

ABS/NBS Hamburg - Lübeck - Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ)

Erschütterungstechnische Untersuchung

Planfeststellungsabschnitt 4 Oldenburg in Holstein, Göhl

baudyn GmbH

Arbeitsgemeinschaft FBQ

Stand 28. Februar 2019

Vorhabenträgerin:



DB Netz AG
Theodor-Heuss-Allee 7
60486 Frankfurt / M.

Regional zuständig:

DB Netz AG
Regionalbereich Nord
Großprojekte I.NG-N-F
Hammerbrookstraße 44
20097 Hamburg

Erstellt durch:



baudyn GmbH
Alsterdorfer Straße 245
22297 Hamburg

Im Auftrag der
Arbeitsgemeinschaft FBQ

The logo for Trüper Gondesen Partner (TGP), consisting of the letters 'TGP' in a large, grey, sans-serif font.



c/o
Trüper Gondesen Partner (TGP)
An der Untertrave 17
23568 Lübeck

Stand 2019-02-28
Version 1.3



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	6
2 Erschütterungen und sekundärer Luftschall	8
3 Beurteilungsgrundlagen	10
3.1 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden	10
3.1.1 Schienenverkehrserschütterungen	11
3.1.2 Erschütterungen durch Baumaßnahmen	12
3.2 Sekundäreffekte und sekundärer Luftschall	13
3.3 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen	14
4 Örtliche Situation	15
5 Schwingungsmessungen	16
5.1 Gelände und repräsentative Wohngebäude	16
5.2 Vergleichsmessungen	18
6 Vorgehensweise zur Prognose	19
6.1 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit	19
6.2 Einfluss des Ausbreitungsabstands	20
6.3 Übertragung der Emissionen mittels Deltaspektren	20
6.4 Statistische Übertragungsfunktionen zur Ermittlung des Untersuchungskorridors	21
6.5 Gebäudespezifische Übertragungsfunktionen zur Prognose im Untersuchungskorridor	21
6.5.1 Gebäudekategorie A-4	21
6.5.2 Gebäudekategorie B-4	22
6.6 Überfahrt von Weichen	22
6.7 Überfahrt von Brücken	22
6.8 Betriebsprogramm und verwendete Emissionen	23
6.8.1 Nullfall	24
6.8.2 Planfall	24
6.9 Maßnahmen	24
7 Ermittlung der betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen	27
7.1 Ermittlung des Untersuchungskorridors	27
7.2 Prognose im Untersuchungskorridor mit gemessenen Übertragungsfunktionen	29
8 Bewertung betriebsbedingter Erschütterungsimmissionen und Maßnahmen	30
8.1 Prognoseergebnisse ohne Maßnahmen	30
8.2 Mögliche Lösung von Schutzfällen und Kosten	30
8.3 Empfohlene Maßnahmen	31
9 Vorhabenbedingter Baubetrieb	32
10 Zusammenfassung	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarte Streckenführung PFA 4 von vor Oldenburg bis hinter Göhl	7
Abbildung 2: Erschütterungsübertragung Bahnstrecke - Gebäude	8
Abbildung 3: Wirksamkeit Maßnahmen.....	25
Abbildung 4: Mindestlänge Maßnahme am Gleis	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen auf Menschen.....	11
Tabelle 2: Schwingungsmessungen Wohngebäude, Gelände und Vergleichsstrecke	17
Tabelle 3: Übertragungsfunktionen Gebäudekategorie A-4	22
Tabelle 4: Übertragungsfunktionen Gebäudekategorie B-4	22
Tabelle 5: Betriebsprogramm Nullfall im PFA 4	24
Tabelle 6: Betriebsprogramm Planfall des PFA 4	24
Tabelle 7: Untersuchungskorridor Nullfall Richtungsgleis	27
Tabelle 8: Untersuchungskorridor Nullfall Gegengleis.....	28
Tabelle 9: Untersuchungskorridor Planfall Richtungsgleis.....	28
Tabelle 10: Untersuchungskorridor Planfall Gegengleis	28
Tabelle 11: Statistik Schutzeinheiten und Schutzfälle ohne Maßnahmen	30
Tabelle 12: Schutzfälle und Kosten im PFA 4 (Bau-km 155,590 - 155,665).....	31
Tabelle 13: Ergebnisse für ungelöste Schutzfälle bei empfohlener Maßnahme im PFA 4 (Bau-km 155,590 - 155,665)	31
Tabelle 14: Gebäudezahl in Abstand zur Gleisachse	33
Tabelle 15: Zusammenfassung Schutzeinheiten, Schutzfälle, Maßnahmen und Kosten.....	34

Abkürzungsverzeichnis

A_r	Beurteilungswert im Sinne eines Mittelwertkriteriums zum Vergleich mit der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTT}
A_o	oberer Anhaltswert im Sinne eines oberen Maximalwertkriteriums
A_u	unterer Anhaltswert im Sinne eines unteren Maximalwertkriteriums
A_0	Ausgangsamplitude im Abstand r_0
A	Amplitude im Abstand r
ABS	Ausbaustrecke
α	Abklingkoeffizient
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BSO/MK	Beton-Schotteroberbau mit Masse-Körper
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
bzw.	beziehungsweise
c	Wellenausbreitungsgeschwindigkeit
d	Abstand
D	Dämpfungsgrad
dB(A)	Dezibel (A)
DHDN GK4	Deutsches Hauptdreiecksnetz Gauß-Krüger Zone 4
DIN	Deutsches Institut für Normung
Δ	Änderung
DG	Dachgeschoss
E - Lok	elektrisch betriebene Lok
EFH	Einfamilienhaus
EG	Erdgeschoss
ET	Elektrische betriebener Triebwagen
f_s	Schwellenfachfrequenz
FBQ	Fehmarnbeltquerung
GG	Gegengleis
GZ	Güterzug
HFBQ	Hinterlandanbindung Fehmarnbeltquerung

Hg	Höchstgeschwindigkeit
Hz	Hertz
IC	Intercity
ICE	Intercity-Express
ICE-TD	Intercity-Express mit Dieseltriebwagen
KB_{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke
KB_{FTr}	Beurteilungs-Schwingstärke
LAI	Länderausschuss für Immissionsschutz
λ	Wellenlänge von Erschütterungen im Boden
Lfd. Nr.	laufende Nummer
L_{Fmax}	Maximalpegel des sekundären Luftschalls
$L_{Fmax,m}$	mittlerer Maximalpegel des sekundären Luftschalls
L_m	Mittelungspegel des sekundären Luftschalls
ΔL_u	Differenzpegel infolge Fahrgeschwindigkeitsänderungen
L_v	Schnellepegel
L_{vFmax}	maximaler Schnellepegel (F Zeitkonstante fast 125 ms)
L_{vFeq}	energieäquivalenter Schnellepegel (F Zeitkonstante fast 125 ms)
LINT	„leichter innovativer Nahverkehrstriebwagen“
m	Meter
mm/s	Millimeter je Sekunde
ms	Millisekunde
MFH	Mehrfamilienhaus
n	Ausbreitungskoeffizient
NBS	Neubaustrecke
nördl.	nördlich
OG	Obergeschoss
o.g.	oben genannte(n)
ÖNORM	Österreichische Normen
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PrNr	Bauwerksnummer
RB	Regionalbahn
RE	Regionalexpress
RG	Richtungsgleis
RH	Reihenhaus
Ril	Richtlinie
RV	Regionalverkehr
s.o.	siehe oben
s.u.	siehe unten
südl.	südlich
TA-Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
u	Fahrgeschwindigkeit
u.a.	unter anderem
u.g.	unten genannte(n)
V	Diesel betriebene Lok
VzG	Verzeichnis örtlich zulässiger Geschwindigkeiten
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
VPO	Vorplanungs-Optimierungsvariante
v	Schwinggeschwindigkeit
$v_{TerzFeq}$	Energieäquivalente Terzschnelle
$v_{TerzFmax}$	Maximale Terzschnelle
VT	Diesel betriebener Triebwagen
v_z	Schwinggeschwindigkeit in vertikaler Z-Richtung
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Mit einem Staatsvertrag haben das Königreich Dänemark und die Bundesrepublik Deutschland am 3. September 2008 in Kopenhagen den Bau einer festen Verbindung über den Fehmarnbelt vereinbart. Deutschland hat sich darin verpflichtet, für eine leistungsfähige Schienenanbindung bis Puttgarden zu sorgen, während Dänemark neben seiner Schienenanbindung auch die Finanzierung der Festen Fehmarnbeltquerung übernimmt.

Das Land Schleswig-Holstein hat im Mai 2010 die Festlegung getroffen, ein so genanntes Raumordnungsverfahren für die Schienenanbindung einzuleiten. Ziel des Verfahrens war eine Vorklärung der mit dem Projekt verbundenen räumlichen Eingriffe. Hierzu wurden verschiedene Streckenvarianten untersucht, unter den bahntechnischen Erfordernissen die umwelt- und immissionsrelevanten Auswirkungen bewertet und eine Antragstrasse ermittelt.

Die DB Netz AG beabsichtigt eine Planfeststellung für die ABS / NBS Hamburg - Lübeck - Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) zwischen Lübeck und Puttgarden mit einer gegenüber der landesplanerischen Beurteilung optimierten Trassenführung zu beantragen. Im Rahmen der Umweltplanungen ist eine erschütterungstechnische Untersuchung vorzunehmen. Hierzu sind die Einwirkungen von Erschütterungen aus dem Bau und dem Betrieb auf Menschen in Gebäuden sowie die Gebäude selbst zu untersuchen. Es handelt sich um für den Menschen spürbare Erschütterungen und von – durch die schwingenden, raumbegrenzenden Flächen abgestrahlten, hörbaren – sekundären Luftschall. Die erschütterungstechnische Untersuchung ist gemäß DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ vom 15.09.2017 vorzunehmen.

Im Rahmen der Untersuchung zu Erschütterungsimmissionen ist der Einfluss des geplanten Vorhabens auf die Erschütterungseinwirkungen zu bewerten. Hierzu ist die bestehende, plangegebene Situation mit der Umsetzung des geplanten Vorhabens zu vergleichen.

Die bestehende, plangegebene Situation ohne Umsetzung des Vorhabens und der weiteren vorgesehenen Baumaßnahmen wird als Prognose-Nullfall bezeichnet und ist im vorliegenden Fall mit einem Betriebsprogramm für den Prognosehorizont 2030 zu berücksichtigen, in dem keine Güterzüge auf der geplanten Strecke fahren.

Der Prognose-Planfall ist die Umsetzung des geplanten Vorhabens auf eine zweigleisige, elektrifizierte Strecke mit dem betreffenden Betriebsprogramm für den Prognosehorizont 2030, in dem Güterzüge auf der Strecke nach Puttgarden fahren. Für den Aus- und Neubau der Bahnstrecke sind die erforderlichen Baumaßnahmen im Hinblick auf die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen zu betrachten.

Das Vorhaben der Schienenanbindung betrifft die Bahnstrecke 1100: Lübeck-Puttgarden. Es wurde bereits ein Raumordnungsverfahren durchgeführt und unterschiedliche Trassenvarianten untersucht. In der Erschütterungstechnischen Untersuchung sind die Bestandsstrecke sowie die gegenüber der Raumordnungsvariante optimierte Trassenführung, der Antragstrasse, zu untersuchen:

- Bestandstrasse (12A), Strecke 1100 Lübeck bis Puttgarden,
- Vorplanungs-Optimierungsvariante (400L), Antragstrasse (VPO).

Das Vorhaben ist zwischen Lübeck und Puttgarden in acht Planfeststellungsabschnitte aufgeteilt, welche zweigleisig ausgebaut und elektrifiziert werden sollen:

- PFA Lübeck: Lübeck
- PFA 1: Bad Schwartau, Ratekau, Timmendorfer Strand, Scharbeutz,
- PFA 2: Sierksdorf, Neustadt in Holstein, Altenkrempe,
- PFA 3: Schashagen, Beschendorf, Manhagen, Lensahn, Damlos,
- PFA 4: Oldenburg in Holstein, Göhl,
- PFA 5.1: Heringsdorf, Neukirchen,
- PFA 5.2: Großenbrode,

- PFA 6: Fehmarn inklusive Brückenbereich.

In diesem Gutachten wird der Planfeststellungsabschnitt „PFA 4 Oldenburg i.H., Göhl“ betrachtet.

Die Grenzen des PFA 4 sind folgendermaßen festgelegt:

- Strecke 1100 Bestand km 50,301 bis km 58,040
- VP-Optimierungsvariante (VPO) Bau-km 150,752 bis Bau-km 157,055.

Das Untersuchungsgebiet ist in nachfolgender Übersichtskarte (Abbildung 1) mit der Bestandsstrecke dargestellt.

Abbildung 1: Übersichtskarte Streckenführung PFA 4 von vor Oldenburg bis hinter Göhl



Die zweigleisige und elektrifizierte Antragstrasse (Strecke 1100 – VPO) verläuft zum Beginn und zum Ende des PFA auf der eingleisigen Bestandsstrecke. Nach dem Ortsbeginn von Oldenburg i.H. verläuft die Neubaustrecke in einem weiten Abstand zu den Wohngebäuden in Richtung Göhl. Vor Göhl trifft die Neubaustrecke wieder auf die Bestandsstrecke und führt an Göhl bis zur PFA Grenze vor Rellin.

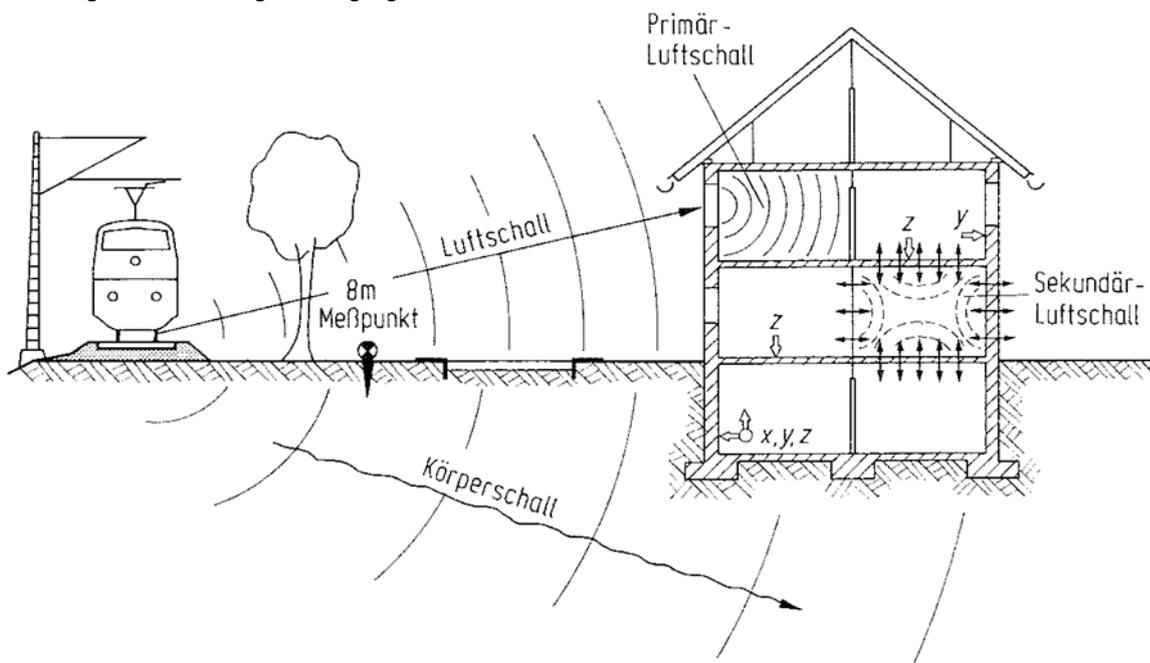
Die Erschütterungstechnische Untersuchung umfasst folgende Unterlagen:

- **19.1 Erschütterungstechnische Untersuchung**
- **19.2 Schwingungsmessungen**
 - 19.2.0 Übersicht Messobjekte
 - 19.2.1 Messergebnisse Messobjekt 4.1
 - 19.2.2 Messergebnisse Messobjekt 4.2
 - 19.2.3 Messergebnisse Messobjekt 4.3
 - 19.2.4 Messergebnisse Messobjekt 4.4
 - 19.2.5 Messergebnisse Messobjekt 4.5
 - 19.2.6 Messergebnisse Messobjekt 4.6
 - 19.2.7 Vergleichsmessungen Müssen
- **19.3 Untersuchungskorridor**
- **19.4 Prognose im Untersuchungskorridor**
 - 19.4.1 Gebäudedokumentation mit Zuordnung gemessener Übertragungsfunktionen
 - 19.4.2 Eingangsdaten der Prognose
 - 19.4.3 Ergebnistabellen der Prognose
 - 19.4.3.1 Prognose gesamte Strecke ohne Maßnahmen
 - 19.4.3.2 Prognose gesamte Strecke mit besohnten Schwellen
 - 19.4.3.3 Prognose gesamte Strecke mit Stahlbetontrog und Unterschottermatten
 - 19.4.3.4 Prognose mit empfohlenen Maßnahmen
 - 19.4.4 Schutzfälle, Kosten und empfohlene Maßnahmen
 - 19.4.5 Ergebnisse und empfohlene Maßnahmen Kartendarstellung
- **19.5 Betroffenheit Baubetrieb**

2 Erschütterungen und sekundärer Luftschall

Die Erschütterungen werden infolge von dynamischen Kräften, im vorliegenden Fall durch Schienenverkehr oder erschütterungsintensiven Baubetrieb, in den Boden eingeleitet (Emissionen) und breiten sich über den Boden (Transmission) bis zum Einwirkungsort (Immissionen) aus (Abbildung 2).

Abbildung 2: Erschütterungsübertragung Bahnstrecke - Gebäude¹



Bei der Übertragung der Erschütterungen im Boden erfolgt in Abhängigkeit von der Bodenschichtung und den Bodeneigenschaften eine Verteilung in den Raum und damit eine Verminderung der Erschütterungsamplitude mit der Entfernung.

Die Übertragung der Erschütterungen vom Boden in Gebäude erfolgt über die Gebäudegründung (Fundamente, Sohle, Pfähle). Von der Gebäudegründung verläuft die Übertragung weiter über Stützen und Wände bis auf die Stockwerksdecken, auf denen die Erschütterungen auf die Menschen einwirken.

Bei der Übertragung vom Boden auf das Gebäude erfolgt, vereinfachend dargestellt, bei niedrigen Frequenzen im Bereich der Eigenfrequenz des Gebäudes auf dem elastischen Baugrund eine Vergrößerung und bei höheren Frequenzen oberhalb der Eigenfrequenz eine Verminderung der Erschütterungsamplituden. Die Eigenfrequenzen ergeben sich im Wesentlichen aus der dynamischen Steifigkeit des Bodens sowie der Masse und Steifigkeit des Gebäudes. Bei Schienenverkehrserschütterungen werden auf Gebäudefundamenten in der Regel geringere Erschütterungsamplituden gemessen als auf Erdspießen an der Geländeoberkante.

Bei der Übertragung der Erschütterungen innerhalb von Gebäuden von der Gründung über die Stützen und Wände bis auf die Stockwerksdecken kann eine deutliche Verstärkung der Schwingungsamplituden auftreten. Diese sogenannte Resonanzanregung tritt bei einer Übereinstimmung oder Nähe der Resonanz- bzw. Eigenfrequenz einer Stockwerksdecke mit der Anregungsfrequenz des Schienenverkehrs auf. Bei einer Anregung mit Frequenzen deutlich oberhalb dieser Resonanz- oder Deckeneigenfrequenz erfolgt bei der Übertragung eine Verminderung der eingeleiteten Erschütterungen. Die Deckeneigenfrequenz hängt von dem Baumaterial (Stahlbeton, Holzbalken), von der Geometrie (Spannweite, Dicke), den Auflagerbedingungen (Stützen, Wände, Art der Einspannung) sowie den tatsächlichen statischen Lasten

¹ Heckl, M., Müller, G. (Hrsg.): Taschenbuch der Technischen Akustik; 2. Auflage, korrigierter Nachdruck 1995

ab. Die Deckeneigenfrequenzen liegen grundsätzlich im Bereich der Anregungsfrequenzen durch den hier zu betrachtenden Schienenverkehr.

Als Einwirkung auf den Menschen können die auf den Menschen über den Fußboden in schutzbedürftigen Räumen einwirkenden Erschütterungen spürbar sein. Durch auf die den Raum begrenzenden Flächen übertragene Schwingungen strahlen diese Flächen Schall ab, der als sekundärer Luftschall bezeichnet wird und hörbar für den Menschen sein kann.

Ausgangspunkt für die Beschreibung von Erschütterungen ist der Verlauf der Bewegungsgröße Schwinggeschwindigkeit v über die Zeit t mit der Einheit mm/s aus der dann weitere Größen, wie z.B. die u.g. bewertete Schwingstärke, ermittelt werden. Zur Beschreibung des Frequenzinhalts wird eine Filterung in Terzen (Bandpassfilter) vorgenommen und eine Amplitudendarstellung in Pegeln mit der Einheit dB vorgenommen und als Terzsnellepegel L_v bezeichnet.

Für die Erschütterungseinwirkungen auf Menschen werden die Beurteilungsgrößen gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ für einzelne Erschütterungsereignisse, z.B. eine Zugvorbeifahrt, die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ sowie als Mittelungsgröße die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ verwendet. Die Einheit von $KB_{F_{max}}$ und $KB_{F_{Tr}}$ ist eins. Die Einwirkung des sekundären Luftschalls wird für einzelne Ereignisse mit dem Maximalpegel L_{max} und als Mittelungsgröße der Mittelungspegel L_m verwendet. Die Luftschallpegel werden für eine Berücksichtigung der frequenzabhängigen Hörsamkeit des Menschen mit der A-Kurve bewertet und mit der Einheit dB(A) angegeben.

Zur Bewertung der Einwirkung von Erschütterungen auf Gebäude werden gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“ die Schwinggeschwindigkeit in mm/s und dominierende Schwingfrequenz in Hz verwendet.

3 Beurteilungsgrundlagen

Die Beurteilung der Immissionen erfolgte auf Grundlage der DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“, welche auf der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ und Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“ bzw. für den sekundären Luftschall in Anlehnung an den primären Schienenverkehrslärm auf der 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV und der geltenden Verwaltungsrechtsprechung für den Ausbau von Bahnstrecken beruht.

Die Anforderungen werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

3.1 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden erfolgt ausgehend von der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“.

In der DIN 4150 Teil 2 wird eine maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ als Maximalwertkriterium und eine Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ als Mittelwertkriterium verwendet.

Zur Beurteilung, ob die auftretenden Gebäudeerschütterungen für die sich dort aufhaltenden Menschen eine Belästigung darstellen, ist entsprechend DIN 4150 Teil 2 die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ auf der Fußbodenebene, auf der sich die Menschen aufhalten, heranzuziehen.

Bei der Ermittlung der bewerteten Schwingstärke treten gemäß DIN 4150 Teil 2 erfahrungsbedingt messtechnisch bedingte Unsicherheiten von bis etwa 15 % auf. Gemäß der Erschütterungsrichtlinie der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)² ist diese Unsicherheit bei Anordnungen, die auf Messergebnissen beruhen, abzuziehen. Diese Unsicherheit wurde bei den Ergebnissen der Schwingungsmessungen und in der Prognose nicht berücksichtigt.

Die Anforderungen der Norm sind eingehalten, wenn die gemessenen, maximalen $KB_{F_{max}}$ -Werte kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert A_u der Norm sind. Liegen die gemessenen $KB_{F_{max}}$ -Werte zwischen den Anhaltswerten A_u und A_o , so ist zusätzlich die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ zu ermitteln. Die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ ist mit der Anforderung für das Mittelwertkriterium, dem Anhaltswert A_r zu vergleichen.

Die vorstehend genannten Anhaltswerte sind von der Nutzungsart der Gebäude in der örtlichen Umgebung des zu beurteilenden Bauwerks abhängig. Dabei hängt die Einordnung des Bauwerkes nicht nur von der vorhandenen oder geplanten Nutzung des Gebäudes selbst ab. Die Einordnung von Gebäuden wird gemäß der geltenden DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 vorgenommen (s.u. Tabelle 1).

Die Anforderungen der Norm gelten zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen tags (6-22 Uhr) und nachts (22-6 Uhr).

Gemäß DIN 4150 Teil 2 ist bei Einhaltung der Anhaltswerte davon auszugehen, dass erhebliche Belästigungen vermieden werden.

² Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz, Arbeitsgremium der Umweltministerkonferenz, 15.06.2018

Tabelle 1: Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen auf Menschen

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ Tabelle 1 (Ausgabe Juni 1999)							
Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8)	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 BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, 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 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 Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

- A_r Beurteilungswert im Sinne eines Mittelwertkriteriums zum Vergleich mit der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr}
- A_o oberer Anhaltswert im Sinne eines oberen Maximalwertkriteriums
- A_u unterer Anhaltswert im Sinne eines unteren Maximalwertkriteriums

3.1.1 Schienenverkehrserschütterungen

In der DIN 4150 Teil 2 werden in Abschnitt 6.5.3 quellenspezifische Angaben zu Erschütterungen durch Schienenverkehr gemacht. Gemäß Abschnitt 6.5.3.5 wird dem oberen Anhaltswert A_o nachts nicht die Bedeutung gegeben, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm nicht eingehalten wären. Liegen jedoch bei oberirdischen Strecken gebietsunabhängig einzelne Erschütterungsereignisse oberhalb eines Wertes von KB_{Fmax} = 0,6 ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z.B. Flachstellen an Rädern). Diese Regelung steht im Einklang mit der besonderen Bedeutung der als Mittelwert über die gesamte Beurteilungszeit tags (6-22 Uhr) oder nachts (22-6 Uhr) zu ermittelnden Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} gegenüber den bei Einzelereignissen auftretenden maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax}.

Zur Beurteilung von Schienenverkehrserschütterungen bei dem Neu- und Ausbau von Strecken werden ausschließlich der Anhaltswert A_u zum Vergleich mit der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} und der Anhaltswert A_r zum Vergleich mit der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} verwendet.

Bei dem Ausbau bestehender Bahnstrecken ist die Vorbelastung durch Erschütterungen gemäß der geltenden Verwaltungsrechtsprechung schutzmindernd zu berücksichtigen. In Untersuchungen³ zur Wahrnehmung von Erschütterungen hat sich herausgestellt, dass eine Erhöhung der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} ab 25 % vom Menschen als eine Erhöhung in der Wahrnehmung der Erschütterungen differenzierbar ist. In der Praxis wurde die Anwendung dieser Unterschiedsschwelle auf die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} vom Bundesverwaltungsgericht bestätigt⁴. Aus diesem Grund werden ausgehend von der Vorbelastung Veränderungen der Erschütterungseinwirkungen um mehr als 25 % als eine wesentliche Erhöhung bewertet.

Die beschriebene Vorgehensweise entspricht der aktuellen Rechtsprechung, wurde vom Bundesverwaltungsgericht für Planfeststellungsverfahren von oberirdischen Personen- und Güterfernbahnstrecken bestätigt (s.o.) und ist in der DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ angegeben.

Diese schutzmindernde Wirkung der Vorbelastung ist auf die Schwelle zur Eigentums- bzw. Gesundheitsverletzung begrenzt. Werden im Zuge der Untersuchung bestehende oder entstehende Überschreitungen dieser Schwelle festgestellt, sind Maßnahmen zum Erschütterungsschutz zu untersuchen.

Es liegen keine Richtlinien oder Untersuchungen zu Eigentums- oder Gesundheitsverletzungen infolge von Erschütterungseinwirkungen vor. Gemäß dem Bundesverwaltungsgericht⁴ heißt es: *„Diese Schwelle muss aber jedenfalls noch deutlich über dem in Industriegebieten und bezogen auf den Nahverkehr geltenden Anhaltswert A_r von 0,3 tags und 0,23 nachts liegen; denn solche Belastungen werden den Betroffenen ohne Weiteres zugemutet.“*

Hierzu heißt es in einer Verfügung des Eisenbahn-Bundesamtes vom 30.01.2017:

„Zum Umgang mit Erschütterungen und sekundärem Luftschall aus dem Eisenbahnbetrieb in der Planfeststellung ist nachfolgendes zu beachten: [...]

3. Festlegung über das Vorliegen einer unzumutbaren Erschütterungsimmission

a. Der Maßstab für die Einordnung einer betriebsbedingten Erschütterungsimmission durch neu zu bauende Schienenwege als unzumutbar ergibt sich aus der Tabelle 1 der DIN 4150-2 vom Juni 1999 mit den maßgeblichen Parametern A_u und A_r als Anhaltswerte.

b. Bei Schienenwegen, die geändert werden, sind betriebsbedingte Erschütterungsimmissionen unzumutbar, wenn die maßgeblichen Anhaltswerte aus der Tabelle 1 der DIN 4150-2 vom Juni 1999 überschritten werden und die Erschütterungsimmission, bezogen auf die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} , vorhabenbedingt um mindestens 25 % gegenüber der Vorbelastung (Prognosenullfall) zunimmt.

c. Abschnitte mit Beurteilungsschwingstärken mit KB_{FTr} ab einem Bereich von 1,1 tags und 0,7 nachts als Vorbelastung, die vorhabenbedingt gering (ab dritte Nachkommastelle) ansteigt, sind gutachterlich besonders zu untersuchen und unter Berücksichtigung des Einzelfalls im Hinblick auf den Eigentums- und Gesundheitsschutz in der Abwägung über zu treffende Schutzmaßnahmen zu betrachten. [...]

Die unter 3. c. genannte Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} von 1,1 tags und 0,7 nachts sind aus unserer Erfahrung als sehr hohe Werte zu betrachten und wurden von uns bei Schwingungsmessungen in Gebäuden an Bahnstrecken nicht festgestellt.

3.1.2 Erschütterungen durch Baumaßnahmen

Zur Beurteilung von baubedingten Erschütterungen ist die Bewertung für tags gemäß DIN 4150 Teil 2 Abschnitt 6.5.4 „Erschütterungen durch Baumaßnahmen“ vorzunehmen. Die dort genannten Anhaltswerte werden in Abhängigkeit von der Dauer der erschütterungsintensiven Baumaßnahmen in drei verschiedenen Stufen angegeben.

³ A. Said; D. Fleischer; H. Fastl; H.-P. Grütz, G. Hölzl: Laborversuche zur Ermittlung von Unterschiedsschwellen bei der Wahrnehmung von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr“, DAGA 2000, S. 496-497

⁴ BVerwG, Az 7 A 14/09, Urteil vom 21.12.2010

Bei der unteren Stufe I ist nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen. Bei der mittleren Stufe II sind Maßnahmen zur Information, Organisation und messtechnischen Beobachtung vorgesehen, um die belästigende Erschütterungseinwirkungen nach Möglichkeit zu begrenzen und die Akzeptanz zu erhöhen. Bei Überschreitung der oberen Stufe III sind die Einwirkungen unzumutbar und besondere Maßnahmen notwendig.

Für die Nachtzeit gelten die Anforderungen der o.g. Tabelle 1 der DIN 4150 Teil 2.

In der „Verfügung zu baubedingten Erschütterungen in der Planfeststellung“ des Eisenbahn-Bundesamtes vom 18.10.2017 wird der Anlass für eine gutachterliche Untersuchung der baubedingten Erschütterungen beschrieben, für die Maßstäbe zur Beurteilung von baubedingten Erschütterungsimmissionen auf die Anhaltswerte in der DIN 4150 Teil 2 bzw. Erschütterungsrichtlinie der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionschutz (LAI) verwiesen sowie auf die Anlage 6 (A06) DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ hingewiesen.

3.2 Sekundäreffekte und sekundärer Luftschall

Die Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude können für die Wahrnehmung des Menschen zusätzlich Sekundäreffekte wie das Klirren von Gläsern oder sekundären Luftschall hervorrufen.

Sekundärer Luftschall kann durch die Abstrahlung infolge von Erschütterungsübertragung durch schwingende, raumbegrenzende Flächen verursacht werden. Darüber hinaus können in Räumen stehende Wellen mit einer deutlichen Erhöhung der Luftschallpegel auftreten. Der sekundäre Luftschall ist im Allgemeinen tieffrequenter und kann störend wahrnehmbar sein, insbesondere wenn der primäre Luftschall des Emittenten gering oder wie bei unterirdischem Schienenverkehr nicht vorhanden ist.

Wegen der mit höheren Frequenzen zunehmenden Hörfähigkeit des Menschen sind als Anregung im wesentlichen Maschinenschwingungen und Schienenverkehrserschütterungen, seltener temporärer Baubetrieb, mit Frequenzen ab der 50 Hz-Terz und höher maßgeblich. Der sekundäre Luftschall wird erst am Immissionsort emittiert, während der primäre Luftschall am Emissionsort durch ein Schienenfahrzeug auf der Bahnstrecke emittiert wird und dann über eine gewisse Entfernung über die Luft zum Immissionsort übertragen wird. Die Betrachtungen zum primären Luftschall erfolgen in der Untersuchung zu betriebsbedingten Schallimmissionen durch die LAIRM CONSULT GmbH.

Zur Beurteilung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr liegen in Deutschland keine explizit geltenden Anforderungen vor.

In der VDI-Richtlinie 2038 (November 2013) „Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen - Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik“ Blatt 3 „Sekundärer Luftschall - Grundlagen, Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung“ wird auf die national und international vorliegenden Anforderungen verwiesen und die Beurteilung erläutert.

Im Rahmen von Planfeststellungsverfahren von oberirdischen Personen- und Güterstrecken ist zur Beurteilung des sekundären Luftschalls in Anlehnung an den primären Schienenverkehrslärm gemäß 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV ein Beurteilungspegel für Schlafräume nachts von 30 dB(A) und für Wohnräume tags von 40 dB(A) zu Grunde zu legen.

Bei dem Ausbau bestehender Bahnstrecken ist die Vorbelastung durch sekundären Luftschall gemäß der geltenden Verwaltungsrechtsprechung schutzmindernd zu berücksichtigen. In der Untersuchung der Wahrnehmung von Schall hat sich herausgestellt, dass eine Erhöhung des Schallpegels ab 3 dB vom Menschen als eine Erhöhung in der Wahrnehmung des Schalls differenzierbar ist. Aus diesem Grund werden ausgehend von der Vorbelastung Erhöhungen des sekundären Luftschalls um mehr als 3 dB als eine wesentliche Erhöhung bewertet. Aufgrund der bei Schallimmissionen zur Ermittlung von Beurteilungspegeln vorzunehmenden Aufrundung ab 1/10 dB wird diese Vorgehensweise auch für den sekundären Luftschall angewendet, so dass eine Erhöhung des sekundären Luftschalls um 2.1 dB auf 3 dB aufgerundet wird.

Die beschriebene Vorgehensweise entspricht der aktuellen Rechtsprechung, wurde vom Bundesverwaltungsgericht für Planfeststellungsverfahren von oberirdischen Personen- und Güterfernbahnstrecken bestätigt (s.o.) und ist in der DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ angegeben.

3.3 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

Die Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen sind im Hinblick auf die Vermeidung von Schäden zu betrachten. Als Richtlinien sind die „Erschütterungs-Leitlinie“ des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) bzw. DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“ in der aktuellen Ausgabe vom Dezember 2016 maßgebend.

Zu Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen wurde vom Eisenbahn-Bundesamt mit Datum vom 18.10.2017 die „Verfügung zu baubedingten Erschütterungen in der Planfeststellung“ herausgegeben. In der Verfügung wird der Anlass für eine gutachterliche Untersuchung der baubedingten Erschütterungen beschrieben. Zur Beurteilung wird auf die Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 verwiesen sowie die Anlage 6 (A06) DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ hingewiesen.

Aus der Erfahrung mit Schwingungsmessungen in der Praxis liegen die bei Schienenverkehr auftretenden Erschütterungen in der Regel deutlich unterhalb der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3. Bei der Einhaltung dieser Anhaltswerte treten neue Schäden an Gebäuden erfahrungsgemäß nicht auf.

Im vorliegenden Fall ist der vorhabenbedingte Baubetrieb im Hinblick auf die Einwirkung auf bauliche Anlagen zu berücksichtigen.

Zur Vermeidung von Schäden werden Anforderungen in der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“ mit Anhaltswerten der Schwinggeschwindigkeit für Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen genannt und Angaben zur Durchführung von Schwingungsmessungen gemacht.

Die Anhaltswerte werden für Messpunkte am Fundament, in der obersten Geschossebene, auf Decken, unterirdische Bauwerke und erdverlegte Rohrleitungen angegeben. Die Einwirkungsdauer wird in kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen und Dauererschütterungen unterschieden.

Unabhängig von der messtechnisch erfassbaren Schwinggeschwindigkeit werden Hinweise zu Erschütterungseinwirkungen auf Böden im Gründungsbereich von baulichen Anlagen angegeben.

4 Örtliche Situation

Von der Planfeststellungsgrenze zum PFA 3 verläuft die Strecke 1100 bis ca. 250m nördlich des Bahnübergangs Sebenter Weg in alter Trassenlage. Von hier ab erfolgt die Linienführung in neuer Trassenlage östlich der Stadt Oldenburg in Holstein. In Höhe der Ortslage Göhl wird die alte Trassenlage wieder erreicht. Der minimale Abstand zu den in einem Wohngebiet liegenden Wohngebäuden in Oldenburg in Holstein beträgt hier im Bereich Oldenburger Bruch 315 m. Die Neubaustrecke verläuft ab kurz vor Göhl (Bau-km 155,036) wieder im Bereich der Bestandsstrecke und führt in Göhl entlang eines Dorf- und Kerngebietes bis zur Grenze von PFA 5.1 vor Rellin.

Im geotechnischen Bericht 2014/172 der BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieurgesellschaft mbH für den PFA 4 vom 04.12.2015 wird empfohlen, entlang der gesamten Strecke des PFA 4 den Baugrund auszutauschen. Oberflächennah wurden setzungsempfindliche Sedimente in Form von Oberboden, Torf, Mudde und weichen bindigen Böden erkundigt. Speziell für die Torfrinne Haltepunkt Oldenburg (Bau-km 153,230 – Bau-km 153,340) wird aufgrund der tiefreichenden Weichschichten bis 7,10 m ein aufgeständertes Gründungspolster empfohlen um den Untergrund den Anforderungen entsprechend zu ertüchtigen. Es ist vorgesehen den westlichen Teil des Oldenburger Grabens mit einer unterhalb der organischen Weichschicht tiefgegründeten Brückenkonstruktion von 151,75 bis Bau-km 152,25 zu überbauen.

Laut Bodenübersichtskarte CC2326 der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe aus dem Jahr 2015 handelt es sich hierbei um eine weit unter Oldenburg hineinreichende organische Weichschicht. Die sich an dieser Stelle mit einem Abstand von 315 m am nächsten zur Neubaustrecke befindlichen Wohngebäude stehen allerdings nicht auf dieser organischen Weichschicht. Durch die so veränderte Steifigkeit des Untergrundes ist davon auszugehen, dass die in Weichschichten weit transportierten tieffrequenten Erschütterungen nicht in den bindigen und steiferen Boden, auf welchem sich die Wohngebäude befinden, übertragen werden. Von einer Übertragung der Schwingung bis zu den Gebäuden ist somit nicht auszugehen. Der übrige Teil der Strecke wird nach dem empfohlenen Bodenaustausch auf tragfähigem Untergrund gegründet sein, wodurch auch im übrigen PFA keine ungünstigen Erschütterungsemissionen oder -ausbreitung zu erwarten sind.

5 Schwingungsmessungen

In den Untersuchungen zu betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen infolge von Schienenverkehr sind als Immissionen auf Menschen in Gebäuden Erschütterungen und infolge der Schwingung von raumbegrenzenden Flächen sekundär abgestrahlter Luftschall zu betrachten.

Im Gegensatz zur Untersuchung der betriebsbedingten Schallimmissionen, bei der eine Prognose ausschließlich auf Grundlage von detaillierten Berechnungen erfolgt, wird die Prognose in der erschütterungstechnischen Untersuchung für die Beantragung von Planfeststellungen auf Grundlage von Schwingungsmessungen im Gelände und in repräsentativen Wohngebäuden (Messobjekte) vorgenommen.

Aus den Ergebnissen der Schwingungsmessungen werden die Bodeneigenschaften an der Bahnstrecke im Hinblick auf die Erschütterungsemissionen, die Ausbreitung im Boden und die Übertragung vom Gelände auf die Stockwerkdecken in Gebäuden ermittelt. Für die im Einflussbereich der Bestandsstrecke befindlichen Messobjekte werden die Schwingungsmessungen bei der durch die Vorbeifahrt von Zügen verursachten Erschütterungen durchgeführt.

5.1 Gelände und repräsentative Wohngebäude

Die für das Vorhaben geplante Trassenführung verläuft teilweise in der Nähe zu bewohntem Gebiet in gleicher Lage wie die Bestandsstrecke. Weite Abschnitte der Trasse führen in weiter Entfernung an bewohntem Gebiet vorbei oder durch dünn bewohntes Gebiet.

Aufgrund dieser Randbedingung befinden sich die Messobjekte, bei denen Schienenverkehrserschütterungen gemessen wurden immer so nah wie möglich an der Gleisachse. Das bedeutet im Nullfall Abstände von etwa 18 m in Oldenburg i.H. und etwa 11 m in Göhl. Dies sind zugleich die geringsten Abstände, welche Wohngebäude in diesem PFA von der Gleisachse haben. Die nächstliegenden Wohngebäude entlang der Ausbaustrecke im Planfall haben einen Abstand von 82 m in Oldenburg i.H. und 11 m in Göhl.

Der für das Vorhaben geplante Eisenbahnbetrieb umfasst Zuggattungen, die derzeit nicht auf der Bestandsstrecke verkehren. Aus diesem Grund wurden Schwingungsmessungen an einer Vergleichsstrecke durchgeführt. Diese Messungen werden in Kapitel 5.2 beschrieben.

Die Schwingungsmessungen sind in der Unterlage 19.2 dokumentiert.

In der Tabelle 2 sind die durchgeführten Schwingungsmessungen mit Angaben über die Lage und die Gebäudeart aufgeführt. In der letzten Zeile der Tabelle sind die Vergleichsmessungen zur Ermittlung der Emissionen von Zuggattungen angegeben, die derzeit nicht zwischen Lübeck und Puttgarden verkehren.

Die Auswahl der Messobjekte erfolgte im Wesentlichen aufgrund der Lage der Wohngebäude mit einem geringen Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse, um die höchsten Erschütterungsimmissionen zu erfassen. Darüber hinaus wurde eine unterschiedliche Bauweise bei der Auswahl berücksichtigt. Bei den Wohngebäuden im Untersuchungsgebiet handelt es sich überwiegend um Einfamilienhäuser eingeschossige oder zweigeschossige Einfamilienhäuser mit bewohntem Dachgeschoss, wobei die Baujahre zwischen dem 19. Jahrhundert und heute liegen. Diese Wohngebäude verfügen insbesondere bei älteren Wohngebäuden über Steinkappendecken und Holzbalkendecken und bei den moderneren Wohngebäuden über Holzbalkendecken und Stahlbetondecken.

Die Schwingungsmessungen wurden gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“, DIN 45669 „Messung von Schwingungsimmissionen“, DIN 45672 „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen“ Teil 1 „Messverfahren“, Teil 2 „Auswerteverfahren“ durchgeführt und ausgewertet. Die Vorgehensweise entsprach der DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“.

Tabelle 2: Schwingungsmessungen Wohngebäude, Gelände und Vergleichsstrecke

PFA	Strecke 1100 Bau- km	Messobjekt		Nullfall		Planfall		Gebäudeart	Stockwerksdecken (Fußbodenebene)
		Adresse	Nr.	Abstand Gleisachse	Lage	Abstand Gleisachse	Lage		
4	152,725	Meiereiweg 3, 23758 Oldenburg in Holstein	4.1	18,32 m	Nord	889,78 m	Nord	Doppelhaushälfte	Beton (EG) Holzbalken (DG)
4	155,026	Schulgarten 5, 23758 Göhl	4.2	15,07 m	Süd	11,48 m	Süd	EFH	Holzbalken (EG, DG)
4	152,810	Göhler Str. 36A, 23758 Oldenburg in Holstein	4.3	17,54 m	Nord	824,98 m	Nord	EFH	Beton (EG) Holzbalken (DG)
4	152,550	Lankenstraße 25, 23758 Oldenburg in Holstein	4.4	32,71 m	Nord	1034,91 m	Nord	EFH	Betondecken (EG, DG)
4	155,340	Edisonstraße 4f/4b, 23758 Göhl	4.5	35,18 m	Süd	31,18 m	Süd	MFH	Holzbalken (DG)
4	155,300	Edisonstraße 4d, 23758 Göhl	4.6	66,44 m	Süd	62,44 m	Süd	EFH	Holzbalken (DG)
-	Strecke 6100 Berlin- Hamburg 242,96	Vergleichsmessungen Emissionen im Gelände Büchener Straße in 21516 Müssen	Vgl.-Msg.	10 m, 16 m, 24 m, 32 m, 40 m, 64 m, 120 m	Nord	-	Nord	Gelände	-

Die Messpunkte wurden am Fundament, auf der Gebäudesohle bzw. an der aufgehenden Wand der untersten Geschossebene, sowie auf Deckenfeldern im Erd- und in Ober- bzw. Dachgeschoss vorgenommen. Im Gelände der Grundstücke sollten Messpunkte grundsätzlich unterhalb der Deckschicht auf Erdspeissen in 8 m, 16 m und 32 m sowie nach Möglichkeit 64 m von der Gleisachse eingesetzt werden. In 8 m von der Gleisachse sind die dort als Emissionen definierten Erschütterungen auf drei Messpunkten parallel zur Gleisachse zu messen. Diese Messpunkte wurden abhängig von den gegebenen Verhältnissen auf den Grundstücken, des Geländes, von Bewuchs und vorhandener Bebauung realisiert. Die verwendeten Messpunkte und Abstände sind in der Dokumentation der Schwingungsmessungen für die einzelnen Messobjekte angegeben.

Als Erschütterungsereignisse wurde der derzeitige Zugverkehr mit den folgenden Zugattungen registriert:

- Regionalverkehr mit den Dieseltriebwagen LINT 41 mit einer Höchstgeschwindigkeit von bis zu 120 km/h,
- Fernverkehr mit den Dieseltriebwagen IC 3 (DSB), teilweise ICE-TD sowie Diesel-Lok betriebenen IC mit bis zu 140 km/h.

Die Schwingungsmessungen sind in der Unterlage 19.2 Schwingungsmessungen getrennt für jedes Messobjekt dokumentiert. In der Dokumentation der Schwingungsmessungen sind die Messobjekte und Messpunkte dargestellt. In einer tabellarischen Auswertung sind die Zugvorbeifahrten mit der Schwingungsamplitude (maximale Schwinggeschwindigkeit v_{max} , maximale Bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}) der dominierenden Frequenz, Zugattung, Fahrtrichtung, Gleis, Anzahl der Wagons, Zuglänge, Traktion sowie der Fahrgeschwindigkeit angegeben. Für repräsentative Zugvorbeifahrten sind die Schwingungsmessungen im Zeit- und Frequenzbereich dargestellt. Darüber hinaus werden die gemessenen und auf bestimmte Fahrgeschwindigkeiten gerechneten Terzschnellepegel für die Emissionen im Gelände (siehe Kapitel 6.1), die Erschütterungsausbreitung im Gelände über eine terzweise Regression (siehe Kapitel 6.2) sowie die Übertragungsfunktionen vom Gelände-Fundament-Decke als Terzdifferenzpegel ermittelt und dargestellt.

Bei den Schwingungsmessungen in den Messobjekten wurde versucht, eine große Bandbreite an Übertragungsfunktionen vom Gelände auf die Decke zu ermitteln. Die Messung der Emissionen sind ebenfalls von den örtlichen Gegebenheiten abhängig und der ursprünglich als Referenzzug vorgesehene ICE-TD (Diesel betriebener ICE-Triebwagen) verkehrte nur noch sehr selten und nicht mehr auf den Strecken der Referenzmessungen (Kapitel 5.2).

5.2 Vergleichsmessungen

Zukünftig ist auf der elektrifizierten Strecke zwischen Lübeck Hauptbahnhof und der Festen Fehmarnbeltquerung vorgesehen, im Fernverkehr IC mit bis zu 200 km/h, im Regionalverkehr elektrische Triebwagen (Doppelstock-Wagen) mit bis zu 160 km/h sowie im Güterverkehr Güterzüge mit E-Lok mit bis zu 120 km/h einzusetzen.

Es werden zur Durchführung der Prognose für den Planfall daher Erschütterungs-Emissionen von derzeit nicht im Untersuchungsgebiet verkehrenden Fahrzeugtypen und Fahrgeschwindigkeiten benötigt. Zur Erfassung dieser Erschütterungs-Emissionen wurden Vergleichsmessungen an anderen Strecken vorgenommen.

Die Übertragung der Erschütterungs-Emissionen von der Vergleichsstrecke auf das Untersuchungsgebiet erfolgt über einen Referenzzug, welcher auf der Vergleichsstrecke sowie auf der Bestandsstrecke verkehrt. Im vorliegenden Fall war dies über den Regionalverkehrszug mit Verbrennungstriebwagen vom Typ LINT 41 möglich.

Die Durchführung der Prognose wurde im vorliegenden Fall unter Verwendung der Schwingungsmessungen an der Vergleichsstrecke 6100 Berlin - Hamburg in dem Ort Müssen vorgenommen, weil dort zum Zeitpunkt der Schwingungsmessungen die betreffenden Zugfahrzeuge mit den erforderlichen Fahrgeschwindigkeiten verkehrten. Es handelt sich um eine zweigleisige Strecke mit Betonschwellen und einem etwa 1,5 m hohen Damm. Das Messgelände befindet sich bei km 242,978. In der geologischen Übersichtskarte der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe wird für das Gelände Geschiebelehm und Geschiebemergel angegeben. Eine ausgeprägte, erschütterungstechnisch maßgebliche Schichtung mit organischen Weichschichten ist dort nicht vermerkt. Bei der Bahnstrecke Berlin - Hamburg im Abschnitt in Müssen handelt es sich um eine zweigleisige Bahnstrecke mit einer Höchstgeschwindigkeit von 230 km/h mit Fernverkehr ICE, ICE-T bis zu 230 km/h, EC/IC bis zu 200 km/h, Regionalverkehr RE/RB Doppelstockwagen mit E-Lok bis zu 160 km/h, LINT 41 bis zu 120 km/h sowie Güterverkehr mit E-Lok mit bis zu 120 km/h.

Die Messpunkte wurden im Gelände unterhalb der Deckschicht auf Erdspießen in 10 m, 16 m, 24 m, 32 m, 40 m, 64 m und 120 m von der nächstgelegenen Gleisachse eingerichtet.

Die Schwingungsmessungen im Gelände an der Vergleichsstrecke sind in der Unterlage 19.2.6 Vergleichsmessungen Müssen dokumentiert.

In der Dokumentation der Schwingungsmessungen sind die Strecke, das Gelände und Messpunkte dargestellt. In einer tabellarischen Auswertung sind die Zugvorbeifahrten mit der Schwingungsamplitude (maximale Schwinggeschwindigkeit v_{\max} , maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{\max}}$), der dominierenden Frequenz, Zuggattung, Fahrtrichtung, Gleis, Anzahl der Wagons, Zuglänge, Traktion sowie der Fahrgeschwindigkeit angegeben. Für repräsentative Zugvorbeifahrten sind die Schwingungsmessungen im Zeit- und Frequenzbereich dargestellt. Darüber hinaus werden die gemessenen und auf bestimmte Fahrgeschwindigkeiten gerechnete Terzschnellepegel im Gelände dargestellt. Aus den Terzschnellepegeln der drei gleisnahen Messpunkte wurden die Emissionen in Form von Terzschnellepegeln für die einzelnen Zuggattungen und teilweise verschiedene Fahrgeschwindigkeitsgruppen gemittelt. Die Erschütterungsausbreitung wurde aus den Terzschnellepegeln der Güterzüge auf den Messpunkten in den unterschiedlichen Abständen durch eine terzweise Regression ermittelt.

6 Vorgehensweise zur Prognose

Der Einfluss des Vorhabens der Schienenanbindung der Festen Fehmarnbeltquerung wird nachfolgend durch die Ermittlung der Immissionen und einen Vergleich der plangegebenen Situation (Nullfall) mit der Umsetzung des geplanten Vorhabens (Planfall) in einer Prognose ermittelt.

Die Immissionen werden gemäß DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ für den Nullfall und den Planfall mit der gleichen Vorgehensweise ermittelt. Die Berechnungen in den Prognosen werden mit Terzschnellepegeln vorgenommen, welche aus dem Zeitbereich der Schwinggeschwindigkeit nach einer Filterung in Terzbandbreite als maximale oder energieäquivalente Größen ermittelt wurden.

Als Emissionen für die einzelnen Zuggattungen (Regional-, IC-, Güterzüge) werden bei Schwingungsmessungen im Gelände ermittelte Terzschnellepegel verwendet. Die zwischen Messung und Prognose erforderliche Anpassung der Fahrgeschwindigkeiten wurden gemäß Kapitel 6.1 vorgenommen.

Zur Berücksichtigung des unterschiedlichen Ausbreitungsabstands zwischen Messpunkten im Gelände oder Immissionspunkten wird eine in Schwingungsmessungen ermittelte Ausbreitung der Erschütterungen mit dem Abstand wie in Kapitel 6.2 beschrieben benutzt.

Für die Übertragung der Erschütterungen vom Gelände auf die Stockwerksdecken in den Wohngebäuden werden die statistischen Übertragungsfunktionen gemäß DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ und die in Schwingungsmessungen ermittelten gebäudespezifischen Übertragungsfunktionen wie in Kapitel 6.4 verwendet.

Sofern im Umfeld von Gebäuden Weichen vorhanden oder geplant sind, ist eine Überprüfung auf ungünstige Einflüsse durch die Überfahrt der Weichen wie in Kapitel 6.6 beschrieben zu berücksichtigen.

Die Durchführung der Prognose erfolgt auf Grundlage von Emissionen in Form von Terzschnellepegeln im Boden, terzweisen Parametern für die Ausbreitung im Boden sowie Terzschnelledifferenzpegeln für die Übertragung vom Gelände auf Stockwerksdecken. Die Emissionen werden für die einzelnen Zuggattungen angesetzt. Die Ermittlung der Erschütterungsimmissionen erfolgt durch eine KB-Bewertung in Terzen sowie eine Summation über die Terzschnellepegel. Die Ermittlung der Immissionen des sekundären Luftschalls erfolgt ausgehend von den Erschütterungsimmissionen unter Anwendung der Korrelation zwischen Deckenschwingungen und sekundärem Luftschall gemäß DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ und entspricht dem Stand der Veröffentlichungen⁵ in dem Fachgebiet.

Zur Ermittlung der Beurteilungsgrößen der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} und des Mittelungspegels L_m sind die Zugverkehrshäufigkeiten der einzelnen Zuggattungen für tags 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr und nachts 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr aus dem Betriebsprogramm (Kapitel 6.8) zu verwenden.

Es werden die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} sowie die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} für tags und nachts zum Vergleich mit den Anhaltswerten A_u sowie A_r ermittelt. Ausgehend von den ermittelten Erschütterungen wird eine Prognose des sekundären Luftschalls für den Maximalpegel L_{max} und den Mittelungspegel L_m tags und nachts zum Vergleich mit den Immissionsrichtwerten für L_m vorgenommen.

6.1 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit

Im PFA 4 beträgt die Höchstgeschwindigkeit auf der Strecke 1100 für den Prognose-Nullfall 120 km/h und für den Prognose-Planfall 160 km/h.

Die Fahrgeschwindigkeiten für die einzelnen Zuggattungen der im Gelände gemessenen Emissionen sind für die Prognose anzupassen.

Zur Berücksichtigung der Abhängigkeit der Schwingungsamplitude von der Fahrgeschwindigkeit wurde gemäß der nachstehenden Beziehung bis zu einem Verhältnis der Fahrgeschwindigkeit $u/u_0 = 1,5$ angewendet.

⁵ Said A., Grütz H.-P., Garburg R.: Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr, Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Januar 2006

In der Literatur wird für die Abhängigkeit des Schnellepegels von der Fahrgeschwindigkeit u als Pegelerhöhung bzw. Pegelminderung ausgehend von der Bezugsfahrgeschwindigkeit u_0 mit

$$\Delta L_u = 20 \cdot \log\left(\frac{u}{u_0}\right)$$

angegeben.

Es handelt sich bei dieser Beziehung um eine grobe Näherung, die in der DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ sowie ÖNORM S 9012 „Beurteilung der Einwirkung von Schwingungsimmissionen des landgebundenen Verkehrs auf den Menschen in Gebäuden - Schwingungen und sekundärer Luftschall“ sowie Untersuchungsberichten^{6 7 8} veröffentlicht wurde.

6.2 Einfluss des Ausbreitungsabstands

Die Schienenverkehrs-Erschütterungen breiten sich ausgehend von der Bahnstrecke im Boden aus und es erfolgt mit dem Abstand eine frequenzabhängige Verminderung der Schwingungsamplitude.

Zur Beschreibung der Ausbreitung liegen Erfahrungen aus Schwingungsmessungen vor, die z.B. in der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 1 „Vorermittlung“ und in der DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ dokumentiert sind.

Die Ausbreitung der Erschütterungen ist abhängig von den Bodeneigenschaften und wird daher möglichst aus Schwingungsmessungen im Untersuchungsgebiet ermittelt.

Hierzu werden Schwingungsmessungen bei Zugvorbeifahrten im Gelände mit Messpunkten in unterschiedlichem Abstand zur Strecke, standardmäßig in 8 m, 16 m, 32 m und 64 m sowie ggf. 128 m, vorgenommen. Aus den ermittelten Terzschnellepegeln wird durch eine Regression für jede Terz ein Ausbreitungsparameter ermittelt.

Im vorliegenden Fall wurde die Ausbreitung im Boden gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 1 „Vorermittlung“ bzw. den Empfehlungen des Arbeitskreises 1.4 „Baugrunddynamik“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik ohne die Berücksichtigung der Parameter für die Materialdämpfung verwendet:

$$A = A_0 \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right)^n$$

A_0 Ausgangsamplitude im Abstand r_0

A zu ermittelnde Amplitude im Abstand r

n Ausbreitungskoeffizient

Für die plangegebene Situation, den Prognose-Nullfall, ergeben sich die Abstände zwischen den zu betrachtenden Wohngebäuden und den einzelnen Gleisen der Strecke im Bestand.

Für den Prognose-Planfall ergeben sich die Abstände zwischen den zu betrachtenden Wohngebäuden und den einzelnen Gleisen der beantragten Strecke.

6.3 Übertragung der Emissionen mittels Deltaspektren

Die Übertragung der Emissionen, also den Erschütterungen im Gelände 8 m von der Gleisachse, aus den Vergleichsmessungen auf das Plangebiet wird zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Ausbreitungseigenschaften im Plangebiet und bei den Vergleichsmessungen über so genannte Deltaspektren vorgenommen.

⁶ Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, 1995

⁷ Schwingungsausbreitung an Schienenverkehrswegen, 2. Ing. Geolog. Inst. Niedermeyer, LGA-Nürnberg, Müller-BBM GmbH, Hrsg. DB, BZA München, 1981

⁸ Verminderung des Verkehrslärms in Städten und Gemeinden, Teilprogramm Schienenverkehr, STUVA, Bericht 20, 1986

Zur Verwendung von Deltaspektren werden die Emissionen einer Zuggattung, der Referenzzugattung, für eine Fahrgeschwindigkeit und einen Abstand im Plangebiet und auf der Vergleichsstrecke verglichen bzw. die Differenz der Terzschnellepegel ermittelt. Die betreffende Differenz beschreibt die unterschiedlichen Randbedingungen bezüglich der Emissionen und der Ausbreitung infolge der lokalen Bodeneigenschaften.

Die Ermittlung der Emissionen von Zuggattungen, die nicht im Plangebiet verkehren, erfolgt ausgehend von den an der Vergleichsstrecke gemessenen Emissionen unter Anwendung der für den Referenzzug ermittelten Differenz.

Im vorliegenden Fall wird als Referenzzug der auf beiden Strecken verkehrende Zugtyp LINT 41 verwendet.

In den Messungen zur Ermittlung der Übertragungsadmittanz, den Vergleichsmessungen und den Messungen im Untersuchungsgebiet sind die unterschiedlichen Ausbreitungseigenschaften der Böden ermittelt worden. Diese Eigenschaften wurden bei der Ermittlung der Delta-Spektren berücksichtigt. Differenzen in den Korrekturspektren entsprechen den unterschiedlichen Eigenschaften der Bahnstrecken. Für die Prognose wurden die Emissionen um die Differenz der beiden Korrekturspektren angepasst und in der Unterlage 19.4.2 dargestellt.

6.4 Statistische Übertragungsfunktionen zur Ermittlung des Untersuchungskorridors

Für die Übertragung der Erschütterungen vom Gelände auf Stockwerksdecken wurden zur Ermittlung des Untersuchungskorridors die statistischen Übertragungsfunktionen aus der DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ für Holzbalkendecken und Stahlbetondecken mit einer Parametervariation der Deckeneigenfrequenz verwendet. Die Prognose mit statistischen Übertragungsfunktionen zur Ermittlung des Untersuchungskorridors ist in der Unterlage 19.3 Ermittlung Untersuchungskorridor dokumentiert und die Ergebnisse werden in Kapitel 7.1 erläutert.

6.5 Gebäudespezifische Übertragungsfunktionen zur Prognose im Untersuchungskorridor

In der Prognose für die Wohngebäude im Untersuchungskorridor wurden die aus den Schwingungsmessungen in Messobjekten ermittelte, gebäudespezifische Übertragungsfunktionen verwendet. Ausgehend von den Messobjekten wurden dort ermittelte Übertragungsfunktionen Gelände-Stockwerksdecken anderen Wohngebäuden im Untersuchungskorridor zugeordnet.

Die Zuordnung hat sich aus den Untersuchungen vor Ort ergeben und erfolgte augenscheinlich über Art der Gebäude im Hinblick auf die Übertragung von Erschütterungen. Für die Messobjekte sind in der Prognose die dort ermittelten Übertragungsfunktionen verwendet worden.

Die Zuordnung ist in der Unterlage 19.4.2 Eingangsdaten der Prognose dokumentiert und ist in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben. Die verwendeten Übertragungsfunktionen weisen je Gebäudekategorie eine große Bandbreite an Eigenschaften der Übertragungsfunktionen und damit eine entsprechende breite Abdeckung der möglichen Eigenschaften ab.

Alle in diesem PFA aufgenommenen Übertragungsfunktionen wurden in die nachstehenden Gebäudekategorien zusammengefasst. Diese werden, auch zur Dokumentation der Situation im entsprechenden Messobjekt, dargestellt, auch falls die zu prognostizierenden Gebäude, die Prognoseobjekte, in weniger als die angegebenen Kategorien eingeteilt werden.

6.5.1 Gebäudekategorie A-4

In der Gebäudekategorie A-4 sind Wohngebäude zusammengefasst, bei denen es sich um gering ausgesteifte Gebäude handelt. Festgemacht wird diese Eigenschaft am augenscheinlichen hohen Alter des Gebäudes. In diesen Gebäuden werden im Erdgeschoss Steinkappen-, Stahlstein- oder Holzbalkendecken erwartet, während die Obergeschosse gemeinhin über Holzbalkendecken verfügen. In Tabelle 3 sind die für die Gebäudekategorie A-4 aus den betreffenden Messobjekten verwendeten Übertragungsfunktionen angegeben.

Tabelle 3: Übertragungsfunktionen Gebäudekategorie A-4

PFA	Strecke 1100 Bau - km	Adresse	Mess-objekt	Gebäudeart	Stockwerksdecken (Fußbodenebene)	Verwendete Übertragungsfunktionen
4	155,026	Schulgarten 5, 23758 Göhl	4.2	EFH	Holzbalken (EG, DG)	MP2 Z 1.OG Wohnzimmer MP5 Z 2.OG Wohnzimmer

6.5.2 Gebäudekategorie B-4

In der Gebäudekategorie B-4 sind Wohngebäude zusammengefasst, bei denen Holzbalken- und Stahlbetondecken erwartet werden. Rückschlüsse darauf werden durch das augenscheinliche Alter des Gebäudes sowie seine Bauart und -form gezogen. Diese Gebäude sind gemeinhin jünger und steifer als jene der Kategorie A-4. In Tabelle 4 sind die für die Gebäudekategorie B-4 aus den betreffenden Messobjekten verwendeten Übertragungsfunktionen angegeben.

Tabelle 4: Übertragungsfunktionen Gebäudekategorie B-4

PFA	Strecke 1100 Bau - km	Adresse	Mess-objekt	Gebäudeart	Stockwerksdecken (Fußbodenebene)	Verwendete Übertragungsfunktionen
4	152,725	Meiereiweg 3, 23758 Oldenburg i.H.	4.1	Doppelhaushälfte	Beton (EG) Holzbalken (DG)	MP2 Z EG Wohnzimmer MP3 Z DG Ankleidezimmer MP4 Z DG Gästezimmer
4	152,810	Göhler Str. 36A, 23758 Oldenburg i.H.	4.3	EFH	Beton (EG) Holzbalken (DG)	MP2 Z EG Wohnzimmer MP3 Z DG Schlafzimmer

6.6 Überfahrt von Weichen

Bei der Überfahrt von Weichen im Bereich des Herzstücks und Weichenzungen kann eine stoßartige Anregung mit einer Erhöhung der Erschütterungsimmissionen auftreten.

In Abhängigkeit von dem Abstand d des Gebäudes von der Weiche in Metern kann die Erhöhung der Erschütterungsimmissionen folgendermaßen abgeschätzt werden (m : Einheit Meter):

$$\Delta L_{\text{Weiche}} = 6 \text{ dB} - 5 \cdot \log\left(\frac{d}{8} \cdot \text{m}^{-1}\right)$$

Sofern Weichen im Umfeld von Gebäuden vorhanden oder geplant sind, ist zu prüfen, ob der Einfluss der Weichenüberfahrt im Vergleich zu den aus dem regulären Schienenverkehr prognostizierten Erschütterungsimmissionen maßgeblich ist.

Im PFA 4 sind keine Weichen in der Nähe der untersuchten Wohngebäude vorhanden, so dass die Überfahrt von Weichen nicht zu berücksichtigen war.

6.7 Überfahrt von Brücken

Im PFA 4 ist von Bau-km 151,75 bis Bau-km 152,25 eine Brücke über den Oldenburger Bruch geplant.

Am westlichen Beginn der Brücke bei Bau-km 151,75 beträgt der Abstand zu dem nächstgelegenen Wohngebäude knapp 200 m und am östlichen Ende bei Bau-km 152,25 über 450 m.

Bei der Überfahrt von Brücken durch Züge liegt eine andere Erschütterungseinleitung in den Boden und eine andere Schwingungsausbreitung im Boden im Vergleich zur ebenen Strecke vor. Von den Stützen aus werden die Schwingungen punktförmig entlang der Neubaustrecke abgestrahlt. Aufgrund der Übertragung im Brückenbauwerk einschließlich der Tiefgründung sowie der daraus folgenden

Abstrahlcharakteristik handelt es sich um geringere Erschütterungen, als bei einer regulären Bahnstrecke. Es liegen keine allgemein anerkannten Regeln der Technik bzw. keine übliche Vorgehensweise zur Berücksichtigung der Schwingungsübertragung an Brücken vor. Aufgrund der oben beschriebenen Erschütterungseinleitung kann davon ausgegangen werden, dass im Bereich von Brückenbauwerken die Schwingungsemissionen geringer sind als bei Streckenführungen ohne Brücke.

Für die Ermittlung des Untersuchungskorridors wurde in der Prognose der Einfluss der geplanten Brücke nicht berücksichtigt und damit eine Abschätzung zur ungünstigen Seite mit höheren Immissionen vorgenommen. In dem auf diese Weise ermittelten Untersuchungskorridor befinden sich aufgrund des großen o.g. Abstands in dem Abschnitt mit der Brücke keine Wohngebäude.

6.8 Betriebsprogramm und verwendete Emissionen

Zur Beurteilung der betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen ist die bestehende, plangegebene Situation (Nullfall) mit der Umsetzung des geplanten Vorhabens (Planfall) zu vergleichen. Das Betriebsprogramm gibt die Zuggattung einschließlich Traktion (Diesel-/E-Lok, Diesel-/E-Triebwagen), Zuglänge und Fahrgeschwindigkeit sowie die Zugverkehrshäufigkeit für den Prognosehorizont 2030 tags und nachts vor.

Im Nullfall verkehren Regionalzüge mit Dieseltriebwagen, Fernzüge mit Diesellok und Dieseltriebwagen. Auf der Strecke nach Puttgarden (Strecke 1100) verkehren im Nullfall keine Güterzüge. Die Höchstgeschwindigkeit der Strecke beträgt im PFA 4 bis zu 100 km/h.

Im Planfall verkehren in Richtung Puttgarden Regionalzüge als elektrische Triebwagen, IC als elektrische Triebwagen sowie tags 48 und nachts 22 Güterzüge mit E-Lok. Die Höchstgeschwindigkeit der Strecke beträgt im PFA 4 bis zu 160 km/h.

Die Beurteilung der mittleren Erschütterungseinwirkungen erfolgt mit der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTT} getrennt für die Beurteilungszeiten tags 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr und nachts 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr. Die Einwirkungs- und Beurteilungszeiten werden in 30 s-Takte aufgeteilt. Die Anzahl der Einwirkungstakte ergibt sich aus der Zugvorbeifahrt in Abhängigkeit der Zuglänge und der Fahrgeschwindigkeit. Für die Güterzüge mit 100 km/h auf der Strecke 1100 in Richtung Puttgarden mit einer Länge von bis zu 835 m ergibt sich eine Vorbeifahrtszeit von 30,06 s und damit sehr geringfügig oberhalb von 30,0 s. Im Regelfall ist von einer geringeren Zuglänge und damit einem Takt auszugehen, so dass in der Prognose für eine realistische Ermittlung der Immissionen die Vorbeifahrtszeit je Güterzug mit 100 km/h einen Takt von 30 s angesetzt wurde. Für die Güterzüge mit 120 km/h und alle anderen Zuggattungen ergibt sich eine Vorbeifahrtszeit von unter 30 s und damit einem Takt je Vorbeifahrt.

In Abhängigkeit der auf den verschiedenen Abschnitten verkehrenden Zuggattungen und Fahrgeschwindigkeiten sind die dazu gehörigen Emissionen für die Prognose zu verwenden.

In den Tabellen mit den Betriebsprogrammen sind die Zugarten, die Verkehrshäufigkeiten tags/nachts, die Fahrgeschwindigkeiten, die Zuglängen sowie die für die Zuggattungen verwendeten Emissionen einschließlich der Anpassung der Fahrgeschwindigkeit angegeben.

Die Tabellen sind in den Unterlagen 19.3 Ermittlung Untersuchungskorridor und 19.4.2 Eingangsdaten der Prognose angegeben.

Nachfolgend werden die Betriebsprogramme aus der Prognose im Untersuchungskorridor mit gebäudespezifischen Übertragungsfunktionen (Unterlage 19.4.2) angegeben.

6.8.1 Nullfall

In Tabelle 5 sind die im Nullfall für den PFA 4 verwendeten Emissionen dargestellt.

Tabelle 5: Betriebsprogramm Nullfall im PFA 4

Prognose Nullfall 2030							
Zugart- Traktion	Anzahl Züge		v km/h	Zuglänge m	Emissionen für Prognose		
	Tag	Nacht			Zuggattung	gemessen bei km/h	gerechnet auf km/h
RV-VT	16	4	100	42	LINT 41 MO Kellerkamp 5	100	100
IC-V	4	0	100	232	IC Vgl.msg. Müssen Delta-Spektrum Kellerkamp 5 angew.	120	100
IC-VT	14	0	100	60	IC 3 (DSB) MO Kellerkamp 5	100	100

6.8.2 Planfall

Die Tabelle 6 gilt für den PFA 4. Hier wurden die diese gemessenen Emissionen verwendet.

Tabelle 6: Betriebsprogramm Planfall des PFA 4

Prognose 2030							
Zugart- Traktion	Anzahl Züge		v km/h	Zuglänge m	Emissionen für Prognose		
	Tag	Nacht			Zuggattung	gemessen bei km/h	gerechnet auf km/h
GZ-E	38	17	100	835	GZ-E Vgl.msg. Müssen Delta-Spektrum Rellin 1 angew.	100	100
GZ-E	10	5	120	835	GZ-E Vgl.msg. Müssen Delta-Spektrum Rellin 1 angew.	100	120
RV-ET	16	4	160	106	DS Vgl.msg. Müssen Delta-Spektrum Rellin 1 angew.	140	160
IC-E	27	1	160	232	IC Vgl.msg. Müssen Delta-Spektrum Rellin 1 angew.	200	160

6.9 Maßnahmen

Maßnahmen zur Verminderung der Erschütterungsimmissionen sind grundsätzlich an der Quelle, der Bahnstrecke, auf dem Übertragungsweg im Boden sowie beim Empfänger im Gebäude möglich.

Die Durchführung von Maßnahmen an bestehenden Gebäuden ist in Einzelfällen unter besonderen Umständen möglich, etwa durch die Veränderung der Eigenfrequenz einer Stockwerksdecke. Maßnahmen an Gebäuden sind in unterschiedlicher Form, im Bereich der Gründung, mit einer elastischen Gebäudelagerung oder einer gezielten Abstimmung von Deckeneigenfrequenzen möglich und vor allem bei dem Neubau von Gebäuden an Bahnstrecken üblich.

Auf dem Übertragungsweg im Boden kann z.B. durch Einbauten im Boden mit einem offenen Schlitz eine Verminderung der Übertragung von Erschütterungen erreicht werden. Für wirksame Maßnahmen im Boden sind sehr aufwändige Konstruktionen erforderlich, z.B. sehr tiefe, möglichst offene Schlitze, die dennoch horizontale Lasten aufnehmen müssen. Es handelt sich hierbei um keine üblichen Maßnahmen.

Maßnahmen an der Quelle, der Bahnstrecke, können in unterschiedlicher Form ergriffen werden.

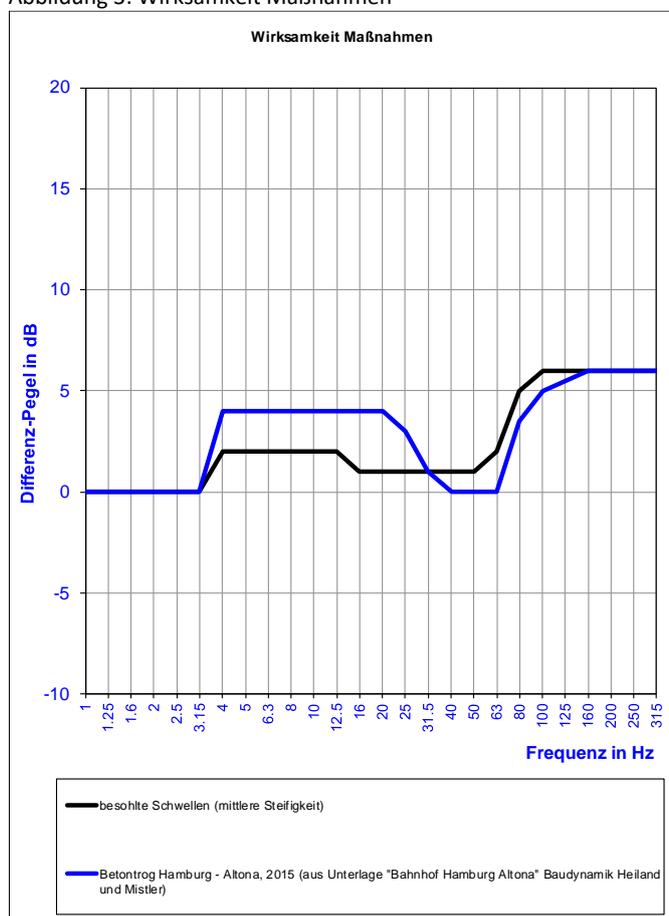
In den Prognosen dieser Untersuchungen werden als mögliche Maßnahme besohlte Schwellen und ein Betontrog mit Unterschottermatte und Schotteroberbau zur Verminderung von Erschütterungsimmissionen betrachtet.

Bei besohnten Schwellen handelt es sich um Stahlbetonschwellen, die auf der Unterseite mit einer elastischen Federschicht und zum Schotter mit einer Schutzschicht ausgestattet sind. Im Vergleich zu einer bestehenden Bahnstrecke ohne besohlte Schwellen wird mit der besohnten Schwelle ein günstigerer Kontakt zwischen Schwelle und Schotter hergestellt, so dass eine Schonung des Schotters, eine langfristige Erhöhung der Gleislagestabilität sowie eine Verringerung der Erschütterungen erreicht werden kann. Im vorliegenden Fall wurde für die besohlte Schwelle eine Polyurethan-Matte mit einer statischen Steifigkeit von $c_{\text{stat}} = 0,15 \text{ N/mm}^3$ angesetzt. Ausgehend von den Erfahrungen mit besohnten Schwellen in der

Praxis^{9 10 11 12} kann für diese besohlte Schwelle die in der Abbildung 3 angegebene Wirksamkeit erwartet werden.

Eine baulich aufwändige Maßnahme stellt ein Stahlbetontrog mit Schotteroberbau auf einer Unterschottermatte dar. Diese Maßnahme wird auch als „Beton-Schotteroberbau mit Masse-Körper (BSO/MK)“ bezeichnet. Die Wirksamkeit hängt u.a. von dem Boden sowie der Trogkonstruktion ab. Darüber hinaus ergibt sich bei einem Vergleich zwischen zwei Abschnitten einer neuen Bahnstrecke mit und ohne Maßnahme eine geringere Wirksamkeit, als bei Untersuchungen an einer Bestandsstrecke ohne Maßnahme und einem anschließenden Neubau mit Maßnahme. Ausgehend von den Erfahrungen bei dem Einsatz von Betontrögen mit Unterschottermatte in der Praxis wird für die vorliegende Untersuchung für die Wirksamkeit zwischen einer Bestandsstrecke im Nullfall ohne Maßnahme und einer neuen Strecke mit Maßnahme die in der Abbildung 3 angegebene Wirksamkeit aus den Erschütterungstechnischen Untersuchungen für den Bahnhof Altona aus dem Jahre 2015 der Baudynamik Heiland & Mistler GmbH angesetzt. Im Vergleich zur oben beschriebenen Schwellenbesohlung ergibt sich aus der Abbildung 3 für den Stahlbetontrog mit Schotteroberbau auf einer Unterschottermatte zwischen 4 Hz bis 25 Hz eine Erhöhung und zwischen 40 Hz bis 125 Hz eine etwas geringere Wirksamkeit.

Abbildung 3: Wirksamkeit Maßnahmen



⁹ Körperschall-/Erschütterungsschutz durch besohlte Schwellen – Wirkung und Grenzen, H. Loy, Eisenbahntechnische Rundschau Austria, Dezember 2012, Nr. 12

¹⁰ Minderung von Erschütterungsemissionen und sekundärem Luftschall durch Schwellenbesohlungen - Wirkungsweise und Erfahrung, H. Loy, A. Augustin, ZEV 139 (2015) Lärmschutz und Umwelt

¹¹ Schwellenbesohlung zur Reduktion von Körperschall-Immissionen, K. Köstli, Symposium Ziegler Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessungen an der EMPA Dübendorf, 2007

¹² Forschungsprojekt RIVAS Railway Induced Vibration Abatement Solutions Collaborative project, State of the art review of mitigation measures on track, Deliverable D3.1, B. Asmussen, International Union of Railways (UIC), 30.09.

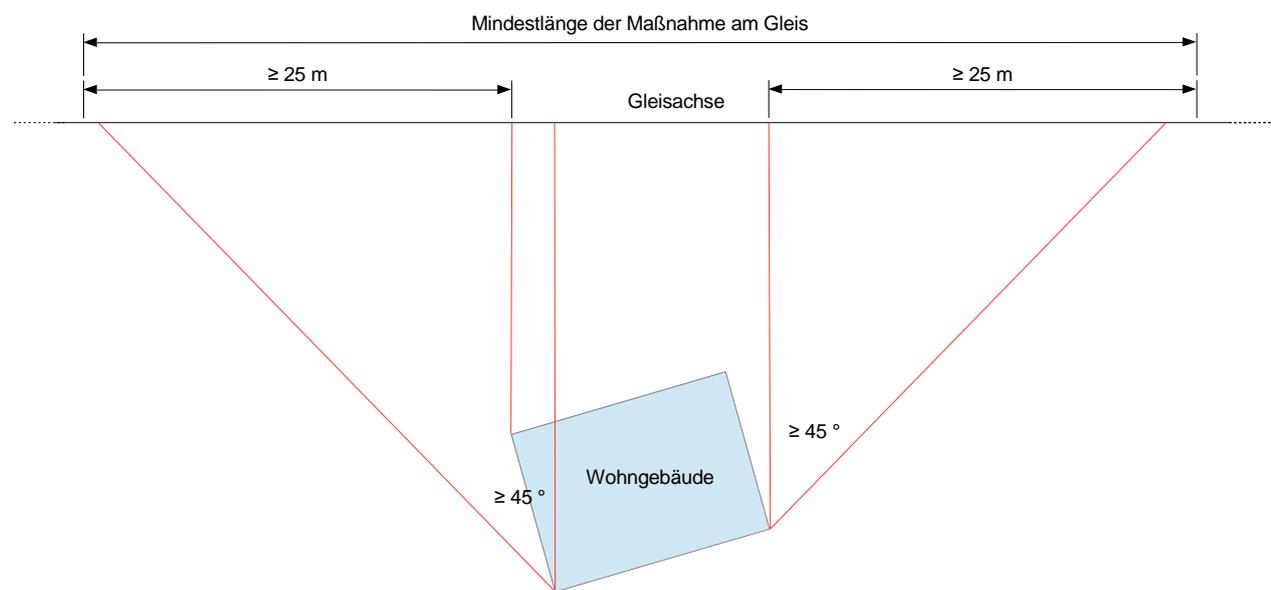
Die zusätzlichen Kosten¹³ für eine besohlte Schwelle liegen in der Größenordnung von 90 €/m Gleis, während die zusätzlichen Kosten für einen Betontrog mit Schotteroberbau und Unterschottermatte (s.o. BSO/MK) bei 1200 €/m Gleis liegen.

Die konkrete Dimensionierung der Maßnahmen erfolgt im Rahmen der Ausführungsplanung zum Oberbau.

Die untersuchten Maßnahmen besohlte Schwellen und Betontrog mit Unterschottermatte und Standardschotteroberbau wurden hinsichtlich ihrer Verhältnismäßigkeit untersucht. Das bedeutet, dass sowohl die Einhaltung der Beurteilungskriterien, als auch die Kosten der Maßnahmen im Verhältnis zu der Zahl der davon Betroffenen betrachtet werden. Betroffene werden als Schutzeinheit bezeichnet, wobei Schutzeinheiten mit überschrittenen Beurteilungskriterien zu Schutzfällen werden. Genauer wird darauf in Kapitel 8 eingegangen.

Ist durch den Einsatz der Maßnahme eine Lösung von Schutzfällen möglich, so ist die Maßnahme für eine ausreichende Abdeckung von der ungünstigsten Gebäudeecke in jede Richtung entlang der Gleise mindestens 25 m zu führen, wobei von der Lotrechten der Gebäudeecke zum Gleis bis zum Ende der Maßnahme ein Winkel von mindestens 45° erforderlich ist (Abbildung 4). Auf diese Weise ergeben sich für benachbarte Gebäude überlappende Bereiche der Maßnahme, die jeweils einen Abschnitt bilden. Für die Abschnitte werden die Gesamtkosten der Maßnahmen und je gelöstem Schutzfall ermittelt. Der Einsatz der Maßnahmen wurde ausschließlich auf beiden Gleisen untersucht, da sich die Emissionen aufgrund des im Planfall hinzukommenden Güterzugverkehrs erheblich erhöhen und eingleisige Maßnahmen keine ausreichende Wirksamkeit zur Lösung von Schutzfällen ergeben. Bei dem Einbau von besohlenen Schwellen werden Lücken zwischen den Abschnitten von bis zu 100 m mit einem durchgehenden Einbau geschlossen.

Abbildung 4: Mindestlänge Maßnahme am Gleis



¹³ Forschungsprojekt RIVAS Railway Induced Vibration Abatement Solutions Collaborative project, State of the art review of mitigation measures on track, Deliverable D3.1, B. Asmussen, International Union of Railways (UIC), 30.09.

7 Ermittlung der betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen

Die betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen und der Einfluss des Vorhabens ABS / NBS Hamburg - Lübeck - Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) zwischen Lübeck und Puttgarden werden durch eine Prognose und den Vergleich der plangegebenen Situation (Nullfall) mit der Umsetzung des geplanten Vorhabens (Planfall) ermittelt.

Zunächst erfolgt eine Prognose unter Verwendung der statistischen Übertragung Gelände-Decke, um entlang der Strecke den Untersuchungskorridor zu ermitteln, in dem die Erschütterungsimmissionen maßgeblich sind (Kapitel 7.1).

Innerhalb des Untersuchungskorridors erfolgte anschließend eine Prognose unter Verwendung von der in den Messobjekten aus den Schwingungsmessungen ermittelten Übertragungsfunktion Gelände-Decke mit einer Verwendung für augenscheinlich ähnliche Wohngebäude im Untersuchungskorridor (Kapitel 7.2).

7.1 Ermittlung des Untersuchungskorridors

In diesem Teil der Untersuchungen wird eine Prognose zur Ermittlung des Untersuchungskorridors entlang der Bahnstrecke vorgenommen.

Diese Prognose erfolgt unter Berücksichtigung des Betriebsprogramms, also der Zugverkehrshäufigkeit und den Fahrgeschwindigkeiten nach Zuggattungen, und der Ausbreitungsabstände zwischen der Bahnstrecke und den Wohngebäuden.

Die Emissionen der Schienenverkehrserschütterungen und die Ausbreitungseigenschaften des Bodens werden aus Schwingungsmessungen an der Bestandsstrecke verwendet.

Für die Übertragung der Erschütterungen vom Gelände auf die Stockwerksdecken von Wohngebäuden wurden die statistischen Übertragungsfunktionen aus der DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ verwendet.

Aufgrund der abschnittsweise unterschiedlichen Gebietsausweisung auf den beiden Seiten der Bahnstrecke ergeben sich auf der Seite des Richtungsgleises nach Puttgarden zum Teil andere Abstände des Untersuchungskorridors, als auf der Seite des Gegengleises nach Lübeck.

In Tabelle 7 und Tabelle 8 ist der sich für den Nullfall entlang der Bestandsstrecke im PFA 4 ergebende Untersuchungskorridor angegeben und beträgt zwischen 7 m und 10 m von der nächstgelegenen Gleisachse.

Tabelle 7: Untersuchungskorridor Nullfall Richtungsgleis

Untersuchungskorridor PFA 4 Nullfall Richtungsgleis					
Gleis	von km	bis km	Zeile DIN 4150 T2	Korridor in m Betondecken	Korridor in m Holzbalkendecken
Richtungsgleis	50,301	51,472	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	8	8
Richtungsgleis	51,472	52,468	Zeile 2 (Gewerbegebiet)	7	7
Richtungsgleis	52,468	52,754	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	8	8
Richtungsgleis	52,754	53,362	Zeile 3 (Mischgebiet)	8	8
Richtungsgleis	53,362	55,126	Zeile 4 (Wohngebiet)	9	10
Richtungsgleis	55,126	56,215	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	8	8
Richtungsgleis	56,215	56,380	Zeile 3 (Mischgebiet)	8	8
Richtungsgleis	56,380	56,453	Zeile 2 (Gewerbegebiet)	7	7
Richtungsgleis	56,453	56,647	Zeile 3 (Dorfgebiet)	8	8
Richtungsgleis	56,647	56,789	Zeile 2 (Gewerbegebiet)	7	7
Richtungsgleis	55,126	56,215	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	8	8

Tabelle 8: Untersuchungskorridor Nullfall Gegengleis

Untersuchungskorridor PFA 4 Nullfall Gegengleis					
Gleis	von km	bis km	Zeile DIN 4150 T2	Korridor in m Betondecken	Korridor in m Holzbalkendecken
Gegengleis	50,301	51,005	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	8	8
Gegengleis	51,005	52,149	Zeile 2 (Gewerbegebiet)	7	7
Gegengleis	52,149	52,795	Zeile 3 (Mischgebiet)	8	8
Gegengleis	52,795	52,832	Zeile 2 (Gewerbegebiet)	7	7
Gegengleis	52,832	52,979	Zeile 3 (Mischgebiet)	8	8
Gegengleis	52,979	53,120	Zeile 4 (Wohngebiet)	9	10
Gegengleis	53,120	53,372	Zeile 3 (Mischgebiet)	8	8
Gegengleis	53,372	53,720	Zeile 4 (Wohngebiet)	9	10
Gegengleis	53,720	53,902	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	8	8
Gegengleis	53,902	54,209	Zeile 3 (Mischgebiet)	8	8
Gegengleis	54,209	54,281	Zeile 4 (Wohngebiet)	9	10
Gegengleis	54,281	54,325	Zeile 3 (Mischgebiet)	8	8
Gegengleis	54,325	54,408	Zeile 2 (Gewerbegebiet)	7	7
Gegengleis	54,408	55,137	Zeile 4 (Wohngebiet)	9	10
Gegengleis	55,137	58,040	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	8	8

In Tabelle 9 und Tabelle 10 ist der sich für den Planfall im PFA 4 ergebende Untersuchungskorridor angegeben und beträgt zwischen 16 m und 63 m von der nächstgelegenen Gleisachse.

Tabelle 9: Untersuchungskorridor Planfall Richtungsgleis

Untersuchungskorridor PFA 4 Planfall VPO Richtungsgleis					
Gleis	von Bau-km	bis Bau-km	Zeile DIN 4150 T2	Korridor in m Betondecken	Korridor in m Holzbalkendecken
Richtungsgleis	150,755	155,226	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	22	38
Richtungsgleis	155,226	155,391	Zeile 3 (Mischgebiet)	22	38
Richtungsgleis	155,391	155,444	Zeile 2 (Gewerbegebiet)	16	22
Richtungsgleis	155,444	155,659	Zeile 3 (Dorfgebiet)	22	38
Richtungsgleis	155,659	155,800	Zeile 2 (Gewerbegebiet)	16	22
Richtungsgleis	155,800	157,055	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	22	38

Tabelle 10: Untersuchungskorridor Planfall Gegengleis

Untersuchungskorridor PFA 4 Planfall VPO Gegengleis					
Gleis	von Bau-km	bis Bau-km	Zeile DIN 4150 T2	Korridor in m Betondecken	Korridor in m Holzbalkendecken
Gegengleis	157,055	151,456	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	22	38
Gegengleis	151,456	151,986	Zeile 2 (Gewerbegebiet)	16	22
Gegengleis	151,986	152,308	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	22	38
Gegengleis	152,308	153,051	Zeile 4 (Wohngebiet)	29	63
Gegengleis	153,051	153,577	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	22	38
Gegengleis	153,577	154,248	Zeile 4 (Wohngebiet)	29	63
Gegengleis	154,248	157,055	Zeile 3 (ohne Ausweisung)	22	38

Die Dokumentation wurde in der Unterlage 19.3 Ermittlung Untersuchungskorridor vorgenommen. Der Untersuchungskorridor ist in der Kartendarstellung in der Unterlage 19.4.5 Ergebnisse mit empfohlenen Maßnahmen eingetragen.

7.2 Prognose im Untersuchungskorridor mit gemessenen Übertragungsfunktionen

In diesem Teil der Untersuchungen erfolgt für die Wohngebäude im Untersuchungskorridor eine Prognose mit Übertragungsfunktionen Gelände-Decke aus den Schwingungsmessungen in den Messobjekten.

Es werden dabei die im Gelände messtechnisch ermittelten Emissionen und Ausbreitungseigenschaften für die in dem betreffenden Abschnitt befindlichen Wohngebäude verwendet. Die Übertragungseigenschaften der Erschütterungen vom Gelände auf die Stockwerksdecken wurden von Wohngebäuden, in denen Schwingungsmessungen durchgeführt worden sind, auf erschütterungstechnisch vergleichbare Wohngebäude übertragen. Die Zuordnung der Übertragungsfunktionen Gelände-Decke erfolgte für die in Kapitel 6.5 angegebenen Gebäudekategorien. Für die einzelnen Wohngebäude im Untersuchungskorridor ist die augenscheinlich zugeordnete Gebäudekategorie in Unterlage 19.4.1 Dokumentation der Wohngebäude im Untersuchungskorridor dokumentiert. Es handelt sich bei dem Dokument um eine Tabelle und Fotos. In der Tabelle ist für jedes Wohngebäude ein Verweis auf ein Foto angegeben.

Die für die Prognose verwendeten Eingangsdaten wie das Betriebsprogramm, Verkehrshäufigkeit, Fahrgeschwindigkeit, Emissionen, Ausbreitungseigenschaften sowie die Übertragungsfunktionen Gelände-Stockwerksdecke, Wirksamkeit der Maßnahmen sind in der Unterlage 19.4.2 Eingangsdaten der Prognose angegeben.

Die Prognose wurde für die Wohngebäude im Untersuchungskorridor der Bestandsstrecke und der Antragstrasse für den Nullfall und den Planfall durchgeführt. In der Durchführung der Prognose wurden die Lastfälle ohne Maßnahme, mit der Maßnahme Schwellenbesohlung, mit der Maßnahme Stahlbetontrog mit Unterschottermatte und Schotteroberbau sowie mit den entlang der Strecke abschnittsweise empfohlenen Maßnahmen berücksichtigt.

Die Ergebnisse sind in Tabellen in der Unterlage 19.4.3 Ergebnistabellen der Prognose dargestellt. In diesen Tabellen sind zeilenweise die Wohngebäude mit Eigenschaften, die Beurteilungsgrößen KB_{Fmax} , KB_{FTr} , L_m angegeben, mit den Anhaltswerten bzw. Immissionsrichtwerten verglichen, die Veränderung zwischen Nullfall und Planfall ermittelt und die Einhaltung der Beurteilungskriterien angegeben.

In der Unterlage 19.4.4 Schutzfälle, Kosten und empfohlene Maßnahmen sind die wesentlichen Daten und Ergebnisse der Prognose abschnittsweise für die o.g. Lastfälle angegeben. Darüber hinaus sind dort statistische Angaben zu den Ergebnissen sowie Schutzfälle und Kosten genannt.

Für den Lastfall empfohlene Maßnahmen wurde eine grafische Darstellung der Ergebnisse zur Einhaltung der Beurteilungskriterien und der Maßnahmen in der Unterlage 19.4.5 Ergebnisse mit empfohlenen Maßnahmen erstellt.

In Kapitel 8 werden die wesentlichen Ergebnisse in Tabellen wiedergegeben und erläutert.

8 Bewertung betriebsbedingter Erschütterungsimmissionen und Maßnahmen

Zur Bewertung von Maßnahmen wird ähnlich verfahren, wie in den schalltechnischen Untersuchungen der Laim Consult GmbH. In der schalltechnischen Untersuchung wurden aus Daten vom Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein die jeweiligen Gebäudefläche und lokale Randbedingungen bezogen und jedem Gebäude Schutzeinheiten zugeordnet. Bei einer Überschreitung der Beurteilungskriterien tags (6.00 Uhr bis 22.00 Uhr) ergibt sich für jede Schutzeinheit ein Schutzfall und für jede Überschreitung nachts (22.00 Uhr bis 6.00 Uhr) ebenfalls, so dass sich für jede Schutzeinheit bis zu zwei Schutzfälle entstehen können. Die Berechnung der Anhaltswerte wird sowohl ohne, als auch mit den in Kapitel 6.8 vorgestellten Maßnahmen berechnet. Werden in Folge der Maßnahmen Anhaltswerte für entstandene Schutzfälle nicht mehr überschritten, so werden diese als gelöste Schutzfälle bezeichnet.

8.1 Prognoseergebnisse ohne Maßnahmen

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse für die Prognose ohne Maßnahme bezüglich der Einhaltung und Überschreitung der Beurteilungskriterien zusammengefasst. Im PFA 4 handelt es sich im Untersuchungskorridor um 24 Schutzeinheiten in sechs Wohngebäuden.

Für den Nullfall (Bestand) ergibt sich keine Überschreitung und für den Planfall (VPO) ergeben sich für acht Schutzeinheiten in drei Wohngebäuden tags und nachts eine Überschreitung der Anhaltswerte A_r .

Im Vergleich zwischen Nullfall und Planfall ergibt sich für acht Schutzeinheiten in drei Gebäuden sowohl tags als auch nachts eine Überschreitung des Anhaltswertes A_r und Erhöhung der Erschütterungsimmissionen um mindestens 25 %. Daraus resultieren 16 Schutzfälle.

Tabelle 11: Zusammenfassung Schutzfälle ohne Maßnahmen

Anforderung	Vergleich PFA 4: VPO ohne Maßnahmen zu Bestandsstrecke																
	Erschütterung							sekundärer Luftschall									
	Überschreitung A_r		Überschreitung A_r und $\Delta KB_{FTT} \geq 25\%$					Überschreitung EBA-Verfügung				Überschreitung L_m				Überschreitung L_m und $\Delta L_m \geq 2.1 \text{ dB(A)}$	
	Bestand		VPO		25%			Bestand		VPO		Bestand		VPO		tags	nachts
tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts	gesamt	tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts	
Überschreitungen																	
Wohngebäude (insgesamt im Untersuchungskorridor: 6)	0	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schutzfälle (Schutzeinheiten im Untersuchungskorridor: 24)	0	0	8	8	8	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Für die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTT} ergibt sich für den Nullfall und den Planfall ohne Maßnahmen eine deutliche Unterschreitung der Werte aus der Verfügung des Eisenbahn-Bundesamtes vom 30.01.2017 von 1,1 tags und 0,7 nachts.

Die Einwirkungen aus dem prognostizierten sekundären Luftschall liegen im Nullfall für die Wohngebäude im Untersuchungskorridor und im Planfall unterhalb der Immissionsrichtwerte.

8.2 Mögliche Lösung von Schutzfällen und Kosten

Für die Betrachtung der Maßnahmen wurde eine Tabelle angefertigt und unter 19.4.4 Schutzfälle und empfohlene Maßnahmen zur Verfügung gestellt. In der Tabelle sind die Wohngebäude im Untersuchungskorridor mit dem Ergebnis der Beurteilung, Einhaltung bzw. Überschreitung, ohne und mit den beiden Maßnahmen angegeben.

Die Prognoseergebnisse zeigen ohne Maßnahmen für drei Wohngebäude eine Überschreitung der Beurteilungskriterien. Bei einem Gebäude, der Edisonstraße 2 in 23758 Göhl, ergibt sich mit keiner der vorgegebenen Maßnahmen eine Einhaltung der Beurteilungskriterien.

Bei zwei Gebäuden, Schulgarten 5 und Neuschwelbek 3 in 23758 Göhl können die Beurteilungskriterien mit der Maßnahme Betontrog mit zweigleisiger Unterschottermatte eingehalten werden.

8.3 Empfohlene Maßnahmen

Zur Lösung der Schutzfälle für die Wohngebäude Schulgarten 5 und Neuschwelbek 3 in 23758 Göhl wäre die Maßnahme Betontrog mit Unterschottermatte und Standardschotteroberbau auf einer Länge von 75 m erforderlich. Bei zusätzlichen Gesamtkosten von 180.000 € würden sich Kosten von 45.000 € pro gelösten Schutzfall ergeben. Für die Planung von Erschütterungsschutzmaßnahmen hat die Vorhabenträgerin die von der Rechtsprechung entwickelten Grundsätze zur Verhältnismäßigkeit der von Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen. Ein allgemein anwendbarer wirtschaftlicher Wert zur Verhältnismäßigkeit oder Unverhältnismäßigkeit der planerischen Lösung eines einzelnen Schutzfalles besteht dabei nicht.

Maßgeblich ist das Verhältnis der Kosten für Schutzmaßnahmen zu dem Nutzen, d.h. der Verringerung der Belastung mit Erschütterungseinwirkungen. Unter Beachtung der o.g. Vorgaben wird hier davon ausgegangen, dass die o.g. Kosten nicht verhältnismäßig sind und die Maßnahme Betontrog mit Unterschottermatte und Standardschotteroberbau daher nicht zum Einsatz empfohlen werden kann.

Tabelle 12: Schutzfälle und Kosten im PFA 4 (Bau-km 155,590 - 155,665)

PFA 4 - Göhl (Bau-km 155,590 - 155,665)							
	Gebäude	Schutzfälle	Maßnahme				
			Zusatzkosten pro Gleismeter in Euro	Länge in m	Gleise	Kosten in €	
						Summe	pro gelöster Schutzfall
Anzahl:	2	4		75			
ohne Maßnahme							
Anzahl nicht eingehalten:	2	4					
Maßnahme 1: abschnittsweise besohlte Schwellen auf beiden Fernbahngleisen							
Anzahl nicht eingehalten	2	4					
Verbesserung zu ohne Maßnahme	0	0	-		-	-	-
Maßnahme 2: zusätzlich abschnittsweise Betontrog mit Unterschottermatte auf beiden Fernbahngleisen							
Anzahl nicht eingehalten	0	0					
Verbesserung zu Maßnahme 1	2	4	1.200	75	2	180.000	45.000
empfohlene Maßnahme: ohne Maßnahme							
Anzahl nicht eingehalten	2	4					
Verbesserung zu ohne Maßnahme	0	0	-		-	-	-

Der Einsatz von besohnten Schwellen ergibt keine Schutzfalllösung, so dass diese Maßnahme nicht zum Einsatz empfohlen wird.

Da der Einsatz der Maßnahme Betontrog mit Unterschottermatte und Standardschotteroberbau als unverhältnismäßig bewertet wird und die Maßnahme besohnten Schwellen keine Schutzfalllösung ergibt, werden in PFA 4 keine Maßnahmen zum Einsatz empfohlen.

Für die betreffenden Wohngebäude ergibt sich in der Prognose eine Erhöhung der Erschütterungsimmissionen von zwischen 250 % tags und 1026 % nachts (Tabelle 13) und damit eine deutliche Überschreitung der Beurteilungskriterien. Für Wohngebäude, für die sich ungelöste Schutzfälle ergeben, ist ein Entschädigungsverfahren durchzuführen. Zur Feststellung der tatsächlichen Immissionen sind in den Wohngebäuden sechs Monate nach der Inbetriebnahme der Strecke Schwingungsmessungen vorzunehmen. Auf Grundlage der Messergebnisse ist unter Berücksichtigung der Randbedingungen im Nullfall und im Planfall eine Entschädigung vorzunehmen.

Tabelle 13: Ergebnisse für Gebäude mit ungelösten Schutzfällen in PFA 4 (Bau-km 155,590 - 155,665)

Prognose empfohlene Maßnahme: Ohne Maßnahme																
Wohngebäude und Randbedingungen					Erschütterungen						sekundärer Luftschall					
					Planfall		zu Nullfall		Anforderungen		L _m		ΔL _m		Anforderungen	
Adresse	Gebäude-kategorie	Schutzfälle	Strecken-kilometer	DIN Zeile	Abstand in m		tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts		
					Nullfall	Planfall			%	%	dB(A)	dB(A)	dB	dB		
Edisonstraße 2	B-4	12	56,315	3	18,81	15,17	0,213	0,171	486,0%	∞%	überschritten	24,3	23,0	n.erforderlich	n.erforderlich	erfüllt
Schulgarten 5	A-4	2	56,605	3	15,07	11,48	0,120	0,095	353,2%	1026,1%	überschritten	18,2	17,2	n.erforderlich	n.erforderlich	erfüllt
Neuschwelbek 3	B-4	2	56,62	3	28,91	28,5	0,110	0,090	250,3%	730,4%	überschritten	18,4	17,3	n.erforderlich	n.erforderlich	erfüllt

9 Vorhabenbedingter Baubetrieb

Infolge von erschütterungsintensivem Baubetrieb können Erschütterungen auf bauliche Anlagen wie Wohngebäude und die darin befindlichen Menschen einwirken.

In der Antragsphase der Planfeststellung des ABS / NBS Hamburg - Lübeck - Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) liegen keine Ausführungsplanung oder Festlegungen zur Durchführung des vorhabenbedingten Baubetriebs vor.

Die einzusetzenden Bauverfahren und damit auch die gegebenenfalls hervorgerufenen Erschütterungsemissionen zeichnen sich frühestens in der Ausführungsplanung ab und werden letztlich erst durch das ausführende Bauunternehmen festgelegt.

Zu erschütterungsintensiven Bauverfahren zählen grundsätzlich alle auf der Erzeugung von Schwingungen bzw. Erschütterungen beruhende Verfahren. Es handelt sich dabei z.B. um den Betrieb von Schlagrammen zum Einbringen von Pfählen, das Einrütteln von Spundbohlen, das Verdichten von Boden mittels Rüttelwalzen oder Rüttelplatten.

Im vorliegenden Fall sind für die Baumaßnahmen entlang der Strecke das Einbringen von Pfählen für die Oberleitungsmasten mittels Schlagramme sowie die Herstellung des Unterbaus mittels Rüttelwalzen oder Rüttelplatten vorgesehen. Darüber hinaus kann in einzelnen Bereichen das Einbringen von Spundwänden oder weiterer Pfähle erforderlich sein. Außerhalb des Ausbaubereiches, also überall dort, wo die Bestandstrecke durch einen Neubau mit einer deutlich veränderten Gleisachse erfolgt, ist die Bestandstrecke zurückzubauen. Die Arbeitszeit ist grundsätzlich zwischen 07:00 Uhr und 17:00 Uhr vorgesehen. Der Baubetrieb mit erschütterungsintensiven Bauverfahren wird daher tagsüber erfolgen.

Der Betrieb der erschütterungsintensiven Bauverfahren ist so vorzunehmen, dass die Anhaltswerte gemäß DIN 4150 Teil 2 zur Vermeidung von erheblichen Belästigungen und Teil 3 zur Vermeidung von Schäden an baulichen Anlagen eingehalten werden. Darüber hinaus sind Einwirkungen auf Böden im Gründungsbereich von benachbarten baulichen Anlagen zu berücksichtigen.

Vor der Durchführung von erschütterungsintensiven Bauverfahren ist zu prüfen, ob von einer Einhaltung der Beurteilungskriterien ausgegangen werden kann. Sofern nicht zuverlässig von einer Einhaltung der Beurteilungskriterien ausgegangen werden kann, sind Maßnahmen zu treffen.

Im Hinblick auf die Einwirkung auf Menschen ist eine Bewertung vorzunehmen, inwieweit eine gegebenenfalls zeitlich begrenzte Baumaßnahme zumutbar ist, die Betroffenen zu informieren sind, die Möglichkeit besteht auf erschütterungsärmere Bauverfahren auszuweichen oder den Betroffenen ein Ausweichquartier zur Verfügung zu stellen. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die hohen Anforderungen nachts zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf die Einwirkung auf bauliche Anlagen ist eine Bewertung vorzunehmen, ob die Kombination einer Beweissicherung des Zustands der baulichen Anlage vor Beginn des erschütterungsintensiven Baubetriebs in Kombination mit einer Erschütterungsmessung bzw. Erschütterungsüberwachung möglich ist, um den Baubetrieb so zu regeln, dass die Anhaltswerte gemäß DIN 4150 Teil 3 nicht überschritten und Schäden vermieden werden. Andernfalls ist zu prüfen, ob erschütterungsärmere Bauverfahren möglich sind.

Die Bewertung ist vor dem Hintergrund vorzunehmen, dass es einerseits für erschütterungsintensive Bauverfahren erschütterungsärmere Alternativen geben kann und andererseits herstellungsbedingt, aus bautechnischen Gründen nicht immer auf die Erzeugung von Schwingungen bzw. Erschütterungen verzichtet werden kann, etwa zur Herstellung des Unterbaus einer Bahnstrecke für eine langfristige Gleislagestabilität und damit möglichst geringe Schienenverkehrserschütterungen.

Für das Vorhaben ABS / NBS Hamburg - Lübeck - Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) ist abschnittsweise die Elektrifizierung, die Gründung von Lärmschutzwänden, ein zweigleisiger Neubau der Trasse sowie der Rückbau der Bestandsstrecke vorzunehmen.

Hinsichtlich der Einwirkung auf bauliche Anlagen und mögliche Schäden kann in Abhängigkeit von den tatsächlichen Baumaßnahmen mit der Erzeugung von Erschütterungen für die Gebäude mindestens bis zu

einem Abstand von 30 m zur Gleisachse die Durchführung einer Beweissicherung des Zustands und repräsentativ der Durchführung von Schwingungsmessungen empfohlen werden.

Entlang der Strecken wurden die Abstände der Wohngebäude und nicht bewohnten Gebäude sowie baulichen Anlagen in Schritten bis zu einem Abstand von 10 m, 20 m und 30 m zur Gleisachse ermittelt. Die Informationen darüber wurden über die Lairm Consult Gmbh vom Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein zur Verfügung gestellten. In Tabelle 14 ist die Zahl der in den Korridoren entlang der Antragstrasse und der teilweise zurückzubauenden Bestandsstrecke befindlichen Gebäude zusammengefasst.

Tabelle 14: Gebäudezahl in Abstand zur Gleisachse

Lage	unter 10 m			10 bis unter 20 m			20 bis unter 30 m			30 Meter Korridor (gesamt)		
	unbewohnt	bewohnt	gesamt	unbewohnt	bewohnt	gesamt	unbewohnt	bewohnt	gesamt	unbewohnt	bewohnt	gesamt
Bestand + VPO	20	0	20	21	6	27	27	8	35	68	14	82

In der Unterlage 19.5 Betroffenheit Baubetrieb sind die Gebäude bzw. baulichen Anlagen mit einem Abstand von bis zu 30 m von der Gleisachse mit der Adresse bzw. Lagekoordinaten und dem konkreten Abstand angegeben.

Im Rahmen der Ausführung sind die Baumaßnahmen mit dem konkreten Baubetrieb zur Ermittlung der Betroffenheit zu verwenden und die erforderlichen Maßnahmen zur Einhaltung der Anforderungen zu berücksichtigen.

10 Zusammenfassung

Für das Vorhaben der ABS / NBS Hamburg - Lübeck - Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) zwischen Lübeck und Puttgarden waren für den PFA 4 die betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen mit Schienenverkehr auf der Strecke 1100 gemäß DB Richtlinie „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ zu untersuchen.

In dem „PFA 4 Oldenburg in Holstein, Göhl“ verlaufen die Strecke 1100 im Bestand und die Antragstrasse (Strecke 1100 VPO) vom Beginn des PFA 4 bis zum Bau-km 152,00 nach dem Ortsbeginn Oldenburg in Holstein als Streckenausbau in der gleichen Lage. Von hier aus nimmt die geplante Strecke als Neubau eine flachere Kurve weit entfernt der Bebauung von Oldenburg in Holstein, bevor die geplante Strecke und Bestandsstrecke vor Göhl an Bau-km 155,036 wieder aufeinandertreffen und auf der Bestandsstrasse zur Grenze des PFAs führen.

Im Hinblick auf die Schienenverkehrserschütterungen ergeben sich bis auf drei Wohngebäude in Göhl keine Überschreitungen der Beurteilungskriterien.

In den Fällen der Überschreitungen handelt es sich um drei Gebäude in Göhl. Hier verläuft die Ausbaustrecke entlang der Bestandsstrecke in einem minimalen Abstand von 11 m an der Bebauung vorbei. Für das Wohngebäude Edisonstraße 2 verbleiben 12 Schutzfälle und sind auch mit den betrachteten Maßnahmen nicht lösbar. Bei den Wohngebäuden Schulgarten 5 und Neuschwelbek 3 handelt es sich jeweils um zwei Schutzfälle. Hier wäre eine Einhaltung der Beurteilungskriterien mit der Maßnahme Betontrog mit Unterschottermatte und Schotteroberbau auf beiden Gleisen herstellbar.

Für die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT} ergibt sich für alle Wohngebäude im Untersuchungskorridor im Nullfall und im Planfall ohne Maßnahmen eine Unterschreitung der Werte aus der Verfügung des Eisenbahn-Bundesamtes vom 30.01.2017 zur Vermeidung von Eigentums- oder Gesundheitsverletzungen von 1,1 tags und 0,7 nachts.

Die Einwirkungen aus dem prognostizierten sekundären Luftschall liegen im Nullfall für die Wohngebäude im Untersuchungskorridor und im Planfall unterhalb der Immissionsrichtwerte.

Die Ergebnisse der Prognose mit den gelösten und ungelösten Schutzfällen sowie die Kosten der Maßnahmen sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: Zusammenfassung Schutzzeinheiten, Schutzfälle, Maßnahmen und Kosten

PFA 4 Betriebsbedingte Erschütterungsimmissionen						
Beschreibung Planfall	Maßnahmen zum Erschütterungsschutz	Kosten der Maßnahmen	Beurteilungskriterien			
			48 Schutzfälle in 6 Wohngebäuden			
			Einhaltung		Überschreitung	
			Schutzfälle	Gebäude	Schutzfälle	Gebäude
ohne Maßnahmen	-	0 €	32	3	16	3
mögliche Lösung von Schutzfällen (Maximalschutz)	bereichsweise Betontrog mit Unterschottermatte und Schotteroberbau	180.000 €	36	5	12	1
empfohlene Maßnahmen	ohne Maßnahme	0 €	32	3	16	3

Ausgehend von 16 ungelösten Schutzfällen ohne Maßnahmen ließen sich mit der Maßnahme Betontrog mit Unterschottermatte vier der Schutzfälle lösen. Für die Planung von Erschütterungsschutzmaßnahmen hat die Vorhabenträgerin die von der Rechtsprechung entwickelten Grundsätze zur Verhältnismäßigkeit der von Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen. Ein allgemein anwendbarer wirtschaftlicher Wert zur Verhältnismäßigkeit oder Unverhältnismäßigkeit der planerischen Lösung eines einzelnen Schutzfalles besteht dabei nicht.

Maßgeblich ist das Verhältnis der Kosten für Schutzmaßnahmen zu dem Nutzen, d.h. der Verringerung der Belastung mit Erschütterungseinwirkungen. Unter Beachtung der o.g. Vorgaben wird hier davon ausgegangen, dass die Kosten von 45.000 € pro gelösten Schutzfall nicht verhältnismäßig sind und die Maßnahme Betontrog mit Unterschottermatte und Standardschotteroberbau daher nicht zum Einsatz empfohlen werden kann.

Für die Wohngebäude, für welche sich ungelöste Schutzfälle ergeben, sind Entschädigungsverfahren durchzuführen. Zur Feststellung der tatsächlichen Immissionen sind in den Wohngebäuden sechs Monate nach der Inbetriebnahme der Strecke Schwingungsmessungen vorzunehmen. Auf Grundlage der Messergebnisse ist unter Berücksichtigung der Randbedingungen im Nullfall und im Planfall eine Entschädigung vorzunehmen.

Aus der Erfahrung mit Schwingungsmessungen in der Praxis liegen die bei Schienenverkehr auftretenden Erschütterungen in der Regel deutlich unterhalb der Anhaltswerte der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ und Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“ zur Vermeidung von Schäden an Gebäuden. Diese Erfahrung wurden durch die in Wohngebäuden an der Bestandsstrecke durchgeführten Schwingungsmessungen bestätigt.

Der vorhabenbedingte Baubetrieb ist Rahmen der konkreten Planung der Baudurchführung im Hinblick auf die Einhaltung der Anforderungen gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ und Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“ zu überprüfen und bei erschütterungsintensiven Bautätigkeiten werden eine Beweissicherung des Zustands und repräsentative Schwingungsmessungen empfohlen.

Hamburg, den 28.02.2019



baudyn GmbH

Dipl.-Ing. Marc Oliver Rosenquist

- Geschäftsführer baudyn GmbH -