

## **Schwingungstechnischer Bericht Nr. 303.3**

### **Verkehrslösung Schöneweide**

#### **von Schnellerstraße bis Sterndamm / Südostallee**

<b>Thema:</b>	Neugestaltung der gemeinsamen Haltestellen für Straßenbahnen und Linienbusse mitsamt den Gleisschleifen der Straßenbahn auf der Südwestseite des Bf. Berlin-Schöneweide und Verschiebung der Straßenbahntrasse im Sterndamm in Mittellage  Einfluss der Baumaßnahme auf die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in benachbarten Gebäuden
<b>Auftraggeber:</b>	Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) über SGT-Plan GmbH Storkower Straße 207b 10369 Berlin  Telefon (030) 201 7706-0
<b>Ortstermin:</b>	Montag, d. 07. September 2015  Weitere Ortstermine wurden im Zusammenhang mit der Bearbeitung der Straßenbahn-Neubaustrecke Adlershof II wahrgenommen.
<b>Anmerkung:</b>	Der Bericht umfasst insgesamt 29 Seiten.  Text                                      Seiten 1 bis 22 Tabellen                                 Seiten T 1 bis T 7  Der Bericht soll nur in Gänze an Dritte weitergegeben werden. Ein auszugsweises Zitieren ist mit dem Verfasser abzustimmen.

Berlin-Charlottenburg,  
im Oktober 2018



Dipl.-Ing. C. Imelmann

## **Inhaltsverzeichnis**

0	Vorbemerkung .....	3
1	Zusammenfassung .....	4
2	Beschreibung der Baumaßnahme aus schwingungstechnischer Sicht, Aufgabenstellung .....	5
3	Verwendete Unterlagen .....	7
4	Erläuterungen zu Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen .....	8
	4.1 Grundlagen und Begriffe .....	8
	4.2 Einflüsse und Minderungsmöglichkeiten .....	9
5	Regelwerk .....	10
	5.1 Regelungen für den Neubau einer Strecke .....	11
	5.2 Kriterien der wesentlichen Erhöhung .....	16
6	Durchführung der Untersuchung .....	17
7	Berechnungsverfahren .....	17
	7.1 Grundlagen .....	17
	7.2 Schwingungstechnische Berechnungen .....	19
8	Ergebnisse der Schwingungstechnischen Berechnungen .....	21

## **Verzeichnis der Tabellen**

Tabelle 1	Ausgewählte Wohnhäuser im Einwirkungsbereich des Vorhabens und deren Abstände zu den Gleisen .....	T 1
Tabelle 2	Schwingungs-Emissionsspektrum Flexity F3 / F8 auf NBS-G / NBS-A und Rahmengleisen .....	T 2
Tabelle 3	Übertragungsfunktionen für Gebäude mit Holz- und Betondeckenaufbau .....	T 3
Tabelle 4	Beispielhafte Berechnung der Erschütterungs- und Sekundärluftschall- immissionen im Prognose-Planfall hier: Wohnhaus Sterndamm 8/8a bei Straßenbahnverkehr auf Gleis 2 (näheres Gleis, Fahrtrichtung Süden) .....	T 4
Tabelle 5	Ergebnisse der Schwingungstechnischen Berechnungen .....	T 5, T 6
Tabelle 6	Ergänzende Beurteilung der Immissionen unter Anwendung der Anhalts- und Immissionsrichtwerte des Regelwerks .....	T 7

## **0 Vorbemerkung**

Die vorliegende Schwingungstechnische Untersuchung ergänzt die Schalltechnische Untersuchung des Unterzeichners zu diesem Vorhaben (Schalltechnischer Bericht Nr. 302.3 „Verkehrslösung Schöneweide von Schnellerstraße bis Sterndamm / Südostallee“). Beide Untersuchungen basieren auf dem Bundes-Immissionsschutzgesetz.

Gegenstand der Schalltechnischen Untersuchung sind die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen des Straßenbahn- und Straßenbaus auf die Luftschallimmissionen im Einwirkungsbereich des Vorhabens. Die Untersuchung wird im Hinblick auf die Frage durchgeführt, ob die künftigen Verkehre zu Immissionsgrenzwertüberschreitungen führen und sich hieraus Anspruchsberechtigung auf passive Schallschutzmaßnahmen dem Grunde nach ergibt.

Gegenstand der Schwingungstechnischen Untersuchung sind die Auswirkungen der geplanten Baumaßnahmen auf die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen benachbarter Gebäude. Bei dieser Untersuchung steht die Frage im Vordergrund, ob die neuen Gleise der Straßenbahn mit zusätzlichen technischen Maßnahmen zur Minderung des Schwingungseintrages in den Boden ausgerüstet werden müssen, um eine wesentliche Erhöhung der bisherigen Immissionen (der Vorbelastung) auszuschließen.

Die Schwingungstechnische Untersuchung zum Neubau der Straßenbahnstrecke von Karl-Ziegler-Straße bis Sterndamm ist Gegenstand des Schwingungstechnischen Berichts Nr. 820.1 „Straßenbahn-Neubaustrecke Adlershof II“. Der Verkehr der Linien M17, 61 und 63 nach Betriebsaufnahme der Neubaustrecke ist in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigt.

## **1 Zusammenfassung**

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind die grundhafte Neugestaltung und Erweiterung der gemeinsamen Haltestellen für Straßenbahnen und Linienbusse der BVG mitsamt den Gleisschleifen der Straßenbahn auf der Südwestseite des Bahnhofs Schöneweide (Haltestelle „S Schöneweide / Sterndamm“) einschließlich der Zulaufstrecken sowie die Verschiebung der Straßenbahntrasse im Sterndamm aus der bestehenden Seitenlage in die Mittellage. Die geplanten Maßnahmen sind im Schalltechnischen Bericht Nr. 302.3 des Unterzeichners „Verkehrslösung Schöneweide von Schnellerstraße bis Sterndamm / Südostallee“ ausführlich beschrieben. Der Schalltechnische Lageplan in Bild 1 jenes Berichts zeigt die Lage der Gleise in Bestand und Planung.

Die vorgesehenen Maßnahmen des Gleisbaus beeinflussen durch die Änderung der Gleislage und den Einsatz einer dem Stand der Technik entsprechenden Gleisbauart mit verbesserten schwingungstechnischen Eigenschaften die Höhe der vom Straßenbahnverkehr hervorgerufenen Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in benachbarten Gebäuden.

Wesentliches Merkmal der geplanten Strecke ist aus schwingungstechnischer Sicht der Einsatz des „Neuen Berliner Straßenbahngleises – NBS“ als Regeloberbau. Es weist positive schwingungstechnische Eigenschaften auf und ersetzt das bislang überwiegend verbaute Rahmengleis sowie das Schottergleis im Bereich der bestehenden Wendeschleife.

Grundsätzlich führen Abstandsverminderungen infolge von Gleisverschiebungen zu einem Anstieg der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in benachbarten Gebäuden. Die Verbesserung der Oberbauart durch die dem Stand der Technik entsprechende Bauart NBS wirkt gegenläufig und führt zu einer Abnahme der Immissionen.

Aufgabe der Schwingungstechnischen Untersuchungen ist es nun, im Vorfeld der Baumaßnahme die zukünftigen Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in Gebäuden mit Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen zu prognostizieren (Prognose-Planfall) und mit den Immissionen zu vergleichen, die ohne

Baumaßnahme dort herrschen würden (Prognose-Nullfall). Hierzu werden beispielhaft ausgewählte Gebäude in repräsentativer Lage betrachtet.

Die entsprechenden Immissionsberechnungen werden auf der Basis vorliegender Emissionsspektren nach einem Rechenverfahren auf Vorschlag der Deutschen Bahn AG unter Annahme eines Worst Case durchgeführt. Dieses Verfahren ist gängig und führt zu Ergebnissen auf der sicheren Seite.

Die Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, dass in keinem Wohnhaus im Einwirkungsbereich des Vorhabens ein Anstieg der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen zu besorgen ist, der zu einer Überschreitung der geltenden Anhalts- beziehungsweise Immissionsrichtwerte des Regelwerks zur Beurteilung der Immissionen führt. In der Mehrheit der Wohnhäuser tritt sogar eine Verbesserung der Immissionsverhältnisse ein.

Angesichts dieses Ergebnisses ist es nicht erforderlich, technische Maßnahmen zur Minderung des Schwingungseintrages von den Gleisen in den Boden vorzusehen, die über den Einsatz des NBS hinausgehen.

## **2 Beschreibung der Baumaßnahme aus schwingungstechnischer Sicht, Aufgabenstellung**

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind die grundhafte Neugestaltung und Erweiterung der gemeinsamen Haltestellen für Straßenbahnen und Linienbusse der BVG mitsamt den Gleisschleifen der Straßenbahn auf der Südwestseite des Bahnhofs Schöneweide (Haltestelle „S Schöneweide / Sterndamm“) einschließlich der Zulaufstrecken sowie die Verschiebung der Straßenbahntrasse im Sterndamm aus der bestehenden Seitenlage in die Mittellage.

Die vorgesehenen Maßnahmen des Gleisbaus beeinflussen durch die Änderung der Gleislage und den Einsatz einer dem Stand der Technik entsprechenden Gleisbauart mit verbesserten schwingungstechnischen Eigenschaften die Höhe der vom

Straßenbahnverkehr hervorgerufenen Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in benachbarten Gebäuden.

Die Abstände zwischen ausgewählten Wohnhäusern und den Gleisen in Bestand und Planung nebst deren Änderungen sind in Tabelle 1 dieses Berichts zusammengefasst.

Anmerkung:

Gemäß den Festlegungen des Regelwerks sind nur Gebäude mit Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen zu betrachten. Daher bleiben in der vorliegenden Untersuchung das Einkaufszentrum Schöneweide, das Bahnhofsgebäude und das Vereinsheim Friedrich-List-Straße 2b unberücksichtigt.

Die größten Abstandsreduzierungen (über 10 m) ergeben sich für die neu gebauten Reihenhäuser Sterndamm 8b-h auf der Südwestseite der Haltestelle S Schöneweide / Sterndamm und für das Wohnhaus Sterndamm 7 auf der Südostseite des Sterndamms. Eine deutliche Zunahme des Abstands tritt für das Wohnhaus Sterndamm 8/8a auf der Nordostseite des Sterndamms ein.

Als Regeloberbau soll das „Neue Berliner Straßenbahngleis – NBS“ mit Asphaltdeckenschluss eingesetzt werden. Es ersetzt das im Straßenraum überwiegend verbaute Rahmengleis sowie das Schottergleis im Bereich der bestehenden Wendeschleife.

Das NBS besteht aus Rillenschienen mit elastischer Schienenfußummantelung oder elastischen Stützpunktlagern auf einer Betontragschicht mit eingegossenen, vorher justierten Zweiblockschwellen. Diese Oberbauart wurde in Zusammenarbeit zwischen den Berliner Verkehrsbetrieben (BVG) und der Industrie entwickelt und hat sich seit Jahren bei Neubau- und Sanierungsstrecken bewährt. Jeweils an die spezifischen Gegebenheiten der Verkehrsbetriebe angepasst, wird das NBS unter dem Namen „Rheda City“ im In- und Ausland eingesetzt. Die nachgewiesenen positiven schwingungstechnischen Eigenschaften werden maßgeblich durch die Elastizität der Schienenlagerung in Verbindung mit der hohen Impedanz der Betonplatte bestimmt.

Grundsätzlich führen Abstandsverminderungen infolge von Horizontalverschiebungen der Gleise zu einem Anstieg der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in benachbarten Gebäuden. Die Verbesserung der Oberbauart durch den Einbau einer dem Stand der Technik entsprechenden Konstruktion wirkt gegenläufig und führt zu einer Abnahme der Immissionen.

Aufgabe der Schwingungstechnischen Untersuchung ist es nun, im Vorfeld der Baumaßnahme die zukünftigen Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in ausgewählten Gebäuden mit Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen zu prognostizieren (Prognose-Planfall) und mit den Immissionen zu vergleichen, die ohne die Baumaßnahme dort herrschen würden (Prognose-Nullfall).

Dies ermöglicht entweder den Nachweis, dass Menschen in Gebäuden künftig keinen spürbar stärkeren Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen aus dem Straßenbahnverkehr im Sinne einer wesentlichen Erhöhung ausgesetzt sein werden beziehungsweise dass die geltenden Anhalts- oder Immissionsrichtwerte eingehalten werden, oder führt zu dem Ergebnis, dass besondere technische Schutzvorkehrungen im Gleisbereich erforderlich sind, um das zulässige Immissionsniveau nicht zu überschreiten.

### **3    *Verwendete Unterlagen***

Es wird auf die Zusammenstellung in Kapitel 3 des Schalltechnischen Berichts verwiesen.

Zusätzlich wurden herangezogen:

- /1/    Körperschall- und Erschütterungsschutz – Leitfaden für den Planer: Beweissicherung, Prognose, Beurteilung und Schutzmaßnahmen, Deutsche Bahn AG, ZBT 511 München (Ausgabe August 1996, berichtigt Februar 1999)
- /2/    Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013
- /3/    DIN 4150-2, Ausgabe:1999-06 Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

## **4 Erläuterungen zu Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen**

### **4.1 Grundlagen und Begriffe**

Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen (unter dem Oberbegriff Schwingungsmissionen) haben ihre Ursache im wesentlichen in dynamischen Erregerkräften in der Kontaktzone zwischen den Rädern des fahrendes Zuges und der Schiene. Die Schwingungen werden über den Oberbau und den Unterbau in den Boden übertragen, breiten sich dort in Wellenform aus und werden über die Fundamente in benachbarte Gebäude eingeleitet. Dort können sie zu wahrnehmbaren Bewegungen der Geschossdecken (Erschütterungen) und zu Schwingungen der Raumbegrenzungsflächen führen, die ihrerseits wieder als Schall abgestrahlt werden (Sekundärer Luftschall).

Erschütterungen bezeichnen tieffrequente Schwingungen eines Gebäudes, die der Mensch mit seinem ganzen Körper wahrnehmen kann, sofern die auftretende Schwinggeschwindigkeit die sog. Fühlschwelle bei 0,1 mm/s übersteigt. Die Schwingungen können insbesondere dann zu Belästigungen führen, wenn Geschossdecken in Resonanz angeregt werden, woraus eine deutliche Verstärkung der Schwingungen resultiert. Je nach Aufbau und Spannweite der Decken liegt der Hauptfrequenzbereich zwischen 10 Hz und 40 Hz. Zur Kennzeichnung der Erschütterungsmissionen dient die bewertete Schwingstärke  $K_B$ , die aus dem gleitenden Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals abgeleitet wird.

Anmerkung:

Im Zusammenhang mit den Erschütterungen können gewisse Erscheinungen auftreten, die oft störender sind als die Erschütterungen selbst (z.B. das bekannte Gläserklirren als Folgeeffekt). Es ist allerdings nicht möglich, hieraus einen Rückschluss auf die Höhe der Erschütterungen zu ziehen, da diese Effekte bereits bei den geringsten Erschütterungsmissionen auftreten können, sogar bei solchen, die unterhalb der Fühlschwelle liegen. Sie sind aber im Regelfall auch leicht zu beseitigen, etwa durch geringfügiges Verschieben der Gläser an einen anderen Platz.



Sekundärer Luftschall entsteht durch Körperschallabstrahlung von Decken und Wänden und kann innerhalb von Gebäuden in der Nachbarschaft von Schienenwegen hörbar sein. Die sekundären Luftschallimmissionen treten meist im Frequenzbereich um 80 Hz auf und werden als dumpfes Grollen wahrgenommen. Zur Kennzeichnung dient der A-bewertete Beurteilungspegel  $L_r$  in dB(A).

Anmerkung:

Bei oberirdischem Schienenverkehr wird der Sekundärluftschall in den Räumen auf der Seite des Schienenweges meist durch den Luftschalleintrag durch die Fenster überlagert, so dass er (wenn er überhaupt als solcher zu hören ist) weniger störend empfunden wird und mit einfachen Mitteln auch nicht gezielt zu messen ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Fenster nur eine geringe Schalldämmung aufweisen und der Schienenweg sehr nah ist. Dieser „primäre“ Luftschall ist Gegenstand der Schalltechnischen Untersuchung auf Grundlage der Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV.

#### **4.2 Einflüsse und Minderungsmöglichkeiten**

Die Stärke der auftretenden Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen wird maßgeblich bestimmt

- durch Art und Zustand von Fahrzeugen und Gleisen, insbesondere durch den Zustand der Kontaktflächen von Rad und Schiene,
- durch den Oberbau, Unterbau und den Untergrund,
- durch den Abstand zwischen dem Gleis und dem Gebäude mit schutzbedürftiger Nutzung,
- durch das Übertragungsverhalten des Bodens (Materialdämpfung),
- durch gebäudespezifische Übertragungsfaktoren,
- durch die Fahrgeschwindigkeit.

Da Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen zumeist mit Resonanzeffekten verbunden sind, ist nach Erfahrungen des Unterzeichners die Fahrgeschwindigkeit von geringerem Einfluss als bei den Luftschallimmissionen.

Zur Minderung von Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen sind über die regelmäßige Wartung der Rad-Schiene-Kontaktzone hinaus (Schleifen der Schienenoberfläche, Bearbeitung unrunder Räder)

- bauliche Maßnahmen im Bereich der Schienen- und Oberbaulagerung (z.B. Unterschottermatten, Elastische Schienen-Stützpunktlager, Kontinuierliche elastische Schienenlagerungen, Masse-Feder-Systeme, Elastische Lagerungen von Schwellen),
- Maßnahmen am Ausbreitungsweg (z.B. Abschirmmatten in Baugrundschnitzen),
- Maßnahmen bei der Gebäudegründung und -konstruktion (z.B. Versteifung von Decken, Abfederung ganzer Gebäude)

möglich und im Einzelfall hinsichtlich ihrer Wirksamkeit nachgewiesen, teilweise aber mit großem baulichen und finanziellen Aufwand verbunden.

Grundsätzlich gilt, dass moderne Fahrzeuge mit wirksamer Primärfederung und guten Radlaufflächen zu deutlich geringeren Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen führen können als Fahrzeuge ohne Primärfederung. Dasselbe gilt für neu verlegte Gleise im Vergleich zu alten. Die Verbesserung bleibt aber nur bei sehr guter Gleis- und Radpflege dauerhaft erhalten.

## **5 Regelwerk**

Die geplante Baumaßnahme liegt im Geltungsbereich des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG). Zweck dieses Gesetzes ist es, Menschen und Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen. Zu den Immissionen im Sinne des Gesetzes

gehören Geräusche (hier zu verstehen als Luftschallabstrahlung innerhalb von Räumen infolge Körperschalleinleitung) und Erschütterungen.

Da allerdings in der Verordnungsermächtigung des § 43 Abs. 1 BImSchG, welche die Grundlage für die 16. BImSchV darstellt, Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen nicht angesprochen werden, fehlt im Verkehrsbereich die Rechtsgrundlage für den Erlass einer der 16. BImSchV entsprechenden Rechtsverordnung. Daher fehlt bei den Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen eine verbindliche Festlegung

- von Grenzwerten sowie von Verfahren zur Ermittlung der Immissionen in Gebäuden, die anhand dieser Grenzwerte zu beurteilen wären,
- von Kriterien, wann ein erheblicher baulicher Eingriff zu einer wesentlichen Erhöhung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen führt, woraus das Erfordernis von entsprechenden Vorsorgemaßnahmen abgeleitet werden könnte.

In der Praxis sind bis zur endgültigen Klärung der rechtlichen und beurteilungstechnischen Fragen Ersatzlösungen eingeführt. Sie werden nachfolgend vorgestellt und im Rahmen der vorliegenden Untersuchung angewendet.

### **5.1 Regelungen für den Neubau einer Strecke**

Die Regelungen für den Neubau einer Strecke gelten auch für einen erheblichen baulichen Eingriff in eine bestehende Strecke, sofern eine vorgeschaltete Untersuchung zu dem Ergebnis führt, dass aus der geplanten Baumaßnahme eine wesentliche Erhöhung der Immissionen resultiert. Die entsprechenden Kriterien sind in Kap. 5.2 dieses Berichts beschrieben.

#### *a) Beurteilung von Erschütterungsmissionen*

Zur Beurteilung von Erschütterungsmissionen in „Wohnungen und vergleichbar genutzten“ Räumen ist die DIN 4150-2 als Äußerung einschlägigen Sachverständigen heranzuziehen. In dieser Norm sind bestimmte Anhaltswerte  $A_u$ ,  $A_o$  und  $A_r$  definiert, mit denen die maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{F_{max}}$  beziehungsweise die Beurteilungs-Schwingstärken  $KB_{FTf}$  (tags) und  $KB_{FTf}$  (nachts) zu vergleichen sind.

Die Werte sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Für Gebäude, die keine Wohnungen oder vergleichbar genutzte Räume enthalten, sind keine Anhaltswerte festgelegt.

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A <sub>u</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>r</sub>	A <sub>u</sub>	A <sub>o</sub>	A <sub>r</sub>
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen 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 angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter der 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.

Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen (Tabelle 1 aus DIN 4150-2 ohne Berücksichtigung von Sonderregelungen für Schienenwege des ÖPNV)

Die Beurteilung erfolgt anhand folgender Kriterien:

- Ist  $KB_{F_{max}}$  kleiner / gleich dem (unteren) Anhaltswert  $A_u$ , dann ist die Anforderung der Norm eingehalten.
- Ist  $KB_{F_{max}}$  größer als  $A_u$  und kleiner / gleich dem (oberen) Anhaltswert  $A_o$ , ist die Bestimmung der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{F_{Tr}}$  erforderlich. Solange  $KB_{F_{Tr}}$  den (Beurteilungs-)Anhaltswert  $A_r$  nicht überschreitet, ist die Anforderung der Norm ebenfalls eingehalten.
- Ist  $KB_{F_{max}}$  größer als der (obere) Anhaltswert  $A_o$ , dann ist die Anforderung der Norm nicht eingehalten.

Für oberirdische Schienenwege des ÖPNV gelten Sonderregelungen. Die DIN 4150-2 erläutert hierzu (Anhang D, zu 6.5.3), dass die Möglichkeiten der Verminderung von Schwingungsemissionen von Schienenwegen zwar begrenzt seien, verweist aber beim innerstädtischen ÖPNV auf positive Erfahrungen mit Maßnahmen im Bereich der Schienenlagerung.

Die Sonderregelungen betreffen das Verfahren der Beurteilung, die Bedeutung der Anhaltswerte  $A_o$  sowie die Höhe der Anhaltswerte  $A_u$  und  $A_r$ :

- Die Beurteilung erfolgt nur anhand der Anhaltswerte  $A_u$  (für  $KB_{F_{max}}$ ) und  $A_r$  (für  $KB_{F_{Tr}}$ ). Beide Anhaltswerte werden um den Faktor 1,5 angehoben.
- Die Anhaltswerte  $A_o$  tags bleiben bei der Beurteilung unberücksichtigt. Der Anhaltswert  $A_o = 0,6$  nachts sollte gebietsunabhängig durch einzelne  $KB_{F_{max}}$  nicht überschritten werden.

Anmerkungen:

- Die Bezeichnung „Anhaltswert“ anstelle von „Richtwert“ oder „Grenzwert“ stellt klar, dass es sich um empfohlene Werte und nicht um gesicherte Grenzwerte handelt. Darüber hinaus soll sie die vergleichsweise große Unsicherheit bei der Ermittlung von Erschütterungsimmissionen und der Beurteilung ihrer Wirkung auf den Menschen widerspiegeln. In diesem Zusammenhang wird auch auf die in Nummer 5.4 und Tabelle 3 der DIN 4150-2 angesprochene Unsicherheitsmarge von 15 % verwiesen.
- Die maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{F_{max}}$  hängt nur von der Höhe der Erschütterungsimmissionen während der Zugvorbeifahrten und nicht von deren Häufigkeit ab. Solange der untere Anhaltswert  $A_u$  eingehalten wird, kommt es bei der Beurteilung der Erschütterungsimmissionen also nicht auf die Zugzahlen an (diese spielen erst bei der Diskussion der Beurteilungs-Schwingstärken  $KB_{F_{Tr}}$  eine Rolle).
- Bei besonders schutzbedürftigen Einwirkungsorten liegt der untere Anhaltswert nachts  $A_u = 0,1$  in Höhe der Fühlschwelle ( $KB = 0,1$  bzw.  $v = 0,1$  mm/s). Hiernach dürfen auch bei größter Immissionsempfindlichkeit der Einwirkungsorte Erschütterungen (gerade) spürbar sein; die oft erhobene Forderung nach absoluter Nichtwahrnehmbarkeit ist aus dem Regelwerk nicht begründbar.

#### b) *Beurteilung von Sekundärluftschallimmissionen*

Die Beurteilungspegel in Wohn- und Schlafräumen werden in Ermangelung rechtlich verbindlicher Grenzwerte hilfsweise mit denselben Immissionsrichtwerten verglichen, die auch der Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV zugrunde liegen. Diese Immissionsrichtwerte ergeben sich unter Anwendung eines Zuschlages von 3 dB(A) aus den Korrektursummanden D zur

Berücksichtigung der Raumnutzung gemäß Tabelle 1 dieser Verordnung und betragen in Wohnräumen 40 dB(A) tags und in Schlafräumen 30 dB(A) nachts. Bei weniger schutzbedürftigen Räumen wie z. B. Vortrags- und Arbeitsräumen steigen die Immissionsrichtwerte je nach Raumnutzung auf 45 dB(A) tags beziehungsweise 50 dB(A) tags. Die Anforderungen bezüglich der Sekundärluftschallimmissionen beschränken sich also nicht auf Wohnräume und vergleichbar genutzte Räume.

Anmerkung:

Die Frage, ob auch bei den Sekundärschallimmissionen den Besonderheiten des Schienenverkehrs in Analogie zu den Regelungen der 16. BImSchV durch einen Abschlag von 5 dB(A) („Schienenbonus“) Rechnung getragen werden soll, ist nicht abschließend geklärt. In der vorliegenden Untersuchung wird der Abschlag berücksichtigt, da aus Sicht des Unterzeichners die Ergebnisse der interdisziplinären Feldstudie zur Einführung des Schienenbonus' vom Ende der 1970er und Anfang der 1980er Jahre in weitgehend gleicher Weise sowohl für den primären als auch für den sekundären Luftschall gelten und keine gesicherten, einen neuen Kenntnisstand wiedergebende Forschungsergebnisse vorliegen, die gegen eine Berücksichtigung dieses Abschlages sprächen.

c) *Kritik an den Regelungen gemäß DIN 4150-2*

Die nachfolgende Tabelle fasst wesentliche Merkmale der Beurteilung und Wahrnehmung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen zusammen. Der Hauptunterschied ist die enge Abstufung der Erschütterungs-Anhaltswerte nach der Art des Gebiets, während die Sekundärluftschallimmissionen gebietsunabhängig beurteilt werden.

Eine Ähnlichkeit besteht insofern, als die Wahrnehmung beider Effekte oft durch andere Einflüsse überlagert wird.

	Erschütterungsmissionen	Sekundärluftschallimmissionen
Gebietseinstufung	Anhaltswerte abhängig von der Art des Gebiets	Richtwerte unabhängig von der Art des Gebiets
Raumnutzung	Anhaltswerte nur für Wohnungen	Richtwerte abhängig von der Raumnutzung
Wahrnehmung	oft durch Folgeeffekte wie das Klirren von Gläsern usw. überlagert	oft durch den Luftschalleintrag durch die Fenster überlagert

Aus Sicht des Unterzeichners sind die Regelungen zur Beurteilung der Erschütterungsimmissionen kritisch zu hinterfragen. Dies betrifft die Gebietsabhängigkeit und der Höhe der Anhaltswerte:

- Gebietsabhängigkeit der Erschütterungs-Anhaltswerte

Erschütterungen, Sekundärer Luftschall und Primärer Luftschall (Luftschalleintrag durch die Fenster) treten ausschließlich innerhalb eines Gebäudes auf, ähnlich den Geräuschen aus haustechnischen Anlagen. Es besteht also keinerlei Bezug zum Wohnumfeld, der die Festlegung gebietsabhängiger Immissionswerte rechtfertigen würde.

Daher erscheint die Abhängigkeit der Erschütterungs-Anhaltswerte von der Art des Gebiets nicht sachgerecht. Dies gilt insbesondere, da sie im Gegensatz zur gebietsunabhängigen Beurteilung der Sekundärluftschallimmissionen, des Luftschalleintrags durch die Fenster und anderer Regelungen aus dem Bereich des baulichen Schallschutzes steht.

- Höhe der Erschütterungs-Anhaltswerte

Da die Wahrnehmung von Erschütterungen oft durch das Auftreten von Folgeeffekten bestimmt wird und diese selbst bei geringsten Erschütterungen auftreten können, erscheint die Festlegung von Anhaltswerten, die in Größenordnung der Fühlschwelle oder knapp darüber liegen, nicht realistisch und steht im Gegensatz zu den Immissionsrichtwerten für Sekundärluftschall und den Luftschalleintrag durch die Fenster, die sich an einer Zumutbarkeitsschwelle orientieren.

Der Unterzeichner plädiert dafür, die bisherigen Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen – angelehnt an die Regelungen für die Sekundärluftschallimmissionen – durch eine gebietsunabhängige Zumutbarkeitsschwelle zu ersetzen. Dies bedeutet aber auch, dass moderate Überschreitungen der Anhaltswerte in Wohngebieten und bei besonders schutzbedürftigen Anlagen gemäß DIN 4150-2, Tabelle 1, Zeilen 4 und 5 nicht überbewertet werden sollten.

In diesem Zusammenhang wird schließlich darauf hingewiesen, dass die Erschütterungsimmissionen vom Straßenbahnverkehr in der Regel niedriger sind als die Erschütterungsimmissionen vom Schwerlast- und Busverkehr auf öffentlichen Straßen, die – im Gegensatz zu den Erschütterungsimmissionen vom Straßenbahnverkehr – beim Bau einer Straße nur in Sonderfällen Gegenstand einer Schwingungstechnischen Untersuchung sind. Auch dies spricht gegen eine allzu strenge Beurteilung der Erschütterungsimmissionen vom Straßenbahnverkehr.

## **5.2 Kriterien der wesentlichen Erhöhung**

Nach der Fertigstellung der baulichen Maßnahme (Prognose-Planfall) darf keine wesentliche Erhöhung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen gegenüber der Vorbelastung (Prognose-Nullfall) auftreten.

### *a) Beurteilung von Erschütterungsimmissionen*

Unter einer wesentlichen Erhöhung der Erschütterungsimmissionen wird eine Zunahme der Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FTF}$  um mindestens 25 % der Vorbelastung verstanden. Dabei wird eine prognostizierte maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax} = 0,4$  noch als zumutbar angesehen.

### *b) Beurteilung von Sekundärluftschallimmissionen*

Eine wesentliche Erhöhung des A-Bewerteten Sekundärluftschallpegels kann analog zu den Regelungen der Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV mit einer Differenz der Beurteilungspegel größer als 2,0 dB(A) begründet werden. Liegt eine wesentliche Erhöhung vor, sind die Beurteilungspegel in schutzbedürftigen Räumen – in Ermangelung rechtlich verbindlicher Grenzwerte – hilfsweise mit denselben Immissionsrichtwerten zu vergleichen, die auch der Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 24. BImSchV zugrunde liegen.



## **6 Durchführung der Untersuchung**

Gemäß den Regelungen für den Umbau einer Straßenbahnstrecke werden in der vorliegenden Untersuchung die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen für die Vergleichsfälle ohne und mit Baumaßnahme (Prognose-Nullfall und Prognose-Planfall) ermittelt und unter Anwendung der Kriterien der wesentlichen Erhöhung miteinander verglichen. Die Ermittlung erfolgt auf rechnerischem Wege unter Anwendung eines Verfahrens gemäß Vorschlag der Deutschen Bahn AG /1/.

Im Zentrum der Untersuchung stehen also die Berechnung

- der maximalen bewerteten Schwingstärken  $KB_{F_{max}}$  und der Beurteilungsschwingstärken  $KB_{F_{Tr}}$  (tags) und  $KB_{F_{Tr}}$  (nachts),
- der maximalen A-bewerteten Sekundärluftschallpegel  $L_{A_{max}}$  und der Beurteilungspegel  $L_r$  (tags) und  $L_r$  (nachts).

Das Berechnungsverfahren für die beiden Vergleichsfälle ohne und mit Baumaßnahme ist identisch. Es wird an beispielhaft ausgewählten Wohnhäusern in repräsentativer Lage unter einem Worst Case-Ansatz durchgeführt. Maßgeblich für die Auswahl der Häuser ist ein geringer Abstand zu den Gleisen. Bei weiter zurückliegenden Wohnhäusern ist von tendenziell ähnlichen Ergebnissen bei einem geringeren Wertenniveau auszugehen.

## **7 Berechnungsverfahren**

### **7.1 Grundlagen**

Die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in den untersuchten Gebäuden ergeben sich aus den Emissionsspektren des Straßenbahnverkehrs, der Abstands- und Materialdämpfung im Boden sowie den Übertragungsfunktionen, die zur Charakterisierung der gebäudespezifischen Eigenschaften angesetzt werden und die Schwingungsweiterleitung vom Boden ins Fundament und vom Fundament zu den Geschosdecken beschreiben.

Die Emissionsspektren des Straßenbahnverkehrs wurden unter betriebsüblichen Bedingungen an einem neu gebauten NBS im Bauabschnitt 2.1 der Straßenbahn-Nordsüdtangente zwischen den Haltestellen Rüdickenstraße und Arnimstraße gemessen. Nähere Einzelheiten zeigt Tabelle 2.

Anmerkung:

Der charakteristische Verlauf der Spektren mit einem ausgeprägten Maximum um 100 Hz spiegelt wider, dass beim Straßenbahnverkehr der Körperschalleintrag in der Regel eher zu Immissionskonflikten führt als die tieffrequenten Erschütterungen.

Die Übertragungsfunktionen für Gebäude mit Beton- und Holzbalkendeckenaufbau sind dem Leitfaden /1/ entnommen. Die beiden unter realen Verhältnissen maßgeblichen Übertragungsfunktionen für Betondecken und Holzbalkendecken sind in Tabelle 3 dargestellt.

Da der Deckenaufbau des jeweils betrachteten Gebäudes in seinen Einzelheiten nicht bekannt ist, wurden die Berechnungen einmal unter der Annahme durchgeführt, es handele sich um ein Gebäude mit Holzbalkendeckenaufbau, und ein weiteres Mal unter der Annahme, es handele sich um ein Gebäude mit Betondeckenaufbau. Bei der Annahme von Holzbalkendecken werden die typischen Deckenresonanzfrequenzen 10 Hz, 12,5 Hz, 16 Hz und 20 Hz angesetzt, bei der Annahme von Betondecken die typischen Deckenresonanzfrequenzen 20 Hz, 25 Hz, 31,5 Hz und 40 Hz. Durch Variation der Deckenresonanzfrequenzen werden die Ergebnisse in Form einer Spanne ermittelt. Für die Beurteilung der Immissionen werden die Höchstwerte aus den beiden Berechnungsvarianten „Holz“ und „Beton“ herangezogen. Durch diesen Worst Case-Ansatz liegen die Ergebnisse – unabhängig von den tatsächlichen Eigenschaften des betrachteten Gebäudes – auf der sicheren Seite.

Anmerkung:

- Überschreiten die Ergebnisse der Variationsrechnung die zur Beurteilung herangezogenen Immissionswerte, bedeutet das nicht, dass in dem betrachteten Gebäude auch tatsächlich Überschreitungen auftreten. Es bedeutet nur, dass in ungünstigsten Fällen Überschreitungen nicht ausgeschlossen werden können.

Für die Abstands- und Materialdämpfung wird gemäß dem Leitfaden /1/ eine frequenzabhängig abgestufte Pegelminderung zwischen 0 dB und 11,4 dB je Entfernungsverdopplung angesetzt. Wegen der Anwendung des Taktmaximalverfahrens

auf Basis einer Taktdauer von 30 s gehen nur die Mindestentfernungen zwischen den Gebäuden und den Gleisachsen in die Berechnung ein.

## **7.2 Schwingungstechnische Berechnungen**

Die Berechnungen der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen für den Prognose-Planfall sind beispielhaft für das Wohnhaus Sterndamm 8/8a in Tabelle 4 dokumentiert. Das Beispiel gilt für die Immissionen von Gleis 2 in Fahrtrichtung Süden.

Die linke Seite der Tabelle zeigt die vollständige Einzelberechnung für die Übertragungsfunktion einer Holzbalkendecke gemäß Tabelle 3 mit einer typischen Deckenresonanzfrequenz von 16 Hz. Es ergeben sich

- die maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax} = 0,108$
- der maximale A-bewertete Sekundärluftschallpegel  $L_{Amax} = 27,8 \text{ dB(A)}$ .

Die Ergebnisse der Mehrfachberechnung bei Variation der Übertragungsfunktionen und Deckenresonanzfrequenzen zeigt die rechte Seite der Tabelle in Form einer Matrix. Die oben genannten Werte von  $KB_{Fmax}$  und  $L_{Amax}$  finden sich in der Spalte für die Übertragungsfunktion ÜF 4 und in den Zeilen für die Deckenresonanzfrequenz  $f = 16 \text{ Hz}$  wieder.

Die unterhalb der Matrix angegebenen Spannen gelten bei Berücksichtigung aller in /1/ dokumentierten Übertragungsfunktionen für Beton- und Holzbalkendecken (graue Zahlen) beziehungsweise bei Konzentration auf die unter realen Verhältnissen maßgeblichen Funktionen (schwarze Zahlen). Zieht man nun die Höchstwerte aus den realen Spannen für die Beurteilung der Immissionsverhältnisse heran und lässt den Deckenaufbau unberücksichtigt, ergeben sich die maximalen bewerteten

Schwingstärken  $KB_{F_{max}}$  und die maximalen A-bewerteten Sekundärluftschallpegel  $L_{A_{max}}$  der folgenden Tabelle (ergänzt mit den Ergebnissen für das etwas weiter vom Haus entfernte Gleis 1 in Fahrtrichtung Norden).

	Maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$	Maximaler A-bewerteter Sekundärluftschallpegel $L_{A_{max}}$
Prognose-Planfall Gleis 1	0,126	33,0 dB(A)
Prognose-Planfall Gleis 2	0,173	36,0 dB(A)

Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen - Maximalwerte.

Die Beurteilungs-Schwingstärken  $KB_{FT_r}$  (tags) und  $KB_{FT_r}$  (nachts) ergeben sich nach dem Taktmaximalverfahren aus den Höchstwerten  $KB_{F_{max}}$  unter Berücksichtigung der Zugzahlen  $N_T$  (tags) und  $N_N$  (nachts) und unter Ansatz einer fiktiven Vorbeifahrtzeitdauer von 30 s. Hierbei gelten die Beziehungen

$$KB_{FT_r, tags} = KB_{F_{max}} \sqrt{\frac{N_T \cdot 30}{16 \cdot 60 \cdot 60}} \quad \text{und} \quad KB_{FT_r, nachts} = KB_{F_{max}} \sqrt{\frac{N_N \cdot 30}{8 \cdot 60 \cdot 60}}$$

Die entsprechenden Ausdrücke zur Berechnung der Beurteilungspegel lauten

$$L_{r, tags} = L_{A_{max}} + 10 \log \frac{N_T \cdot 30}{16 \cdot 60 \cdot 60} \text{ dB(A)} \quad \dots \text{ und } \dots \quad L_{r, nachts} = L_{A_{max}} + 10 \log \frac{N_N \cdot 30}{8 \cdot 60 \cdot 60} \text{ dB(A)}$$

Bei zweigleisigen Strecken müssen die Immissionen beider Gleise energetisch addiert werden. Mit künftig  $N_T = 216$  Zugfahrten tags und  $N_N = 54$  Fahrten nachts je Richtung (Linie 60 zzgl. die Linien M17, 61 und 63 von der geplanten Neubau-strecke Adlershof II) ergeben sich schließlich die Beurteilungsgrößen der folgenden Tabelle.

	Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT_r}$		Beurteilungspegel $L_r$	
	tags	nachts	tags	nachts
Prognose Gleis 1	0,042	0,030	23,5 dB(A)	20,5 dB(A)
Prognose Gleis 2	0,058	0,041	26,5 dB(A)	23,5 dB(A)
Prognose beide Gleise	0,072	0,051	28,3 dB(A)	25,3 dB(A)

Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen - Beurteilungswerte.

Die Beurteilung der Ergebnisse wird im folgenden Kapitel erläutert.

## 8 Ergebnisse der Schwingungstechnischen Berechnungen

Die Ergebnisse der Schwingungstechnischen Untersuchung an den beispielhaft ausgewählten Wohnhäusern sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Der Inhalt der Spalten ist wie folgt:

Spalten 1 bis 8:	Allgemeine Angaben zum betrachteten Gebäude, Eingangsgrößen der Berechnung.
Spalten 11, 12, 13:	Maximale bewertete Schwingstärken $KB_{F_{max}}$ und Beurteilungs- Schwingstärken $KB_{F_{Tr}}$ tags und nachts für jedes Gleis und in der Summe (Zeile „ $\Sigma$ “).
Spalten 11a, 12a, 13a:	Vergleich der resultierenden maximalen bewerteten Schwing- stärken $KB_{F_{max}}$ und der Beurteilungs-Schwingstärken $KB_{F_{Tr}}$ im Prognose-Nullfall und Prognose-Planfall.
Spalten 21, 22, 23:	Maximale A-bewertete Sekundärluftschallpegel $L_{A_{max}}$ und Beur- teilungspegel $L_r$ tags und nachts für jedes Gleis und in der Summe (Zeile „ $\Sigma$ “).
Spalten 21a, 22a, 23a:	Vergleich der maximalen A-bewerteten Sekundärluftschallpegel $L_{A_{max}}$ und der Beurteilungspegel $L_r$ im Prognose-Nullfall und Prognose-Planfall.

Die Untersuchung kommt zu folgendem Ergebnis:

An den untersuchten Gebäuden

Brückenstr. 31 Ecke Schnellerstr. 129  
Schnellerstr. 128 Ecke Brückenstraße  
Sterndamm 8/8a  
Sterndamm 13

tritt eine Minderung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen ein.  
Dies bezieht sich sowohl auf die Maximalwerte als auch auf die Beurteilungsgrö-  
ßen. Für diese Objekte ist die Untersuchung beendet.

An den Gebäuden

Sterndamm 8b-h  
Sterndamm 7  
Sterndamm 11

resultiert aus dem Vorhaben eine Zunahme der maximalen bewerteten Schwing-  
stärke  $KB_{F_{max}}$ , der Beurteilungs-Schwingstärken  $KB_{F_{Tr}}$ , des maximalen A-bewer-  
teten Sekundärluftschallpegels  $L_{A_{max}}$  oder der Beurteilungspegel  $L_r$ , die in Einzel-

fällen die Kriterien der wesentlichen Erhöhung erfüllt (mehr als 25% beziehungsweise 2 dB(A)). Dies erfordert die Anwendung der in Kap. 5.1 beschriebenen Regeln für die Beurteilung von Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen auf die Ergebnisse für den Prognose-Planfall.

Die entsprechende Beurteilung ist in Tabelle 6 durchgeführt. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass – trotz des Anstiegs der Immissionen – sowohl die Anhaltswerte für die Beurteilung der Erschütterungsimmisionen als auch die Immissionsrichtwerte für die Beurteilung der Sekundärluftschallimmissionen eingehalten werden.

Zusammengefasst ist in keinem der als repräsentativ untersuchten Wohnhäuser im Einwirkungsbereich des Vorhabens ein Anstieg der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen zu besorgen, der zu einer Überschreitung der geltenden Anhalts- beziehungsweise Immissionsrichtwerte des Regelwerks zur Beurteilung der Immissionen führt. Da andere Wohnhäuser in größerem Abstand liegen, ist dieses Ergebnis zu verallgemeinern und gilt somit für alle Wohnhäuser im Einwirkungsbereich des Vorhabens. In der Mehrheit der Wohnhäuser tritt sogar eine Verbesserung der Immissionsverhältnisse ein.

Vor diesem Hintergrund ist es nicht erforderlich, technische Maßnahmen zur Minderung des Schwingungseintrages von den Gleisen in den Boden vorzusehen, die über den Einsatz des NBS hinausgehen.

1	2	3	Prognose-Nullfall			Prognose-Planfall			10	11	
			4	5		6	7	8			
				Abstand Haus Gleisachse	tags			nachts			Abstand Haus Gleisachse
Brückenstr. 31 / Schnellerstr. 129	Wohnhaus (MI)	Gleis 1 Gleis 2	11,58 m	309	52	11,53 m	309	52	-0,05 m	-0,5 %	
			8,58 m	309	52	8,40 m	309	52	-0,18 m	-2,1 %	
Schnellerstr. 128 / Brückenstraße	Wohnhaus (MI)	Gleis 1 Gleis 2	7,82 m	309	52	7,94 m	309	52	0,11 m	1,5 %	
			10,82 m	309	52	11,12 m	309	52	0,30 m	2,7 %	
Sterndamm 8b-h	Wohnhäuser (WA)	nächstes	41,96 m	261	40	25,76 m	165	11	-16,20 m	-38,6 %	
Sterndamm 8/ 8a	Wohnhaus (WA)	Gleis 1 Gleis 2	8,47 m	48	12	20,75 m	216 *)	54 *)	12,28 m	144,9 %	
			5,47 m	48	12	17,24 m	216 *)	54 *)	11,77 m	215,0 %	
Sterndamm 7	Wohnhaus (WA)	Gleis 1 Gleis 2	55,00 m	48	12	42,78 m	216 *)	54 *)	-12,22 m	-22,2 %	
			58,00 m	48	12	46,31 m	216 *)	54 *)	-11,69 m	-20,2 %	
Sterndamm 11	Wohnhaus (WA)	Gleis 1 Gleis 2	44,05 m	48	12	36,05 m	216 *)	54 *)	-8,00 m	-18,2 %	
			47,07 m	48	12	39,56 m	216 *)	54 *)	-7,52 m	-16,0 %	
Sterndamm 13	Wohnhaus (WA)	Gleis 1 Gleis 2	33,95 m	48	12	32,45 m	48	12	-1,50 m	-4,4 %	
			36,98 m	48	12	35,78 m	48	12	-1,20 m	-3,2 %	

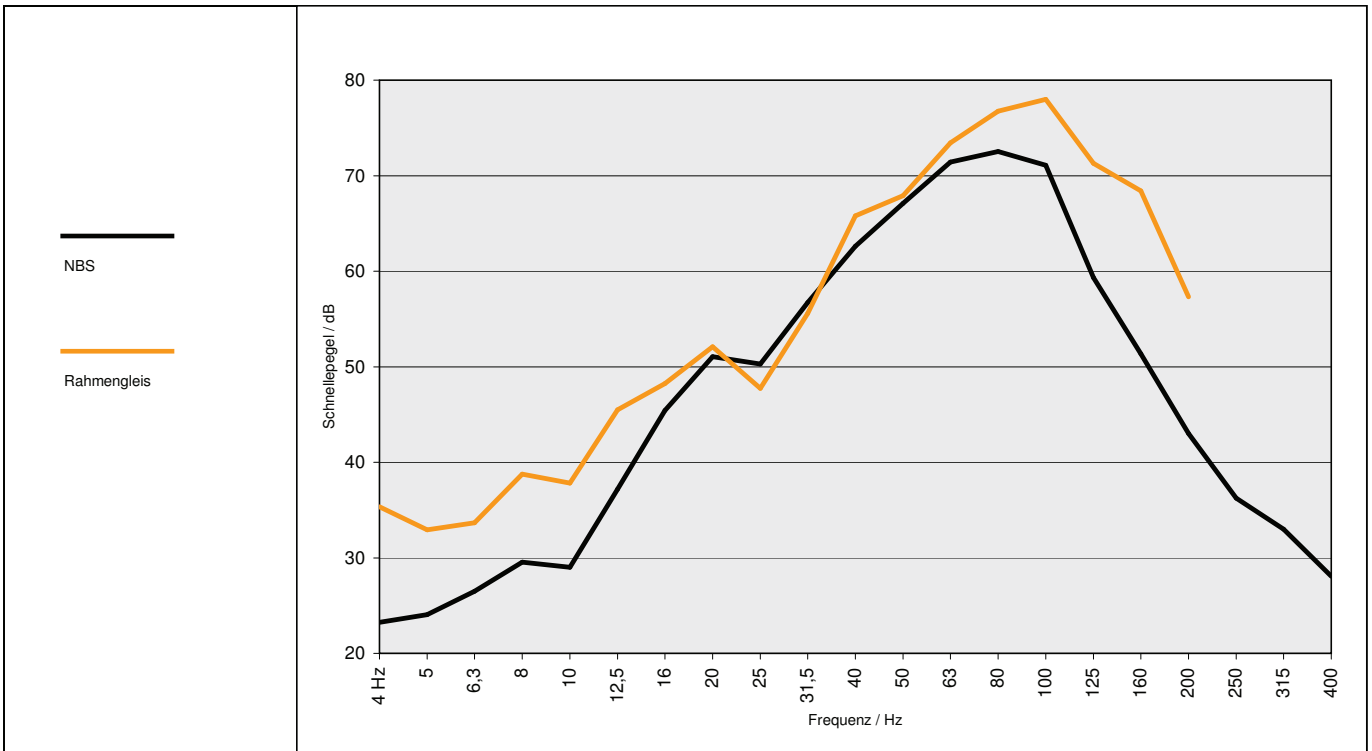
\*) mit Berücksichtigung der Neubaustrecke Adlershof II

Tabelle 1  
Ausgewählte Wohnhäuser im Einwirkungsbereich des Vorhabens und deren Abstände zu den Gleisen

### Schwingungs-Emissionsspektrum Flexity F3 / F8 auf NBS-G / NBS-A

Messort	Straßenbahn-Nordsüd-Tangente M5 / M17, Bauabschnitt 2.1, zw. Hst. Rüdickenstraße und Arnimstraße in Höhe Z-Überweg bei km 0+604,520 bis 0+616,290
Gleis Oberbau	Gleis 1 (in Richtung stadteinwärts) W 49 NBS-A 75 mit Anschraubschiene, unmittelbar angrenzend W 49 NBS-G 75
Sensoren Abstand Messort - Gleisachse Datum	Zwei Geophone mit vertikaler Wirkungsrichtung mittels Vorrichtungen gemäß DIN 45669-2 auf Gehwegplatten ca. 6,50 m (Kanal A) und 9,30 m (Kanal B) 12. Juni 2013

Fahrt					Terzpegelspektrum der Schwinggeschwindigkeit in dB (re 5 * 10 <sup>-8</sup> m/s) - Vertikalkomponente																					Σ		
interne Nr.	Fahrzeug	Zeit	Fahrt-richtung	Mess-abstnd	4 Hz	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400			
205	F8	12:35	einw.	6,50m	22,1	22,5	25,2	25,8	25,3	39,0	46,5	49,7	53,7	60,0	67,8	66,7	71,5	73,6	69,7	59,5	53,2	45,6	39,7	37,5	27,5	77,8		
209	F8	12:47	einw.	6,50m	22,4	26,0	43,7	46,2	49,4	48,1	54,8	55,7	55,5	65,8	66,4	80,7	88,7	92,8	83,3	71,3	72,5	61,3	60,5	57,5	55,7	94,8		
213	F8	12:56	einw.	6,50m	27,7	31,2	31,8	26,4	28,7	38,5	46,7	53,7	51,7	60,8	64,3	70,8	78,6	82,4	82,1	72,3	63,2	55,9	49,4	42,0	34,8	86,5		
216	F8	13:07	einw.	6,50m	23,3	23,3	24,4	27,9	29,0	36,2	43,2	51,1	52,6	59,1	66,3	66,5	72,5	74,7	80,9	62,0	54,9	48,9	43,4	40,4	31,1	82,6		
221	F8	13:15	einw.	6,50m	23,8	22,0	25,0	30,9	30,9	34,1	44,6	51,8	52,8	61,1	65,0	65,7	70,5	69,7	67,2	55,2	49,7	45,1	39,9	38,6	31,5	75,4		
225	F8	13:26	einw.	6,50m	22,7	22,1	22,5	29,5	30,9	36,3	44,4	51,1	49,6	59,2	63,9	64,2	70,3	69,2	68,8	54,5	47,7	42,6	38,4	37,1	31,1	75,2		
229	F3	13:37	einw.	6,50m	22,0	24,5	25,0	25,9	23,4	38,6	47,2	47,2	53,4	58,3	68,7	71,8	72,5	77,5	67,8	56,0	52,8	42,2	40,3	37,0	29,0	80,2		
233	F8	13:46	einw.	6,50m	22,2	26,1	25,6	27,4	27,4	38,2	45,6	51,1	50,2	59,7	62,9	67,6	70,3	75,5	70,7	55,7	50,7	43,8	40,1	39,0	30,2	78,3		
Mittelwert 6,50m					23,3	24,7	27,9	30,0	30,6	38,6	46,6	51,4	52,4	60,5	65,7	69,2	74,4	76,9	73,8	60,8	55,6	48,2	44,0	41,1	33,9	81,3		
Korrektur 6,50m > 8,00m					0,0	0,0	0,0	0,0	-1,4	-1,4	-1,4	-2,0	-2,0	-2,9	-2,9	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4		
Mittelwert 8,00m					23,3	24,7	27,9	30,0	29,2	37,2	45,2	49,4	50,5	57,6	62,8	65,8	70,9	73,5	70,4	57,4	52,1	44,7	40,6	37,7	30,4		77,3	
205	F8	12:35	einw.	9,30m	22,0	22,2	26,9	26,0	27,0	39,0	45,8	49,6	49,0	54,0	62,7	64,6	67,7	67,1	64,6	54,9	44,3	34,3	25,6	22,8	22,0	72,9		
209	F8	12:47	einw.	9,30m	22,2	22,8	29,7	35,4	29,5	35,7	48,4	56,9	51,8	57,2	62,7	74,4	80,0	80,8	76,5	63,4	60,8	49,3	38,2	32,7	27,7	84,8		
213	F8	12:56	einw.	9,30m	22,0	22,1	22,9	27,8	27,7	35,6	43,5	52,2	49,7	55,9	59,5	67,8	72,3	73,7	76,4	65,9	50,4	43,1	33,1	29,4	24,1	79,8		
216	F8	13:07	einw.	9,30m	23,9	22,0	22,8	30,1	27,6	35,1	41,5	52,2	48,7	52,2	59,2	63,0	67,3	65,7	73,9	60,7	46,8	42,8	30,4	26,0	22,4	75,8		
221	F8	13:15	einw.	9,30m	22,5	22,1	25,5	29,6	29,0	33,1	43,2	51,6	49,8	54,1	58,8	63,2	67,0	64,7	65,0	57,7	45,5	35,8	27,9	23,8	23,2	71,8		
225	F8	13:26	einw.	9,30m	22,0	22,1	24,6	28,3	28,5	35,1	43,1	52,2	47,2	51,8	58,3	61,8	67,3	63,6	67,3	57,8	45,4	34,7	28,4	25,2	22,1	72,1		
229	F3	13:37	einw.	9,30m	22,0	24,2	24,1	27,8	25,8	37,9	47,2	44,9	45,8	50,7	62,2	66,9	67,4	68,1	62,4	53,9	45,4	34,6	25,7	22,8	22,0	73,2		
233	F8	13:46	einw.	9,30m	29,1	29,6	24,4	27,9	27,1	37,8	44,3	50,3	47,5	53,6	59,1	65,4	66,3	68,5	68,4	55,8	46,1	35,8	26,4	23,6	22,0	73,7		
Mittelwert 9,30m					23,2	23,4	25,1	29,1	27,8	36,2	44,6	51,2	48,7	53,7	60,3	65,9	69,4	69,0	69,3	58,8	48,1	38,8	29,5	25,8	23,2		75,5	
Korrektur 9,30m > 8,00m					0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,4	1,4	2,1	2,1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5		
Mittelwert 8,00m					23,2	23,4	25,1	29,1	28,8	37,2	45,7	52,7	50,1	55,8	62,4	68,4	71,9	71,5	71,8	61,3	50,6	41,3	31,9	28,3	25,7		77,4	
mittl. Emissionsspektrum NBS					23,2	24,1	26,5	29,6	29,0	37,2	45,4	51,1	50,3	56,7	62,6	67,1	71,4	72,5	71,1	59,3	51,3	43,0	36,3	33,0	28,1		77,3	
mittl. Emissionsspektrum Rahmengleis					35,4	32,9	33,7	38,8	37,8	45,5	48,3	52,1	47,7	55,6	65,8	67,9	73,4	76,8	78,0	71,3	68,4	57,3						



Hinweis: Zur Ermittlung des Emissionsspektrums für das Rahmengleis wurden Vergleichsmessungen an unterschiedlichen Oberbauformen aus den Jahren 1998 bis 2008 herangezogen.

Tabelle 2  
Schwingungs-Emissionsspektrum Flexity F3 / F8 auf NBS-G / NBS-A und Rahmengleisen



		$f / f_0 = \text{Verhältnis der betrachteten Frequenz zur Resonanzfrequenz der Decke}$																									
		0,063	0,08	0,1	0,125	0,16	0,2	0,25	0,315	0,4	0,5	0,63	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
<b>Beton</b>	<sup>1)</sup>	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	1	2	6	13	4	0	-2	-2,5	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
<b>Holz</b>	<sup>2)</sup>			0	0	1	2	3	4	5,5	7	10	17	21	11	6	2	-3	-5	-7	-9	-11	-13	-15	-17	-19	-21

- 1) Übertragungsmaß vom Baugrund zur Decke für Gebäude mit Betondeckenaufbau (Mittelwert in dB)  
2) dito für Gebäude mit Holzbalkendeckenaufbau

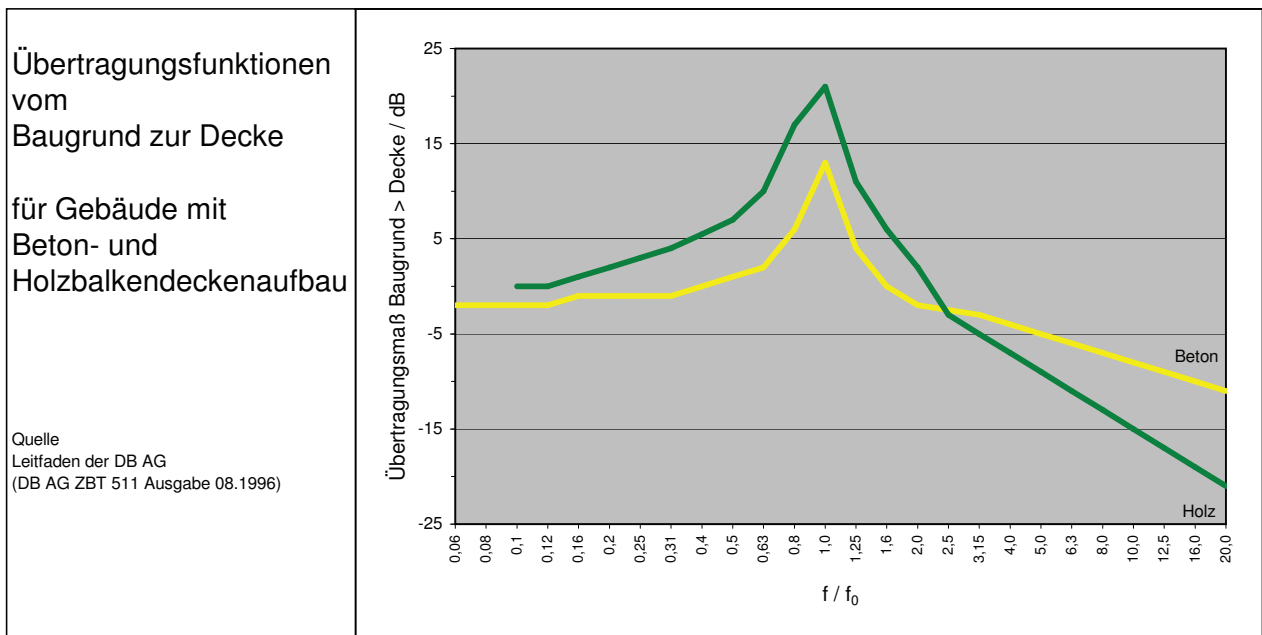


Tabelle 3  
Übertragungsfunktionen für Gebäude mit Holz- und Betondeckenaufbau

<b>Kennziffer für die Übertragungsfunktion</b>	
Beton (MW+Std --> 1/ MW --> 2 / MW-Std --> 3):	
Holz (2.OG --> 4 / 1. OG --> 5 / EG --> 6):	<b>4</b>
<b>Resonanzfrequenz d. Decke (f = 10 Hz ... 40 Hz)</b>	<b>16 Hz</b>

<b>Kennziffer für Fahrzeuge / Fahrbahn</b>	
Flexity / NBS --> 1      GT / NBS --> 2	
Flexity + GT / NBS --> 3      Flexity / Rahmengleis --> 10	<b>1</b>
<b>Abstand Bezugspunkt / Gleisachse</b>	<b>17,24 m</b>

Erschütterungsprognose / Einzelberechnung		
Zeile 1:	LE	Emissionsspektrum Flexity / NBS
Zeile 2:	LM	Einfügungsdämmung elastischer Lagerungen oder anderer dämmender Maßnahmen
Zeile 3:	LB	Entfernungsbedingte Pegelabnahme
Zeile 4:	LG	Übertragungsfunktion Gebäude außen --> innen
Zeile 5:	LvR	Pegel der Deckenschnelle im Raum
Zeile 6:	KB	KB-Bewertung
Zeile 7:	LvRKB	KB-bewerteter Pegel der Deckenschnelle
Zeile 8:	KBFmax	KB bewertete Deckenschnelle in mm/s (mittlerer Maximalwert)

f / Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	ges.
1) LE	23,2	24,1	26,5	29,6	29,0	37,2	45,4	51,1	50,3	56,7	62,6	67,1	71,4	72,5	
2) LM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3) LB	0,0	0,0	0,0	0,0	-5,3	-5,3	-5,3	-7,3	-7,3	-10,7	-10,7	-12,7	-12,7	-12,7	
4) LG	3,0	4,0	5,5	7,0	10,0	17,0	21,0	11,0	6,0	2,0	-3,0	-5,0	-7,0	-9,0	
5) LvR	26,2	28,1	32,0	36,6	33,7	48,9	61,1	54,7	49,0	48,0	48,9	49,4	51,7	50,8	
6) KB	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	
7) LvRKB	21,5	24,5	29,5	34,8	32,5	48,1	60,6	54,4	48,7	47,9	48,8	49,4	51,7	50,8	63,1
8) KBFmax															0,108

<b>KBFmax</b>	<b>0,108</b>
---------------	--------------

Sekundärluftschallprognose / Einzelberechnung		
Zeile 6:	A	A-Bewertung
Zeile 7:	LvRA	A-bewerteter Pegel der Deckenschnelle
Zeile 8:	LAmx	A-bewerteter Schalldruckpegel

f / Hz	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	ges.
1) LE	45,4	51,1	50,3	56,7	62,6	67,1	71,4	72,5	71,1	59,3	51,3	43,0	36,3	33,0	
2) LM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3) LB	-5,3	-7,3	-7,3	-10,7	-10,7	-12,7	-12,7	-12,7	-12,7	-12,7	-12,7	-12,7	-12,7	-12,7	
4) LG	21,0	11,0	6,0	2,0	-3,0	-5,0	-7,0	-9,0	-11,0	-13,0	-15,0	-17,0	-19,0	-21,0	
5) LvR	61,1	54,7	49,0	48,0	48,9	49,4	51,7	50,8	47,4	33,7	23,7	13,3	4,6	-0,7	
6) A	-56,7	-50,5	-44,7	-39,4	-34,6	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	
7) LvRA	4,4	4,2	4,3	8,6	14,3	19,2	25,5	28,3	28,3	17,6	10,3	2,4	-4,0	-7,3	
8) LAmx															27,8

<b>LAmx</b>	<b>27,8 dB(A)</b>
-------------	-------------------

<b>Erschütterungsprognose / Mehrfachberechnung</b>						
--	--	--	--	--	--	--

f / Hz:	ÜF:					
	1	2	3	4	5	6
	Beton			Holz		
10				0,044	0,065	0,061
12,5				0,063	0,075	0,065
16				0,108	0,093	0,070
20	0,233	0,094	0,049	0,158	0,118	0,075
25	0,247	0,101	0,041			
31,5	0,291	0,120	0,049			
40	0,387	0,173	0,071			
<b>Spanne</b>	0,041 .. 0,387			0,044 .. 0,158		
	0,094 .. 0,173			0,044 .. 0,158		

<b>Sekundärluftschallprognose / Mehrfachberechnung</b>						
--	--	--	--	--	--	--

f / Hz:	ÜF:					
	1	2	3	4	5	6
	Beton			Holz		
10				23,8	31,0	31,0
12,5				25,8	31,9	31,9
16				27,8	32,7	32,5
20	42,4	33,0	31,0	29,9	33,8	32,9
25	42,6	33,9	30,0			
31,5	43,0	34,8	27,5			
40	44,0	36,0	28,1			
<b>Spanne</b>	27,5 .. 44,0 dB(A)			23,8 .. 33,8 dB(A)		
	33,0 .. 36,0 dB(A)			23,8 .. 29,9 dB(A)		

Tabelle 4  
Beispielhafte Berechnung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen im Prognose-Planfall  
hier: Wohnhaus Sterndamm 8/8a bei Straßenbahnverkehr auf Gleis 2 (näheres Gleis, Fahrtrichtung Süden)

1	2	3	4	5	6	7	8	Auswertung Erschütterungen						Auswertung Sekundärer Luftschall					
								11	11a	12	12a	13	13a	21	21a	22	22a	23	23a
Objekt	Szenario	Gleis	Emissions- spektrum	Linien	Anzahl Züge tags	Anzahl Züge nachts	Abstand Haus Gleisachse	KBfmax	KBfmax Änderung	KBfTr tags	KBfTr tags Änderung	KBfTr nachts	KBfTr nachts Änderung	LA max	LA max Differenz	Lr tags	Lr tags Differenz	Lr nachts	Lr nachts Differenz
Brückenstr. 31 / Schnellerstr. 129	Prognose-Nullfall	1	Rahmengleis	M17, 21, 37, 63, 67	309	52	11,58 m	0,473		0,190		0,110		48,9 dB(A)		41,0 dB(A)		36,2 dB(A)	
		2	Rahmengleis		309	52		0,794		0,319		0,185		53,9 dB(A)		46,0 dB(A)		41,2 dB(A)	
			Σ			618	104			0,371		0,215		53,9 dB(A)		47,2 dB(A)		42,4 dB(A)	
	Prognose-Planfall	1	NBS	M17, 21, 37, 63, 67	309	52	11,53 m	0,345		0,138		0,080		42,5 dB(A)		34,6 dB(A)		29,8 dB(A)	
2		NBS	309		52	0,598			0,240		0,139		47,7 dB(A)		39,8 dB(A)		35,0 dB(A)		
		Σ			618	104	0,598	<b>-25%</b>	0,277	<b>-25%</b>	0,161	<b>-25%</b>	47,7 dB(A)	<b>-6,2 dB(A)</b>	40,9 dB(A)	<b>-6,2 dB(A)</b>	36,2 dB(A)	<b>-6,2 dB(A)</b>	
Schnellerstr. 128 / Brückenstraße	Prognose-Nullfall	1	Rahmengleis	M17, 21, 37, 63, 67	309	52	7,82 m	0,933		0,374		0,217		55,4 dB(A)		47,5 dB(A)		42,7 dB(A)	
		2	Rahmengleis		309	52		0,532		0,213		0,124		50,1 dB(A)		42,2 dB(A)		37,4 dB(A)	
			Σ			618	104	0,933		0,431		0,250		55,4 dB(A)		48,6 dB(A)		43,9 dB(A)	
	Prognose-Planfall	1	NBS	M17, 21, 37, 63, 67	309	52	7,94 m	0,660		0,265		0,154		48,6 dB(A)		40,7 dB(A)		35,9 dB(A)	
2		NBS	309		52	0,367			0,147		0,085		43,1 dB(A)		35,2 dB(A)		30,4 dB(A)		
		Σ			618	104	0,660	<b>-29%</b>	0,303	<b>-30%</b>	0,176	<b>-30%</b>	48,6 dB(A)	<b>-6,8 dB(A)</b>	41,7 dB(A)	<b>-6,8 dB(A)</b>	37,0 dB(A)	<b>-6,8 dB(A)</b>	
Sterndamm 8b-h	Prognose-Nullfall	Rahmengleis		M17, 21, 37, 67	261	40	41,96 m	0,069		0,025		0,014		27,9 dB(A)		19,2 dB(A)		14,1 dB(A)	
	Prognose-Planfall	NBS		21, 37, 67	165	11	25,76 m	0,098	<b>43%</b>	0,029	<b>13%</b>	0,011	<b>-25%</b>	29,5 dB(A)	<b>1,6 dB(A)</b>	18,8 dB(A)	<b>-0,4 dB(A)</b>	10,1 dB(A)	<b>-4,0 dB(A)</b>
Sterndamm 8/ 8a	Prognose-Nullfall	1	Rahmengleis	63	48	12	8,47 m	0,812		0,128		0,091		54,1 dB(A)		38,1 dB(A)		35,1 dB(A)	
		2	Rahmengleis		48	12		1,743		0,276		0,195		61,3 dB(A)		45,3 dB(A)		42,3 dB(A)	
			Σ			96	24	1,743		0,304		0,215		61,3 dB(A)		46,0 dB(A)		43,0 dB(A)	
	Prognose-Planfall	1	NBS	M17, 60, 61, 63	216	54	20,75 m	0,126		0,042		0,030		33,0 dB(A)		23,5 dB(A)		20,5 dB(A)	
2		NBS	216		54	0,173			0,058		0,041		36,0 dB(A)		26,5 dB(A)		23,5 dB(A)		
		Σ			432	108	0,173	<b>-90%</b>	0,072	<b>-76%</b>	0,051	<b>-76%</b>	36,0 dB(A)	<b>-25,3 dB(A)</b>	28,3 dB(A)	<b>-17,8 dB(A)</b>	25,3 dB(A)	<b>-17,8 dB(A)</b>	

Tabelle 5 (Blatt 1 von 2)  
Ergebnisse der Schwingungstechnischen Berechnungen

1	2	3	4	5	6	7	8	Auswertung Erschütterungen						Auswertung Sekundärer Luftschall					
								11	11a	12	12a	13	13a	21	21a	22	22a	23	23a
Objekt	Szenario	Gleis	Emissions- spektrum	Linien	Anzahl Züge tags	Anzahl Züge nachts	Abstand Haus Gleisachse	KBfmax	KBfmax Änderung	KBfTr tags	KBfTr tags Änderung	KBfTr nachts	KBfTr nachts Änderung	LA max	LA max Differenz	Lr tags	Lr tags Differenz	Lr nachts	Lr nachts Differenz
Sterndamm 7	Prognose-Nullfall	1	Rahmengleis	63	48	12	55,00 m	0,053		0,008		0,006		23,4 dB(A)		7,4 dB(A)		4,4 dB(A)	
		2	Rahmengleis		48	12	58,00 m	0,050		0,008		0,006		22,6 dB(A)		6,6 dB(A)		3,6 dB(A)	
		Σ			96	24		0,053		0,012		0,008		23,4 dB(A)		10,0 dB(A)		7,0 dB(A)	
	Prognose-Planfall	1	NBS	M17, 60, 61, 63	216	54	42,78 m	0,056		0,019		0,013		21,3 dB(A)		11,8 dB(A)		8,8 dB(A)	
		2	NBS		216	54	46,31 m	0,051		0,017		0,012		20,0 dB(A)		10,5 dB(A)		7,5 dB(A)	
		Σ			432	108		0,056	6%	0,025	121%	0,018	121%	21,3 dB(A)	-2,1 dB(A)	14,2 dB(A)	4,2 dB(A)	11,2 dB(A)	4,2 dB(A)
Sterndamm 11	Prognose-Nullfall	1	Rahmengleis	63	48	12	44,05 m	0,065		0,010		0,007		27,1 dB(A)		11,1 dB(A)		8,1 dB(A)	
		2	Rahmengleis		48	12	47,07 m	0,061		0,010		0,007		26,0 dB(A)		10,0 dB(A)		7,0 dB(A)	
		Σ			96	24		0,065		0,014		0,010		27,1 dB(A)		13,6 dB(A)		10,6 dB(A)	
	Prognose-Planfall	1	NBS	M17, 60, 61, 63	216	54	36,05 m	0,067		0,023		0,016		24,0 dB(A)		14,5 dB(A)		11,5 dB(A)	
		2	NBS		216	54	39,56 m	0,061		0,020		0,014		22,5 dB(A)		13,0 dB(A)		10,0 dB(A)	
		Σ			432	108		0,067	3%	0,030	115%	0,022	115%	24,0 dB(A)	-3,1 dB(A)	16,8 dB(A)	3,3 dB(A)	13,8 dB(A)	3,3 dB(A)
Sterndamm 13	Prognose-Nullfall	1	Rahmengleis	63	48	12	33,95 m	0,086		0,014		0,010		31,3 dB(A)		15,3 dB(A)		12,3 dB(A)	
		2	Rahmengleis		48	12	36,98 m	0,079		0,012		0,009		29,9 dB(A)		13,9 dB(A)		10,9 dB(A)	
		Σ			96	24		0,086		0,018		0,013		31,3 dB(A)		17,6 dB(A)		14,6 dB(A)	
	Prognose-Planfall	1	NBS	63	48	12	32,45 m	0,076		0,012		0,008		25,7 dB(A)		9,7 dB(A)		6,7 dB(A)	
		2	NBS		48	12	35,78 m	0,068		0,011		0,008		24,1 dB(A)		8,1 dB(A)		5,1 dB(A)	
		Σ			96	24		0,076	-12%	0,016	-13%	0,011	-13%	25,7 dB(A)	-5,6 dB(A)	12,0 dB(A)	-5,7 dB(A)	9,0 dB(A)	-5,7 dB(A)

Hinweise:

Das Wohnhaus Sterndamm 13 Ecke Groß-Berliner Damm liegt innerhalb des Einwirkungsbereichs der geplanten Neubaustrecke der Straßenbahn Adlershof II. Die Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen von dieser Strecke (dies betrifft die Linien M17, 61 und 63) werden im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für den Bau dieser Strecke untersucht. Dagegen wird bei den Häusern Sterndamm 8 / 8a und Sterndamm 7 / 11 der Verkehr von und zur Neubaustrecke bereits in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigt, da die Objekte außerhalb des Einwirkungsbereiches der Neubaustrecke liegen.

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind beispielhaft ausgewählte Wohnhäuser, die aufgrund ihrer Lage zu den Gleisen als repräsentativ angesehen werden können und dem Worst Case-Ansatz entsprechen. Bei zurückliegenden Häusern (etwa Sterndamm 10 oder auch Sterndamm 9) ist von tendenziell ähnlichen Ergebnissen auf einem geringeren Wertenniveau auszugehen.

							Auswertung Erschütterungen										Auswertung Sekundärer Luftschall								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Objekt	Gleis	Emissions- spektrum	Linien	Anzahl Züge tags	Anzahl Züge nachts	Abstand Haus Gleisachse	KB <sub>Fmax</sub>	KB <sub>FTr</sub> tags	KB <sub>FTr</sub> nachts	Gebiet	A <sub>u</sub> tags	A <sub>r</sub> tags	A <sub>o</sub> nachts	A <sub>u</sub> nachts	A <sub>r</sub> nachts	KB <sub>Fmax</sub> ≤ Au tags	KB <sub>FTr</sub> ≤ Ar tags	KB <sub>Fmax</sub> ≤ Ao nachts	KB <sub>Fmax</sub> ≤ Au nachts	KB <sub>FTr</sub> ≤ Ar nachts	LA max	L <sub>r</sub> tags	L <sub>r</sub> nachts	L <sub>r</sub> tags ≤ 40 dB(A)	L <sub>r</sub> nachts ≤ 30 dB(A)
Sterndamm 8b-h		NBS	21, 37, 67	165	11	25,76 m	0,098	0,029	0,011	WA	0,225	0,105	0,300	0,150	0,075	ok	-	ok	ok	-	29,5 dB(A)	18,8 dB(A)	10,1 dB(A)	ok	ok
Sterndamm 7	1	NBS	M17, 60,	216	54	42,78 m	0,056	0,019	0,013	WA	0,225	0,105	0,300	0,150	0,075	ok	-	ok	ok	-	21,3 dB(A)	11,8 dB(A)	8,8 dB(A)	ok	ok
	2	NBS	61, 63	216	54	46,31 m	0,051	0,017	0,012												20,0 dB(A)	10,5 dB(A)	7,5 dB(A)		
	Σ			432	108		0,056	0,025	0,018												21,3 dB(A)	14,2 dB(A)	11,2 dB(A)		
Sterndamm 11	1	NBS	M17, 60,	216	54	36,05 m	0,067	0,023	0,016	WA	0,225	0,105	0,300	0,150	0,075	ok	-	ok	ok	-	24,0 dB(A)	14,5 dB(A)	11,5 dB(A)	ok	ok
	2	NBS	61, 63	216	54	39,56 m	0,061	0,020	0,014												22,5 dB(A)	13,0 dB(A)	10,0 dB(A)		
	Σ			432	108		0,067	0,030	0,022												24,0 dB(A)	16,8 dB(A)	13,8 dB(A)		

Die Bewertung der Erschütterungsimmissionen erfolgt gemäß DIN 4150-2 unter Anwendung der um den Faktor 1,5 angehobenen Anhaltswerte  $A_u$  und  $A_r$ . Zur Verbesserung des Schutzniveaus wird abweichend von der Norm der um den Faktor 1,5 angehobene oberer Anhaltswert  $A_o$  (nachts) zusätzlich berücksichtigt.

Die Bewertung der Sekundärschallimmissionen erfolgt unter Anwendung der Immissionsrichtwerte 40 dB(A) tags und 30 dB(A) nachts.

Spalten 1 bis 7: Allgemeine Angaben zum betrachteten Gebäude, Eingangsgrößen der Berechnung.

Spalten 8 bis 10: Maximale bewertete Schwingstärken  $KB_{Fmax}$  und Beurteilungs-Schwingstärken  $KB_{FTr}$  tags und nachts für jedes Gleis und in der Summe (Zeile „Σ“).

Spalten 11 bis 16: Gebietseinstufung und geltende Anhaltswerte für die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen (WA für Wohngebiet).

Spalten 17 bis 21: Vergleich der  $KB_{Fmax}$  und der  $KB_{FTr}$  mit den Anhaltswerten tags und nachts.

Die Einträge „-“ und „>“ bedeuten:

- der Vergleich  $KB_{FTr}$  mit  $A_r$  ist nicht erforderlich, da  $KB_{Fmax}$  kleiner / gleich  $A_u$  ist.

>  $KB_{Fmax}$  ist größer  $A_u$ , also muss  $KB_{FTr}$  mit  $A_r$  verglichen werden

Ü  $KB_{Fmax}$  überschreitet  $A_o$  bzw.  $KB_{FTr}$  überschreitet  $A_r$ .

Spalten 22 bis 24: Maximale A-bewertete Sekundärluftschallpegel  $L_{Amax}$  und Beurteilungspegel  $L_r$  tags und nachts für jedes Gleis und in der Summe (Zeile „Σ“).

Spalten 25 und 26: Vergleich der  $L_r$  mit den Immissionsrichtwerten 40 dB(A) tags beziehungsweise 30 dB(A) nachts.