



Öffentlich bestellter und vereidigter
Sachverständiger für Erschütterungen
im Bauwesen und in der Sprengtechnik
Dr.-Ing. Ulf Lichte, IHK München

Sachverständigen- und Ingenieurbüro
Dr.-Ing. Ulf Lichte
Heimteichstraße 6
04179 Leipzig

Telefon: 0341 / 4413523
Telefax: 0341 / 4511606
Email: info@Lichte.de
Internet: www.Lichte.de

Gutachten

Erschütterungseinwirkungen infolge des Schienenverkehrs

Objekt:

Holthusen

Auftraggeber:

Amt Stralendorf 19073

Erschütterungsprognose

auf der Grundlage von Unterlagen,
Erfahrungen und Messergebnissen

Bauvorhaben: B-Plan Nr. 10.1."Ortszentrum" der Gemeinde Holthusen

Objekt: Holthusen

Auftrags/Kunden-Nr.: E882 / KH22

Bericht Nr.: E882_GA_001

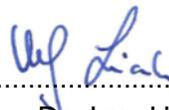
Auftraggeber: Amt Stralendorf 19073
Dorfstraße 30
19073 Stralendorf

Messung: 27.03.2019 durch Marco Winter und Tom Kaminski

Ort und Datum: Leipzig, den 12. Juli 2019



.....
Projektbearbeiter
Tom Kaminski



.....
Dr.-Ing. Ulf Lichte

Revisionen

Rev	Datum	Dokument-Nr.	Bemerkung
1	12.07.2019	E882_GA_001	Erschütterungsprognose



Inhaltsverzeichnis

1	Unterlagen	4
2	Aufgabe	6
3	Veranlassung	6
4	Beurteilung der Erschütterungswirkung	10
4.1	Einwirkungen auf Bauwerke	10
4.2	Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	10
4.3	Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken	11
4.4	Sekundärer Luftschall	14
5	Anlage und Durchführung der Schwingungsmessungen	16
5.1	Erschütterungsquellen	16
5.2	Messgeräte	17
5.3	Messorte und Messpunkte	17
6	Grundlagen Prognose	18
7	Messergebnisse, Berechnungen und Begutachtung	20

1 Unterlagen

Tabelle U – Verträge, Pläne, Berichte

U(1)	Auftrag 19.03.2019
U(2)	Luftbild 1500
U(3)	Luftbild 2500
U(4)	d2018-10-04Holthusen_B10-1_Teil-B_Entw
U(5)	d2018-10-05Holthusen_B10-1_BV-Entwurf_A3A4
U(6)	d2018-10-02_Holthusen_B10-1_BG_Entw_7-Arbeitsstand+DB
U(7)	07 Stellungnahme LUNG diercksE_2019-04-02_14-46-14 (003)
U(8)	6442 Holthusen -IB-HASSE -17-25



Tabelle R – Gesetze, Normen, Richtlinien, Vorschriften

[BlmSchG]	BlmSchG:2013-05-17 Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge
[TA Lärm]	TA Lärm:1998-08 Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz
[DIN 4150-1]	DIN 4150-1:2001-06 Erschütterungen im Bauwesen – Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen
[DIN 4150-2]	DIN 4150-2:1999-06 Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
[DIN 45669-1]	DIN 45669-1:2010-09 Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 1: Schwingungsmesser-Anforderungen und Prüfungen
[DIN 45669-2]	DIN 45669-2:2005-06 Messung von Schwingungsimmissionen – Teil 2: Messverfahren
[DIN 45672-1]	DIN 45672-1:2009-12 Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen – Teil 1: Messverfahren
[DIN 45672-2]	DIN 45672-2:1995-07 Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen – Teil 2: Auswerteverfahren
[VDI 2038 Blatt 1]	VDI 2038 Blatt 1:2012-06 Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik – Grundlagen – Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen
[VDI 2038 Blatt 2]	VDI 2038 Blatt 2:2013-01 Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik – Schwingungen und Erschütterungen – Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung
[VDI 2038 Blatt 3]	VDI 2038 Blatt 3:2013-11 Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik – Sekundärer Luftschall – Grundlagen, Prognose, Messung sowie Beurteilung und Minderung
[VDI 3837]	VDI 3837:2013-01 Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen - Spektrales Prognoseverfahren
[DB Leitfaden Planer]	Körperschall- und Erschütterungsschutz - Leitfaden für den Planer, DB AG, August 1996



2 Aufgabe

- Durchführung von Schwingungsmessungen auf einem Grundstück an der Dorfstraße Holthusen, den Flurstücken 42/7 und 42/6 zur Erfassung der Erschütterungsimmissionen infolge des Eisenbahnverkehrs
- Erschütterungsprognose und Begutachtung der auftretenden Erschütterungen in den geplanten mehrgeschossigen Wohngebäuden
- Erarbeitung von Hinweisen für einen ausreichenden Immissionsschutz infolge der Erschütterungseinwirkungen aus dem Zugverkehr

3 Veranlassung

Auf dem Flurstücken 42/7 und 42/6 in Holthusen ist unter dem Namen *Ortszentrum Holthusen* die Errichtung mehrerer Einfamilienhäuser und einer Kindertagesstätte geplant. Das Grundstück befindet sich zwischen der Dorfstraße und der Bahn-Strecke (Schwerin-Süd und Hagenow). Die bestehende Bahnstrecke ist in dem relevanten Abschnitt zweigleisig.

Die örtlichen Gegebenheiten und die Lage der Messpunkte sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Messpunktbezeichnung enthält die Entfernungsangaben zur Grenze der Baufläche.

Da von dem Schienenverkehr der vorgenannten Bahnstrecke Erschütterungen emittiert werden, die potentiell spürbar sein können und über Sekundärschall wahrnehmbar sein können, ist eine Untersuchung erforderlich, inwieweit in der gegebenen Einwirkungssituation erschütterungsmindernde Maßnahmen notwendig sind. Hierzu wurden vor Ort repräsentative Schwingungsmessungen durchgeführt, auf deren Basis die rechnerische Beurteilung erfolgt.

In ist der Umfang des Schienenverkehrs Stand 2017 und in Tabelle 2 ist der Umfang des Schienenverkehrs Prognose 2025 gemäß der in [U(8)] wiedergegebenen Zugzahlen der DB für den betreffenden Streckenabschnitt dargestellt.

Abbildung 1 Lageplan mit Messpunkten



Tabelle 1 Zugbelegung Stand 2017

Stand:	Fahrplan 2017			
Strecke:	Strecke 6442			
Streckenabschnitt:	Zachun - Holthusen			
Zuggattung	Anzahl der Züge Tag	Anzahl der Züge Nacht	HG km/h	Zuglänge m durchschn. Annahme

Km 16,5 - Km 18,2 bei Holthusen, Dorfstraße

GZ-E	2	0	100	
GZ-E	1	2	120	
GZ-E	1	0	100	
RE-E	5	0	140	
RE-E	21	5	160	
RE-ET	3	1	160	
IC-E	8	0	160	
IC-E	2	0	160	
IC-E	4	0	160	
	47	8	Summe beider Richtungen	
Zugarten	GZ = Güterzug RV = Regionalzug S = Elektrotriebzug der S-Bahn IC = Intercityzug ICE, TGV = Elektrotriebzug des HGV NZ = Nachtreisezug AZ = Saison- oder Ausflugszug D = sonstiger Fernreisezug, auch Dritte LR, LICE = Leerreisezug			
Traktionsarten	-E = Bespannung mit E-Lok -V = Bespannung mit Diesellok -ET = Elektrotriebzug -VT = Dieseltriebzug			



Tabelle 2 Zugbelegung Prognose 2025

Stand:	Fahrplan Prognose 2025			
Strecke:	Strecke 6442			
Streckenabschnitt:	Zachun - Holthusen			
Zuggattung	Anzahl der Züge Tag	Anzahl der Züge Nacht	HG km/h	Zuglänge m durchschn. Annahme

Km 16,5 - Km 18,2 bei Holthusen, Dorfstraße

GZ-E	10	7	100	
GZ-E	3	2	120	
RE-E	30	4	160	
RE-ET	20	2	160	
IC-E	7	1	160	
ICE	7	1	160	
	77	17	Summe beider Richtungen	

Zugarten	GZ = Güterzug RV = Regionalzug S = Elektrotriebzug der S-Bahn IC = Intercityzug ICE, TGV = Elektrotriebzug des HG NZ = Nachtreisezug AZ = Saison- oder Ausflugszug D = sonstiger Fernreisezug, auch Dritte LR, LICE = Leerreisezug
Traktionsarten	-E = Bespannung mit E-Lok -V = Bespannung mit Diesellok -ET = Elektrotriebzug -VT = Dieseltriebzug



4 Beurteilung der Erschütterungswirkung

4.1 Einwirkungen auf Bauwerke

Von Schienenverkehr verursachte Erschütterungen sind für Bauwerke schadlos aufnehmbar. Auf die Darstellung der entsprechenden Beurteilungsgrundlagen wird an dieser Stelle deshalb verzichtet.

4.2 Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

In der [DIN 4150-2] werden Anforderungen und Anhaltswerte genannt, „bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden“.

Der Bewertung dienen die Anhaltswerte

A_u	unterer Anhaltswert
A_o	oberer Anhaltswert
A_r	zeitbewerteter Anhaltswert

In Tabelle 3 sind diese Anhaltswerte zusammengestellt. Dabei gilt die Norm grundsätzlich

als eingehalten, wenn $KB_{Fmax} \leq A_u$ oder
 $KB_{Fmax} \leq A_o$ und $KB_{FTr} \leq A_r$
als nicht eingehalten, wenn $KB_{Fmax} \geq A_o$ ist.

Für die Beurteilung des geplanten Gebäudekomplexes erfolgt die Eingruppierung in die Zeile 3 der Tabelle 3.

Tabelle 3 Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen nach [DIN 4150-2]

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A _U	A _R	A _O	A _U	A _R	A _O
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete §9 BauNVO)	0,4	0,2	6	0,3	0,15	0,6
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete §8 BauNVO)	0,3	0,15	6	0,2	0,1	0,4
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	0,1	5	0,15	0,07	0,3
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet §3 BauNVO, allgemeines Wohngebiet §4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete §2 BauNVO)	0,15	0,07	3	0,1	0,05	0,2
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	0,05	3	0,1	0,05	0,15

4.3 Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken

Für die Planung von Gebäuden stehen in der [VDI 2038 Blatt 2] „Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen“ Anhaltswerte für Geschosdecken im Wohn- und Industriebau. Die Anhaltswertfestlegung beginnt über die Zuordnung der Geschosdecke zu einer sogenannten Bedeutungskategorie (BK 0..III), welche in Abhängigkeit von Bauwerkstyp und Nutzung festgelegt wird. Nach Tabelle 4 sind Wohnräume in die Bedeutungskategorie II einzuordnen.

Bei der Bemessung nach dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird zwischen drei Einwirkungssituationen/-häufigkeiten unterschieden: „quasi ständig“, „häufig“ und „selten“. Die Einwirkungssituation in einem Aufenthaltsbereich hat entweder „geringen Komfort“, „mittleren Komfort“ oder einen „hohen Komfort“. In Tabelle 5 ist zugeordnet, in welcher dieser Einwirkungssituationen eine Geschosdecke mit einer bestimmten Bedeutungskategorie welches Komfortniveau einhalten muss. Der Versuch einer verbalen Übersetzung der dann vorherrschenden Bedingungen ist in Tabelle 7 gegeben.

Wohn- und Schlafräume (BKII) sollten selbst bei häufig auftretenden Ereignissen immer noch einen hohen Komfort aufweisen ($KB_{Fmax} < 0,2$). In seltenen Situationen ist ein mittlerer Komfort ($0,2 \leq KB_{Fmax} \leq 1,0$) zulässig.

In Tabelle 8 sind die anzuwendenden Anhaltswerte in den geplanten Wohn- und Schlafbereichen zusammengestellt.

Tabelle 4 Bedeutungskategorien von Bauwerken im Hinblick auf Komfort aus [VDI 2038 Blatt 2]

Bedeutungskategorie (BK)		Bauwerkstypen				
	Geschossdecken im Wohn- und Industriebau	Geschossdecken in öffentlichen Gebäuden	Stadien und temporäre Tribünen	Brücken	Treppen	
Hohe Bedeutung → geringe Bedeutung	0	Werkstätten	Flächen mit sehr geringen Anforderungen	temporäre Tribünen	-	-
	I	Arbeitsbereiche mit überwiegend geistiger Tätigkeit (Büros)	Sakralbauten, Konzertsäle, Bibliotheken, Kantinen	Steh- und Sitztribünen in Stadien	Brücken in ländlichen Gebieten mit geringer Nutzung	Treppen in öffentlichen Gebäuden
	II	Wohnräume, Schlafräume	Museen, Kultur- und Mehrzweckräume, Schulen, Diskotheken	Tribünen mit erhöhten Anforderungen	Brücken in geschlossenen Siedlungen	Treppen mit Aufenthaltsmöglichkeit (z.B. Podeste)
	III	Sanitätsräume, Operationsräume, Ruhrräume (Krankenhaus, Kurklinik)	Flächen mit sehr hohen Anforderungen	-	Verkehrswege zu Einrichtungen, deren Nutzer eingeschränkte Beweglichkeit haben (z.B. Krankenhäuser)	Sondertreppen

Tabelle 5 Zuordnung der Bedeutungskategorien (BK) zum Komfortniveau und der Bemessungssituation im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG), aus [VDI 2038 Blatt 2]

Komfortniveau Bemessungssituation GZG	Hoher Komfort	Mittlerer Komfort	Geringer Komfort / Unwohlsein
	$KB_{Fmax} < 0,2$	$0,2 \leq KB_{Fmax} \leq 1,0$	$1,0 \leq KB_{Fmax} \leq 2,5$
Quasiständig	BKI	BK0	
Häufig	BKII	BKI	BK0
Selten (reversible Ausw.)	BKIII	BKII	BKI



Tabelle 6 Anhaltswerte für Geschosdecken im Wohn- und Industriebau, aus [VDI 2038 Blatt 2]

Komfortniveau	KB _{Fmax} -Werte
Hoher Komfort	KB _{Fmax} < 0,2
Mittlerer Komfort	0,2 ≤ KB _{Fmax} ≤ 1,0
Geringer Komfort/Unwohlsein	1,0 ≤ KB _{Fmax} ≤ 2,5

Tabelle 7 Verbale Beschreibung der Anforderungen an Flächen der unterschiedlichen Bedeutungskategorien 0 bis III

Bedeutungs-Kategorie (BK)	Beschreibung der Anforderung
Allgemein	Jede bauliche Fläche mit einer Nutzung wird einer Bedeutungskategorie 0...III zugeordnet. Erschütterungen bieten je nach Intensität geringen Komfort, mittleren Komfort oder hohen Komfort . Vom zeitlichen Auftreten her können Erschütterungsintensitäten (a) quasi ständig innerhalb eines gewissen Niveaus sein - oder (b) häufig ein gewisses höheres Niveau erreichen – oder (c) selten ein noch höheres Niveau überschreiten. Die zu schaffenden Mindestanforderungen werden über das Zusammenspiel der vorgenannten Aspekte Bedeutungskategorie, Komfortniveau und Auftretenshäufigkeit definiert. Die dann planmäßig vorherrschende Situation wird nachfolgend beschrieben.
III	Für einen Bereich mit einer Nutzung nach der Bedeutungskategorie III (z.B. Krankenhaus) muss stets ein Umfeld mit hohem Komfort vorherrschen. Nur selten (Bemesungssituation im Grenzzustand „selten“) darf die Einwirkung größer sein. Sie darf in keinem Fall ein Maß mit geringen Komfort oder Unwohlsein erreichen.
II	Für einen Bereich mit einer Nutzung nach der Bedeutungskategorie II (z.B. Wohnen, Schlafen) muss ein hoher Komfort vorherrschen. Es dürfen aber häufiger auch Ereignisse mit mittlerem Komfort auftreten. Erschütterungen, die geringen Komfort oder gar Unwohlsein hervorrufen, dürfen nur selten auftreten.
I	Bereiche mit einer Nutzung nach der Bedeutungskategorie I können zwar auch derart gestaltet sein, dass sie hohen Komfort bieten. Es ist aber zulässig, dass quasi ständig die hierfür erforderlichen Grenzen überschritten werden. Ferner dürfen häufig auch Einwirkungen auftreten, die nicht mehr dem mittleren Komfort zuzuordnen sind, sondern geringen Komfort haben und ggf. Unwohlsein hervorrufen. In seltenen Situationen dürfen Ereignisse unkomfortabel und belästigend sein.
0	Bereiche, die der Bedeutungskategorie 0 zugeordnet sind, können zwar auch so sein, dass sie hohen Komfort oder auf mittleren Komfort aufweisen. Es darf aber quasi ständig auch ein nur geringer Komfort vorherrschen. Häufig dürfte es auch zu belästigenden Einwirkungssituationen kommen, die allgemein Unwohlsein hervorrufen können.

Tabelle 8 Einzuhaltende Anhaltswerte für die geplanten Wohngebäude nach [DIN 4150-2]

	[DIN 4150-2] Wohn- und Bürogebäude		[VDI 2038 Blatt 2]	
	Tags	Nachts	häufig BKII	selten BKI BKII
A _u unterer Anhaltswert	0,20	0,10		
A _o oberer Anhaltswert	5,00	0,30	0,2	1,0
A _r zeitbewerteter Anhaltswert	0,07	0,05		

4.4 Sekundärer Luftschall

Für die Beurteilung der Einwirkungen aus dem sekundären Luftschall gibt es keine einheitlichen Richtwerte. Eine Beurteilungsmöglichkeit ist in dem Leitfaden für den Planer [DB Leitfaden Planer] mit Tabelle 9 gegebenen, wobei die Zeile 3 anzusetzen wäre. Geräuschspitzen max L_{sek} dürfen 10 dB(A) über dem Immissionsrichtwert liegen. In vielen Fällen, so bei oberirdischen Eisenbahnstrecken überwiegt in der Regel der gleichzeitig direkt einfallende Luftschall. Unter bestimmten Umständen z.B. hinter einer Lärmschutzwand oder bei Tunnels kann der sekundäre Luftschall, der von den Raumbegrenzungsflächen abgestrahlt wird, einen beträchtlichen Anteil am gesamten Innenraumpegel einnehmen. Die Beurteilung erfolgt daher in den meisten Fällen gemeinsam mit dem primären Luftschall mit folgender Tendenz: überwiegt der primäre Luftschall kann der Richtwert für den sekundären Luftschall höher gewählt werden, ohne dass es zu Belästigungen kommt. Dominiert wegen einer starken Minderung des primären Luftschalls der sekundäre Luftschall, können schon geringe Werte des sekundären Luftschallpegels störend sein.

Nach der [TA Lärm] sollte in Wohn- und Schlafräumen während der Nachtzeit der Beurteilungspegel 25 dB(A) nicht überschreiten und Schallpegelspitzen nicht über 35 dB(A) liegen. Diese Abstufung ist für Büroräume nicht erforderlich, da hier eine nächtliche Nutzung eher die Ausnahme und dann zum Zwecke der Arbeit gegeben ist.

Tabelle 9 Immissionsrichtwerte für zumutbare Innenraumpegel L_{sek} (Mittelungspegel) bei geschlossenem Fenster bei Neubau-Strecken (ohne Vorbelastung), [DB Leitfaden Planer]

Zeile	Nutzung	Wohnräume/Tag L_{sek} (in dB(A))	Schlafräume/Nacht L_{sek} (in dB(A))
1	Krankenhäuser, Schulen, Kurheime, Altenheime	33	28
2	reine und allg. Wohngebiete u. Kleinsiedlungsgebiete	35	30
3	Kern-, Dorf- und Mischgebiete	40	35
4	Gewerbegebiete	45	40

Tabelle 10 Immissionsrichtwerte nach [TA Lärm]

Zeile	Nutzung	Immissionsorte außerhalb von Gebäuden		Immissionsorte innerhalb von Gebäuden oder bei Körperschallübertragung	
		dB(A)		dB(A)	
		tags	nachts	tags	nachts
A	Industriegebiete	70	70	35	25
B	Gewerbegebiete	65	50		
C	Kerngebiete, Dorfgebiete und Mischgebiete	60	45		
D	Allgemeine Wohngebiete und Kleinsiedlungsgebiete	55	40		
E	Reine Wohngebiete	50	35		
F	Kurgebiete, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45	35		
	Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen	30	20	10	10

5 Anlage und Durchführung der Schwingungsmessungen

5.1 Erschütterungsquellen

Während der Schwingungsmessungen wurde der Deutsche-Bahnverkehr auf der Bahnstrecke 6442 Zachun – Holthusen, Abschnitt Holthusen, Dorfstraße messtechnisch erfasst. Der Umfang der während der Messkampagne erfassten Züge sind in Tabelle 11 und Tabelle 12 wiedergegeben. Der maßgebliche Güter- und ICE-Verkehr fuhr auf den Gleisen 1 und 2, welche dem zu bebauenden Grundstück am Nächsten sind.

Tabelle 11 Erfasster Deutsche-Bahnverkehr Detaildarstellung

Nr.	Datum/Zeit	Richtung	Richtung	auf Gleis	GÜ	ICE	IC	Regio	lok
		<= <=	=> =>						
		<=	=>						
		Nordost	Südwest						
1	18.06.2019 10:42:03	X		1					1
2	18.06.2019 10:44:36	X		1		1			
3	18.06.2019 11:44:15	X		1				1	
4	18.06.2019 12:19:58	X		1			1		
5	18.06.2019 12:20:29		X	2				1	
6	18.06.2019 13:18:48		X	2	1				
7	18.06.2019 13:43:18	X		1				1	
8	18.06.2019 13:45:20		X	2			1		
9	18.06.2019 14:20:59		X	2				1	
10	18.06.2019 14:35:25	X		1		1			
11	18.06.2019 14:59:21		X	2				1	
12	18.06.2019 15:26:36		X	2		1			
13	18.06.2019 15:40:11	X		1				1	
14	18.06.2019 16:10:35	X		1			1		
15	18.06.2019 16:20:46		X	2				1	
16	18.06.2019 16:27:05	X		1	1				
17	18.06.2019 16:51:04	X		1				1	
18	18.06.2019 17:27:01		X	2		1			
19	18.06.2019 17:36:28		X	2				1	
20	18.06.2019 17:40:11	X		1				1	

Tabelle 12 Erfasster Deutsche-Bahnverkehr Gesamtübersicht

	Anzahl auf Gleis	GÜ	ICE	IC	Regio	Lok	Kontrollsumme
Gleis 1	11	1	2	2	5	1	11
Gleis 2	9	1	2	1	5	0	9
	20						20
	Summe	2	4	3	10	1	20

5.2 Messgeräte

Die Messungen erfolgten mit zwei 8-kanaligen Präzisions-Schwingungsmessern SMK-4812 der Dr. Kebe Scientific Instruments GmbH und Registrierung auf einem Rechner vom Typ HP Elitebook 8560p unter Verwendung eines 16-bit A/D-Wandlers des Herstellers National Instruments mit der Software MEDA 2018 der Wölfel Messsysteme Software GmbH + Co. KG.

Die Apparaturen entsprechen den Anforderungen der DIN 45669-1 und liefern schwinggeschwindigkeitsproportionale Signale mit einer Bandbegrenzung von 1-315 Hz.

Für die Erschütterungsbeurteilung wurde nur der Frequenzanteil 4-80 Hz berücksichtigt. Für die Beurteilung des sekundären Luftschalls wird der Frequenzbereich 20-250 Hz berücksichtigt.

5.3 Messorte und Messpunkte

Die Schwingungsmessungen erfolgten auf dem Grundstück in der Dorfstraße in Holthusen simultan an acht Messpunkten. Die Messpunkte sind im Lageplan in Abbildung 1 eingezeichnet und in Tabelle 13 näher beschrieben.

Mit dem Messaufbau wurde die Erschütterungsausbreitung im Freifeld erfasst. Um eine bestmögliche Ankopplung der Messaufnehmer zu erreichen, wurden diese eingegraben. Aufgrund der örtlichen Bedingungen zum Zeitpunkt der Messung war eine Applizierung der Aufnehmer in 100 cm bis 80 cm Bodentiefe möglich.

Tabelle 13 Messorte und Messpunkte
 Grundstück „Ortszentrum“ Dorfstraße

Messpunkt und Komp.	Messort	Standort	Aufnehmer	Ankopplung
A28 z	Freifeld	Ca. 28,0 m vom Abstand vom Bahngleis 2	SM 6	eingegraben
A38 z	Freifeld	Ca. 38,0 m vom Abstand vom Bahngleis 2	SM 6	eingegraben
B28 z	Freifeld	Ca. 28,0 m vom Abstand vom Bahngleis 2	uniaxial-vertikal-Aufnehmer	eingegraben
B38 xyz	Freifeld	Ca. 38,0 m vom Abstand vom Bahngleis 2	Bohrloch SM6	eingegraben
B48 z	Freifeld	Ca. 48,0 m vom Abstand vom Bahngleis 2	Bohrloch SM6	eingegraben
C28 xyz	Freifeld	Ca. 28,0 m vom Abstand vom Bahngleis 2	Bohrloch SM6	eingegraben
C38 xyz	Freifeld	Ca. 38,0 m vom Abstand vom Bahngleis 2	SM 6	eingegraben
C48 xyz	Freifeld	Ca. 48,0 m vom Abstand vom Bahngleis 2	SM 6	eingegraben

x-Komponente: horizontal in Richtung zur Bahn-Strecke, siehe Abbildung 1

y-Komponente: horizontal, senkrecht zu x

z-Komponente: vertikal

6 Grundlagen Prognose

Die Erschütterungsprognose erfolgt auf der Basis der [VDI 3837] und dem [DB Leitfadener Planer]. In den dort beschriebenen Verfahren wird die Übertragung der Erschütterungsemissionen in mehrere Teilsysteme unterteilt. Diese Teilsysteme bilden die Ausbreitung der Erschütterungen vom Emissionsort zum Immissionsort modellhaft nach. Die Berechnungen erfolgen mit den energetisch gemittelten Terz-Max-Hold-Spektren.

Tabelle 14 Kurzbeschreibung des Berechnungsverfahrens

Emissionssystem	$L_{v1}(f_{Tn})$	Ausgehend vom Emissionsspektrum (Terz-Max-Hold)
Transmissionssystem	$+L_{H2}(f_{Tn})$	breiten sich die Erschütterungen im Boden aus
Primäres Immissions-system	$+L_{H3}(f_{Tn})$	werden auf das Gebäudefundament übertragen
Sekundäres Immissi-onssystem	$+L_{H4}(f_{Tn})$	Danach erfolgt die Übertragung vom Fundament zur Gebäudedecke
Immission Geschoss-decke	$=L_{V4}(f_{Tn})$	Die Einwirkungen auf der Decke werden ...
Beurteilungssystem KB	$+L_{KB}(f_{Tn})$ $=L_{vKB}(f_{Tn})$	KB-bewertet und der
Bewertete Schwing-stärke	L_{vges}	Schwingschnelle-Summenpegel
	KB_{FTi}	Über den Taktmaximal-Effektivwert
	$KB_{FTm,j}$ KB_{Fmax} KB_{FTr}	erfolgt die weitere Beurteilung erfolgt mit den Verfahren der [DIN 4150-2] über die Berechnung der Taktmaximal-Effektivwerte für jede Schicht (Fahrzeuggattung, Gleis) und anschließend zusammenfassend die Beurteilungsschwingstärke für die Beurteilungszeiträume tag und nacht.
Beurteilungssystem L_{sek}	$L_{vges}(f_{Tn})+L_A(f_{Tn})$ $=L_{v(A)}(f_{Tn})$	Der Schwingschnelle-Summenpegel wird A-bewertet und
	$L_{v(A)}$	aus dem Spektralbereich 20 Hz bis 315 Hz der energetische Summenpegel ermittelt.
	L_{sek}	Daraus wird über eine Regressionsbeziehung der Mittelungsgesamtpegel in dB(A) berechnet, bezogen auf die jeweilige Schicht (Fahrzeuggattung, Gleis). Das Maximum wird mit dem Immissionsrichtwert verglichen.

7 Messergebnisse, Berechnungen und Begutachtung

Die Messungen erfolgten zu Anfang als kontinuierliche Aufzeichnung des Schwinggeschwindigkeits-Zeit-Signales, später wurden Messungen direkt bei den Zugvorbeifahrten gestartet und der handschriftlichen Aufzeichnung der Zugvorbeifahrten. Auf Basis dieser Aufzeichnungen wurden Teilstücke mit den Zug-Vorbeifahrten separiert und weiter ausgewertet.

Aus den Registrierungen wurden die einzelnen Vorbeifahrten von Zuggattung und Gleis separiert, auch „Schichten“ genannt. Bei der Auswertung der Terzspektren aller acht Freifeldmesspunkte wurde festgestellt, dass die Abnahme der Erschütterungen über die Entfernung in den Messergebnissen nicht wirklich ausgeprägt erkennbar ist. Die für die Prognoserechnung verwendeten Terzspektren werden daher aus allen acht Messpunkten gebildet. Es wird zunächst das Terz-Max-Hold-Spektren aller Messpunkte (z- Komponente) je Zugvorbeifahrt gebildet, aus denen das energetisch gemittelte Terzspektrum extrahiert wird. Abschließend wird aus diesen je Schicht das maximaleinhüllende Terzspektrum gebildet und für die Berechnung verwendet. Diese Terzspektren sind in Tabelle 16 zusammengestellt.

Die Freifeld-Messergebnisse geben eine Einschätzung der zu erwartenden Einwirkungen auf die geplanten Neubauten wieder. Beim Übergang auf die Gebäudefundamente (primäres Immissionssystem) und auf die Geschossdecken (sekundäres Immissionssystem) erfahren die Erschütterungen frequenzabhängig eine Vergrößerung bzw. Verringerung. Die Immissionsprognose wird mit dem Ansatz unterschiedlicher Eigenfrequenzen der Geschossdecken im Bereich 25 Hz bis 50 Hz durchgeführt. In Verbindung mit dem 2025 zu erwartenden Zugverkehr gemäß Tabelle 2 sind die in den Tabellen 15a und 15b zusammengestellten Immissionswerte zu erwarten.

Tabelle 15a Ergebnisse der Erschütterungsprognose

Nr.	Gebäude	tags		nachts		Beurteilung <i>tags nachts</i>			
		KBFmax	KBFT _r	KBFmax	KBFT _r	A _U		Nachweis	
1	B25	0.7130	0.1367	0.7130	0.0718	0,2	0,15	err	err
2	B32	0.6911	0.1303	0.6911	0.0702	0,2	0,15	err	err
3	B40	0.9439	0.1303	0.9439	0.0804	0,2	0,15	err	err
4	D50	1.1657	0.1243	1.1657	0.0806	0,2	0,15	err	err

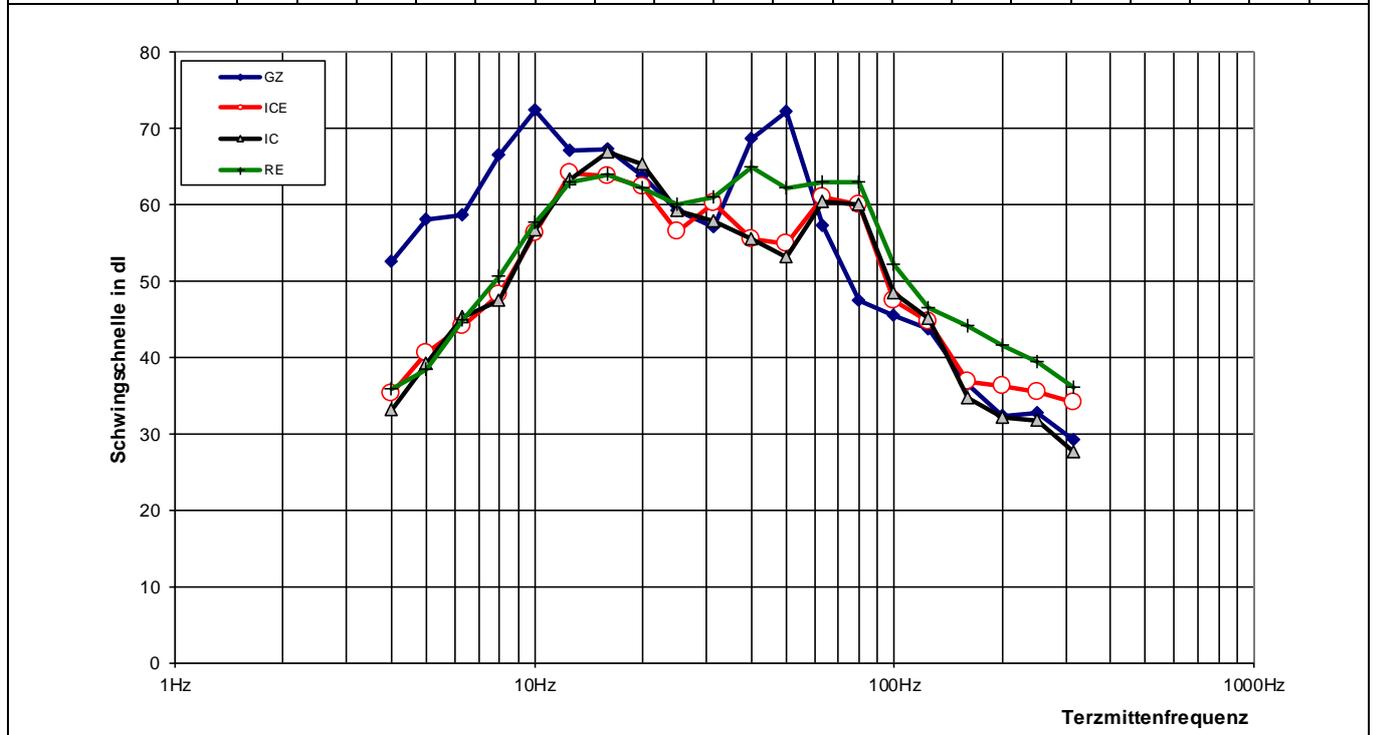
Tabelle 15b

Nr.	Gebäude	Beurteilung <i>tags nachts</i>							
		A _r		Nachweis		A _o		Nachweis	
1	B25	0,10	0,07	err	err	5	0,3	OK	err
2	B32	0,10	0,07	err	err	5	0,3	OK	err
3	B40	0,10	0,07	err	err	5	0,3	OK	err
4	D50	0,10	0,07	err	err	5	0,3	OK	err



Tabelle 16 Terzspektren

Güterzüge																				
Terz in Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Maximal Pegel dB	54.8	60.5	61.0	69.2	75.1	68.9	68.0	65.6	60.7	59.4	70.0	74.8	60.0	48.8	46.4	45.8	37.8	34.6	35.0	31.6
Energetisches Mittel in dB	52.6	58.0	58.6	66.6	72.4	67.2	67.3	63.9	59.2	57.1	68.8	72.2	57.3	47.4	45.5	43.8	36.5	32.4	32.8	29.1
ICE-Züge																				
Terz in Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Maximal Pegel dB	37.4	44.9	48.2	51.5	59.2	68.4	66.2	66.6	59.4	62.9	58.1	58.1	63.7	64.7	52.0	49.9	42.3	42.1	41.6	40.2
Energetisches Mittel in dB	35.4	40.7	44.2	48.3	56.3	64.1	63.7	62.3	56.6	60.3	55.6	55.0	60.9	60.0	47.4	44.8	36.8	36.2	35.6	34.2
IC-Züge																				
Terz in Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Maximal Pegel dB	36.4	43.2	47.7	50.6	58.4	65.3	67.5	65.8	61.0	58.2	55.8	54.4	61.2	60.8	48.9	45.7	38.1	36.9	36.4	32.5
Energetisches Mittel in dB	33.0	39.2	45.4	47.6	56.8	63.4	66.8	65.4	59.4	57.8	55.5	53.1	60.5	60.1	48.4	45.1	34.6	32.2	31.7	27.7
Regionalexpresszüge																				
Terz in Hz	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Maximal Pegel dB	40.2	41.6	47.9	55.4	62.0	66.3	69.1	66.6	64.9	67.1	72.2	67.3	68.8	69.3	59.8	52.3	52.9	50.7	48.9	45.6
Energetisches Mittel in dB	35.8	38.5	45.0	50.7	57.7	63.0	64.1	62.2	60.1	61.1	65.0	62.2	62.9	63.0	52.1	46.5	44.1	41.5	39.5	36.1



Die Werte enthalten keinen Sicherheitsfaktor und **zeigen an für alle Konstellationen an, dass die geplanten Wohngebäude nur mit schwingungsmindernden Maßnahmen errichtet werden können, um einen ausreichenden Immissionsschutz und Komfort bieten zu können.** Sowohl am Tag als auch in der Nacht werden die hinsichtlich Zeit und Intensität gewichteten Einwirkungen (KB_{FTr} und KB_{Fmax}) oberhalb des jeweiligen Anhaltswertes A_r bzw. A_o liegen. Mit Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren ist diese Aussage erst recht gültig.

Die weitere Gebäudeplanung muss folglich eine Schwingungsisolierung für die Gebäude vorsehen.

- Die Ausbildung einer massiven Bodenplatte wird nicht als ausreichend betrachtet. Daher Planung und Ausführung einer elastischen Lagerung. (a) Anordnung von Elastomerlagern 9 zwischen UG und EG oder (b) Anordnung von Elastomerlagern unterhalb der Gründung und senkrecht an der Außenwand zur Bahnstrecke.

Zu empfehlen ist zum Beispiel die Ausführung eines erprobten Systems der Firma Calenberg-Ingenieure (Cibatur). Dieses ist vergleichsweise unabhängig von den Bodenpressungen unter der Fundamentierung.