

Erschütterungsprognose B-Plan „Neue Mitte Moisling“, Lübeck

Untersuchung der Erschütterungen aus Schienenverkehr

Auftraggeber: PROKOM Stadtplaner und Ingenieure GmbH
Elisabeth-Haseloff-Str. 1
23564 Lübeck

Berichtsnummer: X1963.002.01.001

Dieser Bericht umfasst 8 Seiten Text und 5 Seiten Anhang.



Akkreditierung nach
DIN EN ISO/IEC 17025
für die Prüfarten Geräusche,
Erschütterungen und
Bauakustik

Höchberg, 28.02.2025


Dipl.-Ing. Harald Breitbach

Bearbeitung
fachliche Verantwortung


Dr.-Ing. Markus Richter

Prüfung und Freigabe

VMPA-anerkannte Schall-
schutzprüfstelle
nach DIN 4109,
VMPA-SPG-210-04-BY

Änderungsindex

Version	Datum	Geänderte Seiten	Hinzugefügte Seiten	Erläuterungen
001	05.02.2025	-	-	Erstellung
002	28.02.2025	1, 4, 7, 8	-	Ergänzung projektfremder Güterzug

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Unterlagen, Abkürzungen	3
2.1	Unterlagenverzeichnis.....	3
2.2	Abkürzungsverzeichnis.....	4
3	Situation vor Ort, Durchführung der Messung.....	4
4	Anforderungen zum Erschütterungsschutz.....	4
5	Auswertung, Erschütterungsprognose.....	5
5.1	Auswertung.....	6
5.2	Berücksichtigung der Messunsicherheit	7
6	Beurteilung, Fazit	7

Anhänge

Anhang	Inhalt	Seite
A	Allgemeines, Grundlagen	A01-A04
B	Messergebnisse, Darstellung im Zeit- und Frequenzbereich	B01-B01

1 Aufgabenstellung

Die PROKOM Stadtplaner und Ingenieure GmbH (Auftraggeber) plant eine Wohnbebauung auf einer Fläche, die sich in unmittelbarer Nähe der Eisenbahnstrecke 1120 Abschnitt Hamburg – Lübeck befindet. Wölfel Engineering wurde mit Erschütterungsmessungen nach DIN 4150 (vgl. [01]) beauftragt, um vorab die Erschütterungseinwirkungen des Schienenverkehrs auf die geplanten Neubauten zu ermitteln.

Im vorliegenden Bericht sind die Durchführung und die wesentlichen Ergebnisse der Messungen vom 17.07.2024 sowie deren Beurteilung gemäß der geltenden Norm DIN 4150 Teil 2 und 3 beschrieben.

2 Unterlagen, Abkürzungen

2.1 Unterlagenverzeichnis

Nr.	Dokument	Bezeichnung / Beschreibung	
[01]	DIN 4150	Erschütterungen im Bauwesen	
	[01a]	Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen	2001-06
	[01b]	Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	1999-06
	[01c]	Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen	2016-12
[02]	DIN 45669	Messung von Schwingungssimmissionen	
	[02a]	Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung	2020-06
	[02b]	Teil 2: Messverfahren	2005-06
[03]	DIN 45672	Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen	
	[03a]	Teil 1: Messverfahren für Schwingungen	2018-02
	[03b]	Teil 2: Auswerteverfahren	1995-07
[04]	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	6. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionschutzgesetz – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm TA-Lärm	1998-08
[05]	Said, Grütz, Garburg	Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr; Zeitschrift für Lärmbekämpfung 53 (2006) Nr. 1	2006-01
[06]	DB Netze	Richtlinie 820 „Grundlagen des Oberbaus“; Ril 820.2050 „Erschütterungen u. sekundärer Luftschall; Aktualisierung 08	2017-09
[07]	VDI 3837	Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen; Spektrales Prognoseverfahren	2013-01
[08]	VDI 2038	Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik	
	[09a]	Blatt 1: Grundlagen – Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen	2012-06
	[09b]	Blatt 2: Schwingungen und Erschütterungen Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung	2013-01
	[09c]	Blatt 3: Sekundärer Luftschall – Grundlagen, Prognose, Messung Beurteilung und Minderung	2013-11
[09]	VDI 2057	Einwirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen	
	[10a]	Blatt 1: Ganzkörper-Schwingungen	2017-08
	[10b]	Blatt 3: Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen in Gebäuden	2017-03
[10]	Angaben per Email/ Telefon	Unterlagen zum Bebauungsplan, Lagepläne weitere Angaben per Telefon/Email	2022-12

2.2 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
WA/MI/GE	Wohn-/Misch-/Gewerbegebiet gemäß Baunutzungsverordnung (BauNVO)
BV	Bauvorhaben
UG, EG, OG	Untergeschoss, Erdgeschoss, Obergeschoss
GOK	Geländeoberkante
MP	Messposition bzw. Messpunkt
$v / v_{0-P} / v_{RMS}$ [mm/s]	Schwinggeschwindigkeit / Amplitude / Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit
$a / a_{0-P} / a_{RMS}$ [m/s ²]	Schwingbeschleunigung / Amplitude / Effektivwert der Schwingbeschleunigung
$KB_F(t)$ [-]	bewertete Schwingstärke gemäß DIN 4150-2 ([01b]), per Definition dimensionslos
KB_{Fmax} [-]	Taktmaximalwert der bewerteten Schwingstärke nach [01b]
KB_{FTr} [-]	Beurteilungsschwingstärke, nach [01b] unter Berücksichtigung d. Einwirkungsdauer
$a_{w(8)}$ [m/s ²]	Beurteilungsbeschleunigung nach [04] über eine Dauer von 8 h
$\max \{a_{wF}(t)\}$ [m/s ²]	Maximalwert der Beurteilungsbeschleunigung nach [04] über die Einwirkungsdauer

3 Situation vor Ort, Durchführung der Messung

Am 17.07.2024 wurde eine Erschütterungsmessung auf dem Gelände der KiTa „St. Franziskus“ durchgeführt. Diese grenzt östlich direkt an das B-Plangebiet [10], siehe auch Anhangseite A2. Hierbei wurden die Erschütterungsimmissionen erfasst, die vom Schienenverkehr auf das B-Plangebiet übertragen werden. Zum Zeitpunkt der Messungen fanden keine Bauarbeiten oder sonstige erschütterungsträchtigen Aktivitäten in der Nähe statt.

Zur Erfassung der Erschütterungsimmissionen wurden drei Messpunkte MP 1, MP 2 und MP 3 in verschiedenen Abständen zum Gleiskörper aufgestellt. Die gepflasterte Oberfläche an MP 1 und MP 2 bietet eine gute Anbindung der Sensoren zum Untergrund. Auf dem geschotterten Wilhelm-Waterstrat-Weg wurde für MP 3 zur besseren Anbindung an den Untergrund eine Gehwegplatte installiert (s. Abbildung A4).

Direkt vor dem B-Plangebiet befindet sich der neu errichtete Bahnhof Lübeck-Moisling. Aufgrund dessen sind die Geschwindigkeiten der dort anhaltenden Züge und die dadurch verursachten Erschütterungen gering. Dies schlägt sich auch in den Messergebnissen nieder. ICE- und EC-Züge verkehren dort nicht und sind auch in der Planung von 2030 nicht vorgesehen. Güterzüge verkehren nur bei Bedarf, im Zeitraum der Messung hat kein Güterzug den Streckenabschnitt passiert. Eine Erschütterungsprognose für diese Zuggattungen kann aus den ermittelten Messergebnissen nicht durchgeführt werden.

Aus diesem Grund wurden Erschütterungsimmissionen aus Güterzügen künstlich eingearbeitet. Sie entstammen anderen Projekten, sie befinden sich nach unseren Erfahrungen auf der sicheren Seite im Sinne des Immissionsschutzes. Die Betrachtung dieser projektfremden Güterzugvorbeifahrten erfolgt in Abschnitt 5.1.

Weitere Informationen zu der verwendeten Messtechnik, Messpositionen, der Signalverarbeitung und der Messdurchführung sowie eine Fotodokumentation ist dem Anhang S. A1ff. zu entnehmen.

4 Anforderungen zum Erschütterungsschutz

Die Beurteilung von Erschütterungen bei Einwirkungen auf Gebäude erfolgt i.d.R. gemäß DIN 4150 („Erschütterungen im Bauwesen“ [01]). In deren Teil 1 werden Prognose-Modelle für die Erschütterungsausbreitung und typische Einwirkungen infolge verschiedener Verursacher beschrieben. In Teil 2 werden Anhaltswerte für die Belästigung von Personen in Gebäuden angegeben.

In DIN 4150 Teil 3 werden Anhaltswerte zur Beurteilung der Einwirkungen auf die Bausubstanz genannt. Da die Erschütterungen infolge Schienenverkehrs i.d.R. zu gering sind, um Schäden an Gebäuden zu verursachen, wird an dieser Stelle nicht weiter auf diese Anforderungen eingegangen. Hierzu erfolgt eine kurze Beurteilung für die prognostizierten Werte zum Abschluss des Berichts.

Anhand DIN 4150 Teil 2 werden die Belästigungen von Anwohnern aufgrund der auf den Decken auftretenden maximalen bewerteten Schwingstärken sowie der Dauer der Einwirkung beurteilt. Die Norm bezieht sich dabei auf Wohnungen bzw. Aufenthaltsräume. Auf der Anhangseite A4 sind die Anhaltswerte gemäß Tabelle 1 der Norm genannt, dabei wird die Gebietseinstufung in Anlehnung an die BauNVO berücksichtigt: Beispielsweise werden für ein Gewerbegebiet höhere Werte genannt als für ein Misch- oder Wohngebiet, d.h. für Betriebswohnungen in GE-Gebieten ist der Schutzzanspruch geringer als für Wohnungen in MI/WA-Gebieten.

Für die Erschütterungsprognose des B-Plangebiets wird „*Allgemeines Wohngebiet*“ (WA) zu Grunde gelegt. In Tabelle 1, Zeile 4 sind deren Anhaltswerte aufgeführt.

Tabelle 1: Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach [1b] (vgl. Tab. A1)

Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2).	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05

* abweichender Anhaltswert für Erschütterungen infolge Schienenverkehr nach Kap. 6.5.3.5 der Norm

5 Auswertung, Erschütterungsprognose

Während der Messung am 17.07.2024 wurden Erschütterungssignale aufgrund von Zug-Vorbeifahrten an 3 Messpunkten aufgezeichnet. Ausgesuchte Messdaten dieser Vorbeifahrten werden im Folgenden für die Prognose der zu erwartenden Erschütterungsimmissionen auf dem B-Plangebiet für den nördlichen Baukörper verwendet. Im Anhang B ist beispielhaft das Signal einer Zugvorbeifahrt im Zeit- und Frequenzbereich an MP 1 dargestellt.

Der Messpunkt MP 1 liegt außerhalb des Geltungsbereiches und dient aufgrund seines geringeren Abstands zum Gleiskörper im Wesentlichen als Referenz für die Ermittlung der Erschütterungsausbreitung auf dem B-Plangebiet.

Es werden die im Freifeld aufgezeichneten Schwinggeschwindigkeiten vereinfachend mit skalaren Übertragungsfaktoren multipliziert, um die Übertragung zwischen Erdreich – Fundament und ggf. zwischen Fundament – Geschossdecke nachzubilden.

Gemäß DIN 4150-1 wird für die Erschütterungsübertragung vom Freifeldmesspunkt auf das Gebäudefundament eine Abminderung von Übertragungsfaktor 0,5 angesetzt.

Bei einer Prognose der Deckenschwingungen muss die Übertragung vom Fundament auf die Geschossdecken berücksichtigt werden: Dabei hat sich aus eigenen Erfahrungswerten in der vertikalen Richtung ein Faktor von $s_{F-D} = 5$ als repräsentativ erwiesen. Für die horizontalen Messrichtungen ergeben sich erfahrungsgemäß deutlich geringere Überhöhungen zu den Geschossdecken hin, so dass die vertikale Schwingrichtung maßgebend ist.

Für die Prognose auf Geschossdecken in vertikaler Messrichtung werden die ermittelten Signale mit den Faktoren aus Gl. (1) multipliziert:

$$v_{Geschossdecke, OG} = 0,5 * 5 * v_{Freifeld} = 2,5 * v_{Freifeld} \quad (1)$$

Die prognostizierten, in den Räumen zu erwartenden Schwinggeschwindigkeiten $v_{Geschossdecke}$ sind nach DIN 4150-2 zu beurteilen; dementsprechend sind die in Tabelle 3 genannten Anhaltswerte zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungssimmissionen einzuhalten. Ist die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{Fmax} \leq A_u$, so sind die Anforderungen der Norm eingehalten und eine erhebliche Belästigung der Menschen im Gebäude ist nicht zu erwarten. Falls $KB_{Fmax} > A_o$ ist, sind die Anforderungen nicht eingehalten. Für den Fall $A_u < KB_{Fmax} \leq A_o$ sind erhebliche Belästigungen infolge von Erschütterungen nur dann nicht zu erwarten, wenn in einem detaillierteren Nachweis gezeigt werden kann, dass die sogenannte Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FTr} < A_t$ ist. Um die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} nach Gleichung (3) ermitteln zu können, muss die Einwirkungszeit der Erschütterungssimmissionen T_E bekannt sein. Diese ergibt sich bei Erschütterungen infolge Schienenverkehr aus den Zugzahlen (s. Tabelle 2) und der jeweiligen Passierdauer (hier: $t \leq 30s$).

$$KB_{FTr} = KB_{FTm} * \sqrt{\frac{T_E}{T_R}} \quad \text{mit } T_R = 16 \text{ h (tags) bzw. } T_R = 8 \text{ h (nachts)} \quad (3)$$

Tabelle 2: Verwendete Zugzahlen (Prognose für 2030)

Zugtyp	Tags (6-22Uhr)	Nachts (22-6Uhr)	Strecke 1120
Güterzug (GZ)	195 (Annahme)	50 (Annahme)	
Fernzug (IC)	n.a.	n.a.	
Regionalbahn (RB)	66	6	

5.1 Auswertung der Messungen / Betrachtung von Güterzügen

In Tabelle 3 ist die Beurteilung der Messergebnisse gemäß Norm dargestellt. Die Anforderungen werden tags und nachts gemäß DIN 4150 Teil 2 ab einem Abstand von 15 m vom Gleiskörper (MP 1) bei zu Grunde gelegter Gebietseinstufung „Allgemeines Wohngebiet“ (WA) und gegebenen Zugzahlen eingehalten. Da die Werte unter A_u liegen, fließt die Betrachtung der Zugzahlen nicht in die Beurteilung ein.

Anmerkung: MP 3 weist trotz größerer Entfernung zum Gleiskörper gleich hohe Schwingstärken auf wie MP 2. Dies ist auf ein relativ hohes Verkehrsaufkommen im naheliegenden Wendehammer vor der KITA zurückzuführen.

Etwas anders verhält es sich, wenn Güterzugvorbeifahrten – hier mittels projektfremder Messdaten – angenommen werden. Die projektfremden Messdaten werden hierzu auf den Messpunkt MP 2 umgerechnet. Die daraus resultierende Schwingstärke ist stets $A_u < KB_{Fmax} \leq A_o$ weshalb die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} bestimmt werden muss (s. Abschnitt 5). Da nicht bekannt ist, wie viele Güterzüge künftig passieren werden, wird in dieser Betrachtung die Zugzahl sukzessive erhöht, bis KB_{FTr} seinen Anhaltswert von 0,07 (tags) und 0,05 (nachts) erreicht. Dadurch kann mittels der angenommenen Güterzugvorbeifahrten abgeschätzt werden, dass tags bis zu 195 und nachts bis zu 50 Güterzüge passieren können, ohne dass eine Überschreitung nach DIN 4150 Teil 2 erfolgt (s. Tabellen 2 und 3).

Tabelle 3: Ermittelte Schwingstärken und Beurteilung der prognostizierten Erschütterungen

Beurteilungswert	MP 1 z-Richtung	MP 2 z-Richtung	MP 3 z-Richtung	MP 2 z-Richtung
Zugtyp	RB			RB und GZ
KB _{Fmax} [-]	0,049	0,028	0,028	0,25
KB _{Fmax} ≤ A _u (tags) = 0,15	✓	✓	✓	✗
KB _{Fmax} ≤ A _o (tags) = 3	entfällt	entfällt	entfällt	✓
KB _{FTr, tags} ≤ A _r (tags) = 0,07	entfällt	entfällt	entfällt	0,069
Anforderung tags eingehalten	✓	✓	✓	✓
KB _{Fmax} ≤ A _u (nachts) = 0,1	✓	✓	✓	✗
KB _{Fmax} ≤ A _o (nachts) = 0,2 (*0,6)	entfällt	entfällt	entfällt	✓
KB _{FTr, nachts} ≤ A _r (tags) = 0,05	entfällt	entfällt	entfällt	0,0498
Anforderung nachts eingehalten	✓	✓	✓	✓

*) Verweis auf den Abschnitt 6.5.3.5. der DIN 4150-2 (siehe Kapitel 4)

5.2 Berücksichtigung der Messunsicherheit

- Gemäß DIN 45669-2: 2005-06 hält die gerätebedingte Messabweichung für unsere Klasse 1-Messgeräte mit hohem statistischen Vertrauensniveau die Vertrauensgrenzen von bis zu 15 % für effektivwertbasierte Messwerte (z.B. KB_F-Werte nach DIN 4150-2) und von bis zu 20 % für Spitzenwerte (z.B. v_{max}-Werte nach DIN 4150-3) ein.
- Durch eine regelmäßige Kalibrierung unserer Messgeräte, durchgeführt von einem nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Kalibrierlabor, stellen wir sicher, diese gerätebedingten Abweichungen einzuhalten. Als Nachweis liegen uns zu den jeweiligen Messgeräten zugehörige Kalibrierscheine vor.
- Darüber hinaus sehen wir grundsätzlich eine Sensorankopplung gemäß DIN 45669-2 vor, sodass weitere wesentliche Messwertabweichungen vermieden werden. Sofern im Einzelfall die vor Ort realisierbaren Ankopplungen nicht vollständig den Anforderungen der Norm entsprechen, ist dies im Bericht gesondert aufgeführt.

6 Beurteilung, Fazit

Am 17.07.2024 wurden Erschütterungsmessungen auf dem Gelände der KiTa „St. Franziskus“ durchgeführt. Anhand der registrierten Messdaten wurden die zu erwartenden Erschütterungssimmissionen infolge des Schienenverkehrs prognostiziert und gemäß DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ beurteilt. Es wurde dafür ein vereinfachtes Verfahren mit skalaren Übertragungsfaktoren verwendet.

Die Ergebnisse zeigen, dass im gesamten Geltungsbereich des B-Plangebiets „Neue Mitte Moisling“ die Vorgaben der DIN 4150-2 für ein Wohngebiet (WA) für Regionalbahnverkehr eingehalten werden können.

Schienenverkehr von ICE- oder Güterzügen fand im Zeitraum der Messung nicht statt. Eine Erschütterungsprognose für diese Zuggattungen kann deshalb zum jetzigen Zeitpunkt nicht durchgeführt werden. Aufgrund der geringen Messwerte für Regionalzüge ist für selten verkehrende Güterzüge zu erwarten,

dass die Anforderungen der DIN 4150-2 ebenfalls eingehalten werden können. Eine angenommene Prognose für Güterzugvorbeifahrten ist in Abschnitt 5.1 enthalten. Diese basieren auf projektfremden Messdaten und sind deshalb informativ ohne Gewähr zu betrachten. Die Anforderungen der DIN 4150 Teil 2 erfolgt in dieser Betrachtung erst bei einer bestimmten Anzahl der Zugvorbeifahrten (s. Tabelle 2).

Übrigens enthalten die gegenüber den RB-Vorbeifahrten um ca. einen Faktor 9 höheren KB_{Fmax} -Werte für die Güterzüge (Tabelle 3, rechte Spalte) nach unseren Erfahrungen auch die Erhöhung, die sich dadurch ergibt, dass Güterzüge diesen Bereich mit unverminderter Geschwindigkeit passieren.

Die Vorgaben der DIN 4150-3 bzgl. der Einwirkungen für die Bausubstanz werden mit Sicherheit eingehalten, da die wesentlich höheren Anforderungen der DIN 4150-2 eingehalten werden.

Unabhängig von den zu erwartenden Erschütterungssimmissionen wird zur Bauweise immer die Erstellung einer durchgehenden massiven Bodenplatte empfohlen, um eine möglichst große anzuregende Masse zu erhalten.

Es kann selbst bei Einhaltung der maßgebenden Anhalts- und Richtwerte nicht vollkommen ausgeschlossen werden, dass Zugvorbeifahrten in den zukünftigen Gebäuden spür- oder hörbar sind; dies hängt auch von der Wahrnehmung und Empfindlichkeit der jeweils betroffenen Personen ab.

Höchberg / Hamburg, Bi / Ri