

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

# Erschütterungsimmissionen

## Planfeststellungsabschnitt 6 Fehmarn inklusive Brückenbereich

---

baudyn GmbH

---

Arbeitsgemeinschaft FBQ

---

Stand 07. März 2018

**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

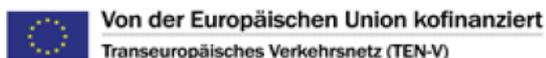
Im Auftrag der  
Arbeitsgemeinschaft FBQ

TGP



c/o  
Trüper Gondesen P  
An der Untertrave  
23568 Lübeck

Stand 2018-03-07  
Version 1.2



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2 Erschütterungen und sekundärer Luftschall</b>	<b>8</b>
<b>3 Beurteilungsgrundlagen</b>	<b>10</b>
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	13
<b>4 Örtliche Situation</b>	<b>15</b>
<b>5 Schwingungsmessungen</b>	<b>19</b>
5.1 Gelände und repräsentatives Wohngebäude	19
5.2 Vergleichsmessungen	20
<b>6 Vorgehensweise zur Prognose</b>	<b>22</b>
6.1 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit	22
6.2 Einfluss des Ausbreitungsabstands	23
6.3 Übertragung der Emissionen mittels Deltaspektren	23
6.4 Statistische und gebäudespezifische Übertragungsfunktionen	24
6.5 Überfahrt von Weichen	24
6.6 Betriebsprogramm	24
<b>7 Ermittlung der betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen</b>	<b>26</b>
7.1 Ermittlung des Untersuchungskorridors	26
7.2 Gebäudespezifische Prognose	27
7.3 Übertragung der Prognose auf die Wohngebäude im Untersuchungskorridor	29
<b>8 Vorhabenbedingter Baubetrieb</b>	<b>30</b>
<b>9 Bewertung</b>	<b>33</b>



$\Delta L_u$	Differenzpegel infolge Fahrgeschwindigkeitsänderungen
$L_{vFmax}$	maximaler Schnellepegel
$L_{vFeq}$	energieäquivalenter Schnellepegel
m	Meter
mm/s	Millimeter je Sekunde
ms	Millisekunde
MFH	Mehrfamilienhaus
n	Ausbreitungskoeffizient
nördl.	nördlich
OG	Obergeschoss
o.g.	oben genannte(n)
ÖNORM	Österreichische Normen
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PrNr	Bauwerksnummer
RH	Reihenhaus
Ril	Richtlinie
s.o.	siehe oben
südl.	südlich
TA-Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
u	Fahrgeschwindigkeit
u.a.	unter anderem
u.g.	unten genannte(n)
VzG	Verzeichnis zulässiger Geschwindigkeiten
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
$V_{TerzFeq}$	Energieäquivalente Terzschnelle
$V_{TerzFmax}$	Maximale Terzschnelle
$V_z$	Schwinggeschwindigkeit
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 Vorzugsvariante ermittelt.

Die DB Netz AG beabsichtigt eine Planfeststellung für die Ausbaustrecke (ABS) / Neubaustrecke (NBS) Hamburg - Lübeck - Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) zwischen Lübeck und Puttgarden mit einer gegenüber der Raumordnungsvariante optimierten Trassenführung zu beantragen. Im Rahmen der Umweltplanungen ist eine Erschütterungstechnische Untersuchung vorzunehmen. Hierzu sind die Erschütterungsimmissionen aus der Einwirkung von für den Menschen spürbaren Erschütterungen und von – durch die schwingenden, raumbegrenzenden Flächen abgestrahlten, hörbaren – sekundärem Luftschall aus dem Betrieb der Bahnstrecke mit Schienenverkehr sowie Erschütterungen aus dem Bau der Bahnstrecke zu untersuchen. Die erschütterungstechnische Untersuchung ist gemäß DB Richtlinie 820.2050 „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 Istzustand 2016 zu berücksichtigen. Der Prognose-Planfall ist die Umsetzung des geplanten Vorhabens mit dem betreffenden Betriebsprogramm für den Prognosehorizont 2030. Für den Aus- und Neubau der Bahnstrecke sind die erforderlichen Baumaßnahmen im Hinblick auf die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen zu betrachten.

Das Vorhaben der Schienenanbindung wird im Rahmen der Festen Fehmarnbeltquerung geplant und 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 zu untersuchen:

- Bestandsstrecke (12A), Strecke 1100 Lübeck Bad Schwartau bis Puttgarden,
- VP-Optimierungsvariante (400L), geplante Trasse der DB, Stand Vorplanung.

Die Bestandsstrecke ist nicht elektrifiziert.

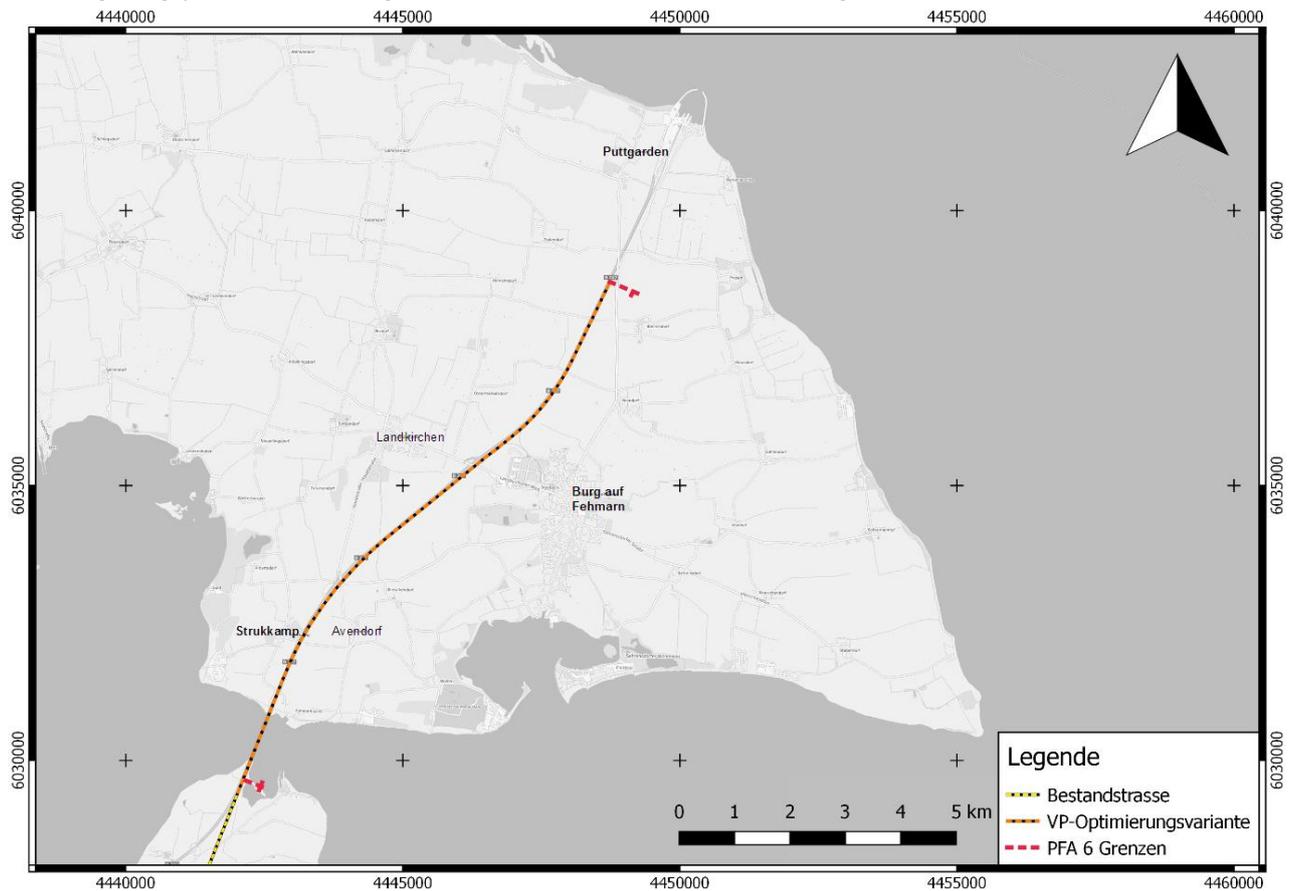
In diesem Gutachten wird der Planfeststellungsabschnitt „PFA 6 Fehmarn inklusive Brückenbereich“ zwischen Großenbroderfähre auf dem Festland bis zum Anschluss an das Vorhaben der Festen Fehmarnbeltquerung vor Puttgarden betrachtet.

Die Grenzen des PFA 6 sind folgendermaßen festgelegt:

- Bestandsstrecke km 74,0+49 bis km 85,4+50,
- Bau-km 172,7+12.65 bis Bau-km 184,1+60.31.

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

Abbildung 1: Lageplan Streckenführung PFA 6 zwischen Großenbroderfähre und Puttgarden



Im PFA 6 verlaufen die Bestandsstrecke und die gegenüber der für das Vorhaben geplanten Trassenführung in einer gemeinsamen Lage. Die Bestandsstrecke ist eingleisig. Die für das Vorhaben geplante Trassenführung verläuft von dem Beginn des PFA 6 bis etwa 100 m nördlich von Strukkamp eingleisig und anschließend Richtung Puttgarden zweigleisig.

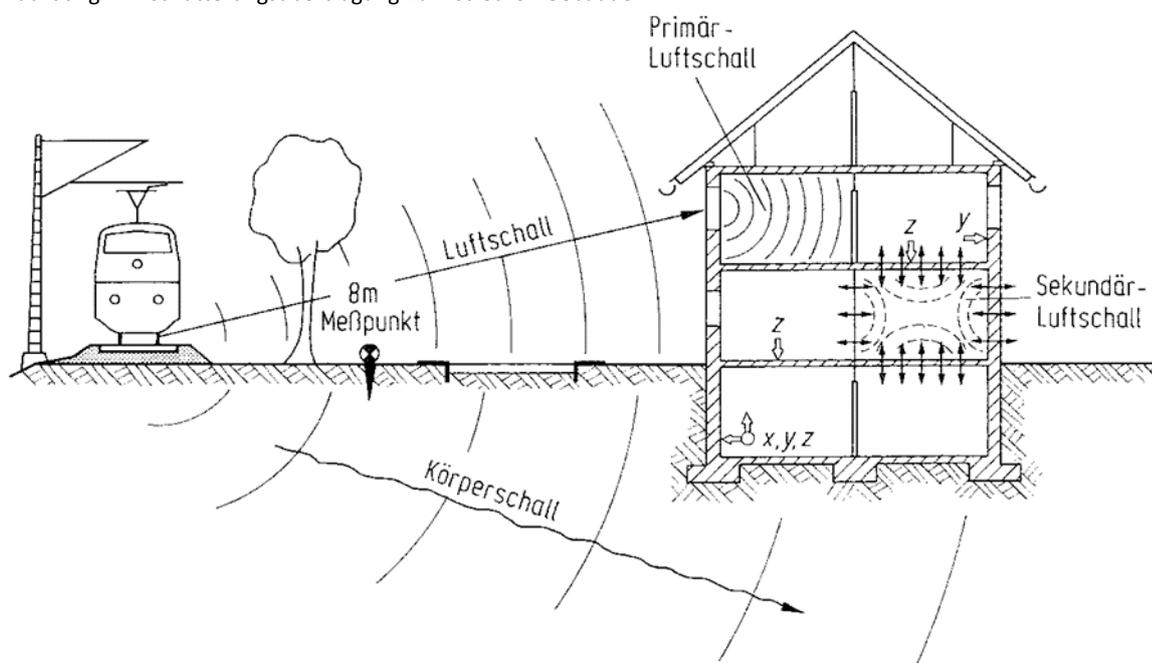
Die Erschütterungstechnische Untersuchung umfasst neben dieser Unterlage 16.1 Erläuterungsbericht – Erschütterungsimmissionen folgende Unterlagen:

- **16.2 Schwingungsmessungen**
  - 16.2.1 Messergebnisse Messobjekt 6.1
  - 16.2.2 Vergleichsmessungen Müssen
- **16.3. Untersuchungskorridor Karten**
  - 16.3.1 Ermittlung Untersuchungskorridor
  - 16.3.2 Karten
- **16.4 Gebäudespezifische Prognose**

## 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 - Gebäude<sup>1</sup>



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 ab. Die De-

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

ckeneigenfrequenzen 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. Darüber hinaus werden durch die übertragenden Erschütterungen Schwingungen der den betreffenden Raum begrenzenden Flächen, wie Wände und Decken, Schall abgestrahlt, 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 Terzschnellepegel  $L_v$  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 820.2050, 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. Die Unsicherheit wurde bei den Ergebnissen der Schwingungsmessungen und in der Prognose nicht berücksichtigt. Gemäß Erschütterungs-Leitlinie ist diese Unsicherheit bei Anordnungen, die auf Messergebnissen beruhen, abzuziehen.

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.

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		
		Au	Ao	Ar	Au	Ao	Ar
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.

### 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). 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 Untersuchungen<sup>2</sup> 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 bestätigt<sup>3</sup>. Aus diesem Grund werden ausge-

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> BVerwG, Az 7 A 14/09, Urteil vom 21.12.2010

hend 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 820.2050 angegeben.

Diese schutzmindernde Wirkung der Vorbelastung ist auf die Schwelle zur Eigentums- bzw. Gesundheitsverletzung begrenzt. Bei einer Überschreitung dieser Schwelle sind nicht wegen des Ausbaus, sondern aus Anlass des Ausbaus Maßnahmen zum Erschütterungsschutz zu untersuchen.

Es liegen keine Richtlinien oder Untersuchungen zu Eigentums- oder Gesundheitsverletzungen infolge von Erschütterungseinwirkungen vor. Gemäß dem Bundesverwaltungsgericht<sup>3</sup> 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 Eisenbahnbundesamtes 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  $KB_{FTT}$ , vorhabenbedingt um mindestens 25 % gegenüber der Vorbelastung (Prognosenullfall) zunimmt.

c. Abschnitte mit Beurteilungsschwingstärken mit  $KB_{FTT}$  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  $KB_{FTT}$  von 1.1 tags und 0.7 nachts sind aus unserer Erfahrung als sehr hohe Werte zu bewerten und wurden von uns in der Praxis in 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.

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.

---

### 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 tieffrequent 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 820.2050 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.

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 Schwingungsgeschwindigkeit für Erschütte-

rungseinwirkungen 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.

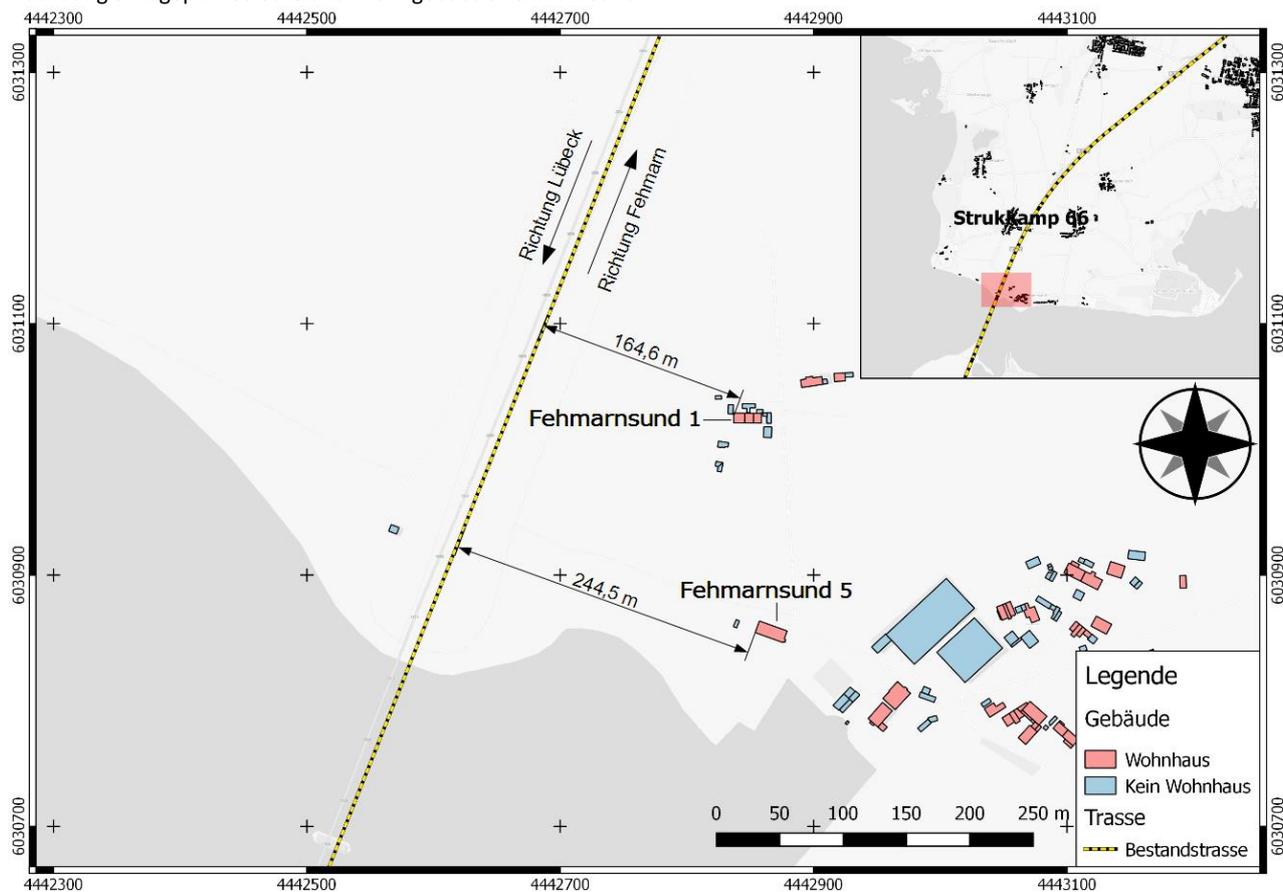
## 4 Örtliche Situation

Im PFA 6 „Fehmarn inklusive Brückenbereich“ ist die örtliche Situation gekennzeichnet durch eine Streckenführung der Bestandsstrecke und der beantragten Strecke in einer gemeinsamen Lage sowie großen Abständen zur nächstgelegenen Wohnbebauung. In den geologischen Übersichtskarten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe werden Bodenarten angegeben. Es handelt sich um den Boden unmittelbar unterhalb der Deckschicht sowie zusätzliche Angaben zu ggf. besonderen Eigenschaften darunter anstehender Böden, wie z.B. setzungsempfindlicher organischer Weichschichten. Für Fehmarn werden entlang der Strecke weitgehend Geschiebelehm und Geschiebemergel angegeben. Bereichsweise handelt es sich um tonigen Schluff mit Bändern von Feinsand. Eine ausgeprägte, erschütterungstechnisch maßgebliche Schichtung mit organischen Weichschichten ist im Streckenverlauf nicht vermerkt.

Die Planfeststellungsgrenze beginnt auf dem Festland querab zur Großenbroderfähre. Der Abstand zwischen der Strecke und dort nächstgelegener Wohnbebauung beträgt 750 m. Es handelt sich um eine Gruppe von Einfamilienhäusern mit bewohnten Dachgeschossen.

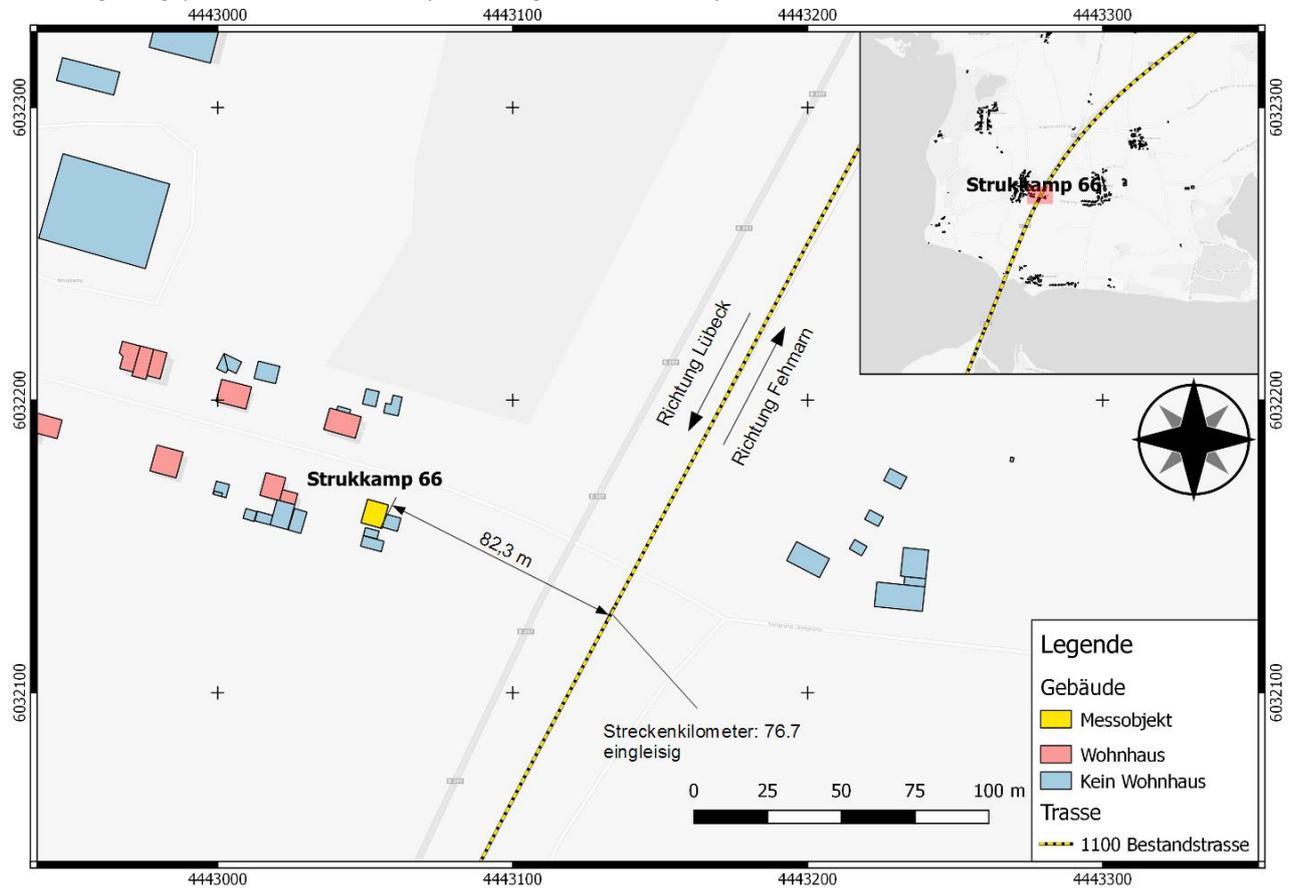
Auf der Südseite von Fehmarn befinden sich in Fehmarnsund die zur Strecke nächstgelegenen Wohngebäude in einem Abstand von etwa 165 m (Abbildung 3). Es handelt sich bei den Wohngebäuden Fehmarnsund 1 um drei Reihenhäuser mit Erd- und Dachgeschoss, wahrscheinlich zwischen den 1930er- und den 1950er-Jahren erbaut. Diese Wohngebäude befinden sich außerhalb des in Richtung Osten anschließenden Mischgebiets ohne eine bauplanungsrechtliche Ausweisung. Ein Wohngebiet befindet sich deutlich weiter entfernt in Richtung Osten.

Abbildung 3: Lageplan Strecke und Wohngebäude Fehmarnsund



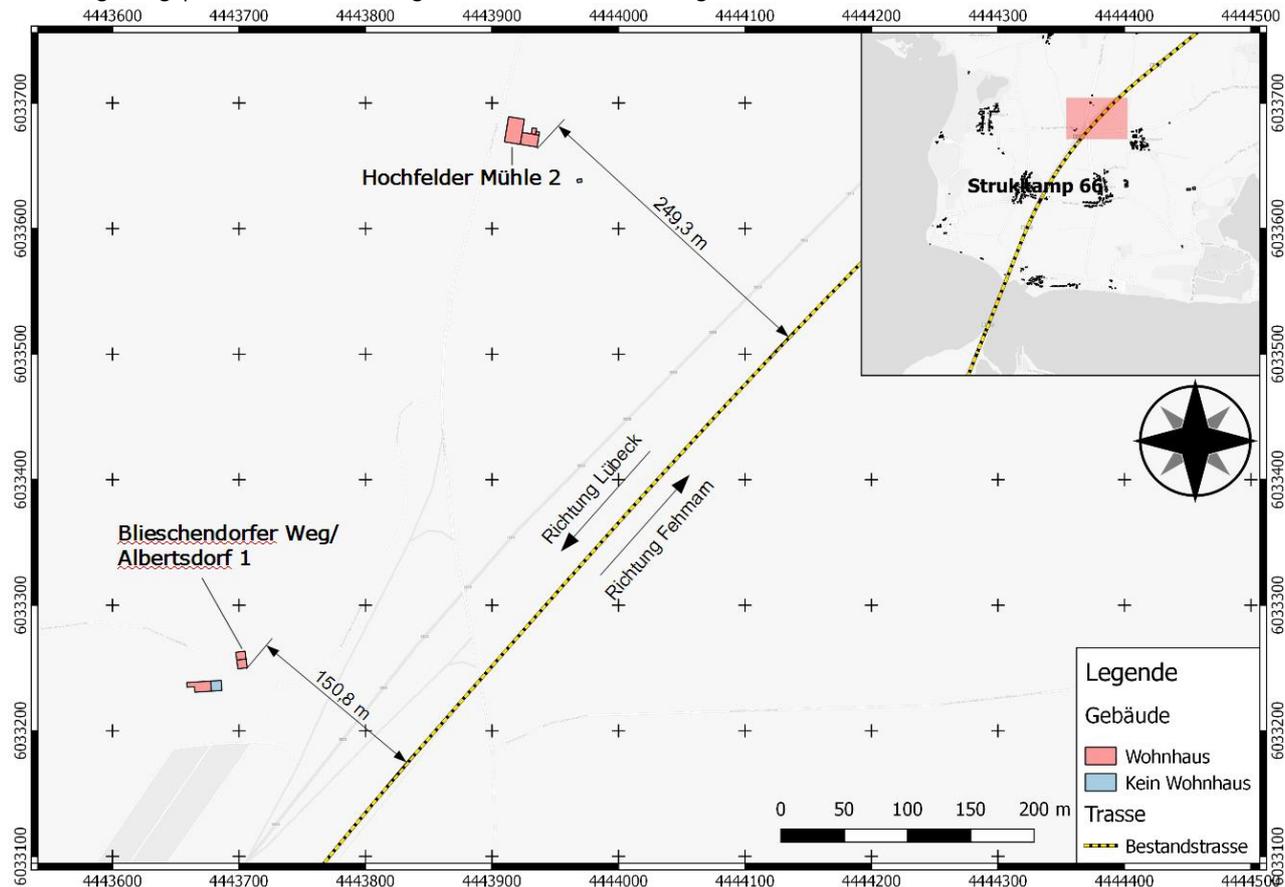
Im PFA 6 befindet sich das zur Strecke nächstgelegene Wohngebäude im Strukkamp 66 in einem Abstand von 82 m (Abbildung 4). Es handelt sich um ein Einfamilienhaus mit Erd- und Dachgeschoss, wahrscheinlich in den 1930er-Jahren erbaut. Aufgrund der Lage wurde dieses Wohngebäude als Messobjekt auf Fehmarn ausgewählt. Das Gebäude ist nicht unterkellert, verfügt über ein Erdgeschoss und ein Dach- bzw. Obergeschoss mit Holzbalkendecken. Die unmittelbar benachbarten Wohngebäude sind im Alter und in der Bauweise vergleichbar. Die Gebäude in Strukkamp befinden sich in einem Mischgebiet.

Abbildung 4: Lageplan Strecke und Messobjekt Wohngebäude Strukkamp 66



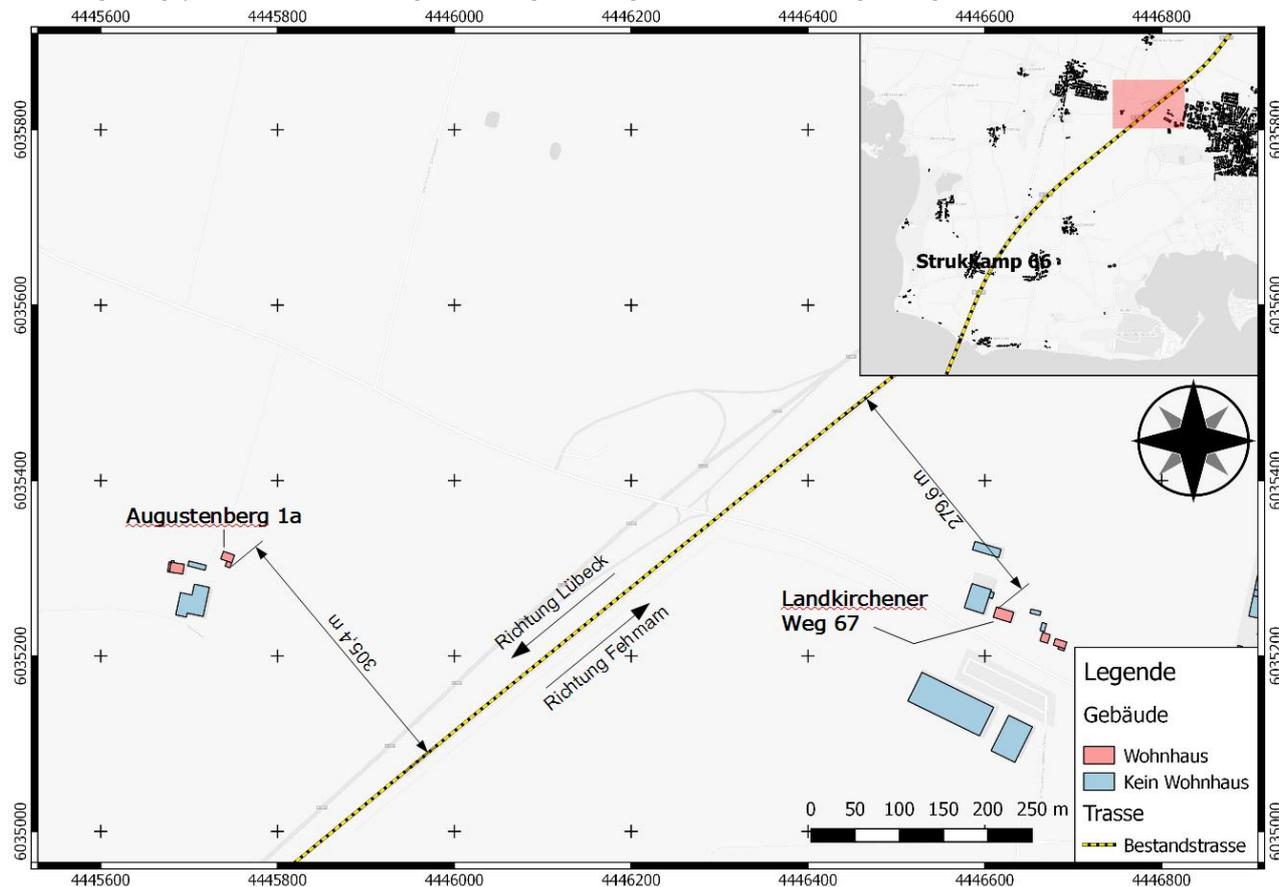
An der Strecke weiter Richtung Norden befindet sich im Blieschendorfer Weg (Albertsdorf) Wohnbebauung in etwa 150 m Abstand (Abbildung 5), eine bauplanungsrechtliche Gebietsausweisung liegt nicht vor. Es handelt sich um ein eingeschossiges Gebäude, wahrscheinlich aus dem 19. Jahrhundert. Die Bebauung Hochfelder Mühle 2 (Mummendorf) umfasst landwirtschaftlich geprägte Gebäude mit einem Wohnhaus wahrscheinlich aus dem 19. Jahrhundert, welches einen Abstand von etwa 250 m von der Strecke aufweist. Die Gebäude liegen in einem Gewerbegebiet.

Abbildung 5: Lageplan Strecke und Wohngebäude Blieschendorfer Weg und Hochfelder Mühle



Als weitere Wohngebäude befinden sich zwischen Landkirchen und Burg die Wohngebäude Augustenberg 1a in einem Abstand von mehr als 300 m und Landkirchener Weg 67 von 280 m von der Strecke (Abbildung 6). Bei dem Augustenberg 1a handelt es sich um einen ursprünglichen Bauernhof, wahrscheinlich aus dem 19. Jahrhundert, mit zwei eingeschossigen Wohngebäuden, wahrscheinlich aus den 1960er-Jahren. Bei der Bebauung Landkirchener Weg 67 handelt es sich ebenfalls um einen ehemaligen Bauernhof mit einem zweigeschossigen Wohngebäude, wahrscheinlich aus dem 19. Jahrhundert. Die Gebäude befinden sich auf beiden Seiten der Strecke in Mischgebieten.

Abbildung 6: Lageplan Strecke und Wohngebäude Augustenberg und Landkirchener Weg in Burg



Im Verlauf der Strecke in Richtung Norden befinden sich weitere Wohngebäude in noch größeren Abständen zu der Bahnstrecke.

## 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 berechnungstechnischen Verfahren 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 Stockwerksdecken in Gebäuden ermittelt.

In der Tabelle 2 sind die durchgeführten Schwingungsmessungen für das verwendete Messobjekt mit Angaben über die Lage und die Gebäudeart sowie die Vergleichsmessungen aufgeführt.

Tabelle 2: Schwingungsmessungen in einem Wohngebäude und an einer Vergleichsstrecke

PFA	Strecke 1100 km	Adresse	Messobjekt	Abstand Gleisachse	Lage	Gebäudeart	Stockwerksdecken (Fußbodenebene)
6	76.7+38.4	Strukkamp 66, 23769 Fehmarn	6.1	80 m	Nord/West	EFH	Holzbalken (EG, DG)
-	Strecke 6100 Berlin-Hamburg 242.9+58.6	Vergleichsmessungen Emissionen im Gelände Büchener Straße in 21516 Müssen	-	10 m, 16 m, 24 m, 32 m, 40 m, 64 m, 120 m	Nord	Gelände	-

### 5.1 Gelände und repräsentatives Wohngebäude

Aufgrund des im Nullfall und im Planfall sehr großen Abstands zwischen der Strecke und den im PFA 6 vorhandenen Wohngebäuden wurde ein repräsentatives Wohngebäude für die Schwingungsmessungen als Messobjekt ausgewählt. Es handelt sich um das oben beschriebene Wohngebäude Strukkamp 66 in einer Entfernung von 82 m zu der Bestandsstrecke.

Die Auswahl des so genannten Messobjektes erfolgte im Wesentlichen aufgrund der Lage des Wohngebäudes mit dem geringsten Abstand zur nächstgelegenen Gleisachse, um die höchsten Erschütterungsimmissionen zu erfassen. In dem Untersuchungsgebiet befinden sich überwiegend ältere eingeschossige oder zweigeschossige Einfamilienhäuser mit bewohntem Dachgeschoss. Es ist davon auszugehen, dass diese Wohngebäude zum Teil über Stockwerksdecken mit Holzbalken und zum Teil mit Stahlbetondecken verfügen. Unter den Eigenschaften für Stahlbetondecken sind auch die häufig in älteren Wohngebäuden vorzufindenden Steinkappendecken im Erdgeschoss einzuordnen.

Auf dem Gelände neben dem Wohngebäude Strukkamp 66 wurden Schwingungsmessungen zur Erfassung der Erschütterungen bei den auf der Bestandsstrecke derzeit verkehrenden Zuggattungen des Regionalverkehrs mit dem Fahrzeugtyp LINT 41 mit einer Höchstgeschwindigkeit von bis zu 120 km/h und Fernverkehr mit den Fahrzeugtypen IC 3 (DSB) und ICE-TD mit bis zu 160 km/h vorgenommen. Bei diesen Fahrzeugtypen handelt es sich um Dieseltriebwagen. Darüber hinaus wurden Schwingungsmessungen mit Messpunkten im Wohngebäude Strukkamp 66 vorgenommen, um die Erschütterungsübertragung vom Gelände neben dem Gebäude auf Stockwerksdecken zu ermitteln.

Die Schwingungsmessungen wurden gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“, DIN 45669 „Messung von Schwingungsimmissionen“ und die DIN 45672 „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen“ Teil 1 „Meßverfahren“ und Teil 2 „Auswertefahren“ durchgeführt und ausgewertet.

Bei dem Wohngebäude im Strukkamp 66 handelt es sich um ein Einfamilienhaus mit Erd- und Dachgeschoss, wahrscheinlich in den 1930er-Jahren erbaut. Das Wohngebäude liegt in einem Mischgebiet. Das

Gebäude ist nicht unterkellert, verfügt über ein Erdgeschoss und ein bewohntes Dachgeschoss mit Holzbalkendecken.

Die Messpunkte wurden auf der Gebäudesohle im Erdgeschoss sowie auf Deckenfeldern im Erd- und im Dachgeschoss vorgenommen. Im Gelände der Grundstücke sollen Messpunkte grundsätzlich unterhalb der Deckschicht auf Erdspeissen in 8 m, 16 m und 32 m von der Gleisachse eingesetzt werden. Aufgrund der gegebenen Verhältnisse, u.a. mit der Bundesstraße 207 zwischen der Bahnstrecke und dem Messobjekt, war dies im vorliegenden Fall nicht möglich. Es konnten lediglich Messpunkte mit großen Abständen bzw. zum Wohngebäude vergleichbar zur Bahnstrecke entfernt eingerichtet werden.

Die Schwingungsmessungen in dem Messobjekt Strukkamp 66 und im Gelände neben dem Grundstück sind in der Unterlage 16.2.1 Messergebnisse für das Messobjekt 6.1 dokumentiert.

In der Dokumentation der Schwingungsmessungen sind das Messobjekt 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 gerechneten Terzschnellepegel im Gelände und im Gebäude sowie die Terzdifferenzpegel zwischen Gelände und Gebäude ermittelt und dargestellt.

Wegen der lokalen Gegebenheiten am Messobjekt Strukkamp 66 liegen dort keine Messpunkte im Gelände mit einem Abstand von 8 m zur Gleisachse, sondern lediglich in einem großen Abstand vor. Aus diesem Grund wurden hier zur Ermittlung des Deltaspektrums die im Gelände in 80 m Abstand zur Gleisachse im Strukkamp 66 gemessenen Terzschnellepegel und an der Vergleichsstrecke in 80 m verwendet.

Aufgrund der im Gelände um das Messobjekt Strukkamp 66 nicht ermittelbaren Eigenschaften der Erschütterungsausbreitung wurden diese aus Schwingungsmessungen im PFA 4 verwendet. In der geologischen Übersichtskarte der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe wird für das Gelände des Messobjektes Strukkamp 66 im PFA 6 sowie des Messobjektes 4.2 Schulgarten 5 im PFA 4 Geschiebelehm und Geschiebemergel angegeben. Eine ausgeprägte, erschütterungstechnisch maßgebliche Schichtung mit organischen Weichschichten ist dort nicht vermerkt. Im PFA 4 konnten im Gelände des Messobjektes 4.2 Schulgarten 5 Schwingungsmessungen in unterschiedlichen Abständen zur Gleisachse vorgenommen werden. Die sich daraus im Gelände für die Referenzzuggattung LINT 41 für einen Abstand von 80 m zur Gleisachse ergebenden Terzschnellepegel weisen eine gute Vergleichbarkeit zu den im gleichen Abstand im Gelände Messobjekt Strukkamp 66 gemessenen Terzschnellepegeln auf und sind in der Unterlage 16.3.1 Ermittlung Untersuchungskorridor dargestellt.

---

## 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 in 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 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 242.9+78.4. In der geologischen Übersichtskarte der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe wird für das Gelände Geschiebelehm und Geschiebemergel angegeben und entspricht damit den Angaben für die o.g. Messobjekte in PFA 6 und PFA 4. Eine ausgeprägte, erschütterungstechnisch maßgebliche Schichtung mit organischen Weichschichten ist dort nicht vermerkt. Bei der Bahnstrecke Berlin - Hamburg im Abschnitt in Müssen (Vgl.msg. 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 Erdspeissen 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 16.2.2 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  $KB_{Fmax}$ ) 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 820.2050 für den Nullfall und den Planfall mit der gleichen Vorgehensweise ermittelt. Als Größen dienen Terzschnellepegel, 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-, ICE-, Güterzüge) werden bei Schwingungsmessungen im Gelände ermittelte Terzschnellepegel verwendet. Gegebenenfalls zwischen diesen Schwingungsmessungen und den Prognoserandbedingungen erforderliche Anpassungen für die Fahrgeschwindigkeit werden wie unten beschrieben vorgenommen.

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

Für die Übertragung der Erschütterungen vom Gelände auf die Stockwerksdecken in den Wohngebäuden werden die statistischen Übertragungsfunktionen gemäß DB Richtlinie 820.2050 und die in Schwingungsmessungen ermittelten gebäudespezifischen Übertragungsfunktionen verwendet.

Sofern Weichen in der Nähe der Gebäude vorhanden oder geplant sind, ist eine Überprüfung auf ungünstige Einflüsse durch die Überfahrt von vorhandenen oder geplanten Weichen wie unten beschrieben zu berücksichtigen.

Die Durchführung der Prognose erfolgt auf Grundlage von Terzschnellepegeln im Boden, Terzschnelledifferenzpegeln für die Ausbreitung im Boden und 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 820.2050 und entspricht dem Stand der Veröffentlichungen<sup>4</sup> 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 zu verwenden.

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

---

### 6.1 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit

Die Höchstgeschwindigkeit beträgt auf der Strecke im PFA 6 für den Prognose-Nullfall zwischen 120 km/h und 160 km/h und für den Prognose-Planfall zwischen 100 km/h und 200 km/h.

Die bei einer Fahrgeschwindigkeit für die einzelnen Zuggattungen im Gelände gemessenen Emissionen sind für die Prognose benötigten Fahrgeschwindigkeit 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.

---

<sup>4</sup> 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 ÖNORM S 9012 „Beurteilung der Einwirkung von Schwingungsimmissionen des landgebundenen Verkehrs auf den Menschen in Gebäuden - Schwingungen und sekundärer Luftschall“ sowie Untersuchungsberichten<sup>5 6 7</sup> veröffentlicht wurde.

Die Abschätzung wird verwendet, um z.B. die bei niedrigerer Fahrgeschwindigkeit gemessenen Emissionen an die höhere zulässige Fahrgeschwindigkeit anzupassen.

---

## 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 820.2050 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, dem 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.

---

<sup>5</sup> Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, 1995

<sup>6</sup> Schwingungsausbreitung an Schienenverkehrswegen, 2. Ing. Geolog. Inst. Niedermeyer, LGA-Nürnberg, Müller-BBM GmbH, Hrsg. DB, BZA München, 1981

<sup>7</sup> 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.

Für die Prognose im PFA 6 wird, wie im Kapitel 5.1 erläutert, von den Terzschnellepegeln im Gelände vom Struckamp 66 in 80 m von der Gleisachse zur Anwendung des Deltaspektrums und der Ermittlung der Terzschnellespektren für die geplanten Zuggattungen sowie der im PFA 4 im Gelände von Messobjekt Schulgarten 5 ermittelten Ausbreitungscharakteristik ausgegangen.

---

#### 6.4 Statistische und gebäudespezifische Übertragungsfunktionen

Für die Übertragung der Erschütterungen vom Gelände auf Stockwerksdecken wurden zur Ermittlung des Untersuchungskorridors die statistischen Übertragungsfunktionen aus der DB Richtlinie 820.2050 für Holzbalkendecken und Stahlbetondecken mit einer Parametervariation der Deckeneigenfrequenz verwendet.

Für die gebäudespezifische Prognose wurden die im Messobjekt ermittelten Übertragungsfunktionen eingesetzt.

Die verwendeten Übertragungsfunktionen sind in den Unterlage 16.4 Gebäudespezifische Prognose mit den Prognosen im Einzelnen dargestellt.

---

#### 6.5 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 m kann die Erhöhung der Erschütterungsimmissionen folgendermaßen abgeschätzt werden ( $m$ : Einheit Meter):

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

Sofern Weichen in der Nähe der Gebäude vorhanden oder geplant sind, ist zu prüfen, ob der Einfluss der Weichenüberfahrt im Vergleich zu den Erschütterungsimmissionen maßgeblich ist.

---

#### 6.6 Betriebsprogramm

Zur Beurteilung der betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen 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 (Tabelle 3).

Tabelle 3: Betriebsprogramm und zur Prognose verwendete Emissionen im Nullfall

**Prognose 0-Fall**

**2030**

Zugart-	Anzahl Züge		v km/h	Emissionen für Prognose		
	Tag	Nacht		Zuggattung	gemessen bei km/h	gerechnet auf km/h
RV-VT	16	4	120	LINT 41 MO Strukkamp 66	100	120
IC-V	4	0	160	IC Vgl.msg. Müssen	200	160
IC-VT	14	0	160	IC 3 (DSB) MO Strukkamp 66	160	160

Der Prognose-Planfall ist die Umsetzung des geplanten Vorhabens mit dem betreffenden Betriebsprogramm für den Prognosehorizont 2030 (Tabelle 4).

Tabelle 4: Betriebsprogramm und zur Prognose verwendete Emissionen im Planfall

**Prognose 2030**

Zugart-	Anzahl Züge		v km/h	Emissionen für Prognose		
	Tag	Nacht		Zuggattung	gemessen bei km/h	gerechnet auf km/h
GZ-E	38	17	100	GZ-E Vgl.msg. Müssen	100	100
GZ-E	10	5	120	GZ-E Vgl.msg. Müssen	100	120
RV-ET	16	4	160	DS Vgl.msg. Müssen	140	160
IC-E	27	1	160 / 200	IC Vgl.msg. Müssen	200	160 / 200

Für den Bestand ist eine eingleise Strecke sowie für die Umsetzung des Vorhabens bis einschließlich Strukkamp eine eingleisige sowie im weiteren Verlauf in Richtung Norden eine zweigleisige Strecke zu berücksichtigen.

## 7 Ermittlung der betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen

Die betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen und der Einfluss des Vorhabens Ausbaustrecke (ABS) / Neubaustrecke (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.

Gemäß DB Richtlinie 820.2050 ist zunächst die Ermittlung eines Untersuchungskorridors entlang der Strecke vorgesehen, in dem die Erschütterungsimmissionen maßgeblich sind (7.1). Ausgehend von den Ergebnissen der Schwingungsmessungen erfolgt eine gebäudespezifische Prognose (7.2). Die Ergebnisse der gebäudespezifischen Prognose sind anschließend auf andere Wohngebäude im Untersuchungskorridor zu übertragen (7.3).

---

### 7.1 Ermittlung des Untersuchungskorridors

In diesem Teil der Prognose wird eine Betroffenheitsanalyse 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 möglichst aus Schwingungsmessungen an der Bestandsstrecke verwendet. Alternativ werden die Emissionen und Ausbreitungseigenschaften aus der Empirie – aus anderen Vorhaben oder Veröffentlichungen – verwendet.

Für die Übertragung der Erschütterungen vom Gelände auf die Stockwerksdecken von Wohngebäuden werden die statistischen Übertragungsfunktionen aus der DB Richtlinie 820.2050 verwendet.

Im vorliegenden Fall wurde die Prognose im PFA 6 wie in Kapitel 6.3 beschrieben, ausgehend von den Terzschnellepegeln im Gelände vom Strukkamp 66 sowie den Ausbreitungseigenschaften aus dem Gelände von Schulgarten 5 aus dem PFA 4 vorgenommen.

Die Prognose ist in der Unterlage 16.3.1 Ermittlung Untersuchungskorridor für PFA 6 dokumentiert.

Die Prognose wurde für den Nullfall mit einer Höchstgeschwindigkeit (Hg) von 160 km/h, für den Planfall mit einer Hg von 160 km/h und 200 km/h sowie mit den statistischen Übertragungsfunktionen Gelände-Stockwerksdecke mit Holzbalken- und Stahlbetondecken vorgenommen. Der Ausbreitungsabstand wurde variiert, um den Grenzabstand mit einer Einhaltung der Anhaltswerte zu ermitteln. Auf Fehmarn handelt es sich an der Strecke um Wohngebäude in Mischgebieten und in einem Fall in einem Gewerbegebiet, so dass zur Berücksichtigung der Anforderungen für die Wohngebäude in den Mischgebieten zur Korridorermittlung die Anhaltswerte gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 sowie in dem Gewerbegebiet die Anhaltswerte gemäß Zeile 2 maßgeblich sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich eine Einhaltung der Anhaltswerte  $A_r$  gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 für die ungünstigere Holzbalkendecke im Nullfall für mindestens 11 m und im Planfall mit 160 km/h für mindestens 29 m und mit 200 km/h ebenfalls für mindestens 29 m ergibt. Die höhere Fahrgeschwindigkeit von 200 km/h betrifft im Planfall ausschließlich die Zuggattung IC und diese weisen in Verbindung mit der Verkehrshäufigkeit nur einen geringen Einfluss auf die Beurteilungs-Schwingstärke  $KB_{FT}$  auf. Es ergeben sich daher zwischen einer Hg von 160 km/h und 200 km/h nur sehr geringfügig unterschiedliche Werte.

Aufgrund der Einhaltung der Anhaltswerte  $A_r$  für einen Abstand der Wohngebäude zur nächstgelegenen Gleisachse von mindestens 29 m liegt eine deutliche Einhaltung der in der Verfügung des Eisenbahn Bundesamtes vom 31.01.2017 unter 3c im Hinblick auf den Eigentums- und Gesundheitsschutz genannten Regelung vor.

Der Untersuchungskorridor wird für den PFA 6 entlang der Strecke einheitlich mit einem Abstand von 29 m von der nächstgelegenen Gleisachse festgelegt, weil für Wohngebäude außerhalb dieses Korridors

von einer Einhaltung der Anhaltswerte auszugehen ist. Die sich innerhalb dieses Korridors befindlichen Wohngebäude sind in der Erschütterungstechnischen Untersuchung genauer zu betrachten.

Der Untersuchungskorridor ist für Holzbalken- und Stahlbetondecken in Unterlage 16.3.1 Karten dargestellt.

In dem Untersuchungskorridor für Holzbalken- und Stahlbetondecken befinden sich im vorliegenden PFA 6 aufgrund der großen Abstände zwischen der Bahnstrecke und der Wohngebäude allerdings keine Wohngebäude und es ist davon auszugehen, dass im PFA 6 im Hinblick auf die betriebsbedingten Erschütterungen keine Betroffenheit vorliegt.

---

## **7.2 Gebäudespezifische Prognose**

In diesem Teil der Prognose erfolgt eine gebäudespezifische Prognose. Es werden zunächst Schwingungsmessungen im Gelände und in repräsentativen Wohngebäuden an der Bahnstrecke vorgenommen. In den Schwingungsmessungen werden im Gelände die Emissionen der Schienenverkehrserschütterungen und die Ausbreitungseigenschaften des Bodens sowie in den Wohngebäuden die Übertragung der Erschütterungen vom Gelände auf die Stockwerksdecken ermittelt. Die Ergebnisse werden als Eingangsdaten für die gebäudespezifische Prognose verwendet.

Im PFA 6 befinden sich in dem ermittelten Untersuchungskorridor von 29 m zur nächstgelegenen Gleisachse keine Wohngebäude, es sind daher keine detaillierten Prognosen erforderlich. Das im PFA 6 am nächsten zur Strecke belegene Wohngebäude und Messobjekt Struckamp 66 befindet sich mit einem Abstand von 82 m außerhalb des für PFA 6 ermittelten Untersuchungskorridors. Die nachfolgend für dieses Wohngebäude beschriebene gebäudespezifische Prognose stellt daher eine Besonderheit dar.

Im Bereich des Messobjektes Struckamp 66 sind die Bestandsstrecke für den Nullfall und die beantragte Strecke für den Planfall eingleisig. Die Ergebnisse der Prognose mit der gebäudespezifischen Übertragungsfunktion sind in

Tabelle 5 nacheinander für die untersuchten Stockwerksdecken für den Nullfall und den Planfall sowie einen Vergleich zwischen Nullfall und den Planfall angegeben.

Tabelle 5: Gebäudespezifische Prognose Struckamp 66, Nullfall und Planfall

Anforderungen	Erschütterungen				sekundärer Luftschall	
	$A_u$		$A_r$		$L_m$ in dB(A)	
	tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts
Zeile 3 Mischgebiet	0,20	0,15	0,10	0,07	40	30
Prognose	$KB_{Fmax}$		$KB_{FTr}$		$L_{m,Holz}$ in dB(A)	
	tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts
<b>Nullfall</b> MP2 Z 1.OG großes Schlafzimmer	0,08	0,08	0,000	0,000	-1,3	-12,3
<b>Planfall VPO</b> MP2 Z 1.OG großes Schlafzimmer	0,10 eingehalten	0,10 eingehalten	0,007 unerheblich	0,007 unerheblich	10,2 eingehalten	9,3 eingehalten
Vergleich	-	-	≥ 25 % unerheblich	≥ 25 % unerheblich	11,4 unerheblich	21,6 unerheblich
<b>Nullfall</b> MP4 Z EG Wohnzimmer	0,07	0,07	0,000	0,000	3,2	-8,1
<b>Planfall VPO</b> MP4 Z EG Wohnzimmer	0,11 eingehalten	0,11 eingehalten	0,008 unerheblich	0,008 unerheblich	12,6 eingehalten	11,4 eingehalten
Vergleich	-	-	≥ 25 % unerheblich	≥ 25 % unerheblich	9,5 unerheblich	19,5 unerheblich
<b>Nullfall</b> MP5 Z 1.OG Gästezimmer	0,04	0,04	0,000	0,000	-1,4	-12,4
<b>Planfall VPO</b> MP5 Z 1.OG Gästezimmer	0,06 eingehalten	0,06 eingehalten	0,000 unerheblich	0,000 unerheblich	10,5 eingehalten	9,6 eingehalten
Vergleich	-	-	0 % unerheblich	0 % unerheblich	11,9 unerheblich	22,0 unerheblich

Aufgrund des großen Abstands von 82 m zwischen der Strecke und dem Messobjekt ergeben sich sehr geringe Werte der maximalen bewerteten Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  für den Nullfall von bis zu  $KB_{Fmax}=0,08$  und den Planfall von  $KB_{Fmax}=0,11$ . Diese Erschütterungsimmissionen befinden sich im Nullfall unterhalb und im Planfall an der unteren Spanne der in der DIN 4150 Teil 2 zwischen  $KB_{Fmax}=0,1 \dots 0,2$  angegebenen menschlichen Fühlschwelle.

Die Beurteilungskriterien sind aufgrund der deutlichen Unterschreitung des, mit der maximalen bewerteten Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  zu vergleichenden, unteren Anhaltswerts  $A_u$  gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 für Kern-, Misch- und Dorfgebiete von tags  $A_u=0,2$  und nachts  $A_u=0,15$  für den Nullfall und den Planfall unabhängig von der Verkehrshäufigkeit und der Veränderung der Immissionen deutlich eingehalten.

Für den Fall, dass die maximale bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax} \leq 0,1$  beträgt, ist die Beurteilungsschwingstärke  $KB_{FTr} \approx 0$ .

Für den sekundären Luftschall ergibt sich eine deutliche Unterschreitung der Immissionsrichtwerte, so dass auch hier für den Nullfall und den Planfall unabhängig von der Veränderung der Immissionen eine Einhaltung der Beurteilungskriterien vorliegt.

Darüber hinaus wurde in der Prognose zusätzlich der mögliche ungünstige Einfluss von Weichenüberfahrten für den Planfall in 112 m zum zweigleisigen Ausbau in Richtung Norden betrachtet. Hierzu wurde eine gebäudespezifische Prognose für MP4 Erdgeschoss Wohnzimmer für einen Abstand der Bahnstrecke von 112 m mit dem Einfluss einer Weiche gemäß Kapitel 6.5 vorgenommen. Die Ergebnisse für die Prognose in 112 m mit einer Weiche ergibt geringere Immissionen, als für die Zugvorbeifahrt in dem geringsten Ab-

stand der Strecke zum Strukkamp 66 in 82 m ohne Weiche. Die Überfahrt der Weiche ist daher im vorliegenden Fall nicht maßgeblich.

Aufgrund der Einhaltung der Anhaltswerte  $A_r$  für das Messobjekt Strukkamp 66 liegt eine deutliche Einhaltung der in der Verfügung des Eisenbahnbundesamtes vom 31.01.2017 unter 3c im Hinblick auf den Eigentums- und Gesundheitsschutz genannten Regelung vor.

Die Prognose ist in der Unterlage 16.4 Gebäudespezifische Prognose für Messobjekt 6.1 Strukkamp 66 dokumentiert.

---

### **7.3 Übertragung der Prognose auf die Wohngebäude im Untersuchungskorridor**

In diesem Teil der Prognose erfolgt eine Übertragung der Ergebnisse aus der gebäudespezifischen Prognose auf die sich im Untersuchungskorridor an der Strecke befindlichen Wohngebäude. 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 werden von Wohngebäuden, in denen Schwingungsmessungen durchgeführt worden sind, auf erschütterungstechnisch vergleichbare Wohngebäude übertragen.

Im vorliegenden Fall von PFA 6 befinden sich keine Wohngebäude in dem Untersuchungskorridor von 29 m zur nächstgelegenen Gleisachse, sodass eine Übertragung der Ergebnisse der gebäudespezifischen Prognose nicht erforderlich ist. Die gebäudespezifische Prognose für das im PFA 6 mit 82 m am nächsten zur Strecke gelegene Wohngebäude Strukkamp 66 stellt daher eine Besonderheit dar. In dieser gebäudespezifischen Prognose konnte eine deutliche Einhaltung der Anhaltswerte gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 für Kern-, Misch- und Dorfgebiete für den Nullfall und den Planfall sowie der Regelung des Eisenbahnbundesamtes im Hinblick auf Eigentums- und Gesundheitsschutz festgestellt werden.

## 8 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 Vorhabens Schienenanbindung der Festen Fehmarnbeltquerung liegen keine Planungen 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.

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 in der Regel erschütterungsärmere Alternativen gibt und andererseits herstellungsbedingt 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 Ausbaustrecke (ABS) / Neubaustrecke (NBS) Hamburg - Lübeck - Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) zwischen Lübeck und Puttgarden befinden sich die Wohngebäude im PFA 6 in einem großen Abstand von mindestens 82 m von der Strecke, so dass lediglich für sehr erschütterungsintensiven Baubetrieb oder ungünstige Randbedingungen Konfliktfälle zu erwarten sind.

Darüber hinaus sind andere Gebäude oder bauliche Anlagen zu berücksichtigen, die sich im vorliegenden Fall zum Teil, wie z.B. Brückenwiderlager, Straßen, in einem geringeren Abstand im unmittelbaren Einflussbereich der Strecke befinden und für welche die Erschütterungseinwirkungen bei erschütterungsintensiven Baumaßnahmen auf bauliche Anlagen und auf Böden im Gründungsbereich benachbarter baulicher Anlagen maßgeblich sein können.

Eine Bewertung der bei dem tatsächlichen Baubetrieb zu erwartenden Erschütterungseinwirkungen ist zum gegebenen Zeitpunkt vorzunehmen und erforderlichenfalls sind Maßnahmen zu ergreifen, um erhebliche Belästigungen oder Schäden zu vermeiden.

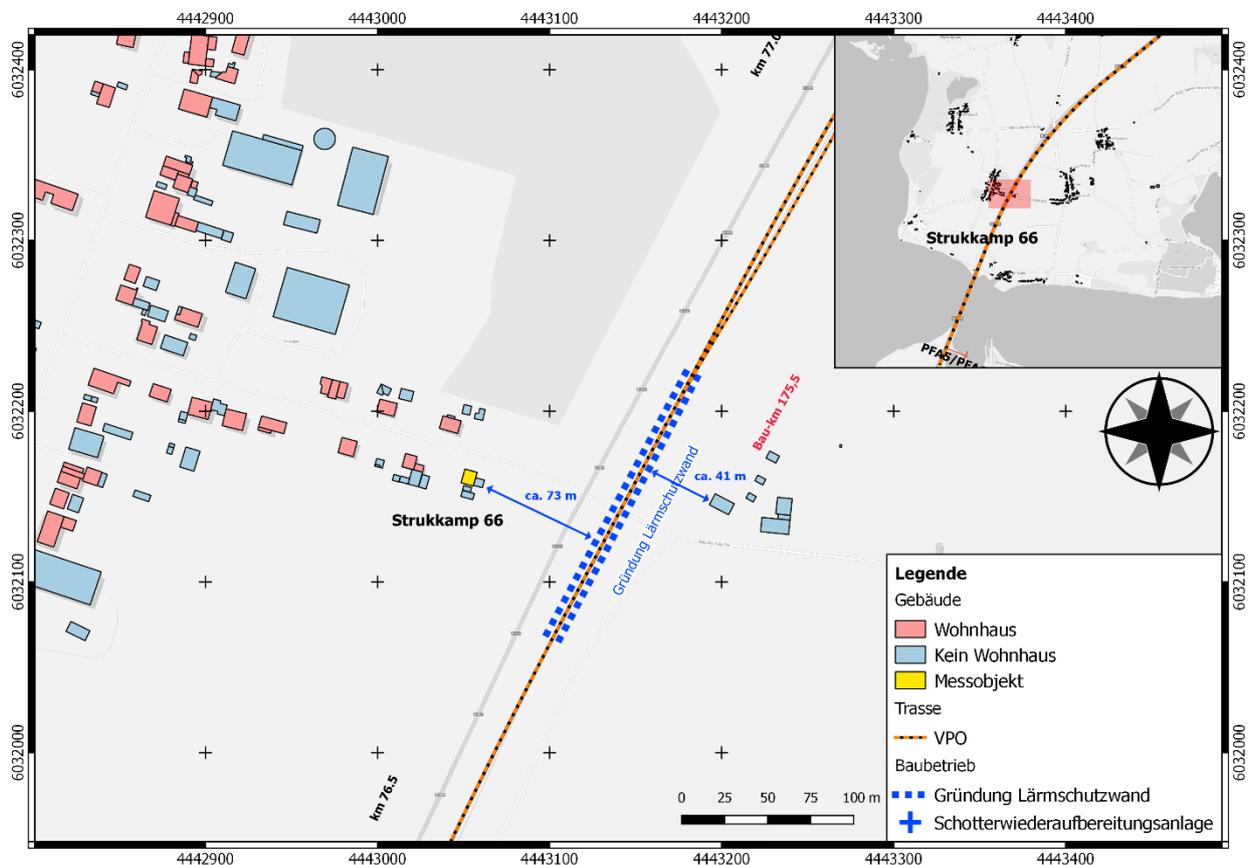
In der Unterlage 15.5 - Schalltechnischen Untersuchung, Teil 3 Baulärm wurde für den gegenüber den Erschütterungen räumlich weiter reichenden Baulärm erfahrungsgemäß zu erwartender Baubetrieb angesetzt. Es handelt sich dabei um Herstellung und Betrieb von Baustraßen und Baustelleneinrichtungsflächen, den Rückbau von Gleise und Oberbau, Erdarbeiten mit Bodenabtrag und Bodenauftrag, den Neubau von Gleisen und Oberleitungsmasten, die Gründung einer Lärmschutzwand im Bereich Strukkamp sowie den Betrieb einer Schotteraufbereitung im Bereich des Gleisdreiecks Fehmarn Burg.

Ausgehend von diesen Baumaßnahmen sind aufgrund des Abstands zu benachbarten Gebäuden erschütterungstechnisch lediglich die Herstellung der Gründung der Oberleitungsmasten im Längsabstand von maximal 65 m entlang der Strecke, der Gründung einer Lärmschutzwand im Bereich Strukkamp sowie der Betrieb einer Schotteraufbereitungsanlage im Bereich des Gleisdreiecks Fehmarn Burg zu betrachten.

Zur Herstellung der Gründung der Oberleitungsmasten wird für den Baulärm von Ramppfählen und dem Einsatz einer Deselexplosionsramme ausgegangen. Die Gründung der Lärmschutzwand wird für den Baulärm auf Ramppfählen mit dem Einsatz einer Hydraulischschlagramme angenommen. Der Betrieb einer Schotteraufbereitungsanlage wird für den Baulärm mit dem Einsatz einer Brecheranlage vorgesehen.

Das nächstgelegene Wohngebäude befindet sich mit Strukkamp 66 mindestens 82 m von der Bahnstrecke bzw. ein zugehöriger Schuppen mindestens 73 m von der geplanten Lärmschutzwand entfernt. Im Bereich Strukkamp befinden sich auf der östlichen Seite der Bahnstrecke landwirtschaftliche Gebäude in einem Abstand von etwa 41 m von der geplanten Lärmschutzwand entfernt. Die Wohngebäude sowie die landwirtschaftlichen Gebäude im Bereich Strukkamp befinden sich in einem Abstand, in dem aus der Herstellung der Ramppfähle für die Oberleitungsmasten und die Lärmschutzwand keine Schäden an den Gebäuden zu erwarten sind. Die Brecheranlage befindet sich nicht im Einflussbereich Strukkamp, sodass deren Betrieb unerheblich ist für die Bebauung in Strukkamp.

Abbildung 7: Bebauung Strukkamp, Abstände zur geplanten Lärmschutzwand

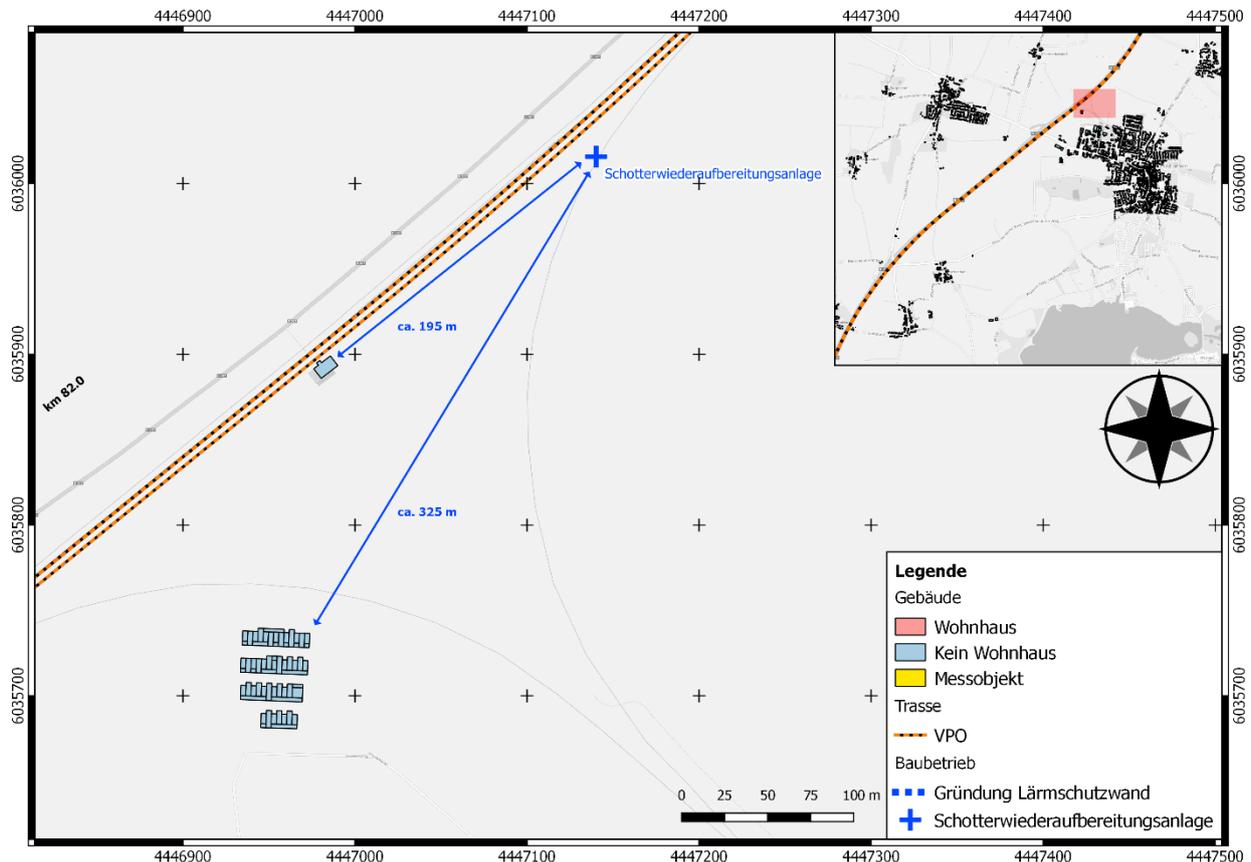


Zwischen Strukkamp und Burg befindet sich im Bereich Avendorf westlich der Bahnstrecke ein Bahnhofsgebäude mit einem Abstand von etwa 7 m zur Bahnstrecke. Im Bereich Gleisdreieck Fehmarn Burg befin-

det sich östlich der Bahnstrecke ein Bahnbetriebsgebäude mit einem Abstand von etwa 2 m zur Bahnstrecke. Wegen der unmittelbaren Nähe zu dem in diesem Bereich geplanten zweigleisigen Ausbau könnte ein Rückbau dieses Gebäudes aus räumlichen Gründen erforderlich sein. Die beiden vorgenannten Gebäude befinden sich in einem geringen Abstand zur Bahnstrecke, so dass hier eine besondere Berücksichtigung bei der konkreten Planung des Baubetriebs erforderlich ist. Es ist sicherzustellen, dass aus den Rammarbeiten für die Oberleitungsmasten keine Schäden infolge direkter Einwirkung auftreten und die Anhaltswerte gemäß DIN 4150 Teil 3 eingehalten werden sowie keine Schäden infolge indirekter Einwirkung über den Boden im Gründungsbereich durch erschütterungsbedingte Sackungen auftreten. Erforderlichenfalls ist eine baubegleitende Überwachung zur Einhaltung der Anhaltswerte vorzunehmen. Zur Vermeidung von erschütterungsbedingte Sackungen wären gesonderte baugrunddynamische Nachweise erforderlich.

Für den Betrieb der Brecheranlage ist das am nächsten liegende Gebäude das Bahnbetriebsgebäude im Bereich Gleisdreieck Fehmarn Burg, welches einen Abstand von 195 m aufweist. Brecheranlagen sind nach dem Stand der Technik auf Stahlfeder-Dämpfer-Elementen elastisch gelagert, um möglichst geringe Schwingungen in den Boden einzuleiten und damit die Erschütterungsimmissionen in der Nachbarschaft zu vermindern. In dem o.g. Abstand von 195 m ist unter der Voraussetzung, dass der Betrieb der Brecheranlage durch die Auswahl der Anlage bzw. der Wirksamkeit der elastischen Lagerung erfolgt von einer Einhaltung der Anhaltswerte gemäß DIN 4150 Teil 3 auszugehen.

Abbildung 8: Bebauung Bereich Gleisdreieck Fehmarn Burg, Schotterwiederaufbereitungsanlage



## 9 Bewertung

Für das Vorhaben der Ausbaustrecke (ABS) / Neubaustrecke (NBS) Hamburg - Lübeck - Puttgarden (Hinterlandanbindung FBQ) zwischen Lübeck und Puttgarden waren für den PFA 6 auf Fehmarn die betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen mit Schienenverkehr auf der Strecke 1100 gemäß DB Richtlinie 820.2050 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall“ zu untersuchen. Darüber hinaus waren Erschütterungen aus dem vorhabenbedingten Baubetrieb zu betrachten.

In dem PFA 6 „Fehmarn inklusive Brückenbereich“ verläuft die Bestandsstrecke und die beantragte Strecke in einem großen Abstand von mindestens 82 m zu vorhandenen Wohngebäuden. In dem zur Strecke nächstgelegenen Wohngebäude Strukkamp 66 sowie in dem Gelände neben dem Gebäude wurden Schwingungsmessungen bei Schienenverkehr vorgenommen.

Das Betriebsprogramm unterscheidet sich bzgl. Zuggattungen und Fahrgeschwindigkeiten zwischen der plangegebenen Situation als Prognose-Nullfall mit den Zugzahlen von 2016 und der Umsetzung des Vorhabens als Prognose-Planfall mit den Zugzahlen für den Prognosehorizont 2030. Im Nullfall verkehren auf der nicht elektrifizierten Bestandsstrecke Regional- (LINT 41) und Fernzüge (IC 3 (DSB), IC). Im Planfall ist auf der elektrifizierten Strecke der Verkehr von Regional- (Doppelstockwagen), Fern- (IC) und Güterzügen vorgesehen. Die Höchstgeschwindigkeit ist im Nullfall 160 km/h und im Planfall abschnittsweise 160 km/h sowie 200 km/h.

Die zur Durchführung der Prognose für den Planfall benötigten Erschütterungsemissionen der betreffenden Zuggattungen und Fahrgeschwindigkeiten wurden in Vergleichsmessungen auf der Strecke 6100 Berlin-Hamburg zwischen Büchen und Schwarzenbek in Müssen ermittelt. Die Übertragung der Erschütterungsemissionen von den lokalen Randbedingungen in Müssen auf die auf Fehmarn erfolgte über den auf beiden Strecken verkehrenden Referenzzug LINT 41 mittels Deltaspektren.

In der Prognose wurde für die Strecke auf Fehmarn zunächst ein Untersuchungskorridor ermittelt, in dem Erschütterungsimmissionen in den vorhandenen Wohngebäuden zu betrachten sind. Ausgehend von einer prognostischen Einhaltung der Anhaltswerte  $A_r$  gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 bei einem Abstand von mindestens 29 m von der Gleisachse wurde der Untersuchungskorridor mit einem Abstand von 29 m von der nächstgelegenen Gleisachse festgelegt. In diesem Untersuchungskorridor befinden sich allerdings keine Wohngebäude und es ist davon auszugehen, dass im PFA 6 im Hinblick auf die betriebsbedingten Erschütterungen keine Betroffenheit vorliegt.

Das im PFA 6 am nächsten zur Strecke belegene Wohngebäude und Messobjekt Strukkamp 66 befindet sich mit einem Abstand von 82 m außerhalb des für PFA 6 ermittelten Untersuchungskorridors. Die gebäudespezifische Prognose für dieses Wohngebäude stellt daher eine Besonderheit dar.

In den gebäudespezifischen Prognosen ergeben sich für den Nullfall Erschütterungsimmissionen unterhalb und im Planfall an der unteren Spanne der menschlichen Fühlschwelle und unterhalb der unteren Anhaltswerte  $A_v$  für das betreffende Mischgebiet. Insgesamt ergibt sich mit den gebäudespezifischen Übertragungsfunktionen eine deutliche Einhaltung der Beurteilungskriterien für die Erschütterungen und den sekundären Luftschall.

Im Hinblick auf die betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen und den sekundären Luftschall kann zusammenfassend festgestellt werden, dass sich für die Wohngebäude im PFA 6 für den Nullfall und für den Planfall eine deutliche Einhaltung der Beurteilungskriterien einschließlich der Regelung des Eisenbahnbundesamtes im Hinblick auf Eigentums- und Gesundheitsschutz ergibt und keine Maßnahmen zum Erschütterungsschutz erforderlich sind.

Im Hinblick auf den vorhabenbedingten Baubetrieb ist eine Bewertung der, bei dem tatsächlichen Baubetrieb zu erwartenden Erschütterungseinwirkungen zum gegebenen Zeitpunkt vorzunehmen und erforderlichenfalls sind Maßnahmen zu ergreifen, um erhebliche Belästigungen oder Schäden zu vermeiden. Aufgrund der großen Abstände der Bebauung zur Bahnstrecke ist davon auszugehen, dass lediglich ein ehemaliges Bahnhofsgebäude sowie ein Bahnbetriebsgebäude unmittelbar an der Bahnstrecke im Hinblick auf Schäden an Gebäuden besonders zu berücksichtigen sind.

Hamburg, den 07.03.2018



baudyn GmbH

Dipl.-Ing. Marc Oliver Rosenquist

- Geschäftsführer baudyn GmbH -