschütterungsmessungen auf dem vorbereiteten Baufeld nach den Auffüll- und Verdichtungsmaßnahmen notwendig.

10 Zusammenfassung

Da sich das Plangebiet des Bebauungsplanes „Arcadiapark“ in Düsseldorf-Rath in unmittelbarer Nähe der Strecke 2324 der Deutschen Bahn befindet, welche derzeit stark von Güterzügen frequentiert ist, war die Durchführung einer erschütterungstechnischen Untersuchung notwendig.

Im Rahmen der erschütterungstechnischen Untersuchung wurde eine Freifeldmessung auf dem Plangebiet durchgeführt und auf Grundlage dieser Messungen eine Prognose der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen und sekundären Luftschallimmissionen für die geplanten Gebäude der 1. Baureihe in 37 m Entfernung zu den Bahngleisen vorgenommen.

Aufgrund der an die Messungen anschließenden Prognoserechnungen kann davon ausgegangen werden, dass die durch die Zugvorbeifahrten auf der weiter entfernt liegenden DB-Strecke 2400 sowie durch Straßenbahnvorbeifahrten der Linie 712 verursachten Erschütterungsimmissionen unterhalb der sogenannten „Fühlschwelle“ von $KB = 0,1$ liegen und daher vernachlässigt werden können.

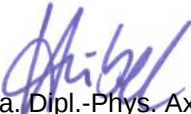
Den Messungen und den dokumentierten Prognoseberechnungen zufolge ist es jedoch prinzipiell nicht auszuschließen, dass die Anhaltswerte für Erschütterungsimmissionen nach DIN 4150-2 für Wohngebiete sowie die Anforderungen an die sekundären Luftschallimmissionen nach der 24. BImSchV in der ersten Baureihe (Entfernung von 37 m von Gleis 1) durch Güterzugvorbeifahrten auf der unmittelbar benachbarten Strecke 2324 überschritten werden.

Die zu Grunde liegende Messung fand jedoch in der durch die Altlastenbereinigung entstandenen Grube statt, welche noch verfüllt werden soll. Durch diese Verfüllung ist mit einer (nicht genau quantifizierbaren) Verminderung der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen im Vergleich zu den prognostizierten Erschütterungsimmissionen zu rechnen.

Um eine Einhaltung der Anhaltswerte für Erschütterungsimmissionen nach DIN 4150-2 für Wohngebiete im vorliegenden Fall zu erreichen, ist voraussichtlich eine Lagerung auf Stahlschraubenfedern notwendig. Zur Auslegung dieses Systems sind jedoch nach Durchführung der Erdarbeiten erneute Erschütterungsmessungen notwendig.

Dieser Bericht besteht aus 22 Seiten und 5 Anlagen.

Peutz Consult GmbH


ppa. Dipl.-Phys. Axel Hübel



BRUNE IMMOBILIEN GRUPPE

arcadia park

Wohnbebauung

Übersicht Ebene +1

M 1:500

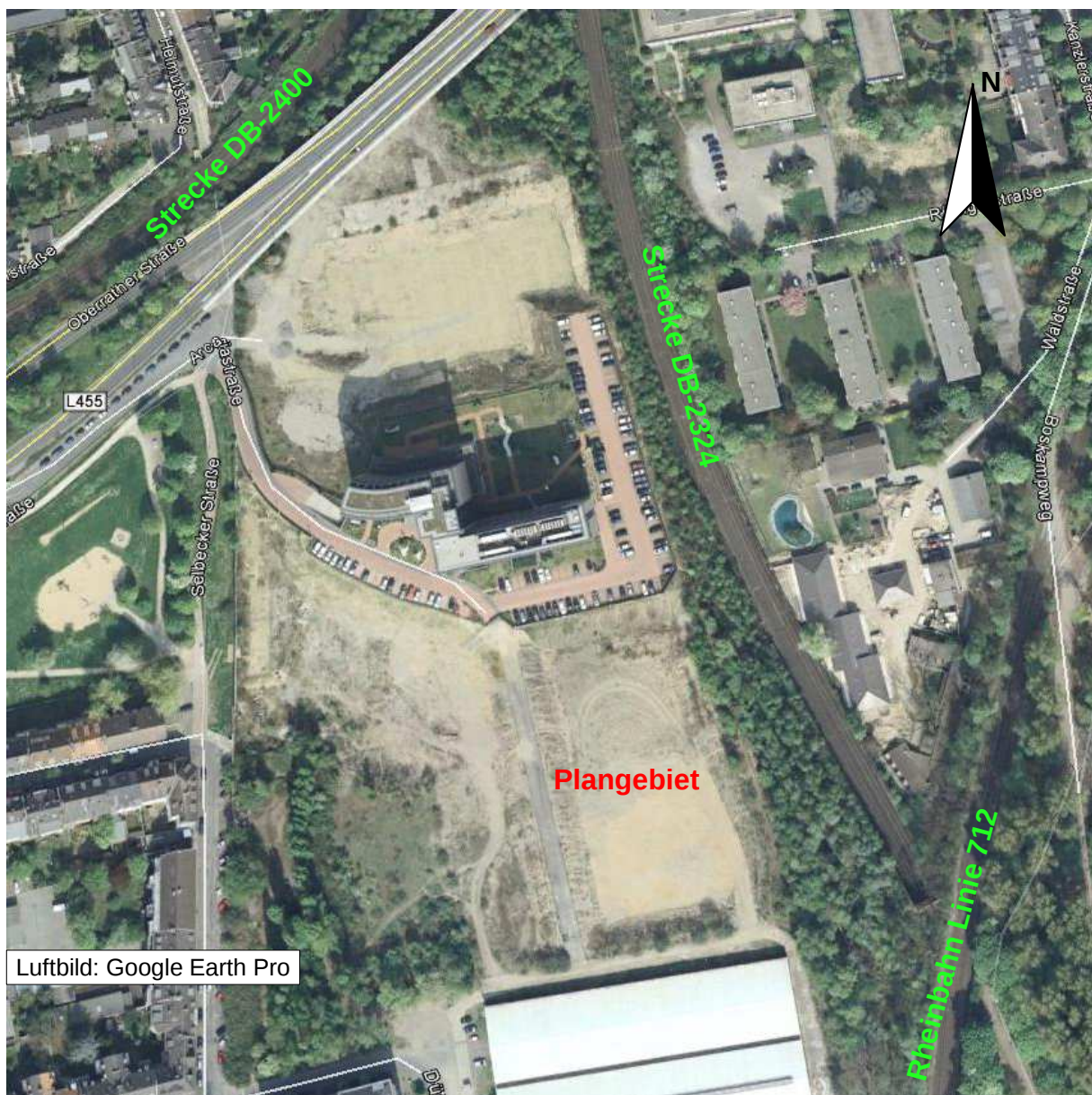
18.03.2014 / Pl. 1066 / Ze 938

0 10 20 50m

Erschütterungsmessung

Am 04.09.2014

Arcadiapark, Düsseldorf



Fotodokumentation



Straße / Nr.	Arcadiastraße
Ort	Düsseldorf
Gebiet (BauNVO)	WA
Gebäudeart	Mehrfamilienhaus
Nutzung	Wohnen
Geschosszahl	
Bauart	Massiv
Keller	Nein
Deckenart	Beton
Sonstiges	

Gleislage

Gleis	Entfernung [m]	Strecke	Richtung	Lage
1		2324	Köln	Ebenerdig, Tunnel
2		2324	Duisburg	Ebenerdig, Tunnel

Übersicht über die Messorte

Messpunkt Nr.	Kanäle Messsystem:	Messort	Ankopplung	Raumabmessung [m x m]	Decken- resonanz [Hz]
1	1-3	Emission (10 m)	Dreipunktlager mit Hartklebewachs auf eingeschlammter Platte		
2	4-6	Mitte Plangebiet, (40 m)	Dreipunktlager mit Hartklebewachs auf eingeschlammter Platte		
3	7	Damm (22 m)	Erdspeiß		
4	8	Plangebiet (40 m)	Erdspeiß		
5	9	Plangebiet (65 m)	Erdspeiß		

Technical drawing of a mechanical part, likely a bracket or support structure, showing dimensions and labels.

Dimensions:

- Vertical dimensions (from top): 10, 11.6, 15, 25.
- Horizontal dimensions (from left): 17, 31.
- Small vertical dimension: 1.60.

Labels and Features:

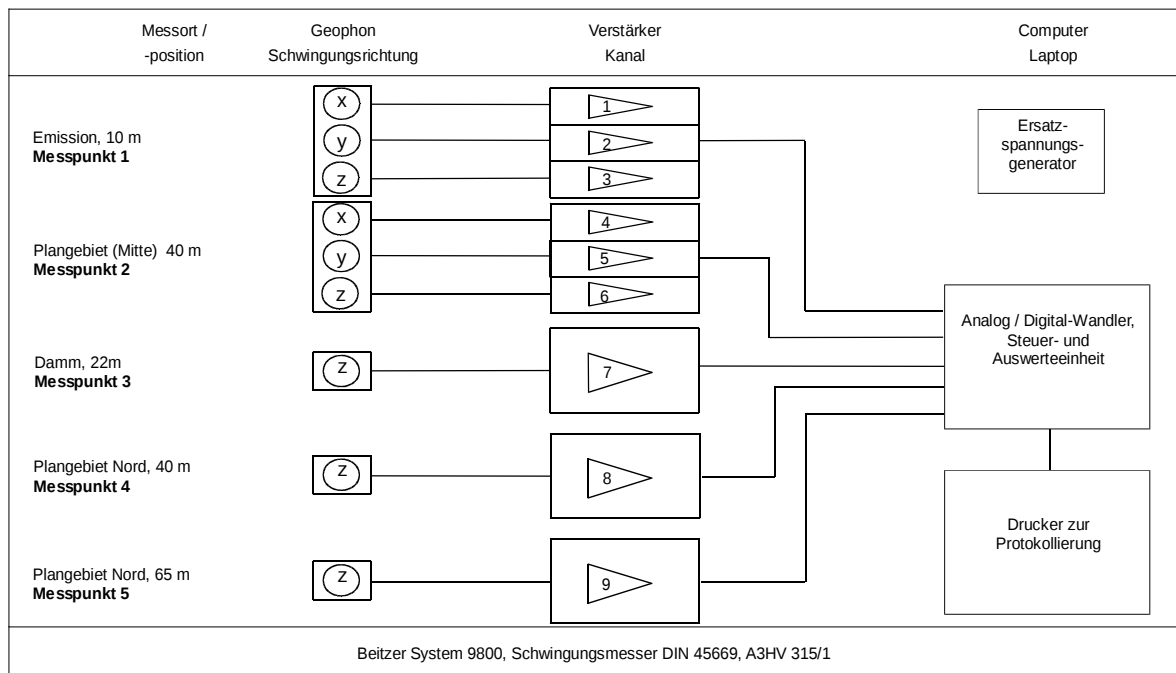
- K1-3:** Label for the top horizontal section.
- Böschung:** Label for the sloped section.
- K4-6:** Label for the bottom horizontal section.
- K7:** Label for the small circular feature (hole) near the top.
- K8:** Label for the small circular feature (hole) near the bottom.
- K9:** Label for the small circular feature (hole) at the bottom.

Coordinate System:

- Origin (0,0) is located at the center of the hole labeled K8.
- X-axis points to the left.
- Y-axis points downwards.
- Z-axis points out of the page (indicated by a circle with a dot).



Messkette



Erschütterungsmessungen in Arcadiapark, Düsseldorf, am 04.09.2014

Liste der Zugvorbeifahrten

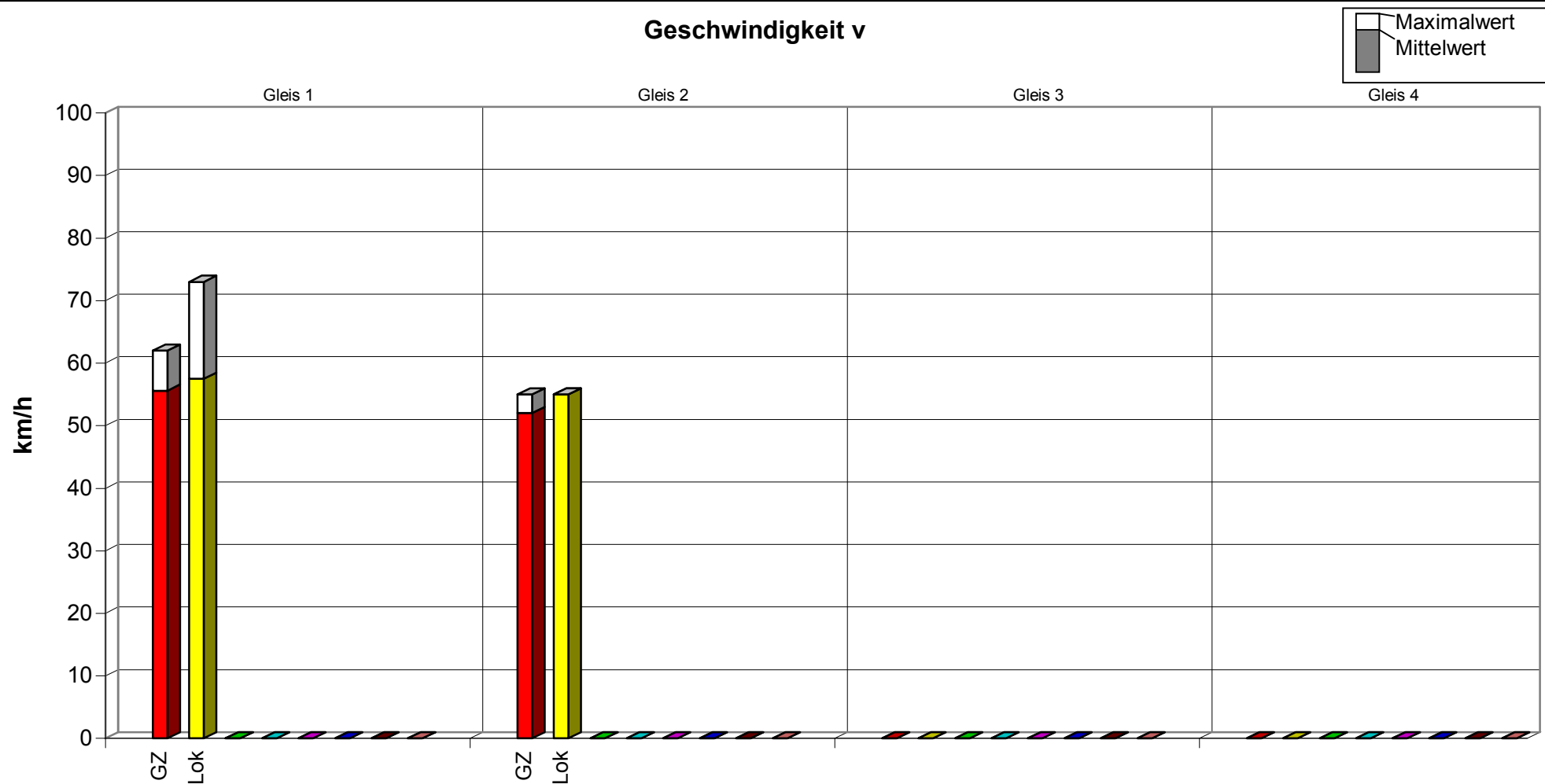
Mess- Nr.	Kategorie	o Gleis Nr.	v_Zug [km/h]	Messwerte				
				v_max Emission 10 m mm/s	v_max Grube Mitte 40 m mm/s	v_max Damm 22 m mm/s	v_max Grube 40 m mm/s	v_max Grube 65 m mm/s
1	GZ	1	45	0,15	0,08	0,10	0,07	0,07
2	GZ	1	60	0,17	0,09	0,08	0,07	0,07
3	GZ	1	62	0,24	0,08	0,06	0,06	0,10
4	LOK	1	42	0,08	0,01	0,03	0,02	
5	GZ	2	55	0,25	0,18	0,20	0,14	0,13
6	GZ	1	55	0,23	0,07	0,08	0,07	0,07
7	GZ	2	46	0,07	0,05	0,05	0,06	0,06
8	GZ	2	55	0,08	0,03	0,05	0,05	0,05
9	GZ	1	56	0,17	0,05	0,05	0,05	0,06
10	LOK	2	55	0,08	0,03	0,05	0,06	0,04
11	LOK	1	73	0,11	0,05	0,05	0,05	0,04
12	GZ	1		0,28	0,08	0,12	0,10	0,09
13	GZ	2		0,23	0,15	0,16	0,11	0,13
14	GZ	1			0,06		0,07	0,08
15	GZ	2					0,09	0,10

Erschütterungsmessungen in Arcadiapark, Düsseldorf, am 04.09.2014

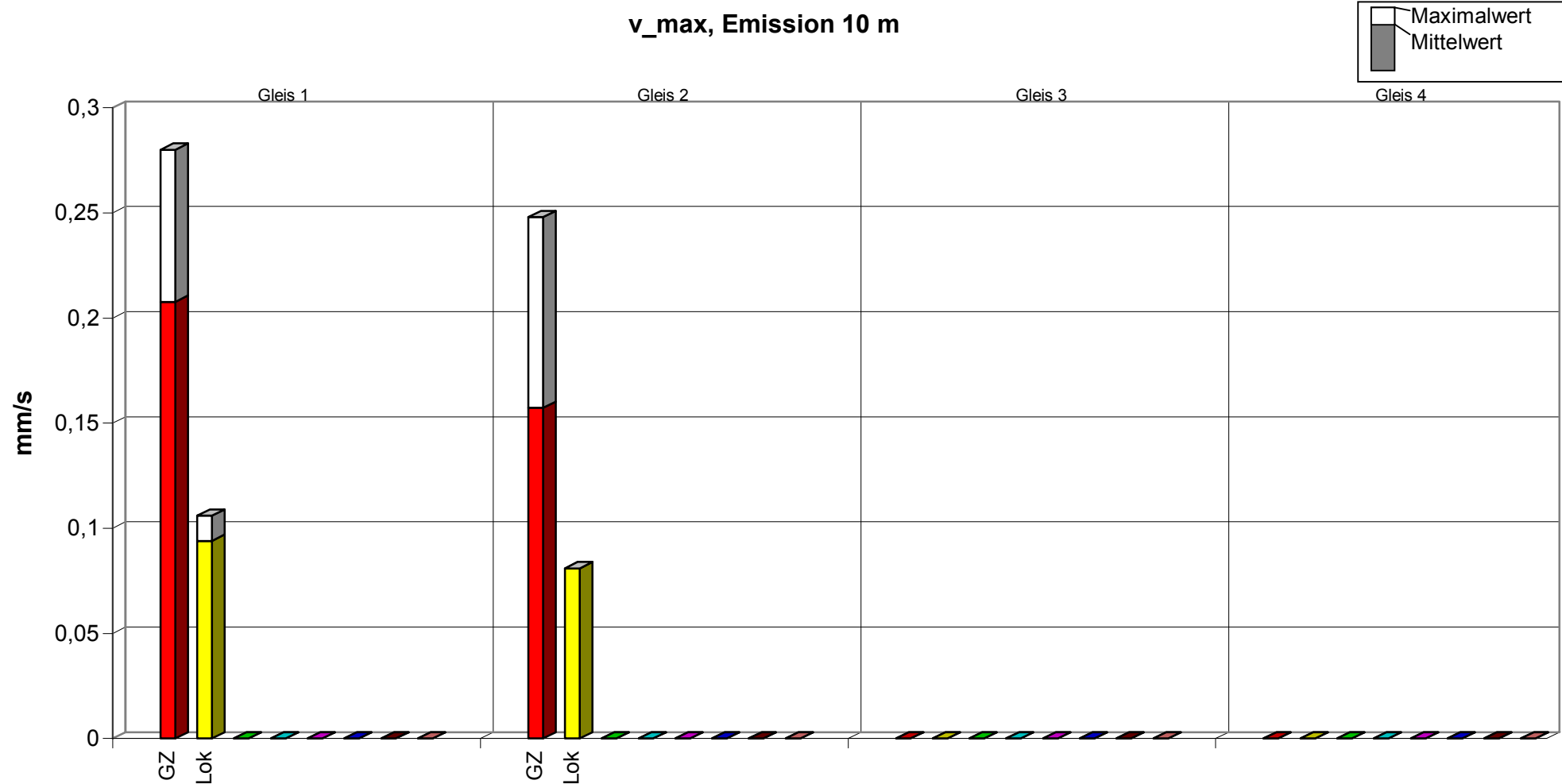
Gleis / Abst. Gebäude	Gleis 1								Gleis 2							
Fahrtrichtung																
Kategorie	GZ	Lok							GZ	Lok						
Anzahl ausgewert. Züge	7	2	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0
Geschw. [km/h]																
Maximalwert	62	73							55	55						
arithmet. Mittelwert	56	58							52	55						
Standardabweichung	12%	38%							10%	0%						
v_max [mm/s]																
Emission 10 m																
Maximalwert	0,28	0,11							0,25	0,08						
arithmet. Mittelwert	0,21	0,09							0,16	0,08						
Standardabweichung	25%	18%							61%	0%						
v_max [mm/s]																
Grube Mitte 40 m																
Maximalwert	0,09	0,05							0,18	0,03						
arithmet. Mittelwert	0,07	0,03							0,10	0,03						
Standardabweichung	18%	92%							71%	0%						
v_max [mm/s]																
Damm 22 m																
Maximalwert	0,12	0,05							0,20	0,05						
arithmet. Mittelwert	0,08	0,04							0,11	0,05						
Standardabweichung	30%	32%							65%	0%						
v_max [mm/s]																
Grube 40 m																
Maximalwert	0,10	0,05							0,14	0,06						
arithmet. Mittelwert	0,07	0,03							0,09	0,06						
Standardabweichung	22%	51%							44%	0%						
v_max [mm/s]																
Grube 65 m																
Maximalwert	0,10	0,04							0,13	0,04						
arithmet. Mittelwert	0,08	0,04							0,09	0,04						
Standardabweichung	18%	0%							42%	0%						

Erschütterungsmessungen in Arcadiapark, Düsseldorf, am 04.09.2014

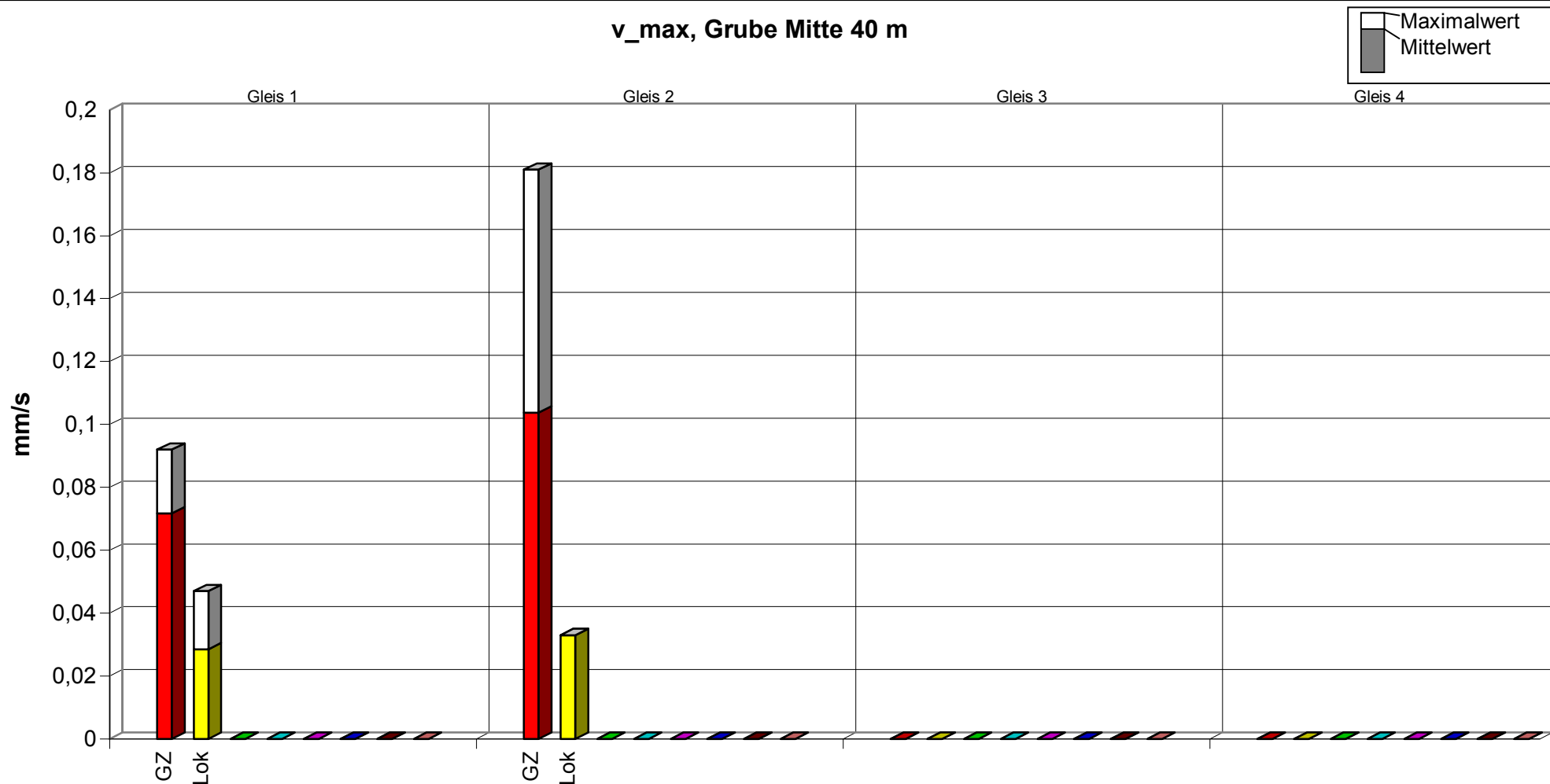
Geschwindigkeit v



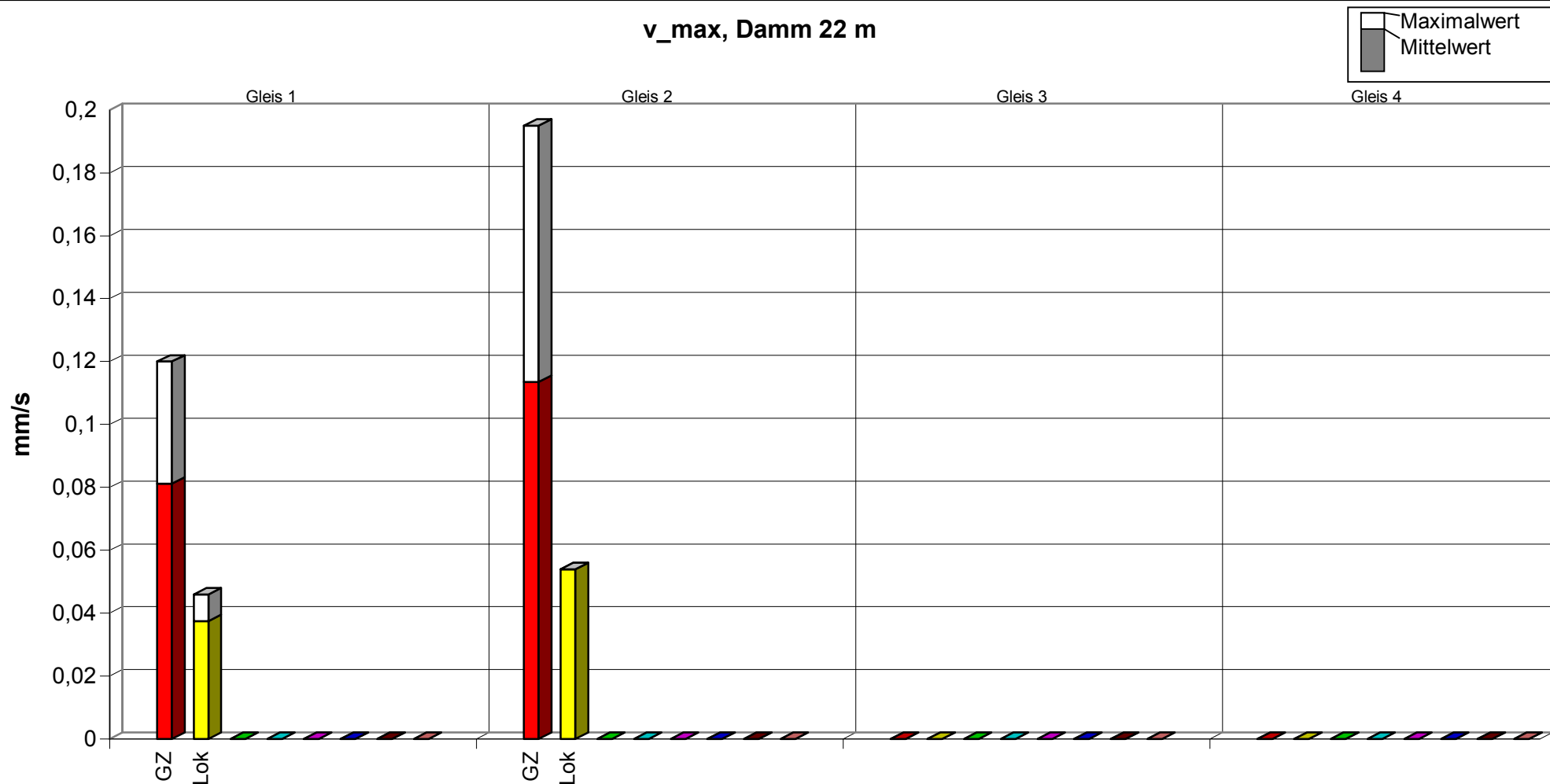
Erschütterungsmessungen in Arcadiapark, Düsseldorf, am 04.09.2014



Erschütterungsmessungen in Arcadiapark, Düsseldorf, am 04.09.2014



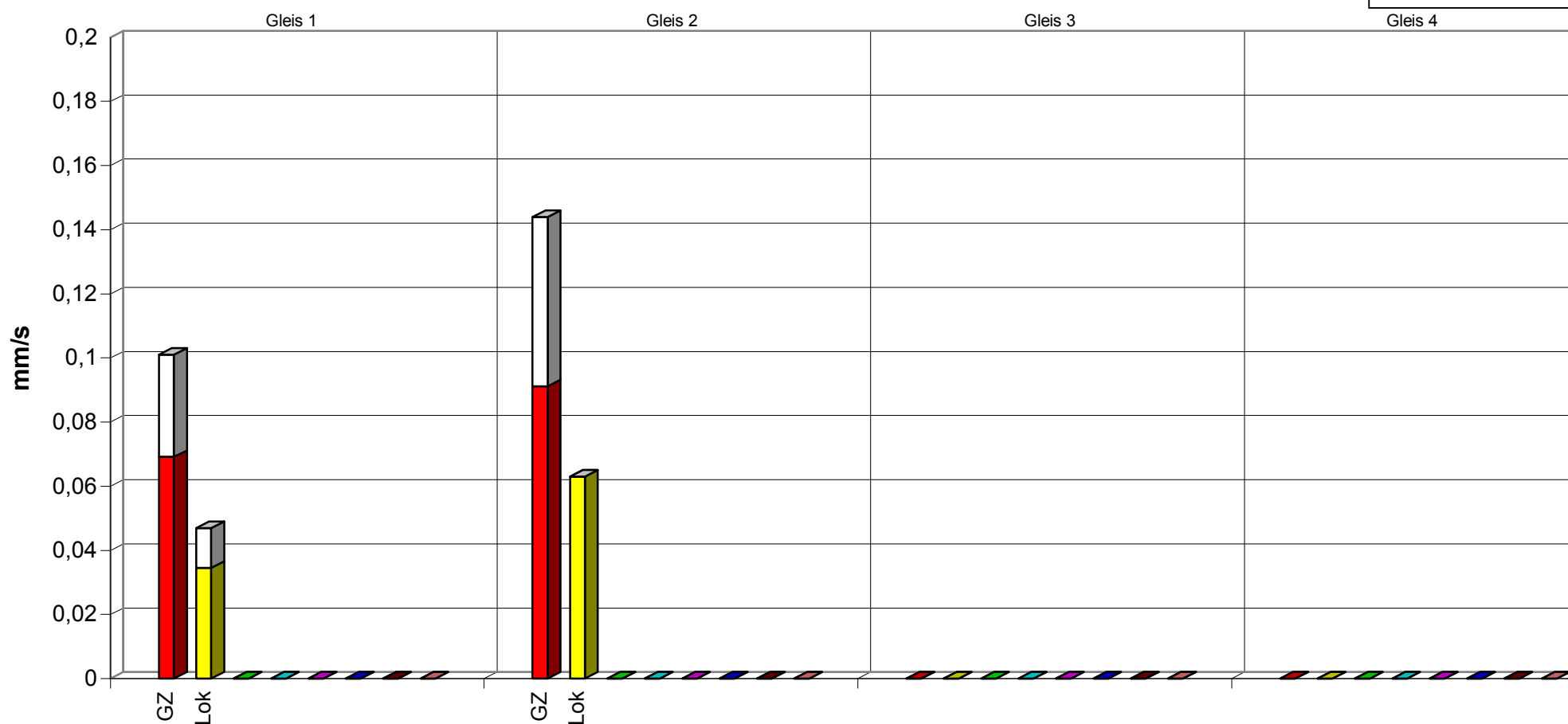
Erschütterungsmessungen in Arcadiapark, Düsseldorf, am 04.09.2014



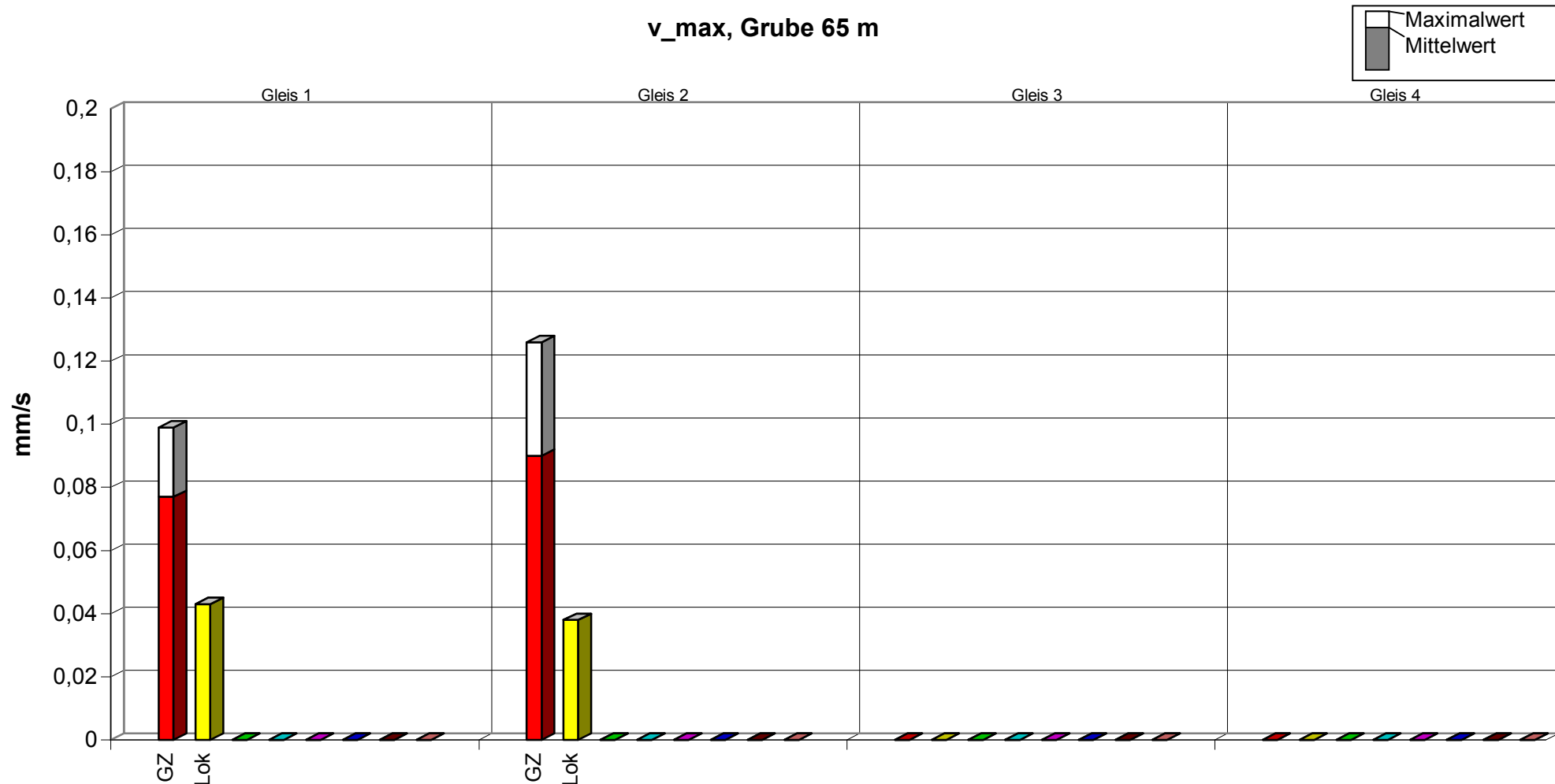
Erschütterungsmessungen in Arcadiapark, Düsseldorf, am 04.09.2014

v_max, Grube 40 m

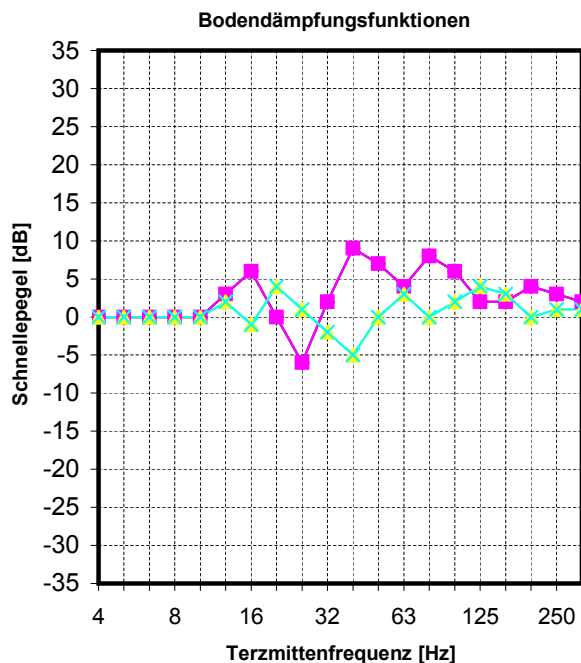
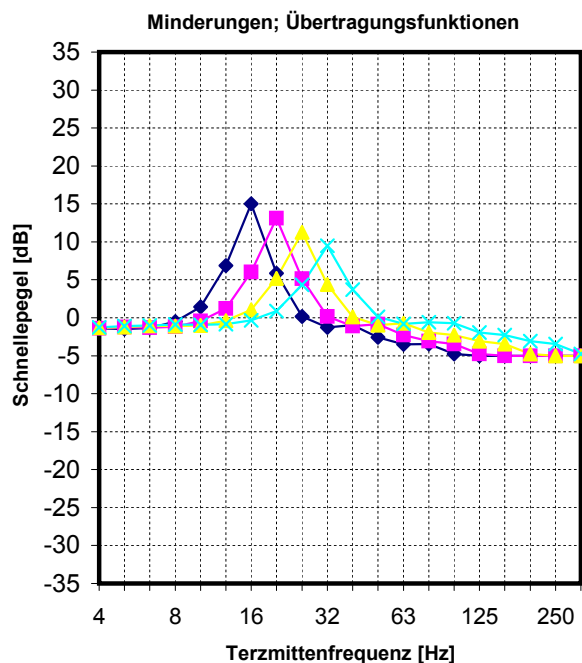
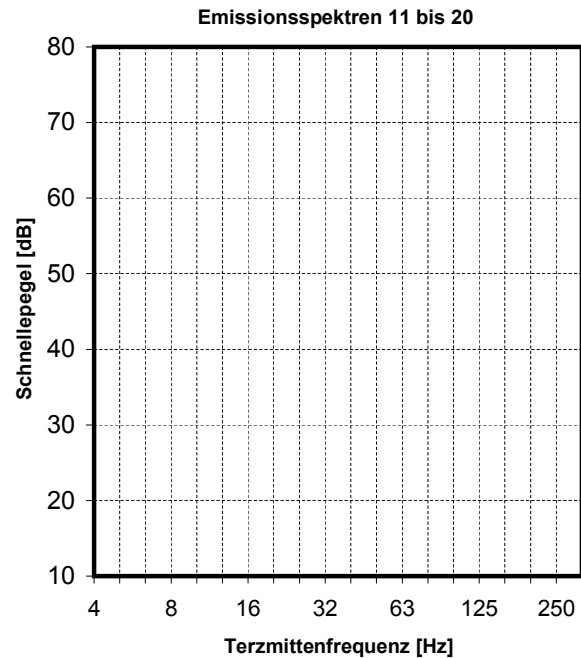
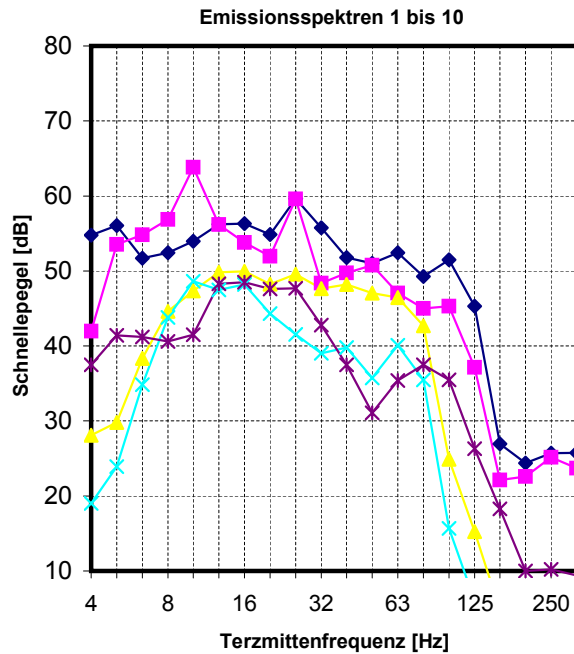
Maximalwert
Mittelwert



Erschütterungsmessungen in Arcadiapark, Düsseldorf, am 04.09.2014



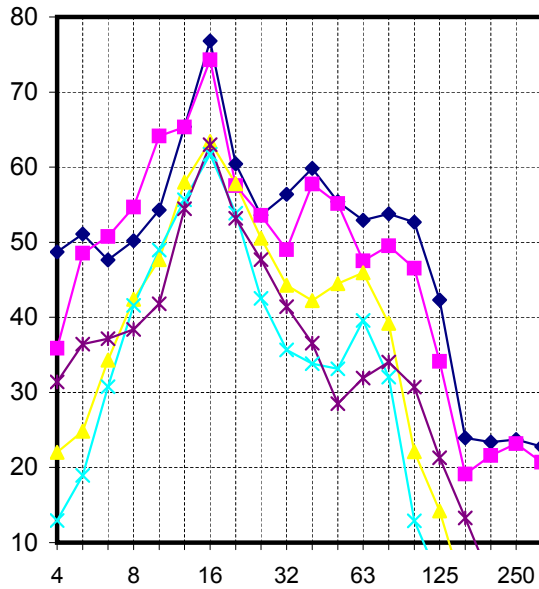
Eingangsdaten zur Prognose Arcadiapark



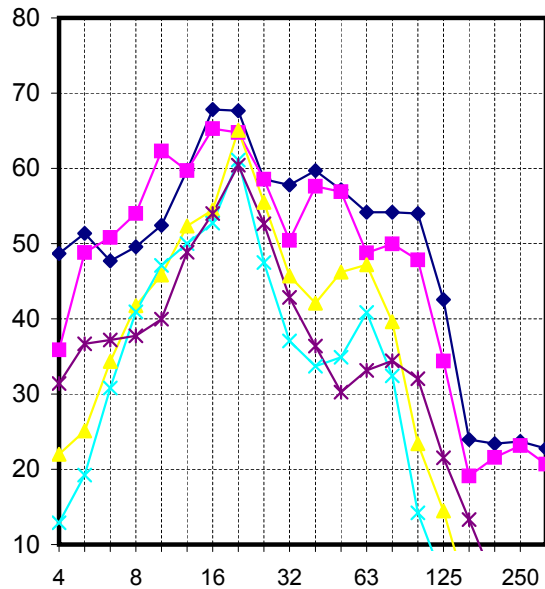
alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s

Eingangsdaten zur Prognose Arcadiapark

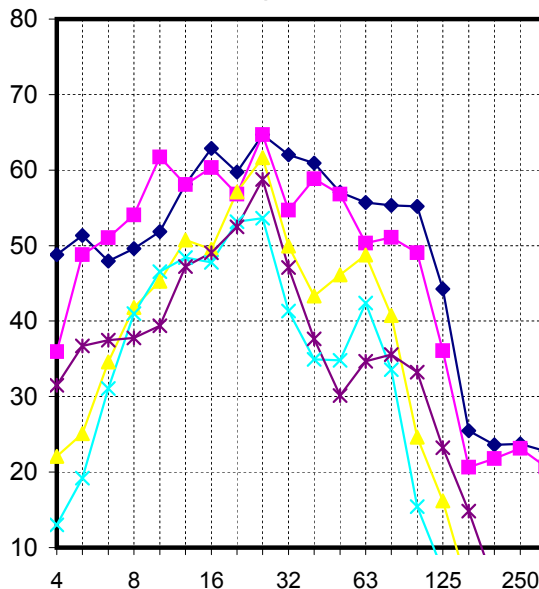
Immissionsspektren Beton 16 Hz



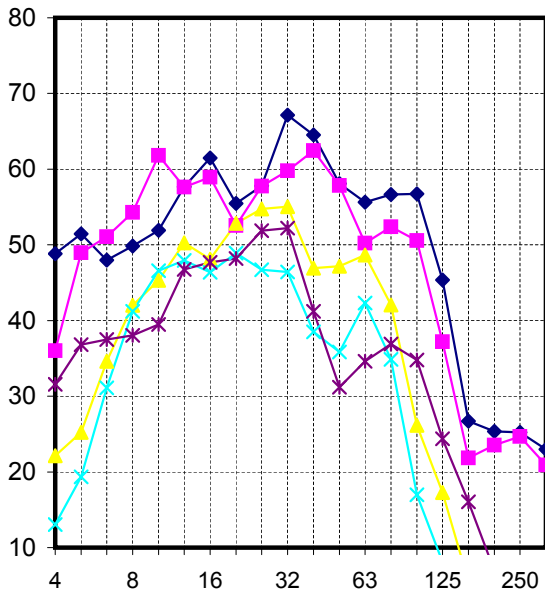
Immissionsspektren Beton 20 Hz



Immissionsspektren Beton 25 Hz



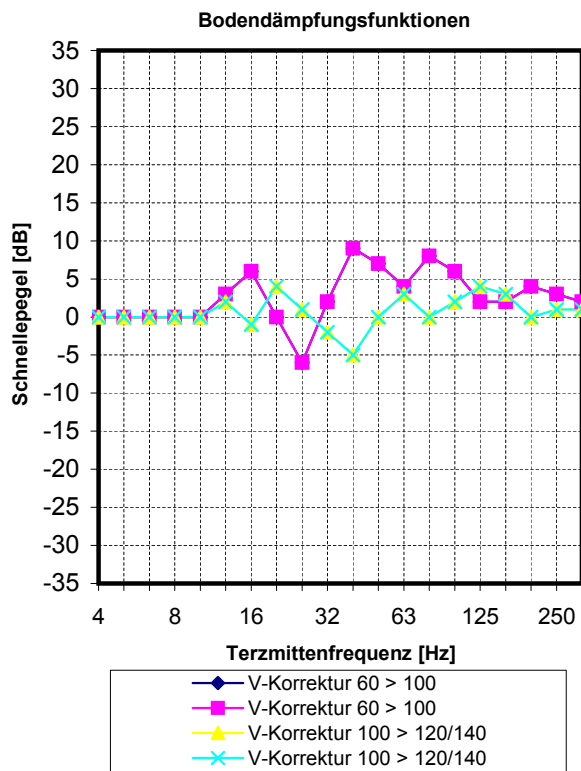
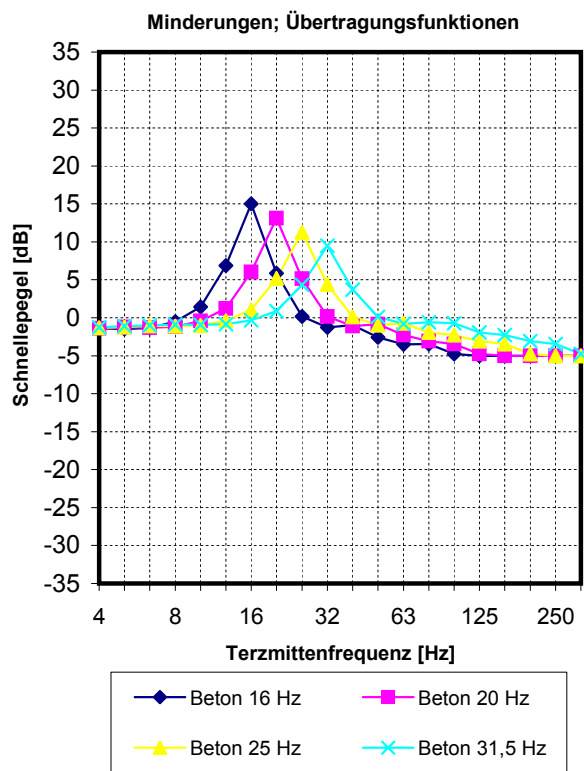
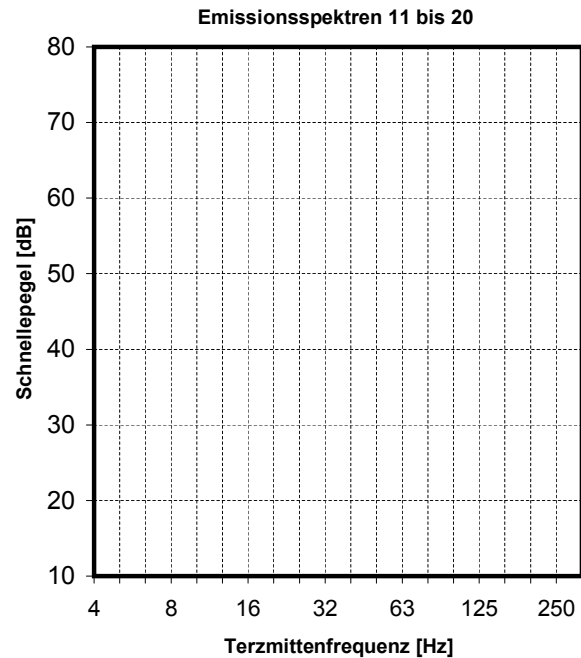
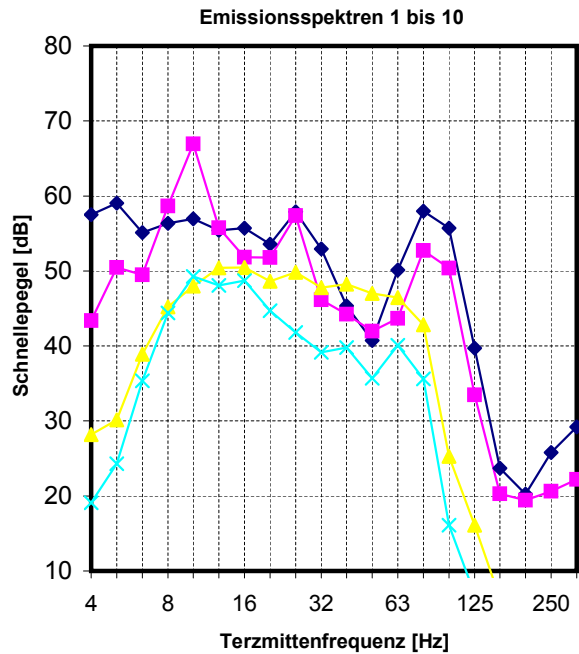
Immissionsspektren Beton 31,5 Hz



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

Berechnung der Immissionen Arcadiapark																												
Frequenz [Hz]	4			8			16			32			63			125			250			Anzahl Ereignisse						
																			Tag	Nacht								
Emissionsspektren																												
GZ GI1	45,3	54,8	56,1	51,7	52,4	54,0	56,2	56,3	54,8	59,6	55,7	51,8	51,0	52,4	49,2	51,5	45,3	27,0	24,4	25,7	25,8	80	35					
GZ GI2	35,4	42,0	53,5	54,8	56,9	63,8	56,2	53,8	51,9	59,6	48,4	49,7	50,7	47,0	45,0	45,3	37,1	22,1	22,6	25,2	23,7	79	34					
S-Bahn GI1	28,4	28,1	29,8	38,3	44,6	47,4	49,8	49,9	48,2	49,6	47,6	48,2	47,1	46,5	42,7	24,9	15,2	4,8	-6,2	-15,4	-26,6	32	4					
S-Bahn GI2	24,9	19,0	23,9	34,8	43,8	48,6	47,5	48,2	44,3	41,6	39,0	39,8	35,7	40,1	35,5	15,7	6,0	-4,8	-8,6	-17,6	-30,6	32	4					
Züge andere Strecke	30,6	37,5	41,4	41,2	40,6	41,5	48,3	48,5	47,6	47,7	42,8	37,5	31,1	35,4	37,5	35,5	26,3	18,3	10,0	10,2	9,4	0	0					
Berücksichtigte Geschwindigkeitskorrektur																												
V-Korrektur 60 > 100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	6,0	0,0	-6,0	2,0	9,0	7,0	4,0	8,0	6,0	2,0	2,0	4,0	3,0	2,0							
V-Korrektur 60 > 100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	6,0	0,0	-6,0	2,0	9,0	7,0	4,0	8,0	6,0	2,0	2,0	4,0	3,0	2,0							
V-Korrektur 100 > 120/140	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	-1,0	4,0	1,0	-2,0	-5,0	0,0	3,0	0,0	2,0	4,0	3,0	0,0	1,0	1,0							
V-Korrektur 100 > 120/140	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	-1,0	4,0	1,0	-2,0	-5,0	0,0	3,0	0,0	2,0	4,0	3,0	0,0	1,0	1,0							
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 20 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	-0,3	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))	
GZ GI1																												
Beton 16 Hz	43,8	53,4	54,6	50,3	51,9	55,4	66,1	77,3	60,7	53,8	56,5	59,8	55,4	52,9	53,8	52,7	42,3	24,0	23,4	23,7	22,8	0,37	39,7					
Beton 20 Hz	43,9	53,4	54,8	50,4	51,3	53,5	60,4	68,3	68,0	58,8	57,9	59,7	57,2	54,2	54,2	54,0	42,5	24,0	23,4	23,7	22,8	0,20	40,1					
Beton 25 Hz	43,8	53,5	54,8	50,6	51,3	53,0	58,8	63,4	60,0	64,9	62,1	60,9	57,1	55,7	55,3	55,2	44,3	25,5	23,6	23,7	22,8	0,17	40,7					
Beton 31,5 Hz	44,1	53,5	55,0	50,7	51,6	53,0	58,4	62,0	55,7	58,0	67,2	64,5	58,1	55,6	56,6	56,8	45,4	26,7	25,3	25,2	23,0	0,18	41,4					
GZ GI2																												
Beton 16 Hz	33,9	40,6	52,0	53,5	56,4	65,3	66,0	74,8	57,8	53,8	49,1	57,8	55,2	47,5	49,5	46,5	34,1	19,1	21,6	23,2	20,7	0,30	37,6					
Beton 20 Hz	34,0	40,6	52,3	53,5	55,7	63,4	60,4	65,8	65,1	58,7	50,5	57,6	56,9	48,8	49,9	47,8	34,4	19,1	21,6	23,2	20,7	0,17	38,0					
Beton 25 Hz	33,9	40,7	52,3	53,8	55,8	62,8	58,8	60,8	57,1	64,9	54,8	58,9	56,8	50,3	51,1	49,0	36,1	20,7	21,8	23,2	20,7	0,15	38,5					
Beton 31,5 Hz	34,2	40,7	52,4	53,8	56,0	62,9	58,3	59,5	52,8	58,0	59,9	62,4	57,9	50,2	52,4	50,6	37,2	21,9	23,5	24,7	20,9	0,14	39,2					
S-Bahn GI1																												
Beton 16 Hz	26,9	26,7	28,3	37,0	44,1	48,8	58,7	63,9	58,1	50,7	44,4	42,2	44,5	46,0	39,2	22,1	14,2	2,8	-11,2	-19,4	-30,6	0,10	26,8					
Beton 20 Hz	27,0	26,7	28,6	37,0	43,4	46,9	53,0	55,0	65,4	55,7	45,8	42,1	46,2	47,2	39,6	23,4	14,5	2,8	-11,2	-19,4	-30,6	0,10	27,8					
Beton 25 Hz	26,9	26,8	28,6	37,3	43,5	46,4	51,4	50,0	57,4	61,8	50,0	43,3	46,1	48,7	40,7	24,6	16,2	4,3	-11,0	-19,4	-30,6	0,08	28,5					
Beton 31,5 Hz	27,2	26,8	28,7	37,3	43,7	46,4	51,0	48,6	53,1	54,9	55,1	46,9	47,2	48,7	42,1	26,2	17,3	5,5	-9,3	-17,9	-30,4	0,06	28,7					
S-Bahn GI2																												
Beton 16 Hz	23,4	17,6	22,4	33,5	43,3	50,1	56,4	62,2	54,2	42,7	35,8	33,8	33,2	39,6	32,0	12,9	5,0	-6,8	-13,6	-21,6	-34,6	0,07	22,6					
Beton 20 Hz	23,5	17,6	22,7	33,5	42,6	48,2	50,7	53,2	61,4	47,7	37,2	33,7	34,9	40,8	32,4	14,2	5,2	-6,8	-13,6	-21,6	-34,6	0,07	23,6					
Beton 25 Hz	23,4	17,7	22,7	33,8	42,7	47,6	49,1	48,3	53,5	53,8	41,4	34,9	34,8	42,4	33,6	15,4	7,0	-5,3	-13,3	-21,6	-34,6	0,04	24,1					
Beton 31,5 Hz	23,7	17,8	22,8	33,8	42,9	47,7	48,6	46,9	49,2	46,9	46,5	38,5	35,8	42,3	34,9	17,0	8,1	-4,0	-11,6	-20,0	-34,4	0,03	24,2					
Züge andere Strecke																												
Beton 16 Hz	29,1	36,1	39,9	39,9	40,1	42,9	55,2	63,5	53,5	47,9	41,5	36,5	28,5	31,9	34,0	30,7	21,3	13,3	5,0	5,2	4,4	0,08	30,4					
Beton 20 Hz	29,2	36,1	40,2	39,9	39,4	41,1	49,5	54,5	60,7	52,8	43,0	36,4	30,3	33,1	34,4	32,0	21,5	13,3	5,0	5,2	4,4	0,06	31,0					
Beton 25 Hz	29,1	36,2	40,2	40,2	39,5	40,5	47,9	49,6	52,8	59,0	47,2	37,6	30,2	34,7	35,6	33,2	23,2	14,8	5,2	5,2	4,4	0,05	31,7					
Beton 31,5 Hz	29,4	36,3	40,3	40,2	39,7	40,6	47,5	48,2	48,5	52,1	52,3	41,2	31,2	34,6	36,9	34,8	24,4	16,0	6,9	6,7	4,6	0,04	32,0					
(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 0,138 0,128 0,078 0,072 0,065 0,060 0,066 0,061 Zur Berechnung von KBFTm bzw. KBFTn werden die Spektren laut DIN 4150 bis maximal 80 Hz herangezogen.																												
Bei dem berechneten Beurteilungspegel Lr für den Sekundärluftschall handelt es sich um den physikalischen Pegel OHNE 5 dB Schienenbonus.																												

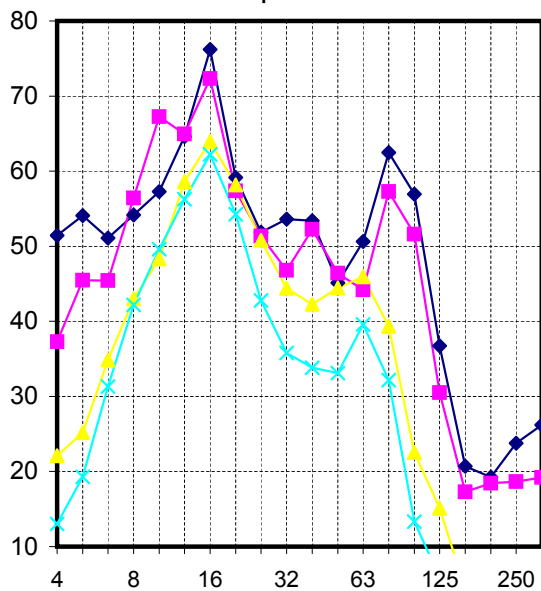
Eingangsdaten zur Prognose (Damm 22 m) Arcadiapark



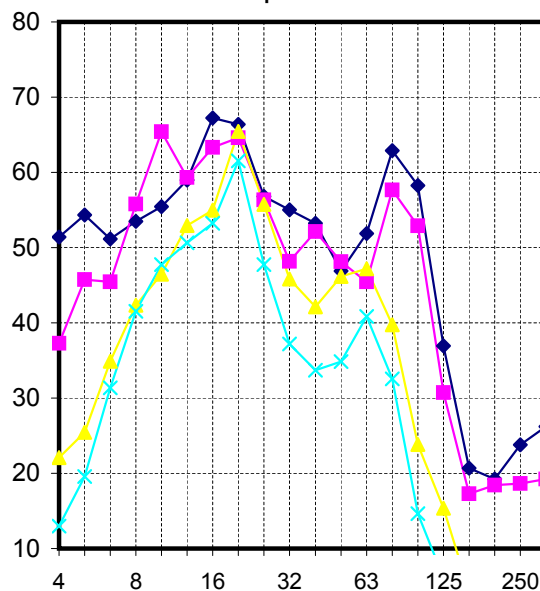
alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s

Eingangsdaten zur Prognose (Damm 22 m) Arcadiapark

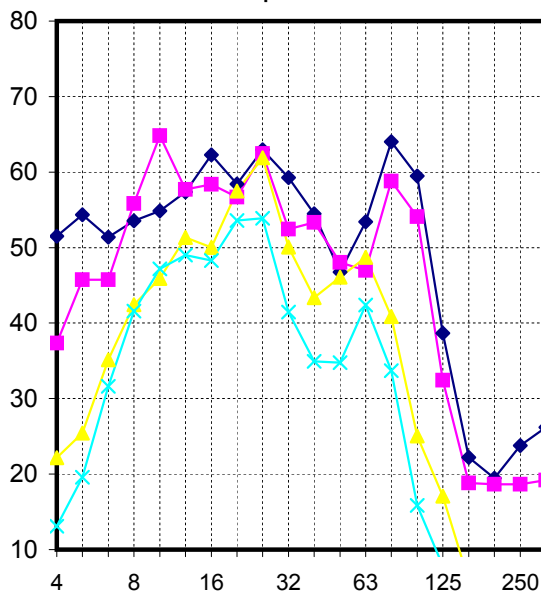
Immissionsspektren Beton 16 Hz



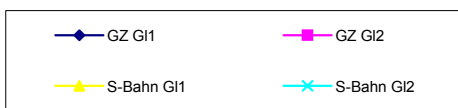
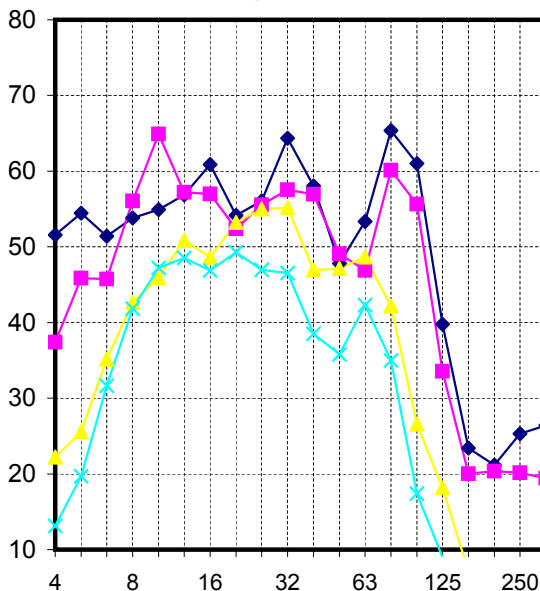
Immissionsspektren Beton 20 Hz



Immissionsspektren Beton 25 Hz



Immissionsspektren Beton 31,5 Hz



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

Berechnung der Immissionen (Damm, 22m) Arcadiapark																											
Frequenz [Hz]		4		8		16		32		63		125		250		Anzahl Ereignisse		Tag		Nacht							
Emissionsspektren																											
GZ G11		46,6	57,5	59,1	55,1	56,4	57,0	55,4	55,7	53,6	57,9	53,0	45,3	40,7	50,1	58,0	55,7	39,7	23,7	20,2	25,8	29,2	80	35			
GZ G12		35,4	43,4	50,5	49,5	58,6	66,9	55,8	51,8	51,8	57,4	46,1	44,2	42,0	43,7	52,7	50,4	33,5	20,3	19,4	20,6	22,2	79	34			
S-Bahn G11		28,1	28,2	30,2	38,9	45,2	48,0	50,4	50,5	48,6	49,8	47,8	48,2	47,0	46,4	42,8	25,3	16,1	6,4	-3,6	-11,5	-21,0	32	4			
S-Bahn G12		24,6	19,1	24,3	35,4	44,4	49,3	48,1	48,7	44,7	41,8	39,1	39,8	35,7	40,1	35,6	16,1	6,9	-3,2	-6,0	-13,7	-25,0	32	4			
Berücksichtigte Geschwindigkeitskorrektur																											
V-Korrektur 60 > 100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	6,0	0,0	-6,0	2,0	9,0	7,0	4,0	8,0	6,0	2,0	2,0	4,0	3,0	2,0					
V-Korrektur 60 > 100		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	6,0	0,0	-6,0	2,0	9,0	7,0	4,0	8,0	6,0	2,0	2,0	4,0	3,0	2,0					
V-Korrektur 100 > 120/140		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	-1,0	4,0	1,0	-2,0	-5,0	0,0	3,0	0,0	2,0	4,0	3,0	0,0	1,0	1,0					
V-Korrektur 100 > 120/140		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	-1,0	4,0	1,0	-2,0	-5,0	0,0	3,0	0,0	2,0	4,0	3,0	0,0	1,0	1,0					
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 20 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 _{FTrm}		L _{max} (dB(A))			
GZ G11																											
Beton 16 Hz		45,1	56,1	57,6	53,8	55,9	58,4	65,3	76,7	59,4	52,1	53,7	53,4	45,1	50,6	62,5	56,9	36,7	20,7	19,2	23,8	26,2	0,35	42,0			
Beton 20 Hz		45,1	56,1	57,9	53,8	55,2	56,5	59,7	67,7	66,7	57,0	55,1	53,2	46,9	51,9	62,9	58,3	36,9	20,7	19,2	23,8	26,2	0,19	42,3			
Beton 25 Hz		45,1	56,2	57,9	54,1	55,3	56,0	58,1	62,8	58,7	63,2	59,4	54,5	46,8	53,4	64,0	59,5	38,7	22,2	19,5	23,8	26,2	0,16	42,8			
Beton 31,5 Hz		45,3	56,3	58,0	54,1	55,5	56,0	57,6	61,4	54,5	56,3	64,5	58,1	47,8	53,3	65,3	61,0	39,8	23,4	21,2	25,3	26,4	0,16	43,5			
GZ G12																											
Beton 16 Hz		33,9	42,0	49,0	48,1	58,1	68,4	65,6	72,8	57,7	51,6	46,9	52,3	46,4	44,2	57,3	51,6	30,5	17,3	18,4	18,6	19,2	0,26	39,5			
Beton 20 Hz		34,0	42,0	49,2	48,2	57,5	66,5	60,0	63,8	64,9	56,5	48,3	52,1	48,1	45,4	57,7	52,9	30,7	17,3	18,4	18,6	19,2	0,17	39,9			
Beton 25 Hz		33,9	42,1	49,2	48,4	57,5	65,9	58,4	58,9	57,0	62,7	52,5	53,3	48,0	47,0	58,8	54,1	32,4	18,8	18,7	18,6	19,2	0,14	40,4			
Beton 31,5 Hz		34,2	42,1	49,4	48,4	57,8	66,0	57,9	57,5	52,7	55,8	57,6	56,9	49,1	46,9	60,1	55,6	33,5	20,0	20,4	20,2	19,4	0,14	41,1			
S-Bahn G11																											
Beton 16 Hz		26,6	26,8	28,7	37,5	44,7	49,4	59,3	64,5	58,5	51,0	44,5	42,3	44,4	45,9	39,3	22,5	15,1	4,4	-8,6	-15,5	-25,0	0,10	26,9			
Beton 20 Hz		26,7	26,8	29,0	37,6	44,1	47,6	53,7	55,5	65,7	56,0	45,9	42,1	46,2	47,2	39,7	23,8	15,3	4,4	-8,6	-15,5	-25,0	0,11	27,8			
Beton 25 Hz		26,6	26,9	29,0	37,8	44,1	47,0	52,0	50,5	57,8	62,1	50,2	43,4	46,1	48,7	40,9	25,0	17,1	5,9	-8,4	-15,5	-25,0	0,08	28,6			
Beton 31,5 Hz		26,9	26,9	29,1	37,9	44,4	47,1	51,6	49,1	53,5	55,2	55,3	46,9	47,1	48,6	42,2	26,6	18,2	7,1	-6,7	-14,0	-24,8	0,06	28,7			
S-Bahn G12																											
Beton 16 Hz		23,1	17,7	22,8	34,0	43,9	50,7	57,0	62,7	54,6	43,0	35,9	33,8	33,1	39,6	32,2	13,3	5,9	-5,2	-11,0	-17,7	-29,0	0,08	22,7			
Beton 20 Hz		23,2	17,7	23,1	34,1	43,2	48,8	51,3	53,7	61,8	47,9	37,3	33,7	34,9	40,8	32,6	14,6	6,1	-5,2	-11,0	-17,7	-29,0	0,07	23,7			
Beton 25 Hz		23,1	17,8	23,1	34,3	43,3	48,3	49,7	48,8	53,9	54,1	41,5	34,9	34,8	42,4	33,7	15,9	7,8	-3,7	-10,8	-17,7	-29,0	0,04	24,1			
Beton 31,5 Hz		23,4	17,8	23,2	34,3	43,5	48,3	49,2	47,4	49,6	47,2	46,6	38,5	35,8	42,3	35,0	17,4	9,0	-2,5	-9,0	-16,1	-28,7	0,03	24,2			
(Max-Hold, Fast) alle Spektren [dB], re 5*10-5 mm/s		KB _{FTr} :		Beton 16 Hz		Beton 20 Hz		Beton 25 Hz		Beton 31,5 Hz		Lr (dB(A)):		Beton 16 Hz		Beton 20 Hz		Beton 25 Hz		Beton 31,5 Hz							
				Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht			Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht								
				0,127	0,118	0,075	0,069	0,062	0,057	0,062	0,057			33,1	32,5	33,5	32,9	34,0	33,4	34,7	34,0						
Zur Berechnung von KB _{FTrm} bzw. KB _{FTr} werden die Spektren laut DIN 4150 bis maximal 80 Hz herangezogen.																											
Bei dem berechneten Beurteilungspegel Lr für den Sekundärluftschall handelt es sich um den physikalischen Pegel OHNE 5 dB Schienenbonus.																											