

Auftraggeber: **Lindtschulte**
Ingenieurgesellschaft mbH
Graf-Adolf-Platz 6
40213 Düsseldorf

Objekt: **Citybahn Essen – Abschnitt Essen 51**
Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz Boulevard

Titel: **Schwingungs- und Schalltechnische Untersuchung**
Teil 2: Prognose und Beurteilung der Körperschall- und
Erschütterungsimmissionen

Auftrag-Nr.: 2019 007 045/2

Erstfassung: 21.11.2022

Umfang: 31 Dokumentseiten inkl. Verzeichnisse und Deckblatt
23 Anlagen

Bearbeitet:
Essen, den 21.11.2022

Geprüft und freigegeben:
Essen, den 22.11.2022


FCP IBU GmbH
Ladenspelderstraße 61
45147 Essen
0201-87445-0

Dipl.-Ing Udo Lenz

22.11.2022

FCP IBU GmbH
Ladenspelderstraße 61
45147 Essen
0201-87445-0

Dr.-Ing. Alexander Martha

Referenz / Auftrag-Nr.:
2019 007 045/2
Dateiname:
2019 007 045-G2.docx



ÄNDERUNGSINDEX

Index	Datum	Bearbeitet	Freigegeben	Bemerkungen

ZUSAMMENFASSUNG

Die Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH, Düsseldorf plant im Auftrage der Ruhrbahn GmbH den Streckenabschnitt „Essen 51“ der geplanten Citybahn in Essen. Der Planungsbereich schließt an die bestehende Gleisanlage „Berthold-Beitz-Boulevard“ im Bereich der Haltestelle Bocholder Straße an und endet im Bereich der bestehenden Gleisanlage am Knotenpunkt Altendorfer Straße. Die Gesamtstrecke beläuft sich auf 2,3 km mit drei neuen Haltestellen.

Im Rahmen des anstehenden Genehmigungsverfahrens zum Bau und Betrieb der geplanten Strecke ist die Vorlage einer Schall- und Schwingungstechnischen Untersuchung erforderlich. Die FCP IBU GmbH, Essen wurde mit der Erstellung dieser Untersuchungen beauftragt.

Im vorliegenden Bericht werden die Durchführung und die Ergebnisse der Schwingungstechnischen Untersuchung wiedergegeben. Es zeigt sich, dass Schutzmaßnahmen in Form der Anordnung einer elastischen Lagerung erforderlich sind.

VERWEISE

1. **DIN 4150-2.** Erschütterungen im Bauwesen; Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Juni 1999.
2. **DIN 45633.** Präzisionsschallpegelmesser - Allgemeine Anforderungen. März 1970.
3. **16. BImSchV.** 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - Verkehrslärmschutzverordnung. Juni 1990.
4. **DIN 4150-3.** Erschütterungen im Bauwesen; Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen. Dezember 2016.
5. **BauNVO.** Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung - BauNVO). 14. Juni 2021.
6. **DIN 18005-1.** Schallschutz im Städtebau. Juli 2002.
7. **BVerwG.** *Beurteilung von Körperschallimmissionen.* 7 A 14.09, s.I. : Bundesverwaltungsgericht, 21. Dezember 2010.
8. **24. BImSchV.** 24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung). Februar 1997.
9. **VDI 2719.** Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen. August 1987.
10. **VDI 3837.** Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen; Spektrales Prognoseverfahren. Januar 2013.
11. **DIN 4150-1.** Erschütterungen im Bauwesen; Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen.
12. **Said, A., Grütz, H.-P. und Garburg, R.** Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung.* 2006, Bd. 53, 1, S. 12-18.
13. **DIN 45673.** Mechanische Schwingungen - Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen. 2010.

INHALTSVERZEICHNIS

Änderungsindex.....	ii
Zusammenfassung	iii
Verweise.....	iv
1 Aufgabenstellung	1
2 Grundlagen.....	2
2.1 Planungsunterlagen.....	2
2.2 Lage und Gebietsausweisung.....	2
2.3 Gleisoberbau	4
2.4 Zulässige Höchstgeschwindigkeit	4
2.5 Fahrplansituation	4
2.6 Geplante Änderung.....	5
2.7 Gebäudestruktur	5
3 Immissionskennwerte	6
3.1 Erschütterungen	6
3.2 Körperschall.....	6
4 Beurteilungskriterien	7
4.1 Vorbemerkung.....	7
4.2 Erschütterungen	7
4.3 Körperschall.....	10
5 Immissionsprognose.....	13
5.1 Vorbemerkung.....	13
5.2 Emissionsspektren.....	14
5.3 Entfernungseinfluss	15
5.4 Gebäudeübertragung.....	15
5.5 Erschütterungsimmissionen.....	17
5.6 Körperschallimmissionen	17
6 Prognoseergebnisse.....	19
7 Immissionsbeurteilung	21

7.1	Erschütterungen	21
7.2	Körperschall.....	22
8	Massnahmen	23
9	Anlagen	25

1 AUFGABENSTELLUNG

Die Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH, Düsseldorf plant im Auftrage der Ruhrbahn GmbH den Streckenabschnitt „Essen 51“ der geplanten Citybahn in Essen. Der Planungsbereich schließt an die bestehende Gleisanlage „Berthold-Beitz-Boulevard“ im Bereich der Haltestelle Bocholder Straße an und endet im Bereich der bestehenden Gleisanlage am Knotenpunkt Altendorfer Straße. Die Gesamtstrecke beläuft sich auf 2,3 km mit drei neuen Haltestellen.

Im Zusammenhang mit dem anstehenden Genehmigungsverfahren wurde die FCP IBU GmbH damit beauftragt, eine Schall- und Schwingungstechnische Untersuchung für den geplanten Betrieb der Strecke und die zugehörigen Bautätigkeiten durchzuführen.

Dem vorliegenden Bericht sind die Ergebnisse der Schwingungstechnischen Beurteilung für den Betrieb der Gleisanlage zu entnehmen. Erforderliche Maßnahmen zur Reduzierung der Schwingungsemissionen der neuen Trasse werden beschrieben.

2 GRUNDLAGEN

2.1 PLANUNGSUNTERLAGEN

Die folgenden Unterlagen wurden für die schwingungstechnische Untersuchung herangezogen:

- [U1] Erläuterungsbericht zur Entwurfsplanung für die Objektplanung
Verkehrsanlagen zur Citybahn - Abschnitt Essen 51 - der Stadt Essen und der
Ruhrbahn GmbH

- [U2] Angaben zu der Gebietsausweisung der Stadt Essen
Bebauungspläne entsprechend Anlage-Nr. 1.1
ESSEN_51_Zollstraße_Pferdebahnstrasse_BPlan_Blatt_1
ESSEN_51_Zollstraße_Pferdebahnstrasse_BPlan_Blatt_2

- [U3] Regelquerschnitte Gleisoberbau der Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH
Q 01 und Q 02 als pdf-File
Arbeitsstand April 2022

- [U4] Lagepläne der Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH
Blatt 1 bis Blatt 9 als pdf-File
Arbeitsstand Juni 2022

- [U5] Tabellarische Daten zu den Straßenbahnen
Exceltabelle Fahrtenanzahl Essen Hbf Prognose 2030
Exceltabelle Fahrtenanzahl Bergmühle Prognose 2030

2.2 LAGE UND GEBIETSAUSWEISUNG

Die Planung der Gleisanlagen des Projektes betrifft die Haus-Berge-Straße mit den vorhandenen Gleisanlagen der Linien 101 und 106 im Bereich zwischen den vorhandenen Haltestellen Bocholder Straße und Bergmühle. Die auf der westlichen Seite der Haus-Berge-Straße liegenden Gebäude Nr. 111 bis 171 liegen laut Bebauungsplan Nr. 265 – Asbeckstraße – der Stadt Essen in einem Wohngebiet. Für die östliche Bebauung existiert kein Bebauungsplan. Auf Grund der Inaugenscheinnahme wird die Gebietsausweisung Wohngebiet hier auch angewendet.

Im Bereich des Abzweiges von der Haus-Berge-Straße in die Zollstraße existiert der Bebauungsplan Nr. 5/18 – Essen 51: Zollstraße /Pferdebahnstraße – Die Bebauung in diesem Bereich befindet sich demnach in einem Wohngebiet. Dieser Bebauungsplan gilt noch im weiteren Verlauf der Streckenführung durch das neue Stadtquartier „Essen 51“ bis zum Abzweig in den Berthold-Beitz-Boulevard.

Im ersten Streckenabschnitt im Berthold-Beitz-Boulevard gilt der Bebauungsplan Nr. 7/14 – Krupp Gürtel Nord. Demnach befindet sich die Bebauung in einem Wohngebiet. Daran schließt der Bebauungsplan Nr. 4/04 – Krupp Gürtel an. Dort befindet sich die Bebauung in einem Wohngebiet.

Der Bereich des Neubaugebietes ist auf Grundlage des Bebauungsplanes [U4] in allgemeines Wohngebiet; urbanes Gebiet und Gewerbegebiet unterteilt. Die Schule am Anfang der Zollstraße ist entsprechend der 16.BImSchV nach den Immissionsgrenzwert für Schulen zu beurteilen.

Der Anlage-Nr. 1.1 ist eine Übersicht der Bebauungsplanzuordnung zu entnehmen.

2.3 GLEISOBERBAU

Der geplante Gleisoberbau besteht grundsätzlich aus hochliegendem Rasengleis und ist in Querungsbereichen straßenbündig mit einem Rillengleis ausgeführt. [U4]. Die Schienen sind jeweils auf einer Betonunterkonstruktion aufgelagert. In Anlage-Nr. 1.2 + 1.3 sind die Regelquerschnitte beider Oberbauformen dargestellt.

2.4 ZULÄSSIGE HÖCHSTGESCHWINDIGKEIT

Die Entwurfsgeschwindigkeit für die Straßenbahntrasse beträgt 50 km/h. Bei der Überfahrt von Weichen und in engen Bögen treten geringere Geschwindigkeiten auf.

2.5 FAHRPLANSITUATION

Die Anzahl der Fahrten für die beiden Fahrrichtungen ergibt sich nach [U5], sie ist für die Planung grafisch in Anlage-Nr. 1.4 dargestellt und in Tabelle 1 zusammengefasst.

Straße	Fahrrichtung Finkenbrunn	
	Tag	Nacht
Haus-Berge-Straße	269	26
Zollstraße	183	19
Berthold-Beitz-Boulevard	183	19

Tabelle 1: Fahrplandaten nach [U5]

2.6 GEPLANTE ÄNDERUNG

Die Planung sieht den Umbau der vorhandenen Gleisanlage in der Haus-Berge-Straße im Bereich zwischen den vorhandenen Haltestelle Bocholder Straße und Bergmühle vor. Die Haltestelle Bergmühle erhält einen Mittelbahnsteig anstelle des bisherigen Seitenbahnsteiges. In diesem Bereich wird anstelle des vorhandenen Schotteroberbaus ein Rasengleis angeordnet. Die Gleislage bleibt in etwa erhalten. Lediglich im Bereich der umgestalteten Haltestelle rückt das östliche Gleis näher an die Bebauung heran. Hinter der umzubauenden Haltestelle Bergmühle zweigt die neue Gleistrasse von der bisherigen Gleistrasse in den Bereich Zollstraße ab. In diesem Abzweig sieht die Planung ein Gleisdreieck mit entsprechenden Weichen vor.

In der Zollstraße und dem Berthold-Beitz-Boulevard wird die Gleisanlage in Mittellage geführt und es werden die Haltestellen Zollstraße, Schacht Amalie und Krupp-Park neu angelegt. Im Anschluss an die Haltestelle Zollstraße wird ein Gleiswechsel angeordnet.

2.7 GEBÄUDESTRUKTUR

Die Gebäudestruktur der vorhandenen Bebauung in der Zollstraße und der Haus-Berge-Straße wurde im Rahmen der Ortsbesichtigung festgestellt. Es handelt sich um Gebäude in Massivbauweise. Für die neu geplante Bebauung wird ebenfalls von einer Massivbauweise ausgegangen. Für das Gebäude Altendorfer Straße 129 (Finanzamt) wird von einem Stahlbetonskelettbau ausgegangen.

3 IMMISSIONSKENNWERTE

3.1 ERSCHÜTTERUNGEN

Als Erschütterungen werden solche Schwingungen bezeichnet, die sich mit Frequenzen zwischen 1 Hz und 80 Hz in festen Medien (Erdreich, Gebäude) ausbreiten. Die zu messenden Erschütterungssignale sind die Schwinggeschwindigkeit $\hat{v}(t)$ des angeregten Mediums in mm/s und die Erregerfrequenz f_e in Hz. Auf der Grundlage dieser Basiswerte werden die, für die Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf Menschen in Gebäuden maßgebenden Immissionsgrößen ermittelt. Hierbei handelt es sich um die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} bzw. die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTT} in der Definition nach der DIN 4150, Teil 2, von Juni 1999 -Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkung auf Menschen in Gebäuden (1).

3.2 KÖRPERSCHALL

Als Körperschall werden solche Schwingungen bezeichnet, die sich mit Frequenzen im Hörbereich in festen Medien (Erdreich, Gebäude) ausbreiten.

Die messbaren Körperschallsignale sind die Schwinggeschwindigkeit v des angeregten Mediums in mm/s und der vom Medium abgestrahlte Schallwechseldruck p in N/m² (Sekundärluftschall oder auch Körperschall-Schalldruckpegel).

Der aus der Körperschallübertragung entstehende Innenraumpegel (Sekundärluftschall) wird als hörbarer Luftschall dem frequenzabhängigen menschlichen Hörvermögen mit der sogenannten A-Bewertung nach DIN 45633 (2) der Signale angepasst. Dieser Schallpegel wird zur Beurteilung der Körperschallimmissionen herangezogen.

4 BEURTEILUNGSKRITERIEN

4.1 VORBEMERKUNG

Die Beurteilung der Luftschallimmissionen eines Schienenverkehrsweges ist mit Vorlage der 16. Bundes-Immissionsschutzverordnung (3) eindeutig geregelt.

Für die Beurteilung der von Schienenverkehrswegen ausgehenden Körperschall- und Erschütterungsimmissionen existieren dagegen keine rechtlich bindenden Immissionsrichtwerte. In der Genehmigungspraxis beim Neubau von Schienenverkehrswegen haben sich die im folgenden beschriebenen Beurteilungskriterien bewährt. Beim Umbau einer Gleisanlage kommt es zunächst darauf an, dass möglichst keine Verschlechterung entsteht. Entsprechend haben sich in der Genehmigungspraxis ergänzend zu den folgend aufgelisteten Regelwerken die im Weiteren beschriebenen Änderungskriterien bewährt.

4.2 ERSCHÜTTERUNGEN

Die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen erfolgt entsprechend DIN 4150.

- Teil 2 – Erschütterungen im Bauwesen,
Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (1)
- Teil 3 – Erschütterungen im Bauwesen,
Einwirkungen auf bauliche Anlagen (4).

Demnach werden Erschütterungsimmissionen des Schienenverkehrs im Hinblick auf die Einwirkung auf Menschen in Gebäuden wie folgt behandelt:

Grundsätzlich erfolgt die Beurteilung anhand der Anhaltswerte A_u und A_r der Tabelle 1 der Norm (hier Tabelle 2). Im Rahmen von Prognosen erübrigt sich eine Beurteilung nach dem Anhaltswert A_o .

- Für unterirdischen Schienenverkehr gelten die Anhaltswerte A_u und A_r der Tabelle 2.
- Für oberirdischen Schienenverkehr des ÖPNV (Straßen-, Stadt-, S- und U-Bahnen) gelten die um den Faktor 1,5 angehobenen Anhaltswerte der Tabelle 2.
- Im Rahmen von städtebaulichen Planungen sollte auf den Faktor 1,5 bei der Bewertung des ÖPNV verzichtet werden.
- Für sonstigen oberirdischen Schienenverkehr gelten bei neu zu bauenden Strecken die Anhaltswerte der Tabelle 2.
- Für Änderungen am Bestand gelten die Hinweise am Ende dieses Abschnittes

Die Tabelle 1 der DIN 4150-2 (Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungs-
 immissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen, hier Tabelle 2 (1)) wird wie
 folgt wiedergegeben:

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete § 9 BauNVO)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete § 8 BauNVO)	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet § 3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung - BauNVO (5) angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkung vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Tabelle 2: Anhaltswerte zur Beurteilung der Erschütterungsimmisssionen nach DIN 4150-2 (1) in Anlehnung an die Gebietseinstufungen nach BauNVO (5).

Das Beurteilungsverfahren der Norm wird - angepasst an die speziellen Belange des Schienenverkehrs der Eisenbahn und des ÖPNV- wie folgt erläutert.

Für die Beurteilung ist zunächst die maximale bewertete Schwingstärke (KB_{Fmax}) heranzuziehen und mit dem Anhaltswert A_u zu vergleichen:

$$KB_{Fmax} \leq A_u \rightarrow \text{Richtwert eingehalten (Eisenbahn)} \quad (1)$$

$$KB_{Fmax} \leq 1,5 \cdot A_u \rightarrow \text{Richtwert eingehalten (ÖPNV)} \quad (1a)$$

Liegt für die Eisenbahn KB_{Fmax} über A_u (bzw. $1,5 \cdot A_u$ für den ÖPNV), so ist unter Verwendung der Fahrplandaten die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTT} zu ermitteln. Für Schienenwege kann KB_{FTT} unter Verwendung des auf die einzelnen Gleise bezogenen Taktmaximal-Effektivwertes (KB_{FTM}) nach Gleichung (2) berechnet werden:

$$KB_{FTT} = \sqrt{\frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^g N_{ei} KB_{FTM,i}^2} \quad (2)$$

N_r Anzahl der 30-s-Takte im Beurteilungszeitraum

tags: $N_r = 1920$

nachts: $N_r = 960$

N_{ei} Anzahl der Fahrten auf Gleis i im jeweiligen Beurteilungszeitraum

g Anzahl der Gleise

(Hinweis: Für Züge und Stadtbahnen gilt, dass die Erschütterungseinwirkungszeit einer Vorbeifahrt kleiner als 30 s ist. Bei Güterzügen kann die Einwirkzeit auch zwischen 30 s und 60 s liegen.).

Für die Beurteilung der Erschütterungen in Wohngebäuden gilt jetzt:

$$KB_{FTT} \leq A_r \rightarrow \text{Richtwert eingehalten (Eisenbahn)} \quad (3)$$

$$KB_{FTT} \leq 1,5 \cdot A_r \rightarrow \text{Richtwert eingehalten (ÖPNV)} \quad (3a)$$

Bei Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 (1) ist nicht auszuschließen, dass die Nutzer des Gebäudes Erschütterungen spüren und diese als belästigend ansehen. Die Norm geht lediglich davon aus, dass erhebliche Belästigungen in der Regel ausgeschlossen werden können.

Im Falle des Umbaus einer vorhandenen Gleisanlage treten im Bestand schon nachweisbare Erschütterungsimmissionen in der vorhandenen Bebauung auf. Insofern liegt eine Vorbelastung vor, die bei der weiteren Beurteilung berücksichtigt wird. Eine Zunahme der Erschütterungsimmissionen von Schienenverkehrswegen um weniger als 25 % durch Umbauplanungen wird allgemein als zulässig angesehen. Insofern ergibt sich folgende Vorgehensweise bei der Beurteilung:

$$1,25 \cdot KB_{FTr, Bestand} < KB_{FTr, Planung} \rightarrow \text{Schutzmaßnahme erforderlich} \quad (4)$$

Obige Regelung gilt, solange keine Gesundheitsgefährdung vorliegt, auch im Falle der Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 (1). Eine Festlegung dazu, bei welcher Größenordnung Erschütterungsimmissionen eine Gesundheitsgefährdung darstellen liegt nicht vor. Es ist davon auszugehen, dass dies erst bei Werten deutlich über den Anhaltswerten der DIN 4150-2 (1) eintritt.

4.3 KÖRPERSCHALL

Ein Orientierungswert zur Beurteilung der Zulässigkeit der durch Körperschallübertragungen des Schienenverkehrs entstehenden Innenraumpegel (Sekundärluftschall) ist weder gesetzlich festgelegt noch in einer DIN-Norm oder VDI-Richtlinie angegeben. Die im Rahmen für Planungen von Verkehrswegen heranzuziehende 16.BImSchV (3) befasst sich mit den Luftschallimmissionen und beinhaltet keine Festlegungen für Körperschallimmissionen. Die bei städtebaulichen Planungen durchzuführende Beurteilung der Luftschallimmissionen erfolgt in der Regel nach DIN 18005 – Schallschutz im Städtebau - (6). Im zugehörigen Beiblatt 1 werden Orientierungswerte für die Beurteilung der Luftschallpegel im Rahmen von städtebaulichen Planungen angegeben. Die Beurteilung bezieht sich auf Mittelungspegel im Außenbereich. Hinweise für die Beurteilung von Körperschallpegel in Wohnräumen sind der Norm ebenfalls nicht zu entnehmen.

Der 7. Senat des Bundesverwaltungsgerichts hat zu einer Eisenbahnplanung (7) u. a. folgende Festlegungen zur Beurteilung der Körperschallimmissionen (sekundärer Luftschall) getroffen:

Ein spezielles Regelwerk zur Bestimmung der Zumutbarkeitsschwelle beim sekundären Luftschall gibt es bislang nicht. Zur Schließung dieser Lücke ist auf Regelungen zurück-zugreifen, 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 (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung) nahe (vgl. auch VGH Mannheim, Urteil vom 8. Februar 2007 – 5 S 2224/05 – ESVGH 57, 148 <168ff.>=juris Rn. 121 ff.; Geiger, in Ziekow, Praxis des Fachplanungsrechts, 2004, 2. Kap. Rn 336).

Zu Recht setzt die Beklagte den in der Tabelle 1 der Anlage zur 24. BImSchV (Berechnung der erforderlichen bewerteten Schalldämm-Maße) aufgeführten „Korrektursummand D in dB zur Berücksichtigung der Raumnutzung“ nicht mit dem grundsätzlich einzuhaltenden Innengeräuschpegel gleich. Denn dieser ergibt sich erst durch die Hinzurechnung eines weiteren Korrekturwerts von 3 dB (A), der die unterschiedliche Dämmwirkung von Außenbauteilen bei gerichtetem Schall gegenüber diffusen Schallfeldern berücksichtigt (siehe BRDrucks 463/96 S. 16; BRDrucks 463/96 S. 4 f.; 7).

Bei Neubauplanungen von Eisenbahntrassen erfolgt, basierend auf diesem Urteil des Bundesverwaltungsgerichts (7), in der Regel eine Beurteilung der Körperschallpegel anhand der um 3 dB(A) erhöhten zulässigen Innenraumpegel nach 24. BImSchV (8). Demnach wäre ein Dauergeräuschpegel von 30 dB(A) für Schlafräume, 40 dB(A) für Wohnräume und 45 dB(A) für Büros zulässig.

Bei diesem für Eisenbahnen entstandenem Urteil bleibt unberücksichtigt, dass bei Straßenbahnen deutlich geringere Einwirkzeiten für Körperschallimmissionen auftreten. Der Unterschied zwischen Maximalpegel und Beurteilungspegel steht damit bei Straßenbahnen in einem ungünstigeren Verhältnis als bei Eisenbahnen. Insofern ist es bei Straßenbahnen empfehlenswert, eine Beurteilung der Maximalpegel vorzunehmen. Dies kann beispielsweise nach VDI 2719 (9) erfolgen.

In der VDI-Richtlinie 2719 – Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen - (9) werden in der Tabelle 6 (hier Tabelle 3) Anhaltswerte für von außen in Aufenthaltsräume eindringendem Schall genannt, die nicht überschritten werden sollten. Auch diese Werte gelten in strenger Anwendung der VDI 2719 (9) nur für Luftschallübertragungen. Im Rahmen von Planfeststellungsverfahren für Schienenverkehrswege erfolgt häufig eine Orientierung an diesen Werten, wobei in der Regel, wie zuvor beschrieben, das Maximalwertkriterium maßgebend ist.

Raumart	mittlere Maximalpegel \bar{L}_{max} in dB(A)
Schlafräume nachts	
in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten	35 bis 40
in allen übrigen Gebieten	40 bis 45
Wohnräume tagsüber	
in reinen und allgemeinen Wohngebieten, Krankenhaus- und Kurgebieten	40 bis 45
in allen übrigen Gebieten	45 bis 50
Kommunikations- und Arbeitsräume tagsüber	
Unterrichtsräume, ruhebedürftige Einzelbüros, wissenschaftliche Arbeitsräume, Bibliotheken, Konferenz- und Vortragsräume, Arztpraxen, Operationsräume, Kirchen Aulen	40 bis 50
Büros für mehrere Personen	45 bis 55
Großraumbüros, Gaststätten, Schalterräume, Läden	50 bis 60

Tabelle 3: Anhaltswerte für zulässige Innenpegel nach VDI 2719 (9)

Im Falle des Umbaus einer vorhandenen Gleisanlage treten im Bestand schon nachweisbare Körperschallimmissionen in der vorhandenen Bebauung auf. Insofern liegt eine Vorbelastung vor, die bei der weiteren Beurteilung berücksichtigt wird. Für den Körperschall kann dann in Anlehnung an die Bestimmungen der 16. BImSchV (3) festgelegt werden, dass eine Erhöhung des Körperschallimmissionsstatus um mind. 3 dB (A) als wesentliche Änderung anzusehen ist. Die Beurteilung kann also wie folgt erfolgen:

$$\Delta L_p < 3 \text{ dB(A)} \rightarrow \text{keine Schutzmaßnahme erforderlich} \quad (5)$$

$$\text{mit } \Delta L_p = \Delta L_{p,Planung} - \Delta L_{p,Bestand} \quad (6)$$

5 IMMISSIONSPROGNOSE

5.1 VORBEMERKUNG

Für die Vorausbestimmung der von oberirdischen Stadtbahnstrecken ausgehenden Körperschall- und Erschütterungsimmissionen existiert bis heute kein rein analytisches Verfahren. Die Immissionsprognose erfolgt daher auf der Basis von bereits durchgeführten umfangreichen Messungen im Einflussbereich von oberirdischen Stadt- bzw. Straßenbahnen (Datenfundus) oder durch im Projekt durchgeführte Messungen.

Hinweise zur Durchführung der Immissionsprognose enthält die Richtlinie VDI 3837 – Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen, Spektrales Prognoseverfahren, von Januar 2013 (10) -, in der ein spektrales Prognoseverfahren global beschrieben wird. Im Entwurf der DIN 45672-3 – Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen, Teil 3: Spektrales Prognoseverfahren vom 3. Quartal 2022 (16) - wird ein auf Terzspektren basiertes Prognoseverfahren im Detail beschrieben. Ein konkretes Rechenverfahren mit festgelegten Rechenparametern wird allerdings in beiden technischen Regelwerken nicht angegeben. Die Immissionsprognose erfolgt dann auf Basis von Terzspektren entsprechend folgender Funktion:

$$L_v(f_{Tn}) = L_{v,E}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,BB}(f_{Tn}) + \Delta L_{v,DB}(f_{Tn}) \quad (7)$$

Die einzelnen Rechentherme ergeben sich dabei wie folgt:

$L_v(f_{Tn})$ Schwinggeschwindigkeitspegel auf der zu betrachtenden Geschossdecke

$L_{v,E}(f_{Tn})$ Emissionsspektrum am Gebäudefundament (Datenfundus)

$\Delta L_{v,BB}(f_{Tn})$ Einfluss der Schwingungsausbreitung im Boden im Hinblick auf die unterschiedliche Entfernung zwischen Emissionspunkt dem Gebäudefundament (DIN 4150-1)

$\Delta L_{v,DB}(f_{Tn})$ die Übertragung innerhalb des Gebäudes vom Fundament zur zu betrachtenden Geschossdecke

Für die Berechnung der Erschütterungsimmissionen ist entsprechend DIN 4150-2 (1) beim Schienenverkehr der Frequenzbereich $f_T = 4 - 80$ Hz relevant. Aus dem prognostizierten Schwinggeschwindigkeitspegeln wird die bewertete Schwingstärke in Form des Taktmaximal-Effektivwertes bestimmt. Aus diesem Wert lässt sich dann die Beurteilungs-Schwingstärke unter Berücksichtigung der Fahrtenanzahl ermitteln.

Für die Berechnung der Körperschallimmissionen ist der Frequenzbereich $f_T = 16 - 250$ Hz zu betrachten. Aus dem unbewerteten Schalldruckpegel am Immissionsort werden dann der

für die Beurteilung anhand des Orientierungswertes nach VDI 2719 (9) maßgebende Abwertete Schalldruckpegel in Form des mittleren Maximalpegels sowie der für die Beurteilung nach Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts (7) benötigte Beurteilungspegel ermittelt.

Im **Bereich Haus-Berge-Straße** befindet sich schon eine Gleisanlage, sodass bereits eine Vorbelastung vorhanden ist und die Beurteilung anhand der Veränderungskriterien sowie ergänzend an den Anhalts- und Orientierungswerten nach Abschnitt 4 erfolgt. Insofern ist im Rahmen der Prognose ein Vergleich der Bestandssituation mit der geplanten Situation vorzunehmen.

Im **Bereich Zollstraße und Berthold-Beitz-Boulevard** wird erstmalig eine Gleisanlage erstellt, sodass hier eine Prognose der geplanten Situation erfolgt und die Beurteilung anhand der beschriebenen Anhalts- und Orientierungswerte nach Abschnitt 4 erfolgt.

5.2 EMISSIONSSPEKTREN

Die FCP IBU GmbH (zuvor I.B.U. GmbH) führte in den vergangenen Jahren mehrfach Schwingungsmessungen im Einflussbereich von Gleisanlagen der Straßenbahnen in Essen durch. Auf Basis dieser Messungen wurden im Projekt „Bahnhofstangente Essen“ Emissionsspektren für einen Standardabstand von 10 m zur Gleisachse abgeleitet. In Abbildung 1 sind die im Weiteren verwendeten Spektren dargestellt.

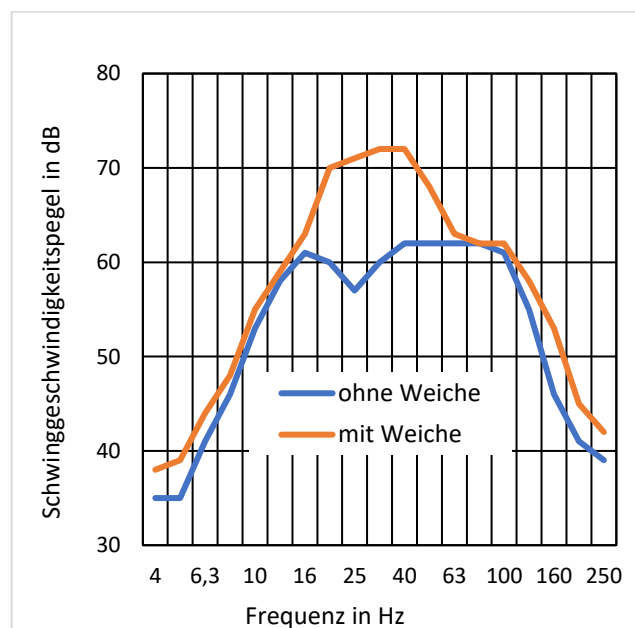


Abbildung 1: angesetzte Emissionsspektren für ein Normalgleis und eine Weiche

5.3 ENTFERNUNGSEINFLUSS

Die Emissionspegel sind auf einen Standardabstand von 10 m bezogen und daher auf die tatsächliche Entfernungssituation zwischen den im vorliegenden Bericht betrachteten Immissionsorten und der Gleistrasse umzurechnen.

In der Planung befinden sich die Gebäude in unmittelbarer Nähe zu den Gleistrassen. Der Einfluss der Lage der Gleisachse wird in Anlehnung an die Abnahmefunktion im „Fernfeld“ der DIN 4150 – Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001 (11) – wie folgt festgelegt:

$$\Delta L_{vE} = \left(\frac{R}{R_1}\right)^{-n} e^{(-\alpha (R-R_1))} \quad (8)$$

n	von der Wellenart, der Quellengeometrie und der Art der Schwingung abhängiger Exponent; hier: $n = 0,3$
R	neuer Gebäudeabstand zur Gleistrasse
R_1	bisheriger Gebäudeabstand zur Gleistrasse (bei Neubau der Gleistrasse wird der Abstand auf $R_1 = 10$ m bezogen)
α	Abklingkoeffizient [1/m]; $\alpha \approx 2\pi \frac{D}{\lambda}$
D	Dämpfungsgrad; hier: $D = 0,002$ bis $D = 0,02$ (frequenzabhängig)
λ	maßgebende Wellenlänge; $\lambda = \frac{c}{f}$
c	Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle [m/s]; hier: $c = 160$ m/s
f	Frequenz [Hz]

5.4 GEBÄUDEÜBERTRAGUNG

Weiterhin ist der Einfluss des Gebäudes auf die Schwingungsausbreitung vom Fundament zur maßgebenden Gebäudedecke zu berücksichtigen. Für die Immissionsprognose wurden Gebäude mit Betondecke berücksichtigt, für die die entsprechenden Differenzspektren der Gebäudeübertragung in Abbildung 2 wiedergegeben sind. Es sind vier Spektren $dLvG1$ – $dLvG4$ dargestellt, die die Bandbreite der zu erwartenden Übertragung darstellen.

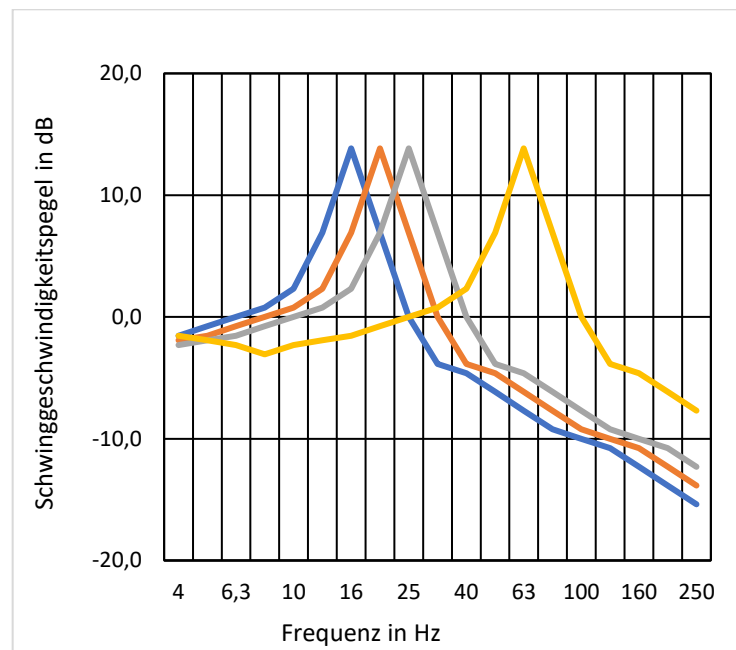


Abbildung 2: Spektren Gebäudeübertragung

5.5 ERSCHÜTTERUNGSSIMMISSIONEN

Für die hier durchzuführenden Betrachtungen werden die Werte der Immissionsprognose mit den entsprechenden Anhalts- und Orientierungswerten nach Abschnitt 4 verglichen und beurteilt.

$$KB_{FTm} = K_b v_0 10^{L'_v/20} \quad (9)$$

empirisch ermittelter Korrekturwert für folgende, den Schienenverkehr betreffende Rechenmodi

- K_b - Anpassung L_v an v
 - Bestimmung von KB_F aus v

hier: $K_b = 1$

v_0 = $5 \cdot 10^{-5}$ mm/s Bezugsgeschwindigkeit

L'_v Schwinggeschwindigkeitspegel für den Frequenzbereich $f_T \in \{5, 80\}$ Hz

Damit ergibt sich der Taktmaximal-Effektivwert der bewerteten Schwingstärke (KB_{FTm}) als Prognosewert. Aus KB_{FTm} wird unter Berücksichtigung der Fahrplansituation die Beurteilungsschwingstärke errechnet. Die maximale bewertete Schwingstärke ergibt sich in etwa zu:

$$KB_{Fmax} = 1,5 KB_{FTm} \quad (10)$$

5.6 KÖRPERSCHALLIMMISSIONEN

Aus der Immissionsprognose ergibt sich der Schwinggeschwindigkeitspegel des betrachteten Deckenfeldes. Aus dem Schwinggeschwindigkeitspegel lässt sich der im Raum aus der Körperschallübertragung entstehende Innenraumpegel (Sekundärluftschall) abschätzen. Hierzu lässt sich ein beispielsweise aus einer Messung ermitteltes Umwandlungsmaß anwenden. Alternativ kann der Sekundärluftschall nach einer Rechenfunktion (siehe A. Said, H.-P. Grütz, R. Garburg: Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr. Zeitschrift für Lärmbekämpfung Januar 2006/ 53. Jahrgang Seite 12 ff (12)) wie folgt abgeschätzt werden:

$$L_p = X \text{ [dB]} + y L_{v,p} \text{ [dB]} \quad (11)$$

- X Festwert in Abhängigkeit von der Frequenz und Deckenbauwert
 y Faktor in Abhängigkeit von der Frequenz und Deckenbauart
jeweils im Frequenzbereich $f_T \in \{5, 80\}$ Hz

Bei der Verwendung dieser Rechenfunktion wird das Umwandlungsmaß nicht ausgewiesen, da der Schalldruckpegel direkt ermittelt wird. Aus den vorbereiteten Prognosewerten des Schalldrucks wird anschließend der bewertete Summenschallpegel ermittelt:

$$L_{pAm} = 10 \log \left(\sum_{i=f_{Tu}}^{f_{To}} 10^{0,1(L_{pm,T} + K_A)} \right) \text{ dB(A)} \quad (12)$$

- f_{Tu}, f_{To} untere bzw. obere Terzmittenfrequenz des maßgebenden Frequenzbereiches
 $f_{Tu} = 5$ Hz bis $f_{To} = 80$ Hz
 $L_{pm,T}$ Schalldruckpegel bei der entsprechenden Terzmittenfrequenz
 K_A A-Bewertung entsprechend DIN 45634

Da die Prognose auf energetischen Mittelwerten (L_{pAm}) basiert, entsprechen die Ergebnisse der Berechnung des Sekundärluftschalls dem zu erwartenden mittleren Maximalpegel. Der absolute Maximalpegel ergibt sich in etwa zu:

$$L_{pAmax} = L_{pAm} + 3 \text{ dB(A)} \quad (13)$$

6 PROGNOSEERGEBNISSE

Im Rahmen der Immissionsprognose wurden mehrere Immissionsorte (IO) ausgewählt und beurteilt. Für die restlichen Gebäude im Einwirkungsbereich gelten analoge Schlussfolgerungen. Die beurteilten Immissionsorte sind in Tabelle 4 zusammen mit der bei der Ortsbegehung eingeschätzten Kategorie aufgelistet.

IO	Adresse	Kategorie
1	Zollstraße 138	Massivbau
2	Haus -Berge-Straße 159	
3	Zollstraße 122	
4	Haus-Berge-Straße 133	
5	Zollstraße 103	
6	Haus-Berge-Straße 111	
7	Zollstraße 91	
8	Haus-Berge-Straße 103	
9	Haus-Berge-Straße 99	
10	Zollstraße 71	
11 bis 19	Neubau Zollstraße	
20	Altendorfer Straße 129 (Finanzamt)	Stahlbetonskelettbau

Tabelle 4: Liste der beurteilten Immissionsorte

Die Immissionsprognose erfolgt für die Prognosesituation. In der Anlage-Nr. 2 ist die örtliche Situation und die Lage der Immissionsorte in einem Lageplan dargestellt. Die Ergebnisse der Prognoseberechnung sind in den Tabellen der Anlage-Nr. 3 zusammengestellt. Die für die weitere Beurteilung relevanten maximalen Ergebnisse der Immissionsprognose sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

IO	Gebäude	Deckenfeldschwingung				Innenraumpegel			
		KBFTm	KBFmax	KBFT _r		L _{pAm} dB(A)	L _{pAmax} dB(A)	L _{r,Tag} dB(A)	L _{r,Nacht} dB(A)
				Tag	Nacht				
1	Zollstraße 138	0,185	0,369	0,10	0,04	39,7	44,7	27,2	20,1
2	Haus-Berge-Straße 159	0,304	0,607	0,16	0,07	43,7	48,7	31,2	24,0
3	Zollstraße 122	0,199	0,397	0,11	0,05	40,4	45,4	27,9	20,8
4	Haus-Berge-Straße 133	0,237	0,475	0,13	0,06	41,8	46,8	29,3	22,2
5	Zollstraße 103	0,207	0,415	0,11	0,05	40,8	45,8	28,2	21,1
6	Haus-Berge-Straße 111	0,249	0,498	0,13	0,06	42,2	47,2	29,7	22,5
7	Zollstraße 91	0,175	0,349	0,09	0,04	39,1	44,1	26,5	19,4
8	Haus-Berge-Straße 103	0,185	0,369	0,10	0,04	39,7	44,7	27,2	20,1
9	Haus-Berge-Straße 99	0,660	1,320	0,35	0,15	41,6	46,6	29,1	22,0
10	Zollstraße 71	0,175	0,349	0,08	0,03	39,1	44,1	24,9	18,0
11	Neubau Zollstraße	0,683	1,366	0,30	0,14	42,0	47,0	27,8	21,0
12	Neubau Zollstraße	0,975	1,949	0,43	0,19	44,8	49,8	30,6	23,8
13	Neubau Zollstraße	0,227	0,454	0,10	0,05	41,5	46,5	27,3	20,4
14	Neubau Zollstraße	0,190	0,381	0,08	0,04	40,1	45,1	25,9	19,1
15	Neubau Zollstraße	0,217	0,434	0,09	0,04	41,1	46,1	26,9	20,1
16	Neubau Zollstraße	0,190	0,380	0,08	0,04	40,1	45,1	25,9	19,1
17	Neubau Zollstraße	0,207	0,415	0,09	0,04	41,1	49,8	26,9	20,1
18	Neubau Zollstraße	0,190	0,380	0,08	0,04	40,1	45,1	25,9	19,1
19	Neubau Zollstraße	0,227	0,454	0,10	0,05	41,5	46,5	27,3	20,4
20	Altendorfer Straße 129	0,576	1,153	0,25	0,11	41,3	46,3	27,1	20,3

KB_{FTm}: Taktmaximal-Effektivwert der bewerteten Schwingstärke

KB_{Fmax}: maximale bewertete Schwingstärke

KB_{FT_{r,Tag} / Nacht}: Beurteilungs-Schwingstärke Tag/Nacht

L_{pAm}: mittlerer Maximalpegel

L_{r,Tag/Nacht}: Beurteilungspegel Tag/Nacht

Tabelle 5: Ergebnisse der Immissionsprognose (Maximalwerte der einzelnen Kennwerte)

7 IMMISSIONSBEURTEILUNG

7.1 ERSCHÜTTERUNGEN

Es ist festzustellen, dass es in der gesamten Umgebung der geplanten Gleistrasse zu fühlbaren Erschütterungsimmissionen kommen kann ($KB_{Fmax} > A_u$). Darüber hinaus werden an einigen untersuchten Objekte die Anhaltswerte A_r der DIN 4150-2 (1) überschritten. Dies betrifft die in folgender Tabelle zusammengestellten Gebäude. Für den Bereich Haus-Berge-Straße gilt, dass die Zunahme der Fahrtenanzahl und das teilweise Heranrücken der Gleise zu einer Zunahme der Erschütterungsimmissionen größer 25 % führt. Insofern erfolgt die weitere Beurteilung anhand der Anhaltswerte der DIN 1450-2. Eine besonders hohe Zunahme der Erschütterungsimmissionen ist im Bereich des neu geplanten Gleisabzweiges zu erwarten.

Gebäude	Gebietsausweisung	Überschreitung A_u	Überschreitung A_r	
			Tag	Nacht
IO1: Zollstraße 138	WA	ja	nein	nein
IO2: Haus-Berge-Str. 159	WA	ja	ja	nein
IO3: Zollstraße 122	WA	ja	ja	nein
IO4: Haus-Berge-Str. 133	WA	ja	ja	nein
IO5: Zollstraße 103	WA	ja	ja	nein
IO6: Haus-Berge-Str. 111	WA	ja	ja	nein
IO7: Zollstraße 91	WA	ja	nein	nein
IO8: Haus-Berge-Straße 103	WA	ja	nein	nein
IO9: Haus-Berge-Straße 99	WA	ja	ja	ja
IO10: Zollstraße 71	WA	nein	nein	nein
IO11 – IO19: Neubau Zollstraße	WA	ja	ja	nein
IO20: Altendorfer Straße 129	WA	ja	nein	nein

Tabelle 6: Zusammenfassung – Beurteilung nach DIN 4150-2

7.2 KÖRPERSCHALL

Körperschallimmissionen oberhalb der Orientierungswerte der VDI 2719 (9) werden in der Prognose nur bei vereinzelt Gebäuden ausgewiesen. Auch hier gilt, dass teilweise die Zunahme über 3 dB(A) zu erwarten ist, sodass die abschließende Beurteilung anhand der Orientierungswerte nach VDI 2719 erfolgt.

Gebäude	Gebiets- ausweisung	Überschreitung Orientierungswert Schlafraum
IO1: Zollstraße 138	WA	nein
IO2: Haus-Berge-Str. 159	WA	ja
IO3: Zollstraße 122	WA	ja
IO4: Haus-Berge-Str. 133	WA	ja
IO5: Zollstraße 103	WA	ja
IO6: Haus-Berge-Str. 111	WA	ja
IO7: Zollstraße 91	WA	nein
IO8: Haus-Berge-Straße 103	WA	nein
IO9: Haus-Berge-Straße 99	WA	ja
IO10: Zollstraße 71	WA	nein
IO11 – IO19: Neubau Zollstraße	WA	ja
IO20: Altendorfer Straße 129	WA	*

* nicht relevant, da Bürogebäude, keine Überschreitung des entsprechenden Orientierungswertes

Tabelle 7: Zusammenfassung – Beurteilung nach VDI 2719 für Schlafräume

Für alle Gebäude gilt, dass bei Anwendung des Beurteilungskriteriums „zulässiger Innenraumpegel nach 24.BImSchV (11) für Schlafräume“ keine Überschreitungen zu erwarten sind.

8 MASSNAHMEN

Insgesamt ist festzustellen, dass Maßnahmen erforderlich sind, die eine Minderung der Schwingungsimmissionen bewirken. Schutzmaßnahmen sind, wie folgend beschrieben, vorzunehmen.

Die Schwingungsemissionen einer Gleisanlage lassen sich durch den Einsatz elastischer Oberbausysteme beeinflussen. Entsprechend DIN 45673 – Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen (13) – können grundsätzlich die in Abbildung 1 dargestellten elastischen OberbaufORMen zur Schwingungsminderung eingesetzt werden. Bei der Wahl des elastischen Oberbaus ist zu beachten, dass in den Übergangsbereichen eine vom Straßenverkehr befahrbare Rillengleisanlage erforderlich ist.

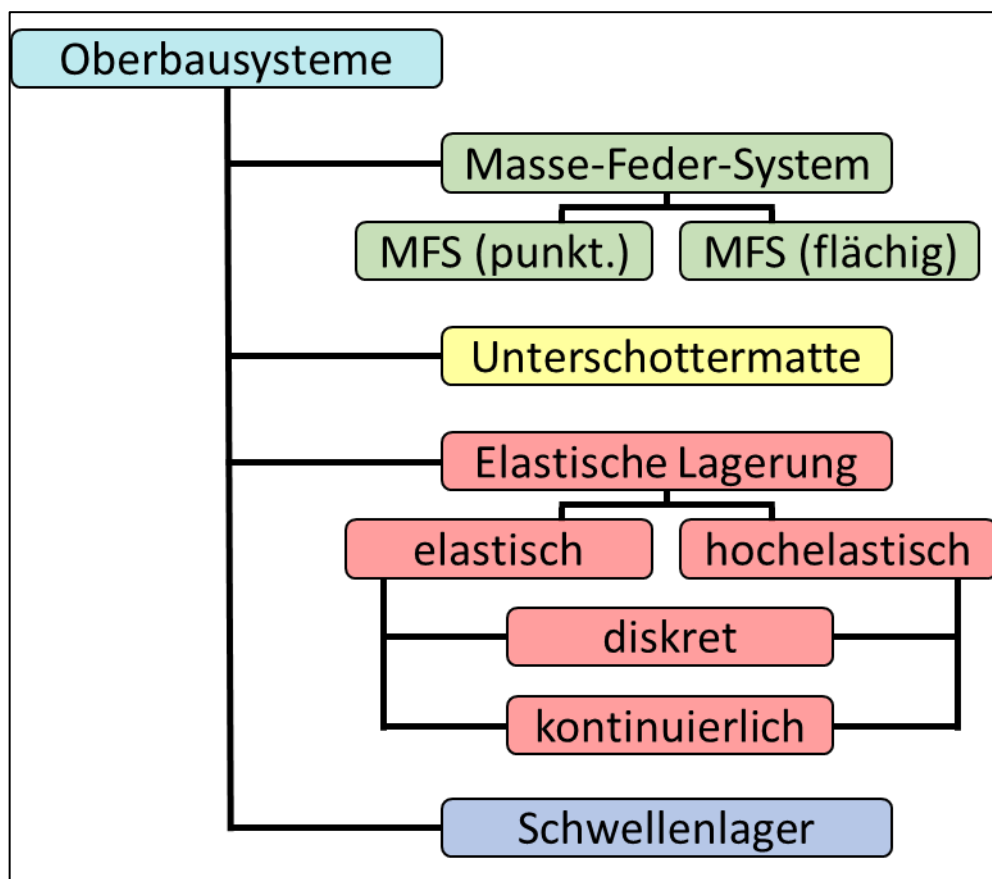


Abbildung 1: Übersicht elastische OberbaufORMen

Für die untersuchten Normalgleisbereiche ist die Anordnung einer elastischen Lagerung entsprechend DIN 45673-1 mit einer vertikalen Schieneneinsenkung von 1-2 mm unter maximaler Radsatzlast einzusetzen. Mit dem Einsatz eines geeigneten Systems ist davon auszugehen, dass die in Abschnitt 4 beschriebenen Anhalts- und Orientierungswerte eingehalten werden.

Im Bereich des Gleisabzweiges und des Gleiswechsels werden Weichenanlagen eingebaut, die auf Grund der Herzstücklücken zu einer deutlich erhöhten Schwingungsanregung führen. In diesen Bereichen bewirkt die elastische Schienenlagerung keine ausreichende Minderungswirkung. Im Gleisabzweig Haus-Berge-Straße / Zollstraße ist daher der Einbau eines flächig gelagerten Masse-Feder-Systems mit einer Abstimmfrequenz kleiner gleich 20 Hz (DIN 45673-7) erforderlich.

Im Bereich des Gleiswechsels im Neubaugebiet sind folgend aufgelisteten Alternativmaßnahmen möglich:

- 1- Einbau von Überlauferherzstücken, die im Falle der Geradeausfahrt keine Herzstücklücke aufweisen. Diese Variante kann nur angewandt werden, wenn der Gleiswechsel nur für den Notbetrieb vorgesehen ist, da die Nutzung des Gleiswechsel zur erhöhten Schwingungsanregung führt.
- 2- Anordnung der elastischen Schienenlagerung mit Einbau von beweglichen Herzstücken
- 3- Anordnung einer hochelastischen Weichenlagerung mit einer vertikalen Schienenverformung von 3-4 mm unter maximaler Radsatzlast (DIN 45673)
- 4 Anordnung eines flächig gelagerten Masse-Feder-Systems mit einer Abstimmfrequenz kleiner gleich 20 Hz (DIN 45673-7)

9 ANLAGEN

Anlage Nr.	Benennung
1.1	Übersicht Bebauungspläne
1.2	Oberbau, Regelquerschnitt Rasengleis
1.3	Oberbau, Regelquerschnitt Rillengleis
1.4	Übersicht Fahrplandaten
2.1 – 2.9	Lageplan mit Kennzeichnung der Immissionsorte
3.1 – 3.10	Detaillierte Prognoseergebnisse

AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / Übersicht B-Pläne	1.1

Planfeststellungsversand

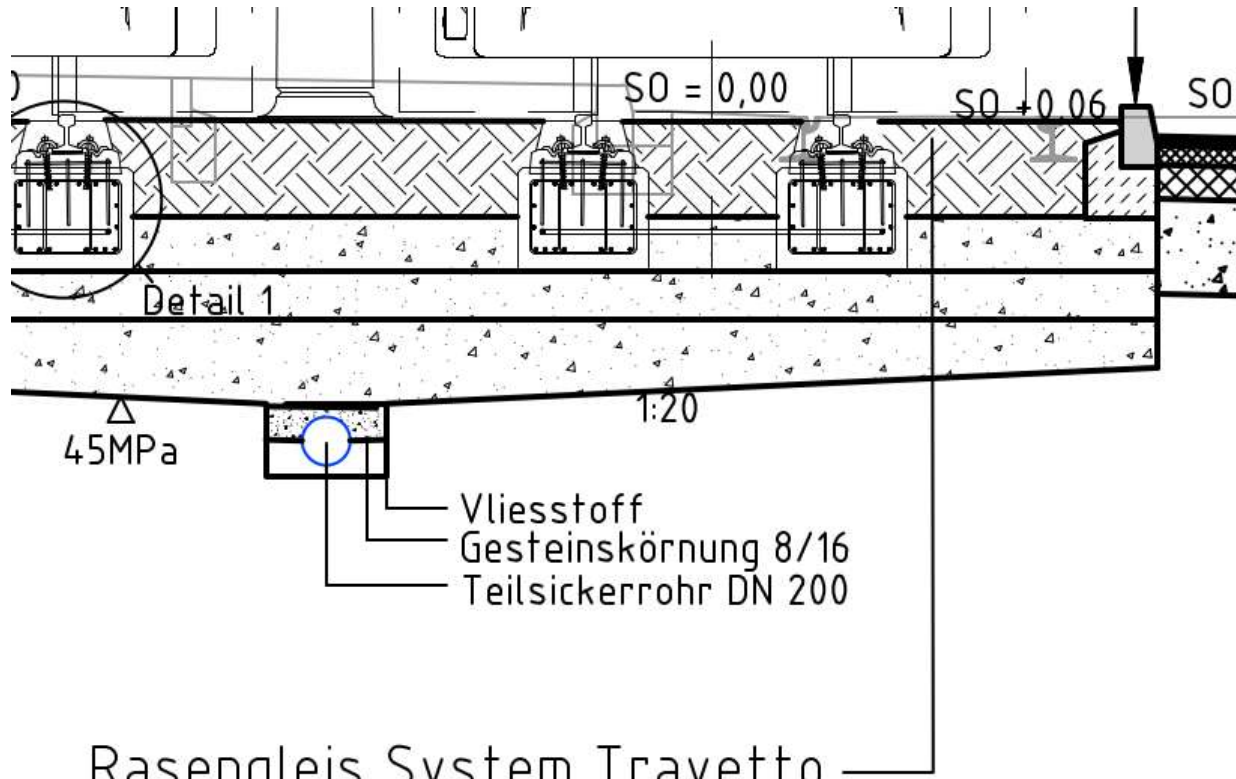
- B-Plan Nr. 5/18 Essen 51: Zollstraße / Pfanderbachstraße
- B-Plan Nr. 7/14 Krupp-Gürtel Nord
- B-Plan Nr. 4/04 Krupp-Gürtel



B-Plan 265 Asberdesstraße

24/03/2022
[Signature]

AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / Querschnitt Oberbau "Raseneindeckung"	1.2



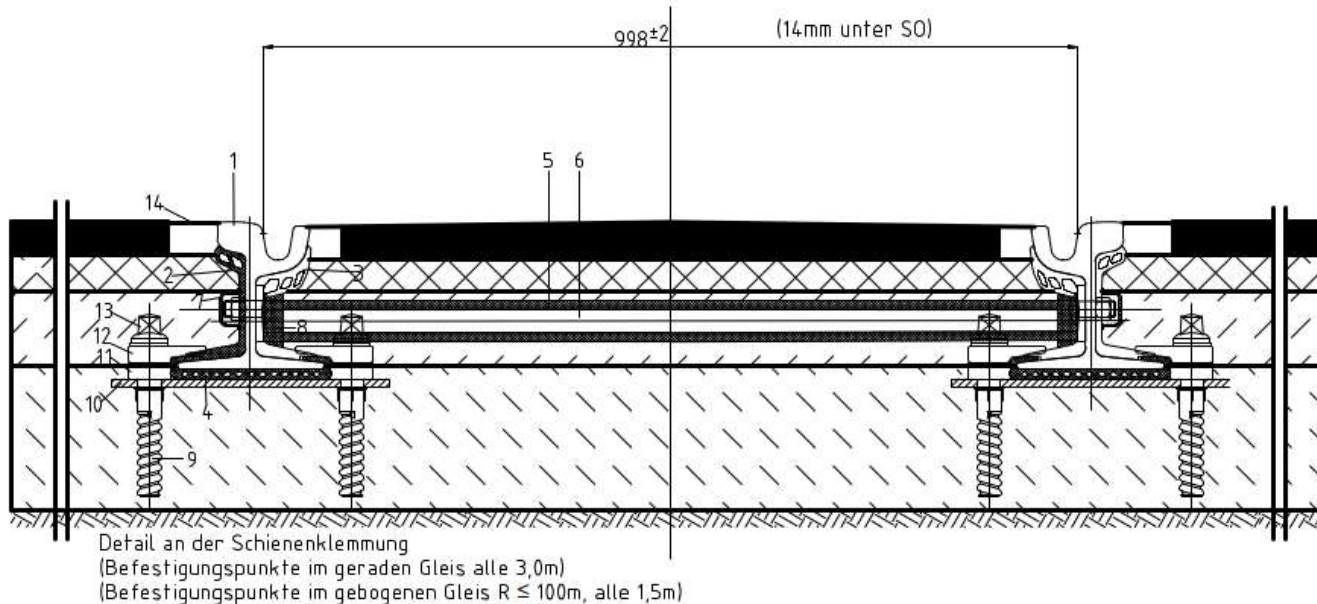
Rasengleis System Travetto

39,0 cm	Vegetationsschicht	
22,0 cm	Schotterauffüllung	$E_{v2} \geq 120 \text{ MPa}$
20,0 cm	Schottertragschicht 0/45	
20,0 cm	Frostschutzschicht	$E_{v2} \geq 45 \text{ MPa}$
101,0 cm	Gesamtaufbau	

AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / Querschnitt Oberbau "Asphalteindeckung"	1.3

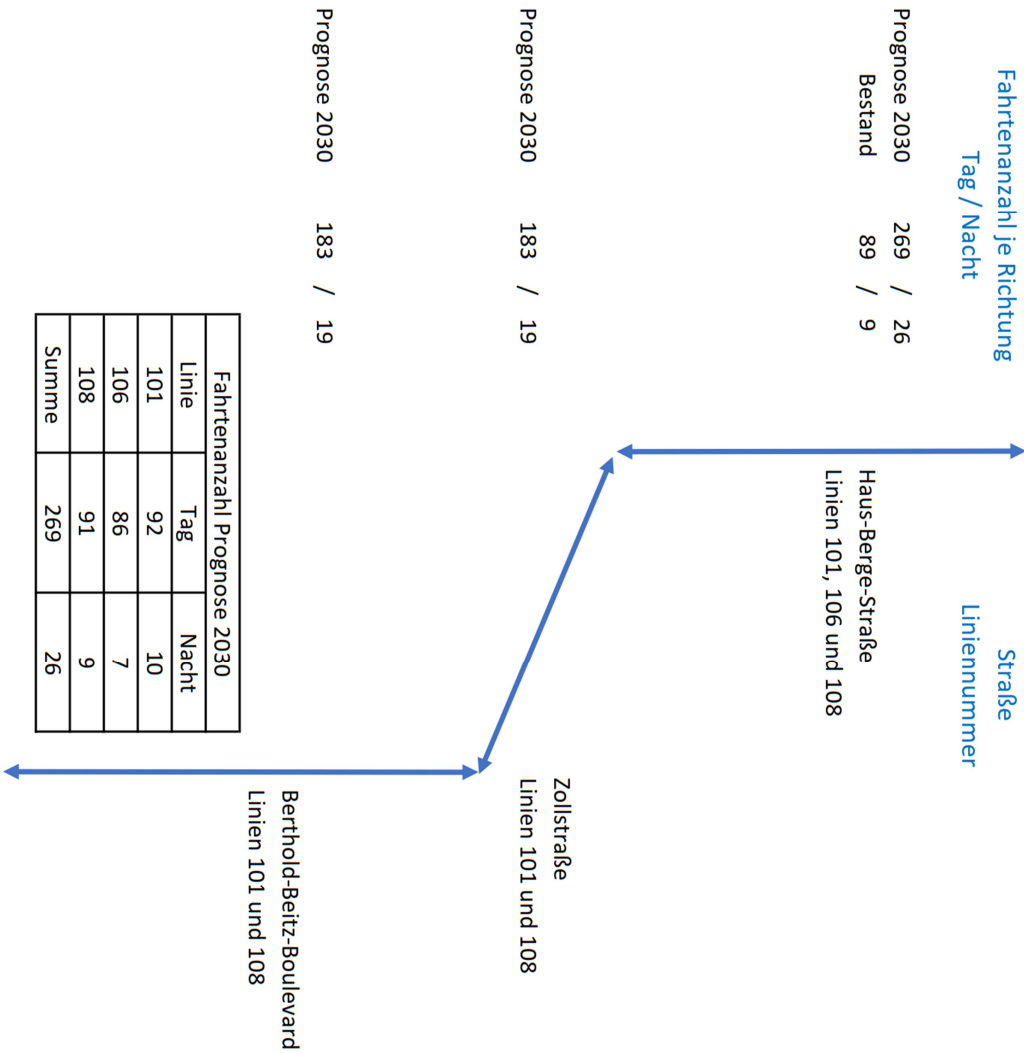
Detail 2

Maßstab = 1:10

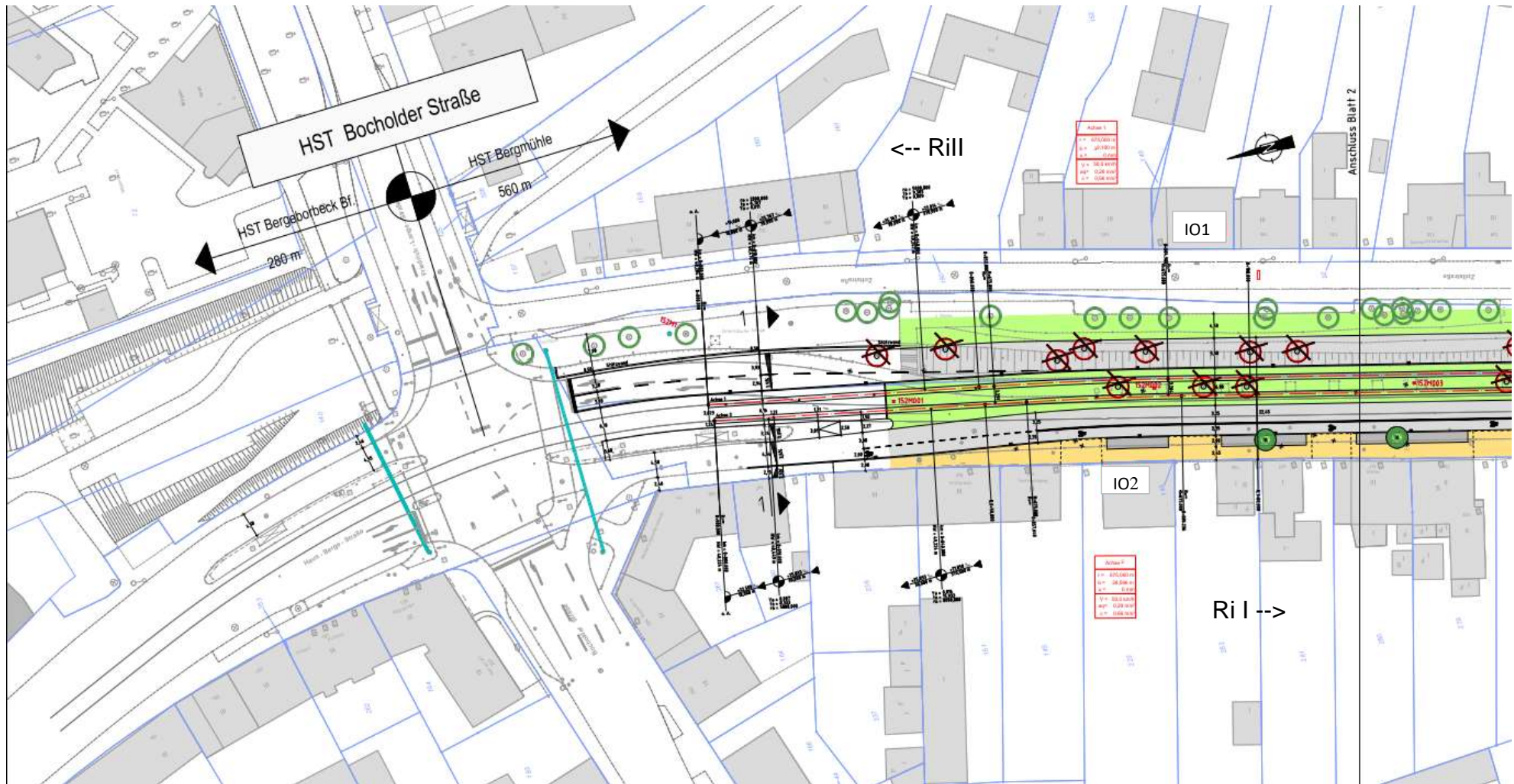


- | | |
|---|--|
| 1) Rillenschiene 60R2 (In Bögen 59R2) | 8) Spurstangenabdeckung System "RCS" innen (links u. rechts) |
| 2) Schienenstegprofil System "RCS" außen | 9) Kunststoffschraubdübel SDÜ 9A |
| 3) Schienenstegprofil System "RCS" innen | 10) Grundplatte 340x140x10 |
| 4) Schienenfußprofil System "RCS" | 11) Zwischenplatte 52 x 74 x 20 |
| 5) Spurstangenisolierprofil System "RCS" | 12) Klemmplatte 95x64x20/9 mit Rundloch ϕ 29 |
| 6) Spurstange aus Rundstahl ϕ 28 (E.106.A.204), mit
Spurstangenschrauben, Muttern und Ausgleichsblechen | 13) Schwellenschraube Ss25 x161 mit Uls 7 Güte 5.6 |
| 7) Spurstangenkappen System "RCS" außen | 14) Schienenlängsverguss |

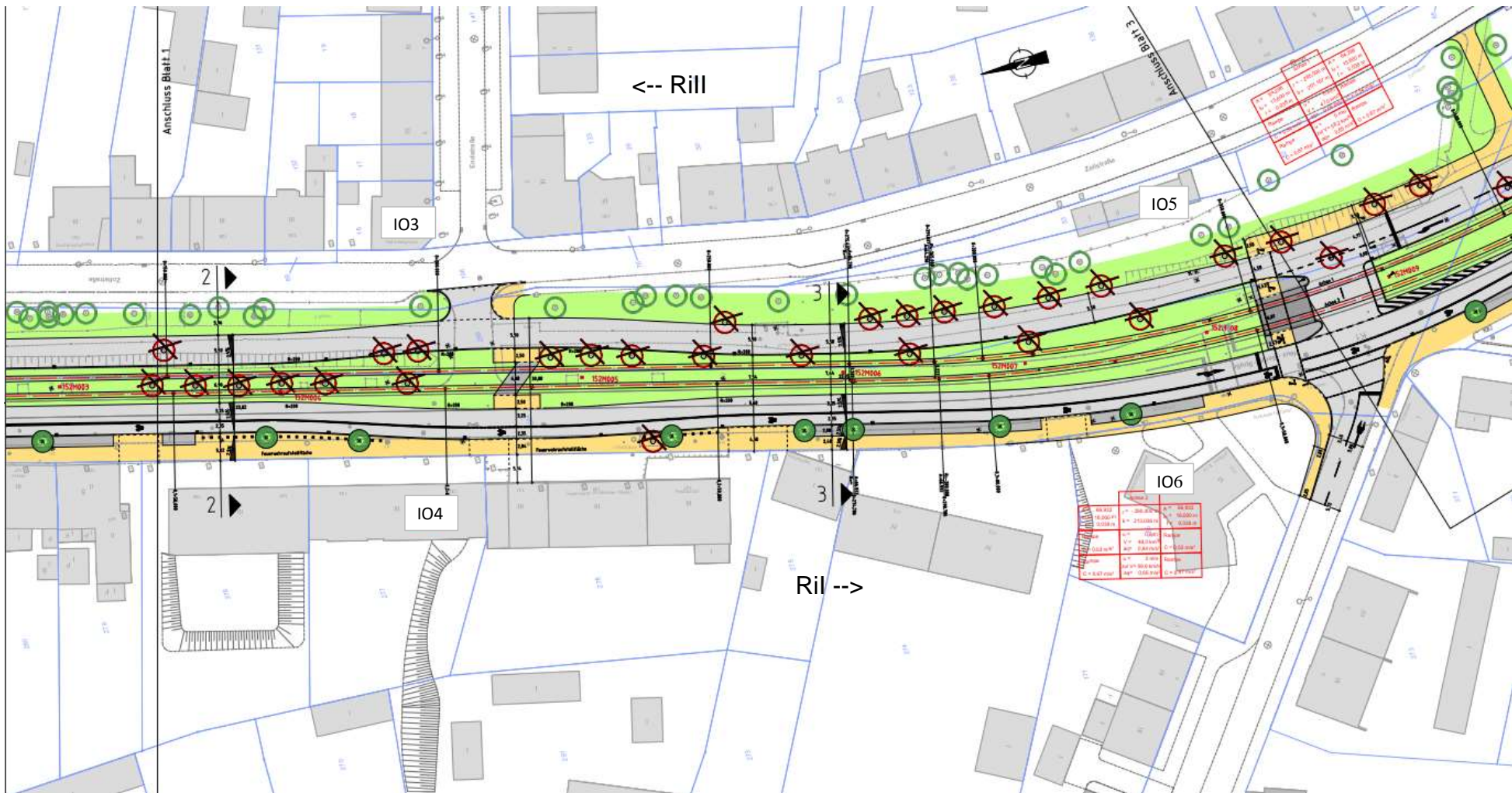
AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / xxxxxxxx	1.4



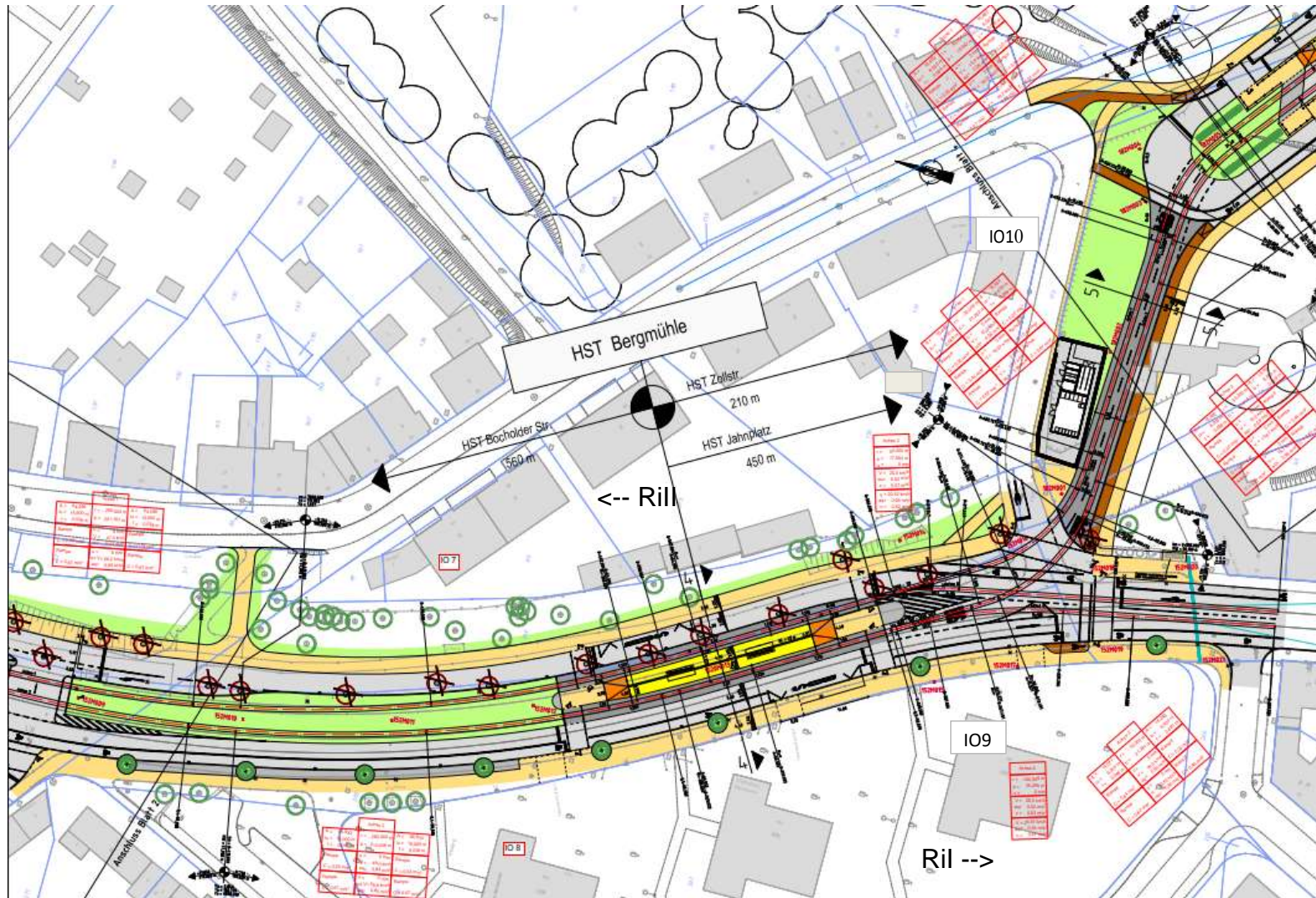
AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / Lagepläne	2.1



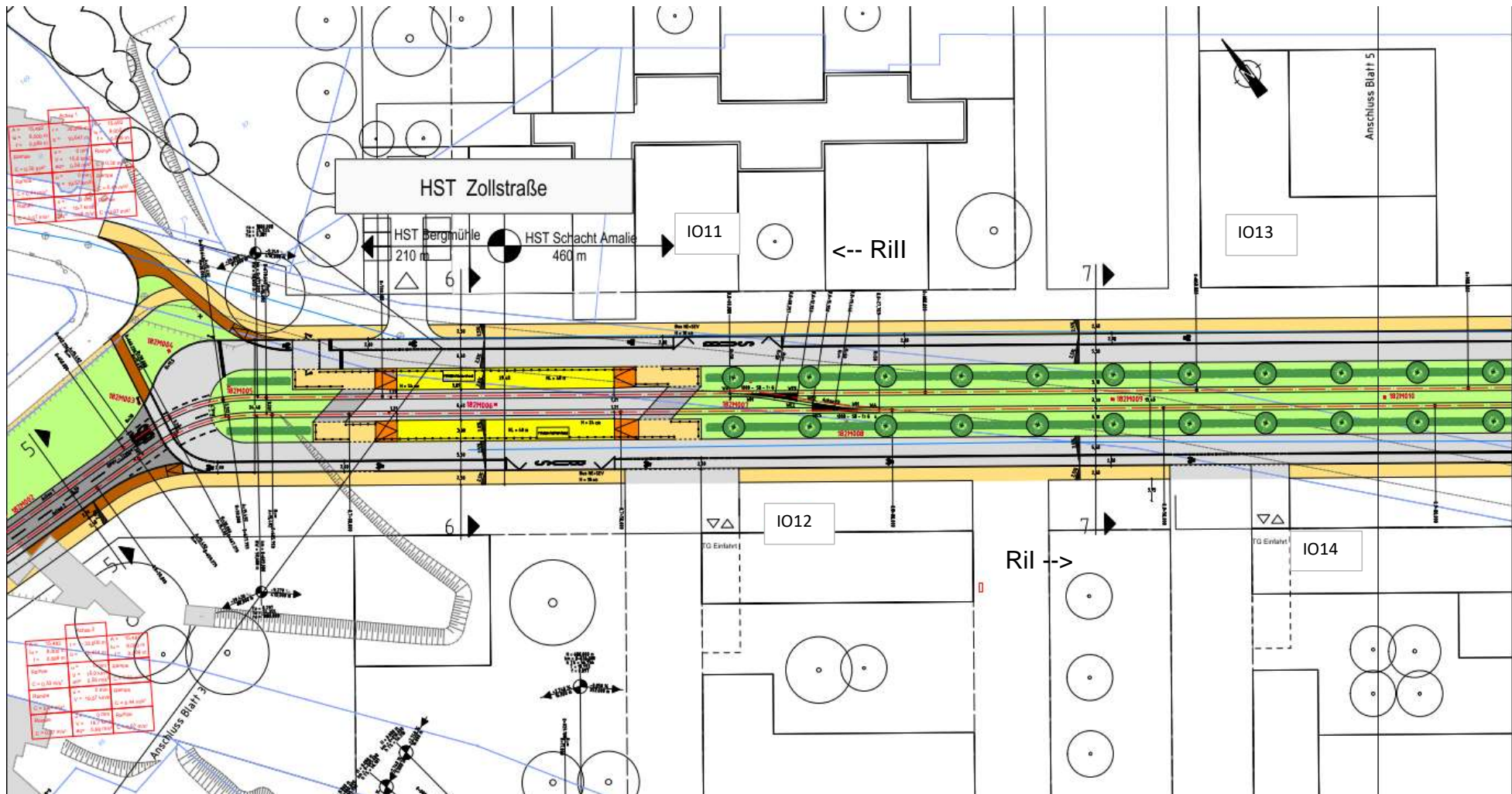
AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / Lagepläne	2.2



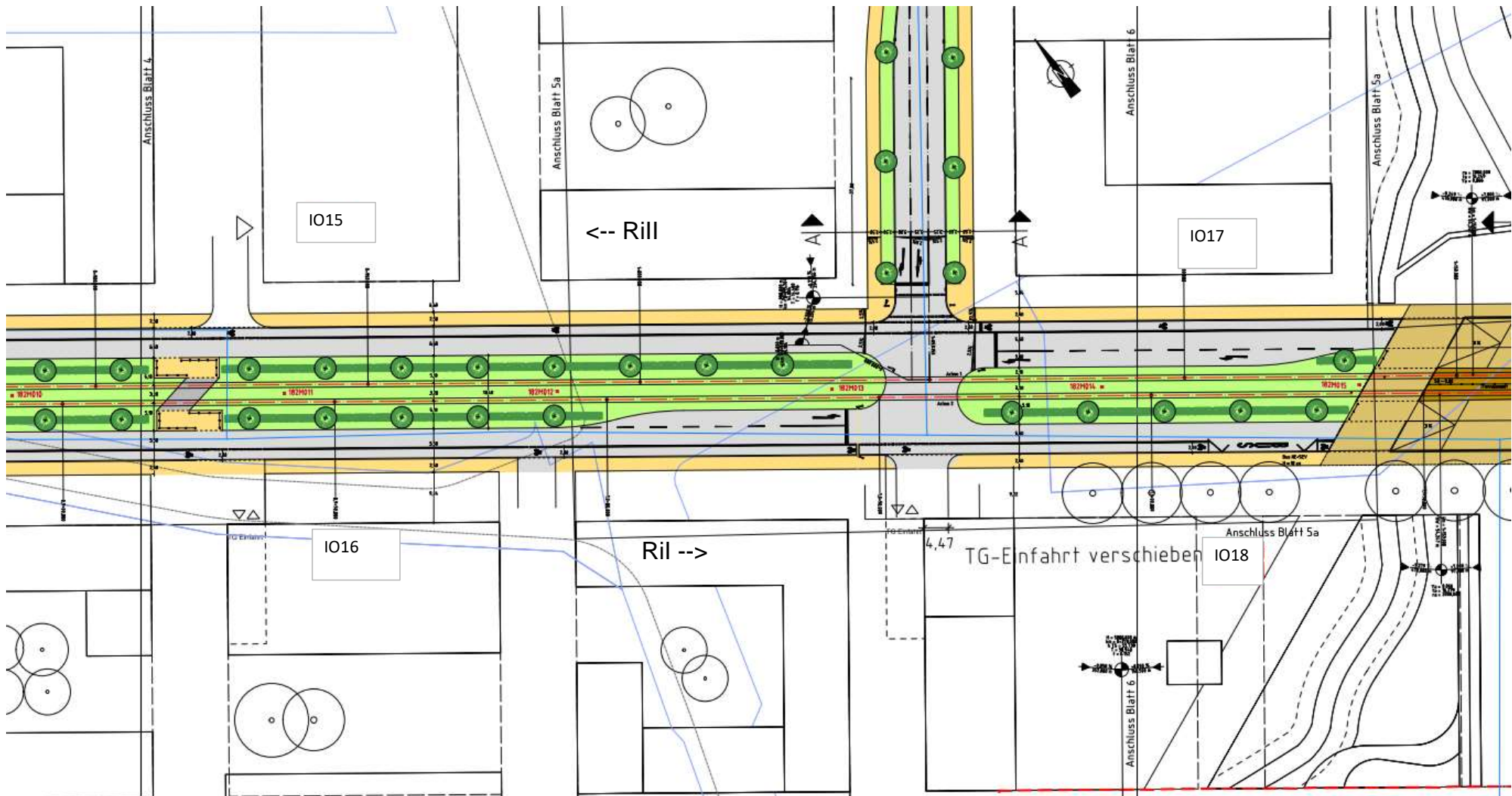
AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / Lagepläne	2.3



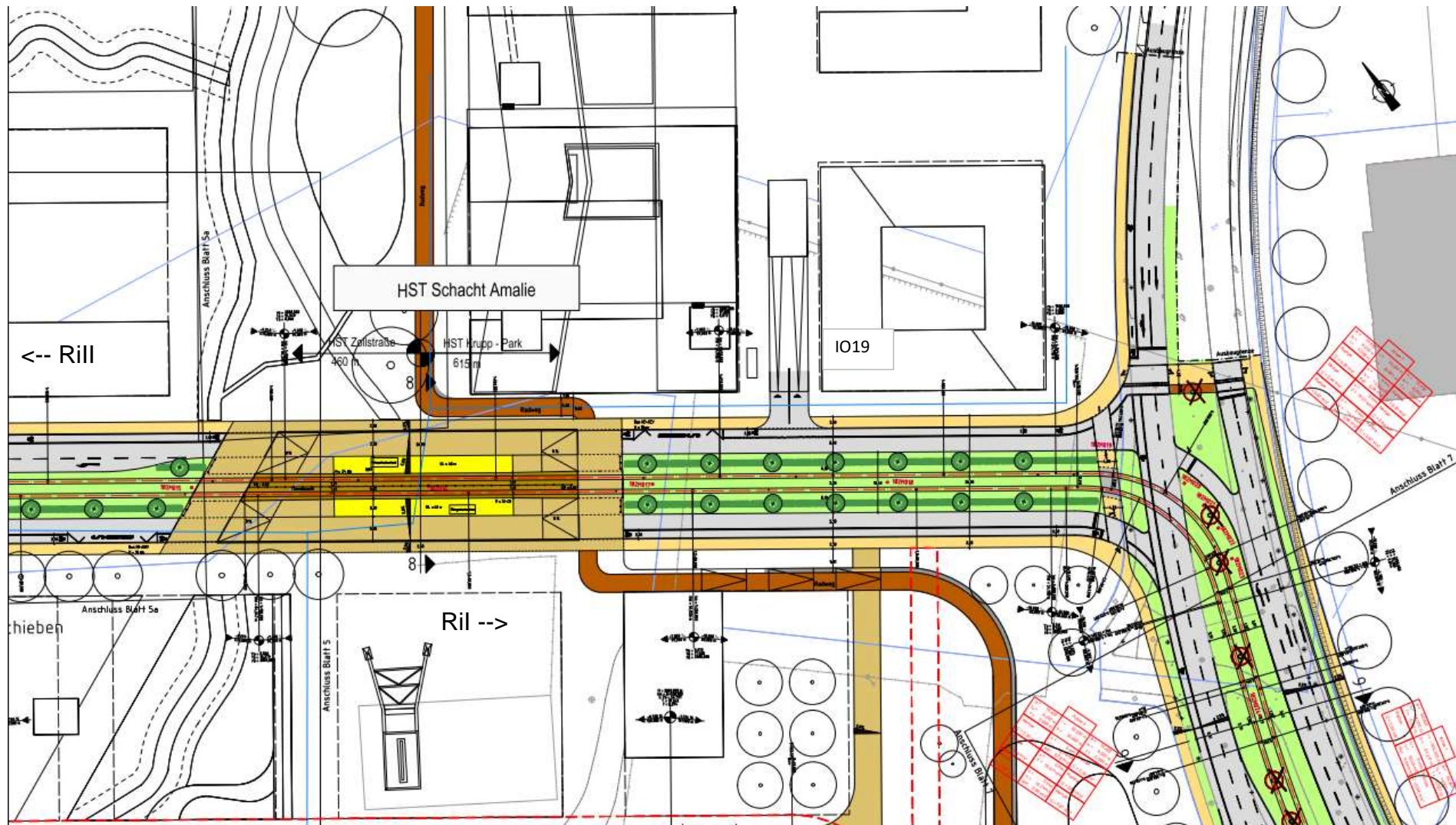
AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / Lagepläne	2.4



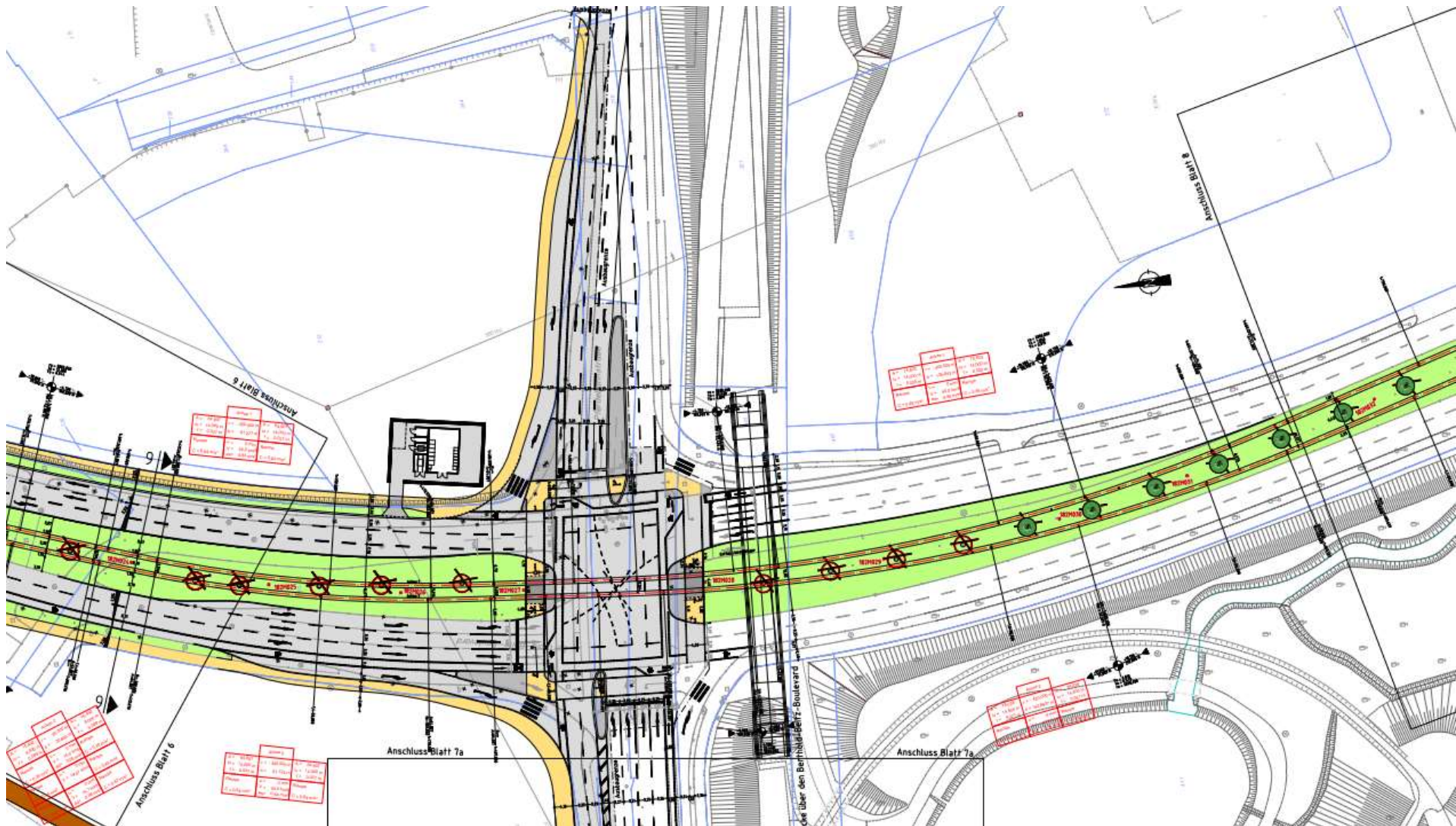
AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / Lagepläne	2.5



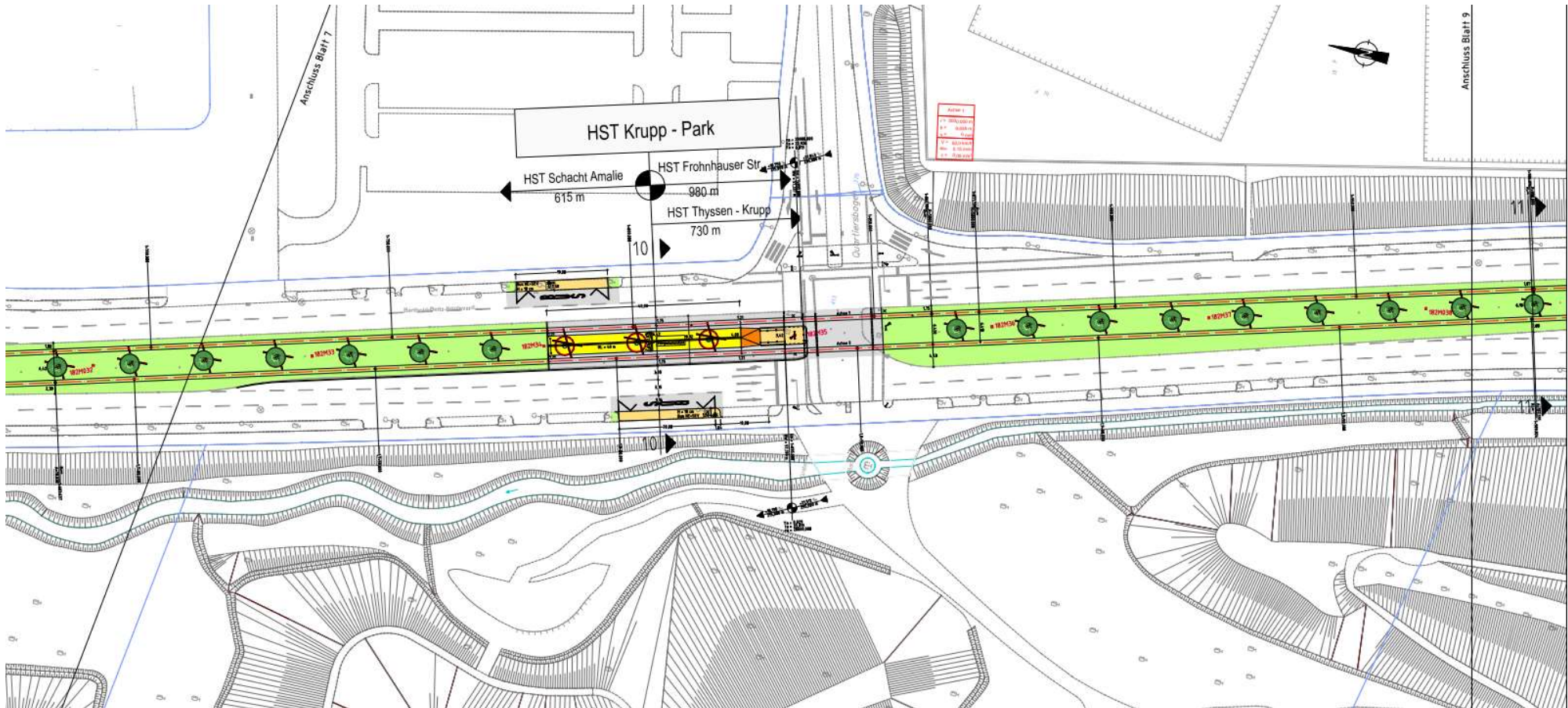
AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindtschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / Lagepläne	2.6



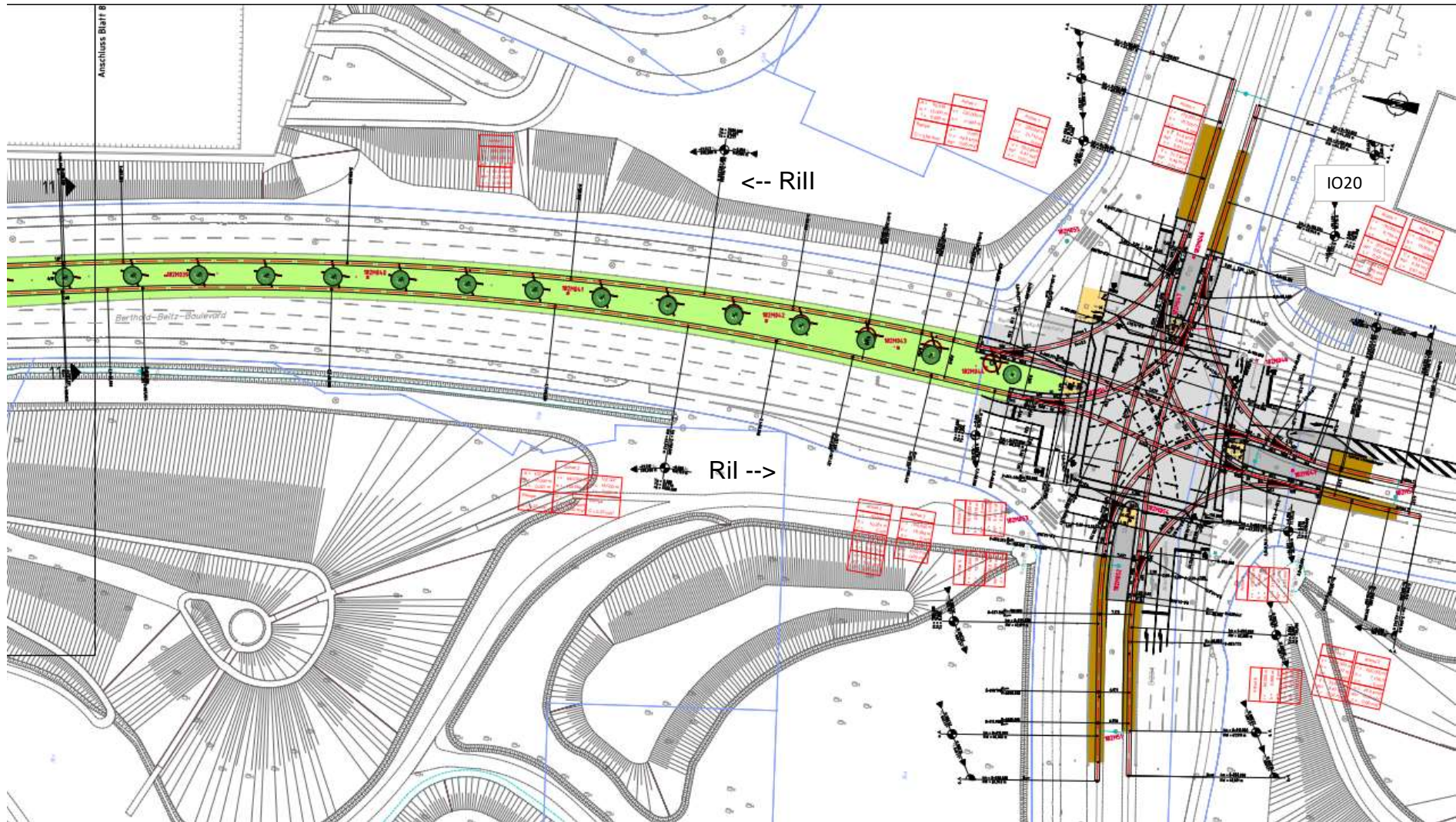
AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / Lagepläne	2.7



AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / Lagepläne	2.8



AUFTRAGGEBER:	AUFTRAG-NR.:	OBJEKT	ANLAGE-NR.
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH 40213 Düsseldorf	2019 007 045	Citybahn Essen - Abschnitt 51 Haus-Berge-Straße / Zollstraße / Berthold-Beitz-Boulevard Schwingungstechnische Untersuchung / Lagepläne	2.9



AUFTRAGGEBER Lindschulte Ingenieurgesell. mbH Graf-Adolf-Platz 6 40213 Düsseldorf	OBJEKT Stadtquartier Essen 51 Neubau Straßenbahn Schwingungstechn. Untersuchung	ANLAGE-NR. 3.1
		AUFTRAGS-NR. 2019 007 045

Deckenfeldschwingungen / Erschütterungen

KBFTM : Taktmaximal-Effektivwert der bewerteten Schwingstärke

KBFT_{r,Tag} : Beurteilungs-Schwingstärke zur Tagzeit

KBFT_{r,Nacht} : Beurteilungs-Schwingstärke zur Nachtzeit

Beurteilung: Anhaltswert "-": eingehalten "x": überschritten

IO	Gebäude	Deckenfeldschwingung				Beurteilung			
		KBFTM	KBF _{max}	KBFT _r		nach DIN 4150-2			
				Tag	Nacht	Au,Tag	Au,Nacht	Ar,Tag	Ar,Nacht
1	Zollstraße 138	0,151	0,303	0,080	0,035	x	x	-	-
		0,185	0,369	0,098	0,043	x	x	-	-
2	Haus-Berge-Straße 159	0,248	0,495	0,131	0,058	x	x	x	-
		0,304	0,607	0,161	0,071	x	x	x	-
3	Zollstraße 122	0,169	0,338	0,090	0,039	x	x	-	-
		0,199	0,397	0,105	0,046	x	x	x	-
4	Haus-Berge-Straße 133	0,204	0,408	0,108	0,048	x	x	x	-
		0,237	0,475	0,126	0,055	x	x	x	-
5	Zollstraße 103	0,179	0,358	0,095	0,042	x	x	-	-
		0,207	0,415	0,110	0,048	x	x	x	-
6	Haus-Berge-Straße 111	0,212	0,424	0,112	0,049	x	x	x	-
		0,249	0,498	0,132	0,058	x	x	x	-
7	Zollstraße 91	0,136	0,272	0,072	0,032	x	x	-	-
		0,175	0,349	0,092	0,041	x	x	-	-
8	Haus-Berge-Straße 103	0,151	0,303	0,080	0,035	x	x	-	-
		0,185	0,369	0,098	0,043	x	x	-	-
9	Haus-Berge-Straße 99	0,323	0,646	0,171	0,075	x	x	x	x
		0,660	1,320	0,349	0,154	x	x	x	x

AUFTRAGGEBER Lindschulte Ingenieurgesell. mbH Graf-Adolf-Platz 6 40213 Düsseldorf	OBJEKT Stadtquartier Essen 51 Neubau Straßenbahn Schwingungstechn. Untersuchung	ANLAGE-NR. 3.2
		AUFTRAGS-NR. 2020 007 045

Deckenfeldschwingungen / Erschütterungen

KBFTM : Taktmaximal-Effektivwert der bewerteten Schwingstärke

KBFT_{r,Tag} : Beurteilungs-Schwingstärke zur Tagzeit

KBFT_{r,Nacht} : Beurteilungs-Schwingstärke zur Nachtzeit

Beurteilung: Anhaltswert "-": eingehalten "x": überschritten

IO	Gebäude	Deckenfeldschwingung				Beurteilung			
		KBFTM	KBF _{max}	KBFT _r		nach DIN 4150-2			
				Tag	Nacht	Au,Tag	Au,Nacht	Ar,Tag	Ar,Nacht
10	Zollstraße 71	0,136	0,272	0,059	0,027	-	-	-	-
		0,175	0,349	0,076	0,035	-	-	-	-
11	Neubau Zollstraße	0,339	0,677	0,148	0,067	x	x	-	-
		0,683	1,366	0,298	0,136	x	x	-	-
12	Neubau Zollstraße	0,517	1,035	0,226	0,103	x	x	-	-
		0,975	1,949	0,425	0,194	x	x	x	-
13	Neubau Zollstraße	0,197	0,394	0,086	0,039	-	-	-	-
		0,227	0,454	0,099	0,045	-	x	-	-
14	Neubau Zollstraße	0,160	0,320	0,070	0,032	-	-	-	-
		0,190	0,381	0,083	0,038	-	-	-	-
15	Neubau Zollstraße	0,190	0,379	0,083	0,038	-	-	-	-
		0,217	0,434	0,095	0,043	-	-	-	-
16	Neubau Zollstraße	0,160	0,320	0,070	0,032	-	-	-	-
		0,190	0,380	0,083	0,038	-	-	-	-
17	Neubau Zollstraße	0,190	0,379	0,083	0,038	-	-	-	-
		0,207	0,415	0,091	0,041	-	-	-	-
18	Neubau Zollstraße	0,160	0,320	0,070	0,032	-	-	-	-
		0,190	0,380	0,083	0,038	-	-	-	-
19	Neubau Zollstraße	0,197	0,394	0,086	0,039	-	-	-	-
		0,227	0,454	0,099	0,045	-	x	-	-
20	Altendorfer Straße 129	0,241	0,482	0,105	0,048	-	x	-	-
		0,576	1,153	0,252	0,115	x	x	-	-

AUFTRAGGEBER Lindschulte Ingenieurgesell. mbH Graf-Adolf-Platz 6 40213 Düsseldorf	OBJEKT Stadtquartier Essen 51 Neubau Straßenbahn Schwingungstechn. Untersuchung	ANLAGE-NR. 3.3
		AUFTRAGS-NR. 2019 007 045

Innenraumpegel aus Körperschallübertragung / Sekundärluftschall

LpAm : mittlerer Maximalpegel

LpAmax : maximaler Maximalpegel (kein Beurteilungskriterium)

S:Schlafraum; W:Wohnraum; P:Praxen, Unterrichtsräume; B: Büros; L:Läden

Beurteilung: Orientierungswertwert "-": eingehalten "x": überschritten

IO	Gebäude	Innenraumpegel		Beurteilung für LpAm				
		LpAm	LpAmax	in Anlehnung an VDI 2719				
		dB(A)	dB(A)	S	W	P	B	L
1	Zollstraße 138	30,7	35,7	-	-	-	-	-
		39,7	44,7	-	-	-	-	-
2	Haus-Berge-Straße 159	34,5	39,5	-	-	-	-	-
		43,7	48,7	x	-	-	-	-
3	Zollstraße 122	31,4	36,4	-	-	-	-	-
		40,4	45,4	x	-	-	-	-
4	Haus-Berge-Straße 133	32,7	37,7	-	-	-	-	-
		41,8	46,8	x	-	-	-	-
5	Zollstraße 103	31,7	36,7	-	-	-	-	-
		40,8	45,8	x	-	-	-	-
6	Haus-Berge-Straße 111	33,1	38,1	-	-	-	-	-
		42,2	47,2	x	-	-	-	-
7	Zollstraße 91	30,1	35,1	-	-	-	-	-
		39,1	44,1	-	-	-	-	-
8	Haus-Berge-Straße 103	30,7	35,7	-	-	-	-	-
		39,7	44,7	-	-	-	-	-
9	Haus-Berge-Straße 99	33,5	38,5	-	-	-	-	-
		41,6	46,6	x	-	-	-	-

AUFTRAGGEBER Lindschulte Ingenieurgesell. mbH Graf-Adolf-Platz 6 40213 Düsseldorf	OBJEKT Stadtquartier Essen 51 Neubau Straßenbahn Schwingungstechn. Untersuchung	ANLAGE-NR. 3.4
		AUFTRAGS-NR. 2020 007 045

Innenraumpegel aus Körperschallübertragung / Sekundärluftschall

LpAm : mittlerer Maximalpegel

LpAmax : maximaler Maximalpegel (kein Beurteilungskriterium)

S:Schlafraum; W:Wohnraum; P:Praxen, Unterrichtsräume; B: Büros; L:Läden

Beurteilung: Orientierungswertwert "-": eingehalten "x": überschritten

IO	Gebäude	Innenraumpegel		Beurteilung für LpAm				
		LpAm	LpAmax	in Anlehnung an VDI 2719				
		dB(A)	dB(A)	S	W	P	B	L
10	Zollstraße 71	30,1	35,1	-	-	-	-	-
		39,1	44,1	-	-	-	-	-
11	Neubau Zollstraße	33,8	38,8	-	-	-	-	-
		42,0	47,0	x	-	-	-	-
12	Neubau Zollstraße	36,4	41,4	-	-	-	-	-
		44,8	49,8	x	-	-	-	-
13	Neubau Zollstraße	32,4	37,4	-	-	-	-	-
		41,5	46,5	x	-	-	-	-
14	Neubau Zollstraße	31,1	36,1	-	-	-	-	-
		40,1	45,1	x	-	-	-	-
15	Neubau Zollstraße	32,0	37,0	-	-	-	-	-
		41,1	46,1	x	-	-	-	-
16	Neubau Zollstraße	31,1	36,1	-	-	-	-	-
		40,1	45,1	x	-	-	-	-
17	Neubau Zollstraße	32,0	37,0	-	-	-	-	-
		41,1	46,1	x	-	-	-	-
18	Neubau Zollstraße	31,1	36,1	-	-	-	-	-
		40,1	45,1	x	-	-	-	-
19	Neubau Zollstraße	32,4	37,4	-	-	-	-	-
		41,5	46,5	x	-	-	-	-
20	Altendorfer Straße 129	31,6	36,6	-	-	-	-	-
		41,3	46,3	x	-	-	-	-

AUFTRAGGEBER Lindschulte Ingenieurgesell. mbH Graf-Adolf-Platz 6 40213 Düsseldorf	OBJEKT Stadtquartier Essen 51 Neubau Straßenbahn Schwingungstechn. Untersuchung	ANLAGE-NR. 3.5
		AUFTRAGS-NR. 2019 007 045

Innenraumpegel aus Körperschallübertragung / Sekundärluftschall

Lr,Tag: Beurteilungspegel Tag

Lr,Nacht: Beurteilungspegel Nacht

S:Schlafraum; W:Wohnraum; P:Praxen, Unterrichtsräume; B: Büros; L:Läden

Beurteilung: Orientierungswertwert "-" : eingehalten "x" : überschritten

IO	Gebäude	Innenraumpegel		Beurteilung für Lr				
		Lr,Tag	Lr,Nacht	in Anlehnung an 24.BImSchV				
		dB(A)	dB(A)	S	W	P	B	L
1	Zollstraße 138	18,2	15,6	-	-	-	-	-
		27,2	20,1	-	-	-	-	-
2	Haus-Berge-Straße 159	22,0	15,9	-	-	-	-	-
		31,2	24,0	-	-	-	-	-
3	Zollstraße 122	18,9	16,2	-	-	-	-	-
		27,9	20,8	-	-	-	-	-
4	Haus-Berge-Straße 133	20,2	17,4	-	-	-	-	-
		29,3	22,2	-	-	-	-	-
5	Zollstraße 103	19,2	16,5	-	-	-	-	-
		28,2	21,1	-	-	-	-	-
6	Haus-Berge-Straße 111	20,5	17,7	-	-	-	-	-
		29,7	22,5	-	-	-	-	-
7	Zollstraße 91	17,6	15,1	-	-	-	-	-
		26,5	19,4	-	-	-	-	-
8	Haus-Berge-Straße 103	18,2	15,6	-	-	-	-	-
		27,2	20,1	-	-	-	-	-
9	Haus-Berge-Straße 99	21,0	15,2	-	-	-	-	-
		29,1	22,0	-	-	-	-	-

AUFTRAGGEBER Lindschulte Ingenieurgesell. mbH Graf-Adolf-Platz 6 40213 Düsseldorf	OBJEKT Stadtquartier Essen 51 Neubau Straßenbahn Schwingungstechn. Untersuchung	ANLAGE-NR. 3.6
		AUFTRAGS-NR. 2020 007 045

Innenraumpegel aus Körperschallübertragung / Sekundärluftschall

Lr,Tag: Beurteilungspegel Tag

Lr,Nacht: Beurteilungspegel Nacht

S:Schlafraum; W:Wohnraum; P:Praxen, Unterrichtsräume; B: Büros; L:Läden

Beurteilung: Orientierungswertwert "-" : eingehalten "x" : überschritten

IO	Gebäude	Innenraumpegel		Beurteilung für Lr				
		Lr,Tag	Lr,Nacht	in Anlehnung an 24.BImSchV				
		dB(A)	dB(A)	S	W	P	B	L
10	Zollstraße 71	15,9	18,0	-	-	-	-	-
		24,9	18,0	-	-	-	-	-
11	Neubau Zollstraße	19,6	18,2	-	-	-	-	-
		27,8	21,0	-	-	-	-	-
12	Neubau Zollstraße	22,2	15,4	-	-	-	-	-
		30,6	23,8	-	-	-	-	-
13	Neubau Zollstraße	18,2	15,7	-	-	-	-	-
		27,3	20,4	-	-	-	-	-
14	Neubau Zollstraße	16,9	19,1	-	-	-	-	-
		25,9	19,1	-	-	-	-	-
15	Neubau Zollstraße	17,8	15,4	-	-	-	-	-
		26,9	20,1	-	-	-	-	-
16	Neubau Zollstraße	16,9	19,1	-	-	-	-	-
		25,9	19,1	-	-	-	-	-
17	Neubau Zollstraße	17,8	20,1	-	-	-	-	-
		26,9	20,1	-	-	-	-	-
18	Neubau Zollstraße	16,9	19,1	-	-	-	-	-
		25,9	19,1	-	-	-	-	-
19	Neubau Zollstraße	18,2	15,7	-	-	-	-	-
		27,3	20,4	-	-	-	-	-
20	Altendorfer Straße 129	17,4	20,3	-	-	-	-	-
		27,1	20,3	-	-	-	-	-

AUFTRAGGEBER Lindschulte Ingenieurgesell. mbH Graf-Adolf-Platz 6 40213 Düsseldorf	OBJEKT Stadtquartier Essen 51 Neubau Straßenbahn Schwingungstechn. Untersuchung	ANLAGE-NR. 3.7
		AUFTRAGS-NR. 2019 007 045

Ergebnisse der Immissionsprognose

KBFTM : Taktmaximal-Effektivwert der bewerteten Schwingstärke

KBFmax : maximale bewertete Schwingstärke

KBFT_{r,Tag/Nacht} : Beurteilungs-Schwingstärke Tag/Nacht

L_{pAm} : mittlerer Maximalpegel

L_{pAmax} : absoluter Maximalpegel

L_{r,Tag/Nacht} : Beurteilungspegel Tag/Nacht

IO	Gebäude	Deckenfeldschwingung				Innenraumpegel			
		KBFTM	KBFmax	KBFT _r		L _{pAm}	L _{pAmax}	L _{r,Tag}	L _{r,Nacht}
		-	-	Tag	Nacht	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
1	Zollstraße 138	0,185	0,369	0,10	0,04	30,7	35,7	18,2	< 15
		0,167	0,334	0,09	0,04	31,8	36,8	19,3	< 15
		0,182	0,365	0,10	0,04	35,3	40,3	22,8	15,6
		0,151	0,303	0,08	0,04	39,7	44,7	27,2	20,1
2	Haus-Berge-Straße 159	0,263	0,525	0,14	0,06	34,5	39,5	22,0	< 15
		0,248	0,495	0,13	0,06	35,5	40,5	23,0	15,9
		0,304	0,607	0,16	0,07	38,7	43,7	26,1	19,0
		0,293	0,586	0,16	0,07	43,7	48,7	31,2	24,0
3	Zollstraße 122	0,195	0,391	0,10	0,05	31,4	36,4	18,9	< 15
		0,178	0,356	0,09	0,04	32,5	37,5	19,9	< 15
		0,199	0,397	0,11	0,05	35,8	40,8	23,3	16,2
		0,169	0,338	0,09	0,04	40,4	45,4	27,9	20,8
4	Haus-Berge-Straße 133	0,221	0,441	0,12	0,05	32,7	37,7	20,2	< 15
		0,204	0,408	0,11	0,05	33,8	38,8	21,2	< 15
		0,237	0,475	0,13	0,06	37,0	42,0	24,5	17,4
		0,213	0,427	0,11	0,05	41,8	46,8	29,3	22,2
5	Zollstraße 103	0,201	0,402	0,11	0,05	31,7	36,7	19,2	< 15
		0,184	0,368	0,10	0,04	32,8	37,8	20,3	< 15
		0,207	0,415	0,11	0,05	36,1	41,1	23,6	16,5
		0,179	0,358	0,09	0,04	40,8	45,8	28,2	21,1
6	Haus-Berge-Straße 111	0,228	0,456	0,12	0,05	33,1	38,1	20,5	< 15
		0,212	0,424	0,11	0,05	34,1	39,1	21,6	< 15
		0,249	0,498	0,13	0,06	37,3	42,3	24,8	17,7
		0,227	0,454	0,12	0,05	42,2	47,2	29,7	22,5
7	Zollstraße 91	0,175	0,349	0,09	0,04	30,1	35,1	17,6	< 15
		0,157	0,314	0,08	0,04	31,2	36,2	18,7	< 15
		0,168	0,336	0,09	0,04	34,7	39,7	22,2	15,1
		0,136	0,272	0,07	0,03	39,1	44,1	26,5	19,4
8	Haus-Berge-Straße 103	0,185	0,369	0,10	0,04	30,7	35,7	18,2	< 15
		0,167	0,334	0,09	0,04	31,8	36,8	19,3	< 15
		0,182	0,365	0,10	0,04	35,3	40,3	22,8	15,6
		0,151	0,303	0,08	0,04	39,7	44,7	27,2	20,1

AUFTRAGGEBER Lindschulte Ingenieurgesell. mbH Graf-Adolf-Platz 6 40213 Düsseldorf	OBJEKT Stadtquartier Essen 51 Neubau Straßenbahn Schwingungstechn. Untersuchung	ANLAGE-NR. 3.8
		AUFTRAGS-NR. 2019 007 045

Ergebnisse der Immissionsprognose

KBFTM : Taktmaximal-Effektivwert der bewerteten Schwingstärke
KBFmax : maximale bewertete Schwingstärke
KBFTr,Tag/Nacht : Beurteilungs-Schwingstärke Tag/Nacht
LpAm : mittlerer Maximalpegel
LpAmax : absoluter Maximalpegel
Lr,Tag/Nacht: Beurteilungspegel Tag/Nacht

IO	Gebäude	Deckenfeldschwingung				Innenraumpegel			
		KBFTM	KBFmax	KBFTr		LpAm	LpAmax	Lr,Tag	Lr,Nacht
		-	-	Tag	Nacht	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
9	Haus-Berge-Straße 99	0,594	1,188	0,31	0,14	33,5	38,5	21,0	< 15
		0,660	1,320	0,35	0,15	34,9	39,9	22,3	15,2
		0,637	1,274	0,34	0,15	39,0	44,0	26,4	19,3
		0,323	0,646	0,17	0,08	41,6	46,6	29,1	22,0

AUFTRAGGEBER Lindschulte Ingenieurgesell. mbH Graf-Adolf-Platz 6 40213 Düsseldorf	OBJEKT Stadtquartier Essen 51 Neubau Straßenbahn Schwingungstechn. Untersuchung	ANLAGE-NR. 3.9
		AUFTRAGS-NR. 2020 007 045

Ergebnisse der Immissionsprognose

KBFTM : Taktmaximal-Effektivwert der bewerteten Schwingstärke

KBfmax : maximale bewertete Schwingstärke

KBfTr,Tag/Nacht : Beurteilungs-Schwingstärke Tag/Nacht

LpAm : mittlerer Maximalpegel

LpAmax : absoluter Maximalpegel

Lr,Tag/Nacht: Beurteilungspegel Tag/Nacht

IO	Gebäude	Deckenfeldschwingung				Innenraumpegel			
		KBFTM	KBfmax	KBfTr		LpAm	LpAmax	Lr,Tag	Lr,Nacht
		-	-	Tag	Nacht	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
10	Zollstraße 71	0,175	0,349	0,08	0,03	30,1	35,1	15,9	< 15
		0,157	0,314	0,07	0,03	31,2	36,2	17,0	< 15
		0,168	0,336	0,07	0,03	34,7	39,7	20,5	< 15
		0,136	0,272	0,06	0,03	39,1	44,1	24,9	18,0
11	Neubau Zollstraße	0,613	1,226	0,27	0,12	33,8	38,8	19,6	< 15
		0,683	1,366	0,30	0,14	35,1	40,1	21,0	< 15
		0,665	1,331	0,29	0,13	39,2	44,2	25,0	18,2
		0,339	0,677	0,15	0,07	42,0	47,0	27,8	21,0
12	Neubau Zollstraße	0,811	1,622	0,35	0,16	36,4	41,4	22,2	15,4
		0,929	1,857	0,41	0,18	37,6	42,6	23,4	16,6
		0,975	1,949	0,43	0,19	41,5	46,5	27,3	20,5
		0,517	1,035	0,23	0,10	44,8	49,8	30,6	23,8
13	Neubau Zollstraße	0,214	0,428	0,09	0,04	32,4	37,4	18,2	< 15
		0,197	0,394	0,09	0,04	33,4	38,4	19,2	< 15
		0,227	0,454	0,10	0,05	36,7	41,7	22,5	15,7
		0,201	0,402	0,09	0,04	41,5	46,5	27,3	20,4
14	Neubau Zollstraße	0,190	0,380	0,08	0,04	31,1	36,1	16,9	< 15
		0,172	0,345	0,08	0,03	32,1	37,1	18,0	< 15
		0,190	0,381	0,08	0,04	35,6	40,6	21,4	< 15
		0,160	0,320	0,07	0,03	40,1	45,1	25,9	19,1
15	Neubau Zollstraße	0,207	0,415	0,09	0,04	32,0	37,0	17,8	< 15
		0,190	0,381	0,08	0,04	33,1	38,1	18,9	< 15
		0,217	0,434	0,09	0,04	36,4	41,4	22,2	15,4
		0,190	0,379	0,08	0,04	41,1	46,1	26,9	20,1
16	Neubau Zollstraße	0,190	0,380	0,08	0,04	31,1	36,1	16,9	< 15
		0,172	0,345	0,08	0,03	32,1	37,1	18,0	< 15
		0,190	0,380	0,08	0,04	31,1	36,1	16,9	< 15
		0,160	0,320	0,07	0,03	40,1	45,1	25,9	19,1
17	Neubau Zollstraße	0,207	0,415	0,09	0,04	32,0	37,0	17,8	< 15
		0,190	0,381	0,08	0,04	33,1	38,1	18,9	< 15
		0,207	0,415	0,09	0,04	32,0	37,0	17,8	< 15
		0,190	0,379	0,08	0,04	41,1	46,1	26,9	20,1

AUFTRAGGEBER Lindschulte Ingenieurgesell. mbH Graf-Adolf-Platz 6 40213 Düsseldorf	OBJEKT Stadtquartier Essen 51 Neubau Straßenbahn Schwingungstechn. Untersuchung	ANLAGE-NR. 3.10
		AUFTRAGS-NR. 2020 007 045

Ergebnisse der Immissionsprognose

- KBFTM : Taktmaximal-Effektivwert der bewerteten Schwingstärke
- KBFmax : maximale bewertete Schwingstärke
- KBFT_{r,Tag/Nacht} : Beurteilungs-Schwingstärke Tag/Nacht
- L_{pAm} : mittlerer Maximalpegel
- L_{pAmax} : absoluter Maximalpegel
- L_{r,Tag/Nacht} : Beurteilungspegel Tag/Nacht

IO	Gebäude	Deckenfeldschwingung				Innenraumpegel			
		KBFTM	KBFmax	KBFT _r		L _{pAm}	L _{pAmax}	L _{r,Tag}	L _{r,Nacht}
		-	-	Tag	Nacht	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
18	Neubau Zollstraße	0,190	0,380	0,08	0,04	31,1	36,1	16,9	< 15
		0,172	0,345	0,08	0,03	32,1	37,1	18,0	< 15
		0,190	0,380	0,08	0,04	31,1	36,1	16,9	< 15
		0,160	0,320	0,07	0,03	40,1	45,1	25,9	19,1
19	Neubau Zollstraße	0,214	0,428	0,09	0,04	32,4	37,4	18,2	< 15
		0,197	0,394	0,09	0,04	33,4	38,4	19,2	< 15
		0,227	0,454	0,10	0,05	36,7	41,7	22,5	15,7
		0,201	0,402	0,09	0,04	41,5	46,5	27,3	20,4
20	Altendorfer Straße 129	0,241	0,482	0,11	0,05	31,6	36,6	17,4	< 15
		0,360	0,719	0,16	0,07	32,3	37,3	18,1	< 15
		0,576	1,153	0,25	0,11	33,2	38,2	19,0	< 15
		0,308	0,617	0,13	0,06	41,3	46,3	27,1	20,3