Femern
Sund≋Bælt

Landesbetrieb
Straßenbau und Verkehr
Schleswig-Holstein
Niederlassung Lübeck

Anlage 11.2

Bearbeitungsstand: 01.10.2013

Feste Fehmarnbeltquerung

Planfeststellung

Erschütterungs-technische Untersuchung

UNGÜLTIG!
Siehe Deckblatt!

Feste Fehmarnbeltquerung
Planfeststellung

Anlage 11.2: Erschütterungs-technische Untersuchung

Aufgestellt:

Femern
Sund≋Bælt

Landesbetrieb
Straßenbau und Verkehr
Schleswig-Holstein
Niederlassung Lübeck

Kopenhagen,01.10.2013
Femern A/S

Lübeck, 01.10.2013
LBV-Niederlassung Lübeck

gez. Claus Dynesen

gez. Torsten Conradt

Erstellt durch:

baudyn GmbH
Mühlenkamp 43
D-22303 Hamburg

gez. Marc Oliver Rosenquist 01.10.2013

Die alleinige Verantwortung für diese Veröffentlichung liegt beim Autor.
Die Europäische Union haftet nicht für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen.

Von der Europäischen Union kofinanziert
Transeuropäisches Verkehrsnetz (TEN-V)

Femern A/S
Vester Søgade 10
DK-1601 Copenhagen V
Tel +45 33 41 63 00
Fax +45 33 41 63 01
www.femern.dk
CVR 28 98 65 64

Inhaltsverzeichnis

1. VERANLASSUNG 8

2. PLANUNGSUNTERLAGEN 8

3. ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHE ANFORDERUNGEN 9

3.1. Menschen in Gebäuden 10

3.1.1. Erschütterungen 10
3.1.2. Sekundäreffekte und sekundärer Luftschall 14

3.2. Bauliche Anlagen 16

3.2.1. Kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen 18
3.2.2. Einwirkung von Dauererschütterungen 21

3.3. Böden im Gründungsbereich von baulichen Anlagen 22

3.3.1. DIN 4150 Wirkung von Erschütterungen auf Böden 23
3.3.2. Ergänzende aktuelle Forschungsergebnisse 23

3.4. Technische Anlagen 24

4. DURCHFÜHRUNG DER PROGNOSE 25

4.1. Absenktunnel 25

4.2. Immissionsorte 25

4.3. Schienen- und Straßenverkehr 28

4.4. Baubetrieb 30

4.5. Durchführung der Prognose 35

5. ERGEBNISSE DER PROGNOSE 37

5.1. Verkehr (Schiene / Straße) 37

5.2. Baubetrieb 41

5.3. Ergänzende Hinweise 45

6. ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG 46

7. RICHTLINIEN, LITERATUR 47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Immissionspunkte und Abstände zum Straßenverkehr 27
Abbildung 2: Emissionen Schienenverkehr FBQ 29
Abbildung 3: Emissionen Baustellenverkehr auf Baustraßen und am äußeren Rand von Baustelleneinrichtungsflächen 31
Abbildung 4: Emissionen Schlagramme 32
Abbildung 5: Emissionen Rüttelwalze 34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erschütterungseinwirkungen auf Menschen 11
Tabelle 2: Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen 12
Tabelle 3: Kurzzeitige Einwirkungen auf das Gesamtgebäude 19
Tabelle 4: Kurzzeitige Einwirkungen auf Rohrleitungen 20
Tabelle 5: Einwirkung von Dauererschütterungen auf das Gesamtgebäude 21
Tabelle 6: Einwirkung von Dauererschütterungen auf Rohrleitungen 22
Tabelle 7: Prognoseergebnisse Schienenverkehr Güterzüge 38
Tabelle 8: Prognoseergebnisse Schienenverkehr Personenzüge 39
Tabelle 9: Prognoseergebnisse Straßenverkehr 40
Tabelle 10: Prognoseergebnisse Baubetrieb Schlagramme 41
Tabelle 11: Prognoseergebnisse Baubetrieb Rüttelwalze 42
Tabelle 12: Prognoseergebnisse Baubetrieb Baustellenverkehr LKW 43
Tabelle 13: Prognoseergebnisse Baubetrieb Baustellenverkehr Radlader 44

Abkürzungsverzeichnis

Abk	Abkürzung
AG	Aktiengesellschaft
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 Maximawertkriteriums
AVV Baulärm	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm
B	Bundestraße
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BEKS	Schweizer Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
bzw.	beziehungsweise
dB(A)	Dezibel (A)
DIN	Deutsche Industrie Norm
FBQ	Feste Fehmarnbeltquerung
Hz	Hertz
IP	Immissionspunkt
KB_{Fmax}	maximale Bewertete Schwingstärke
KB_{FTr}	Beurteilungs-Schwingstärke
LAI	Länderausschuss für Immissionsschutz
L_{Fmax}	Schallpegel-Maximalwert

LKW	Lastkraftwagen
L_r	Beurteilungspegel
m	Meter
mm/s	Millimeter je Sekunde
ms	Millisekunde
o.g.	oben genannte(n)
ÖNORM	Österreichische Normen
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
s.o.	siehe oben
TA-Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
u.a.	unter anderem
u.g.	unten genannte(n)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
$v_{TerzFeq}$	Energieäquivalente Terzschnelle
$v_{TerzFmax}$	Maximale Terzschnelle
v_z	Schwinggeschwindigkeit
z.B.	zum Beispiel

1. Veranlassung

Für das Vorhaben Festen Fehmarnbeltquerung in Form eines Absenktunnels zwischen der deutschen Insel Fehmarn und der dänischen Insel Lolland wurde die baudyn GmbH von den Landschaftsarchitekten TGP Trüper Gondesen Partner für den Vorhabenträger Femern A/S mit einer Erschütterungstechnischen Untersuchung für den Bereich der Insel Fehmarn beauftragt.

Die Aufgabe der Erschütterungstechnischen Untersuchung ist es, die während des Baus und des Betriebs der Festen Fehmarnbeltquerung auftretenden Einwirkungen von Erschütterungen auf Menschen, bauliche Anlagen und technische Anlagen zu untersuchen.

Die Erschütterungstechnischen Untersuchungen sind im Rahmen der für die Feste Fehmarnbeltquerung durchzuführenden Umweltverträglichkeitsuntersuchungen und für die Unterlagen zur Beantragung der Planfeststellung vorzunehmen.

Für die erschütterungstechnischen Untersuchungen wird der Absenktunnel zugrunde gelegt und die Erschütterungsemissionen aus

- Straßen-und Schienenverkehr,
- Baubetrieb einschließlich Baustellenverkehr,

sowie Erschütterungsimmissionen auf

- Menschen,
- bauliche Anlagen und
- technische Anlagen

untersucht.

Die Dokumentation der Erschütterungstechnischen Untersuchung umfasst neben diesem Gutachten das Dokument 2012-09-28-2011922-N4-3-PE zur Prognose.

2. Planungsunterlagen

Zur Durchführung der Erschütterungstechnischen Untersuchungen wurden von dem Auftraggeber Unterlagen zur geplanten Lage und Nutzung der Straßen- und Schienenwege der Festen Fehmarnbeltquerung, der Baustelleneinrichtungen einschließlich Arbeitshafen sowie zum Baubetrieb einschließlich der Lage der Baustraßen und zum Baustellenverkehr zur Verfügung gestellt.

3. Erschütterungstechnische Anforderungen

Erschütterungsimmissionen sind grundsätzlich auf Menschen sowie auf bauliche und technische Anlagen zu berücksichtigen.

Auf die grundsätzliche Fragestellung der Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen wird in der VDI-Richtlinie VDI 2038 „Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik", umfassend eingegangen und auf die unterschiedlichen, auch internationalen Richtlinien in Hinblick auf die Einwirkung von Schwingungen auf Menschen, bauliche und technische Anlagen verwiesen.

Zur Konkretisierung der Ziele im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ist vom Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) die „Erschütterungs-Leitlinie" (Mai 2000) verabschiedet worden. Die „Erschütterungs-Leitlinie" umfasst die Vorgehensweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen für genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen einschließlich Baustellen.

Inhaltlich stimmt die „Erschütterungs-Leitlinie" mit dem aktuellen Stand der Normen DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" und DIN 45669 „Messung von Schwingungsimmissionen" in Hinblick auf die einzuhaltenden Immissionen überein, die DIN 4150 umfasst zusätzlich die Erschütterungen infolge von Schienen- und Straßenverkehr.

Schwingungsimmissionen sind demnach hinsichtlich ihrer Einwirkungen auf Menschen und auf bauliche Anlagen bei temporären und regelmäßig wiederkehrenden Emissionen sowie bei Baumaßnahmen zu berücksichtigen.

Die Erschütterungen werden infolge von Baubetrieb oder Verkehr in den Boden eingeleitet (Emissionen) und breiten sich über den Boden (Transmission) bis zum Einwirkungsort aus (Immissionen). Bei der Übertragung der Erschütterungen im so genannten Bodenhalbraum erfolgt in Abhängigkeit von dem Bodenprofil und der Bodenschichtung 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 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 um eine Größenordnung, um den Faktor 10, auftreten. Diese sogenannte Resonanzanregung tritt bei einer Übereinstimmung oder Nähe der Resonanz- bzw. Eigenfrequenz mit der Anregungsfrequenz auf. Bei einer Anregung mit Frequenzen deutlich oberhalb dieser Resonanz- oder Deckeneigenfrequenz erfolgt bei der Übertragung eine Verminderung der eingeleiteten Erschütterungen. Bei dem in Resonanz oder resonanznah angeregten Bauteil handelt es sich häufig um die Stockwerksdecke und bei der Resonanz- oder Eigenfrequenz um die Deckeneigenfrequenz. 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 Deckeneigenfrequenzen liegen grundsätzlich im Bereich der Anregungsfrequenzen durch die hier zu betrachtenden Emittenten temporärer Baubetrieb und permanenter Verkehrsbetrieb.

3.1. Menschen in Gebäuden

3.1.1. Erschütterungen

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

In der DIN 4150 Teil 2 wird als Beurteilungsgröße unterschieden in eine maximale Bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} als Maximalwertkriterium und eine Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} als Mittelwertkriterium.

Zur Beurteilung, ob die bei Baubetrieb und Verkehr auftretenden Gebäudeerschütterungen für die sich dort aufhaltenden Menschen eine Belästigung darstellen, ist entsprechend DIN 4150 Teil 2 die prognostizierte maximale Bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} heranzuziehen, welche während des Baubetriebs als 30 s-Taktmaximalwert KB_{FTi} auf den Gebäudedecken auftreten kann.

Infolge der Erschütterungseinwirkungen sind Belästigungen nur auszuschließen, wenn diese nicht wahrnehmbar sind. Bei Einhaltung der Anhaltswerte der Norm liegen erhebliche Belästigungen im Allgemeinen nicht vor.

Die Anforderungen der Norm sind eingehalten, wenn die gemessenen, maximalen KB_{Fmax}-Werte kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert A_u der Norm sind. Die Anforderungen der Norm sind nicht eingehalten, wenn der obere Anhaltswert A_o überschritten wird.

Liegen die gemessenen KB_{Fmax}-Werte zwischen den Anhaltswerten A_u und A_o, so ist zusätzlich eine speziell gemittelte Beurteilungsgröße, die sogenannte Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} zu ermitteln. Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} ist mit der Anforderung für das Mittelwertkriterium, dem Anhaltswert A_r zu vergleichen.

Tabelle 1: 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.

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 (vgl. Tabelle 1).

Die Anforderungen der Norm gelten für Wohnungen und vergleichbar genutzte Räume tags (6-22 Uhr) und nachts (22-6 Uhr). Für Anforderungen an eine Büronutzung werden die tags (6-22 Uhr) gültigen Anhaltswerte angesetzt.

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

Zur Beurteilung von baubedingten Erschütterungen bis zu einer Dauer von 78 Tagen gelten tags gesonderte Anhaltswerte. Die Anhaltswerte sind abhängig von der Dauer des erschütterungsintensiven Baubetriebs.

Tabelle 2: Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden" Tabelle 2 (Ausgabe Juni 1999)									
Dauer	D ≤ 1 Tag			6 Tage < D < 26 Tage[1]			26 Tage < D ≤ 78 Tage[1]		
Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Beurteilungsgrößen	A_u	A_o*)	A_r	A_u	A_o*)	A_r	A_u	A_o*)	A_r
Stufe I	0.8	5	0.4	0.4	5	0.3	0.3	5	0.2
Stufe II	1.2	5	0.8	0.8	5	0.6	0.6	5	0.4
Stufe III	1.6	5	1.2	1.2	5	1.0	0.8	5	0.6
*) Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt $A_o = 6$									

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

[1] Die Werte werden durch lineare Interpolation bestimmt und sind in der Norm in einem Diagramm angegeben.

In Abhängigkeit von der Höhe der Erschütterungseinwirkung sind drei Stufen festgelegt – eine untere Stufe I, eine mittlere Stufe II und eine obere Stufe II – nach denen sich der Baubetrieb zu richten hat:

Stufe I

Untere Stufe, bei deren Unterschreitung auch ohne besondere Vorinformation nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist.

Stufe II

Mittlere Stufe, bei deren Unterschreitung ebenfalls noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen ist, falls die folgenden Maßnahmen gemäß DIN 4150 Teil 2 a) bis e) und erforderlichenfalls f) getroffen werden:

„a) umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb;

b) Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Belästigungen;

c) zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigung (z.B. Pausen, Ruhezeiten, Betriebsweise der Erschütterungsquelle, usw.);

d) Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können, wenn sie besondere Probleme durch Erschütterungseinwirkungen haben;

e) Information der Betroffenen über die Erschütterungseinwirkung auf das Gebäude;

f) Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkung auf Menschen und Gebäude."

Bei zunehmender Überschreitung dieser Stufe werden mit wachsender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten. Ist zu erwarten, dass die Anhaltswerte der Stufe II überschritten werden, so sind weniger erschütterungsintensive Verfahren zu prüfen.

Stufe III

Obere Stufe, bei deren Überschreitung die Einwirkungen unzumutbar sind. In diesem Fall wird die Vereinbarung besonderer Maßnahmen notwendig.

Gemäß DIN 4150 Teil 2 können mit den o.g. Maßnahmen a) bis f) die „psychischen Auswirkungen der Erschütterungseinwirkungen vermindert werden". Die vorsorgliche Information der Betroffenen erhöht die Akzeptanz der Erschütterungseinwirkungen und wird grundsätzlich im Rahmen der allgemeinen Information gegenüber den Anliegern empfohlen, auch um im Bedarfsfall von den Betroffenen z.B. auf den Betrieb besonders erschütterungsempfindlicher Anlagen hingewiesen zu werden.

Einerseits ist im Fall der Festen Fehmarnbeltquerung wegen der deutlich länger andauernden Bauphase (> 78 Tage) davon auszugehen, dass für permanente Baumaßnahmen die Anhaltswerte der Tabelle 1 gelten. Andererseits kann es temporäre erschütterungsintensive Baumaßnahmen von kürzerer Dauer (≤ 78 Tage) geben, für welche dann tagsüber die Anhaltswerte der Tabelle 2 maßgeblich wären.

3.1.2. 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 ist.

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

In der für Immissionen aus Gewerbebetrieben und Baumaßnahmen gültigen „Erschütterungs-Leitlinie" wird zur Beurteilung von sekundärem Luftschall verwiesen auf:

- TA-Lärm Abschnitt 6.2: Immissionsrichtwerte für Immissionsorte innerhalb von Gebäuden bei Körperschallübertragung,
- DIN 45680 Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft.

In der TA-Lärm wird ein auf die Beurteilungszeit bezogener Immissionsrichtwert (Beurteilungspegel) und ein einzuhaltender maximaler Luftschallpegel (Maximalpegel) angegeben. Es handelt sich um TA-Lärm Abschnitt 6.2: Immissionsrichtwerte für Immissionsorte innerhalb von Gebäuden bei Körperschallübertragung L_r=35 dB(A) tags und L_r=25 dB(A) nachts; unter Berücksichtigung von Geräuschspitzen von maximal zusätzlich 10 dB sind Maximalpegel von L_{Fmax}=45 dB(A) tags und L_{Fmax}=35 dB(A) nachts einzuhalten.

Als Anforderungen für eine Wohnnutzung oder vergleichbare Nutzung kommen die tags und nachts gültigen Immissionsrichtwerte in Betracht. Für eine Büronutzung können die gleichen Anforderungen mit den tags gültigen Immissionsrichtwerten angesetzt werden. Bei Einhaltung der Immissionsrichtwerte ist davon auszugehen, dass erhebliche Belästigungen vermieden werden.

Zur Beurteilung von tieffrequentem Luftschall wird in der TA-Lärm zusätzlich auf die DIN 45680 verwiesen. In der DIN 45680 „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft" wird eine differenzierte Betrachtung als in der TA-Lärm vorgenommen, um die besonderen Eigenschaften des tieffrequenten Luftschalls, etwa die Hörsamkeit und Störwirkung bei tiefen Frequenzen sowie das mögliche Auftreten einer Pegelüberhöhung durch Raummoden, zu berücksichtigen.

Zur Beurteilung von sekundärem Luftschall aus Schienenverkehr werden in der Regel für den unterirdischen Schienenverkehr, insbesondere in Planfeststellungsverfahren für ÖPNV, die Anforderungen der TA-Lärm herangezogen.

Zur Beurteilung des sekundären Luftschalls aus Schienenverkehr liegen Anforderungen in der österreichischen ÖNORM S 9012 sowie der „Schweizer Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen" (BEKS) vor.

Bei oberirdischem Schienenverkehr ist zunächst zu prüfen, inwieweit der sekundäre Luftschall vor dem Hintergrund des primären Luftschalls überhaupt relevant ist und in Abhängigkeit von der tatsächlichen Störwirkung des sekundären Luftschalls über die anzusetzenden Anforderungen zu befinden. In Deutschland sind bei oberirdischem Schienenverkehr zum Schutz von Wohn- und Schlafräumen gem. §§ 41 - 43 BImSchG die Kriterien der 16. BImSchV anzuwenden.

Sekundärer Luftschall infolge von Straßenverkehr tritt selten und nur bei einer Kopplung – also einer guten Übertragung – der Fahrbahn mit dem betreffenden Gebäude auf; eine derartige Situation liegt bei der Festen Fehmarnbeltquerung nicht vor.

3.2. Bauliche Anlagen

Die Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen sind im Hinblick auf die Vermeidung von Schäden zu betrachten. Als Richtlinien sind die „Erschütterungs-Leitlinie" bzw. DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen" maßgebend.

Darüber hinaus wird ergänzend auf die Schweizer Norm SN 640 312 a verwiesen. Die Schweizer Norm SN 640 312 a ist in Deutschland fachlich akzeptiert. In der VDI 2038 (s.o.) wird auf die SN 640 312 a verwiesen und die Richtwerte der SN 640 312 a liegen in der Größenordnung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3[2].

Im Weiteren wird die Vorgehensweise gemäß der DIN 4150 beschrieben.

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 sowie Hinweise zu Erschütterungseinwirkungen auf Böden angegeben.

Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen ist die DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen" (aktuelle Ausgabe Februar 1999) heranzuziehen. Die Anhaltswerte der „Erschütterungs-Leitlinie" des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) stimmen mit denen der DIN 4150 Teil 3 grundsätzlich über ein.

In Hinblick auf die Einwirkungsdauer wird in der Norm zwischen kurzzeitigen Erschütterungseinwirkungen und Dauererschütterungen unterschieden. Kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen werden so definiert, dass diese keine Häufigkeit aufweisen, welche Materialermüdung hervorruft oder Bauteile in Resonanz angeregt werden könnten. Als Dauererschütterungen werden alle Erschütterungseinwirkungen definiert, die nicht kurzzeitigen Erschütterungseinwirkungen entsprechen.

Bei Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 ist infolge der gemessenen Erschütterungen eine Verminderung des Gebrauchswertes nicht zu erwarten. Eine Verminderung des Gebrauchswertes ist nach Abschnitt 4.5 der DIN 4150 Teil 3 für Gebäudearten Tabelle 1 Zeile 2 und 3 auch dann gegeben, „wenn z.B. Risse im Putz von Wänden auftreten; vorhandene Risse vergrößert werden; Trenn- und Zwischenwände von tragenden Wänden oder Decken abreißen." Nach Abschnitt 5.1 der Norm ist für Schäden, die trotzdem beobachtet werden, „davon auszugehen, daß andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind."

---

[2] Prof. Wolfgang Haupt, 2008, Einwirkung von Erschütterungen auf Bauwerke, 8. Symposium Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessungen, EMPA 2008

In diesem Zusammenhang wird zur Erläuterung darüber zitiert aus der VDI 2038 Blatt 2 aus Abschnitt 4.1 Bauwerke 4.1.1 Grundlagen und Vorgehensweise zitiert:

> „Erschütterungen, die geeignet wären, strukturelle Schäden hervorzurufen, sind nicht planmäßig Gegenstand einer Richtlinie zur Gebrauchstauglichkeit. Die Begrenzung oder Vermeidung leichter Gebäudeschäden, sogenannter Schönheitsschäden, gehört jedoch zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit.
>
> Dabei tritt häufig die – für juristische Auseinandersetzungen wichtige – Frage der Ursächlichkeit auf. Werden die Anhaltswerte der einschlägigen Normen und Richtlinien (z. B. DIN 4150-3) unterschritten, so ist nach bisheriger Erfahrung davon auszugehen, dass solche Erschütterungen nicht schadensursächlich sein können. Selbst wenn die Anhaltswerte überschritten werden, muss keine Schadensursächlichkeit vorliegen; es bedarf hierzu jedoch genauerer Untersuchungen. Vielfach werden aber Schäden beklagt, obwohl die einschlägigen Anhaltswerte bei weitem nicht erreicht wurden. Sieht man einmal davon ab, dass es sich dabei auch um Schäden handeln kann, die bereits vorhanden, aber bisher der Aufmerksamkeit entgangen waren, könnten hier die Erschütterungen den Schaden (den Riss) ausgelöst, aber nicht verursacht haben. Ein versteckter Mangel im Bauwerk – z.B. in Form von Zwängungsspannungen, die bereits die Zugfestigkeit des Materials erreicht haben – kann durch den marginalen Beanspruchungszuwachs aus Erschütterungen sichtbar gemacht werden: Der Riss, der später ohnehin aufgetreten wäre, entsteht durch die Erschütterungseinwirkung jetzt früher. Seine Form ist in der Regel nicht typisch für Erschütterungen, sondern zeigt die eigentliche Ursache. Auch jedes andere Zusatz-Ereignis hätte den Schaden auslösen können.
>
> Natürlich können bei vorhandenen Schäden zusätzliche Erschütterungen auch unterhalb der Anhaltswerte zum Schadensfortschritt beitragen. Aber auch hier liegt die Ursache im Mangel des Bauwerks."

In der Schweizer Norm SN 640 312 a „Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke", mit Anhaltswerten in zur DIN 4150 in der Größenordnung vergleichbaren Anhaltswerten, wird hierzu ausgeführt:

> „... Die Spannungsbeanspruchung durch Erschütterungen mit Geschwindigkeitswerten, die dem Objekt angepassten Richtwert nicht wesentlich überschreiten ist gering. Risse können dort entstehen, wo bereits Zugspannungen (inkl. Schwind- und Zwängungspannungen usw.) so gross sind, dass die schwache dynamische Zusatzspannung zur Auslösung oder Vergrösserung von Rissen ausreicht. Risse, die als Folge geringer Erschütterungseinwirkungen entstanden sind, wären mit grosser Wahrscheinlichkeit später (Monate, Jahre) ebenso aufgetreten. Die durch Erschütterungen ausgelöste Rissbildung besteht demnach teilweise in einer zeitlichen Vorverschiebung ohnehin entstehender Risse. ..."

Im Fall von geringen Abständen zwischen Emissionsort und Immissionsort oder hohen Erschütterungsemissionen wird eine vorzeitige umfassende Beweissicherung des Zustands der betreffenden baulichen Anlagen empfohlen, um spätere Auseinandersetzungen mit dem Eigentümer der baulichen Anlagen zu objektivieren.

Im Fall von Abweichungen von der beschriebenen Vorgehensweise der geplanten Baumaßnahmen bzw. der Verursachung von maßgeblichen Erschütterungen sind nach dem Stand der Technik gemäß der u.g. Richtlinien Schwingungsmessungen oder eine automatische Schwingungsüberwachung vorzunehmen, um durch eine Alarmierung erhöhte Schwingungseinwirkungen und eine Schadensverursachung zu vermeiden.

3.2.1. Kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen

In der DIN 4150 Teil 3 sind Anhaltswerte zur Beurteilung kurzzeitiger Erschütterungseinwirkungen in Abhängigkeit von der Gebäudeart und der Frequenz für Fundamentmesspunkte in drei Raumrichtungen und Messpunkte in der obersten Deckenebene für die Horizontalschwingungen des Gebäudes angegeben. Für Dauererschütterungen werden Anhaltswerte für Messpunkte in der obersten Deckenebene für die Horizontalschwingungen genannt. Darüber hinaus werden in der Norm Anhaltswerte für kurzzeitige Schwingungen und Dauerschwingungen von Stockwerksdecken und Rohrleitungen angegeben.

Tabelle 3: Kurzzeitige Einwirkungen auf das Gesamtgebäude

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen" (Ausgabe Februar 1999) Tabelle 1: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke					
Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s			
		Fundament Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal
		1 Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 50 Hz	50 Hz bis 100 Hz *)	alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und / oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 bis 8	8 bis 10	8
*) Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.					

In der DIN 4150 Teil 3 werden Anhaltswerte für die maximale Schwinggeschwindigkeit bei Einwirkung kurzzeitiger Erschütterungen für die größte Komponente am Fundament, für die Horizontalbewegung in der obersten Deckenebene und die vertikalen Deckenschwingungen in Feldmitte (DIN 4150 Teil 2 Abschnitt 5.2) genannt.

Gemäß der Norm Abschnitt 5.2 ist bei kurzzeitigen vertikalen Deckenschwingungen in Gebäuden gemäß Zeile 1 und 2 mit maximalen Schwinggeschwindigkeiten von $v_z \leq 20$ mm/s eine Abminderung des Gebrauchswertes nicht zu erwarten.

Unter der Voraussetzung, dass die zum Baubetrieb benachbarten, vorhandenen Leitungen nach dem heutigen Stand der Technik hergestellt und verlegt wurden, sowie darüber hinaus keine bodenmechanischen Vorgänge zu erwarten sind und bei Hausanschlussleitungen ein

Abstand von mindestens 2 m zum Haus vorliegt, gelten die Anhaltswerte der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 4: Kurzzeitige Einwirkungen auf Rohrleitungen

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen" (Ausgabe Februar 1999) Tabelle 2: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf erdverlegte Leitungen		
Zeile	Leitungsbaustoffe	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s auf der Rohrleitung
1	Stahl geschweißt	100
2	Steinzeug, Beton, Stahlbeton, Metall mit oder ohne Flansche	80
3	Mauerwerk, Kunststoff	50

Für die zu dem Baubetrieb benachbarten, vorhandenen Hausanschlussleitungen bis zu einem Abstand von 2 m zum Haus gelten die Anhaltswerte für das Fundament des Hauses.

3.2.2. Einwirkung von Dauererschütterungen

Für Dauererschütterungen werden in der DIN 4150 Teil 3 Anhaltswerte für die maximale Schwinggeschwindigkeit der Horizontalbewegung im obersten Vollgeschoss und die vertikalen Deckenschwingungen in Feldmitte (DIN 4150 Teil 3 Abschnitt 6.2) genannt.

Tabelle 5: Einwirkung von Dauererschütterungen auf das Gesamtgebäude

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen" (Ausgabe Februar 1999) Tabelle 3: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke		
Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s
		Oberste Deckenebene, horizontal, alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und / oder Nutzung gleichartige Bauten	5
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5

Für Dauerschwingungen von Decken wird gemäß Abschnitt 6.2 der Norm ein Wert von 10 mm/s für Gebäude gemäß Tabelle 3 Zeile 1 und 2 angegeben. Für Gebäude gemäß Zeile 3 wird kein Anhaltswert genannt.

Die Anhaltswerte für die Einwirkung von Dauererschütterungen auf benachbarte, vorhandene Leitungen gelten unter den gleichen Voraussetzungen, wie bei den kurzzeitigen Erschütterungseinwirkungen und sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 6: Einwirkung von Dauererschütterungen auf Rohrleitungen

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen" (Ausgabe Februar 1999) Tabelle 2: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf erdverlegte Leitungen		
Zeile	Leitungsbaustoffe	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s auf der Rohrleitung
1	Stahl geschweißt	50
2	Steinzeug, Beton, Stahlbeton, Metall mit oder ohne Flansche	40
3	Mauerwerk, Kunststoff	25

3.3. Böden im Gründungsbereich von baulichen Anlagen

Zusätzlich zu Erschütterungseinwirkungen auf die bauliche Anlage selbst sind Erschütterungseinwirkungen auf den Boden im Bereich des Lastabtrags der Gründung von benachbarten baulichen Anlagen zu berücksichtigen.

Beim Schlagen und Rütteln wird durch dynamische Lasten das Korngerüst des Bodens lokal aufgelöst und ermöglicht das Einbringen von Gründungskörpern wie Pfählen und Spundbohlen in den Boden.

Die Veränderung des Bodens erfolgt in einem Einflussbereich um den Gründungskörper und kann zu einer Verdichtung des Bodens benachbarter Gründungen und damit zu Schäden führen. Als Erschütterungseinwirkungen auf Böden kann eine Verdichtung des Bodens auftreten, welche unmittelbar auf die betreffende Gründung wirkt oder welche zunächst zur Bildung eines Gewölbes bzw. Hohlraums führt, der zu einem späteren Zeitpunkt (bis zu mehreren Tagen) einfällt und erst dann die betreffende Gründung beeinflusst.

Eine Schwingungsüberwachung an baulichen Anlagen kann keine Hinweise für die Einwirkung von Erschütterungen auf Böden liefern. In Einzelfällen können die Messung von Extensometern, Inklinometern und Porenwasserdruck für Hinweise verwendet werden; allerdings sind diese Messtechniken zur Bewertung von Einwirkung von Erschütterungen auf Böden zurzeit nicht Stand der Technik.

3.3.1. DIN 4150 Wirkung von Erschütterungen auf Böden

In diesem Zusammenhang wird in der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen" im Anhang C auf erschütterungsbedingte Sackungen in nicht bindigen Böden hingewiesen.

Der Einflussbereich erschütterungsbedingter Sackungen in nicht bindigen Böden wird vom Fuß des Einbringguts in einem nach oben offenen Winkel von 30 ° und beim Vorhandensein von Grundwasser mit 45 ° angegeben.

Diese Einwirkungen sind nicht durch Schwingungsmessungen an den betreffenden Gründungen bewertbar.

Erschütterungseinwirkungen auf Böden können in größerer Entfernung von der Erschütterungsquelle und bei Erschütterungsstärken auftreten, die nicht zu Gebäudeschäden infolge direkt an der baulichen Anlage messbarer Erschütterungseinwirkungen führen. Voraussetzung hierfür sind ein locker gelagerter gleichförmiger Sand oder Schluff und permanent oder sehr häufig wiederkehrende Erschütterungseinwirkung.

3.3.2. Ergänzende aktuelle Forschungsergebnisse

Die Phänomene zur Einwirkung von Erschütterungen auf Böden können derzeit nur von wenigen Forschungsinstituten berechnungstechnisch beschrieben werden.

Konkrete Untersuchungen zur Fragestellung der Einwirkung von Erschütterungen auf Böden und deren Validierung liegen in geringem Umfang vor, so dass für diese Fragestellungen bisher wenige Untersuchungsergebnisse vorliegen und noch nicht verallgemeinert werden können. Gleichwohl sind die Erkenntnisse anzuwenden, um Schäden zu vermeiden.

Aus den aktuellen Forschungsergebnissen lassen sich die Erfahrungen aus der Praxis und die Hinweise der DIN 4150 ergänzen.

Die Untersuchungen von Grabe und Mahutka 2006[3] ergeben für niedrigere Betriebsfrequenzen von Rüttlern größere Winkel und damit einen größeren Einflussbereich als die Angaben in der DIN 4150 Teil 3. Diese Erscheinungen mit der Folge einer Erhöhung der Verdichtung des Bodens und Setzungen treten nicht nur bei geringer Lagerungsdichte, sondern auch bei rolligen Böden mittlerer Lagerungsdichte auf. Darüber hinaus wird der Einflussbereich zusätzlich in Durchmessern D von Pfählen bei Schlagrammen mit bis zu 6 D und beim Rütteln mit bis zu 8 D angegeben.

[3] J. Grabe, K.-H. Mahutka, 2006, Zur Abschätzung von Erschütterungen und Sackungen in der Umgebung von Rammarbeiten, VDI Baudynamik Tagung 2006, VDI-Berichte 1941, ISBN 3-18-091941-8

Der Einflussbereich beim Einrütteln von Pfählen mit einem Durchmesser D wird in den Untersuchungen von Henke 2008[4] mit 2 D bis 7 D angegeben.

Dieses Kriterium wird im Weiteren als Durchmesserkriterium bezeichnet.

In den Untersuchungen von Mahutka 2008[5] wird der in der DIN 4150 Teil 3 genannte Winkel zur Ermittlung des Einflussbereiches für hohe Rüttelfrequenzen von 40 Hz als ausreichend bestätigt, während für geringere Frequenzen von 30 Hz und 25 Hz ein größerer Einflussbereich festgestellt wurde und damit ein größerer nach oben geöffneter Winkel als in der Norm zu berücksichtigen ist.

Zur zuverlässigen Abschätzung des Einflussbereiches wird in den Untersuchungen für die Festlegung eines größeren, nach oben geöffneten Winkels als in der Norm kein Vorschlag gemacht. Für die weiteren Betrachtungen wird daher eine Erhöhung des Winkels aus der DIN 4150 um 10° auf 40° bzw. auf 55° im Grundwasser vorgenommen und im Weiteren als Winkelkriterium bezeichnet.

3.4. Technische Anlagen

Darüber hinaus sind grundsätzlich Einwirkungen auf technische Anlagen zu berücksichtigen. Zur Berücksichtigung von Erschütterungseinwirkungen auf technische Anlagen liegen keine allgemein gültigen Richtlinien vor.

In dem aktuellen Entwurf für die VDI-Richtlinie VDI 2038 „Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik", wird umfassend auf die grundsätzliche Fragestellung der Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen eingegangen und auf die unterschiedlichen, auch internationalen Richtlinien verwiesen. Es werden u.a. grundsätzliche Hinweise zur Einwirkung von Erschütterungen auf technische Anlagen gegeben.

Die Erschütterungsempfindlichkeit von technischen Anlagen ist sehr unterschiedlich und von den Eigenschaften der technischen Anlagen (z.B. Notstromdiesel oder Mikroskop) sowie der dynamischen Eigenschaften am Aufstellort (z.B. Gebäudesohle oder Tisch auf einer Stockwerksdecke) abhängig. Die Anforderungen und die individuellen Aufstellbedingungen sind in Abhängigkeit der konkreten technischen Anlagen zu ermitteln.

---

[4] S. Henke, 2008, Herstellungseinflüsse aus Pfahlrammung im Kaimauerbau, ISBN -13 978-3-936310-19-1

[5] K.-P. Mahutka, 2008. Zur Verdichtung von rolligen Böden infolge dynamischer Pfahleinbringung und durch Oberflächenrüttler, ISBN-13 978-3-936310-15-3

Ebenso wie bei der Einwirkung auf bauliche Anlagen kann bei technischen Anlagen eine Schwingungsüberwachung erforderlich sein, um eine Beweissicherung der tatsächlich auftretenden Erschütterungen und eine Alarmierung beim Auftreten von erhöhten Schwingungsamplituden vorzunehmen.

Im vorliegenden Fall der Festen Fehmarnbeltquerung ist bei den Erschütterungen infolge von Baubetrieb und Verkehr vor dem Hintergrund einer großen Entfernung zwischen Emissions- und Immissionsort davon auszugehen, dass lediglich sehr erschütterungsempfindliche Geräte zu berücksichtigen sind.

Der Betrieb von sehr erschütterungsempfindlichen Geräten (z.B. Lithografiegeräte zur Herstellung von Halbleiterbauteilen) stellt eine besondere Nutzung dar und ist von den ggf. vorhandenen Betroffenen selbst in Rahmen im Planfeststellungsverfahren anzugeben und dann konkret zu betrachten.

4. Durchführung der Prognose

4.1. Absenktunnel

Die räumliche Lage der Erschütterungs-Emittenten im Vorhaben der Festen Fehmarnbeltquerung wird bestimmt durch die geplante Streckenführung der Straßen- und Schienenwege sowie die um diesen Korridor befindlichen Flächen für die Baustelleneinrichtung und den Arbeitshafen.

In der vorliegenden Erschütterungstechnischen Untersuchung wird die Feste Fehmarnbeltquerung mit einem Absenktunnel betrachtet.

Die großen Mengen von Baumaterial werden weitestgehend per Schiff über einen Arbeitshafen östlich des derzeitigen Fährhafens Puttgarden an- und abtransportiert. Darüber hinaus erfolgt ergänzend Baustellenverkehr mit LKW.

4.2. Immissionsorte

Die Immissionsorte befinden sich in den zur geplanten Festen Fehmarnbeltquerung mit Straßen- und Schienenwegen und Baubetrieb nächstgelegenen Gebäuden mit Wohnnutzung, vergleichbarer Nutzung oder Büronutzung.

Die Immissionsorte bzw. Immissionspunkte IP wurden folgendermaßen festgelegt und nachfolgend sowie im Dokument Prognoseergebnisse dargestellt:

- IP1 Puttgarden Hafen
  Betriebsgebäude, es handelt sich um ein Gebäude aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts und es wurden für die Prognose Stahlbetondecken angesetzt, östliches Bahn- und Hafengelände Puttgarden,

- IP2 Puttgarden Nord
  Hotel, es handelt sich um ein Gebäude aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts und es wurden für die Prognose Stahlbetondecken angesetzt,

- IP3 Marienleuchte
  Wohngebäude, es handelt sich um ein Wohngebäude, welches im 19. oder Anfang des 20. Jahrhundert erstellt wurde und verfügt daher wahrscheinlich über Holzbalkendecken, welche für die Prognose angesetzt wurden,
  Rethen 1 in Marienleuchte,

- IP4 Puttgarden Süd
  Hof und Wohngebäude, es handelt sich u.a. um ein Wohngebäude, welches im 19. Jahrhundert erstellt wurde und verfügt daher wahrscheinlich über Holzbalkendecken, welche für die Prognose angesetzt wurden,
  Marienleuchterweg 12 in Puttgarden,

- IP5 Todendorf
  Wohngebäude, es handelt sich u.a. um Gebäude, welche Holzbalkendecken verfügen könnten, so dass für die Prognosen zur sicheren Seite von Holzbalkendecken ausgegangen wurde,
  Dorfstraße 1 in Todendorf,

- IP6 Presen
  Wohngebäude, es handelt sich u.a. um Gebäude, welche Holzbalkendecken verfügen könnten, so dass für die Prognosen zur sicheren Seite von Holzbalkendecken ausgegangen wurde,
  Presen 4 in Presen.

PROJEKT:
Feste Fehmarnbeltquerung (FBQ)
Erschütterungstechnische Untersuchung

ZEICHNUNG: 28.02.2012
Planungsvarianten Tunnel
Immissions- und Emissionspunkte
Straßenverkehr FBQ

baudyn GmbH

Abbildung 1: Immissionspunkte und Abstände zum Straßenverkehr

4.3. Schienen- und Straßenverkehr

Die Planung für den Absenktunnel sieht vor, dass die Schienen- und Straßenwege nebeneinander auf Fehmarn in Richtung Dänemark in einem Geländeeinschnitt verlaufen, bevor sie in einem Tunnelmund verschwinden und unterirdisch unter dem Fehmarnbelt bis Dänemark verlaufen.

Der Absenktunnel soll in langen Elementen in Produktionsstätten außerhalb von Fehmarn in Stahlbeton hergestellt und in einen ausgehobenen Graben auf dem Meeresboden abgesenkt, mit den benachbarten Elementen verbunden und der Graben anschließend verfüllt werden.

Die Schienen- und Straßenwege sollen auf Fehmarn in Nord-Süd-Richtung parallel in einem geringen Abstand verlaufen und werden vor dem Tunnelmund zusammengeführt.

Es werden neue Zufahrtsstraßen für die Feste Fehmarnbeltquerung oder als Ersatz für bisherige Verbindungsstraßen auf der Insel Fehmarn benötigt. Die Straßenwege verlaufen allerdings in dem gleichen Abstand wie die bisherigen Straßenwege; vgl. Wohngebäude in Puttgarden Süd (IP4) an derzeitiger B 207.

Abbildung 2: Emissionen Schienenverkehr FBQ

Die Schienen- und Straßenverkehrswege der geplanten Festen Fehmarnbeltquerung verlaufen zunächst ebenerdig und dann in einem Einschnitt und ab dem Tunnelmund unterirdisch. Die unterschiedliche Art der Lage weist bei geringen Abständen der Immissionsorte einen Einfluss auf die Emissionen bzw. Transmissionen der Verkehrserschütterungen auf. Im vorliegenden Fall handelt es sich bei den maßgeblichen

Immissionsorten mit Wohngebäuden bzw. einem Betriebsgebäude jedoch um große Abstände von 250 m bzw. 150 m, so dass es vor dem Hintergrund der Prognosegenauigkeit daher nicht zweckmäßig ist diesen Einfluss zu berücksichtigen.

Für den Schienen- und Straßenverkehr auf der geplanten Festen Fehmarnbeltquerung liegen Angaben zur Anzahl der verkehrenden Fahrzeuge sowie deren Fahrgeschwindigkeit vor und werden in den Prognosen berücksichtigt. Die verwendeten Verkehrszahlen sind in den Ergebnistabellen angegeben.

4.4. Baubetrieb

In der gegenwärtigen Phase des Vorhabens Feste Fehmarnbeltquerung liegen keine detaillierte Planungen zum Baustellenkonzept und zur Bauzeitenplanung vor.

Gleichwohl liegen ausgehend von den Erfordernissen für den Absenktunnel Angaben über den grundsätzlichen Baubetrieb vor. Dieses gilt insbesondere für die erschütterungsintensiven Baumaßnahmen. Ausgehend von den Angaben über den erforderlichen Baubetrieb und dessen Lage kann eine prognostische Abschätzung der Immissionen an ausgewählten repräsentativen Immissionspunkten vorgenommen werden.

Abbildung 3: Emissionen Baustellenverkehr auf Baustraßen und am äußeren Rand von Baustelleneinrichtungsflächen

In Hinblick auf die Erschütterungen sind die Baumaßnahmen zunächst in nicht erschütterungsintensive Baumaßnahmen und erschütterungsintensive Baumaßnahmen zu unterscheiden.

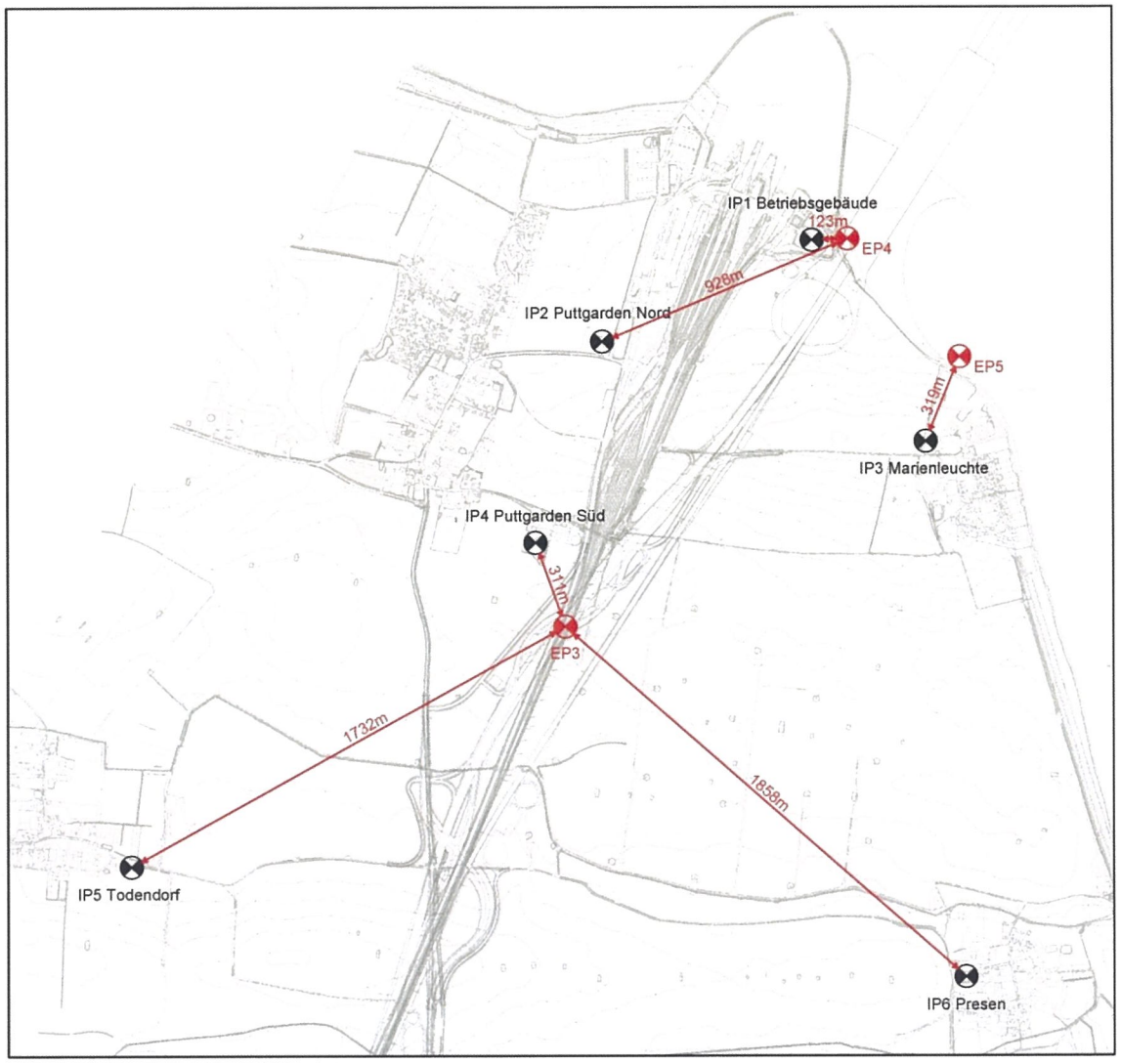

Abbildung 4: Emissionen Schlagramme

Nicht erschütterungsintensive Baumaßnahmen beruhen nicht auf der Erzeugung von Schwingungen bzw. Stößen und rufen geringe Erschütterungsemissionen infolge von der Bewegung von Massen hervor. Die Erschütterungsimmissionen sind moderat im Nahbereich bis zu einer Größenordnung von 100 m Abstand und gering bis sehr gering im Fernbereich mit größeren Abständen. Es handelt sich dabei z.B. um Baustellenverkehr, Bagger oder Radler.

Erschütterungsintensive Baumaßnahmen beruhen auf der Erzeugung von Schwingungen bzw. Stößen mit hohen Erschütterungs-Emissionen und rufen hohe bis sehr hohe Erschütterungs-Immissionen im Nahbereich sowie relevante Erschütterungs-Immissionen im Fernbereich hervor. Es handelt sich dabei z.B. um Schlagramme, Rüttler zum Einbringen von Bauteilen in den Boden (Spundbohlen, Pfahlrohre), Rüttelwalze, Rüttelplatten, Stemm-Meißel, Intensiv-Verdichtung, Sprengungen.

Abbildung 5: Emissionen Rüttelwalze

Die nicht erschütterungsintensiven Baumaßnahmen erfolgen in unterschiedlichen zeitlichem Umfang auf allen Flächen, die für die Schienen- und Straßenwege sowie den Baustelleneinrichtungen benötigt werden. Als Erschütterungs-Emissionen werden Baustellenverkehr sowie der Einsatz von Baggern und Radladern angesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass der nicht erschütterungsintensive Baubetrieb während der Tag- und Nachtzeit erfolgt.

Der erschütterungsintensive Baubetrieb wird mit folgenden Baumaßnahmen angesetzt:

- Einsatz von Schlagrammen zum Einbringen von Spundbohlen und Dalben zur Herstellung des Arbeitshafens und Spundbohlen bzw. Pfählen an Brückenbauwerken (siehe Abbildung in diesem Abschnitt),
- Einsatz von Rüttelwalzen zum Aufbau einer Tragschicht für die Straßen- bzw. Schienenwege.

Es wird davon ausgegangen, dass der erschütterungsintensive Baubetrieb in Anlehnung an die schalltechnischen Belange tagsüber für die Dauer von bis zu acht Stunden in der Zeit zwischen 7 Uhr und 20 Uhr gemäß AVV Baulärm erfolgt.

In der Prognose werden die aus dem Baubetrieb zu erwartenden Erschütterungen in der Lage angesetzt.

4.5. Durchführung der Prognose

Die Erschütterungsprognose dient der Abschätzung der zu erwartenden Erschütterungseinwirkungen.

In der Baudynamik ist die Prognose von Baubetriebserschütterungen und Straßenverkehr keine Standardaufgabe und daher werden hierfür in den geltenden Richtlinien keine Vorgaben und Verfahren zur Prognoseermittlung angegeben.

Grundsätzlich kann die Prognose in Emission, Transmission und Immission unterteilt werden. Dabei muss insbesondere berücksichtigt werden, dass die Emissionen bei Schwingungen in der Regel nicht ohne weiteres von den dynamischen Eigenschaften am Emissionsort getrennt werden können.

Für Schienenverkehrserschütterungen sind Erschütterungsprognosen regelmäßige Aufgaben und es liegen Vorschläge für Prognoseverfahren für Erschütterungen und sekundären Luftschall vor. Im vorliegenden Fall wird das Prognoseverfahren aus dem Entwurf der Richtlinie 800.25-01 bis 05 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall" der Deutschen Bahn AG vom 05.12.2006 für die Schienenverkehrserschütterungen und für die Erschütterungen aus dem Straßenverkehr und dem Baubetrieb verwendet.

Im Rahmen der Prognose wird die Bauart der Stockwerksdecken in einer Übertragungsfunktion von der Gebäudegründung auf die Stockwerksdecke berücksichtigt. In der Erschütterungstechnischen Untersuchung zur Festen Fehmarnbeltquerung wurde aufgrund des Alters in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts für das Betriebsgebäude IP1 und das Hotel IP2 von Stahlbetondecken ausgegangen. Für die anderen Immissionspunkte wird, um auf der sicheren Seite zu sein, von den erschütterungstechnisch ungünstigeren Holzbalkendecken ausgegangen. Darüber hinaus wird im Rahmen der Prognose die mögliche

Deckeneigenfrequenz variiert und der ungünstigste Prognosewert als Prognoseergebnis in den Ergebnistabellen angegeben.

Im vorliegenden Fall der Festen Fehmarnbeltquerung mit Baubetrieb und Verkehr ist aufgrund der großen Entfernungen zwischen den Emissions- und Immissionsorten davon auszugehen, dass der primäre Luftschall dominiert und der sekundäre Luftschall nicht maßgeblich sein wird. Zum Nachweis wird die Prognose des sekundären Luftschalls daher auf die Emissionen des Schienenverkehrs konzentriert.

Die Prognoseprozedur wird auf der Basis von Terzschnellespektren für die Beschreibung der Emissionen, der Transmission als Terzschnelledifferenzspektren sowie der Immissionen als Terzschnellespektren durchgeführt.

Die Erschütterungen stellen eine zeitlich veränderliche Zustandsgröße einer mechanischen Bewegung, z.B. die Schwinggeschwindigkeit im Boden oder Bauwerk, dar. Für die Erschütterungsprognose werden die Erschütterungen nicht im Zeitbereich, sondern im Frequenzbereich betrachtet. Die Betrachtung im Frequenzbereich erfolgt wie bei den Akustikern in Form von Terzspektren, also Spektren im Frequenzbereich, bei denen die Bandbreite der Breite einer Terz entspricht. Durch die Festlegung auf die Terzbandbreite erhält man spektrale Amplituden, welche unter verschiedenen Terzspektren vergleichbar sind.

Zur Ermittlung der Terzspektren aus dem Zeitbereich der Schwinggeschwindigkeit erfolgt neben einer Filterung mit Terzfiltern (DIN EN 61260) eine gleitende Effektivwertbildung mit der Zeitkonstante „fast" mit τ=125 ms sowie die Unterscheidung in Maximalwerte $v_{TerzFmax}$ und energieäquivalente Mittelwerte $v_{TerzFeq}$. Die Terzspektren der Schwinggeschwindigkeit werden als Terzschnellespektren bezeichnet.

Für die Prognose der Erschütterungen werden für die einzelnen Emittenten Erschütterungs-Emissionen aus der Emperie verwendet.

Die Abnahme der Erschütterungsamplituden mit der Ausbreitungsentfernung wurde für Baubetrieb und Straßenverkehr gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen" Teil 1 „Vorermittlung" Abschnitt 4.2 Ausbreitung von Schwingungen Formel (2) mit n=0.5 vorgenommen.

Die für den Schienenverkehr verwendeten Emissionen für den zukünftigen Personen- und Güterzugverkehr sind in Abschn. 2.1.1 der Prognose dargestellt. Zur Ermittlung der Erschütterungsamplituden mit der Ausbreitungsentfernung konnten in dem Untersuchungsgebiet bei Personenzugfahrten Erschütterungsmessungen an der Bahnstrecke mit Bodenmesspunkten in verschiedenen Abständen in zwei Profilen senkrecht zur Bahnstrecke vorgenommen werden. Diese Schwingungsmessungen haben zwischen Hinrichsdorf und Bannesdorf sowie zwischen Todendorf und Presen stattgefunden. Die Lage der Profile sowie Messungen im Zeit- und Frequenzbereich sind in Abschn. 1.4 und 2.2.2 der Prognose dargestellt. Die Ergebnisse dieser Erschütterungsmessungen wurden für die Abnahme der Erschütterungsamplituden mit der Ausbreitungsentfernung verwendet. Darüber

hinaus wurde bei sehr großen Entfernungen gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 1 „Vorermittlung“ Abschnitt 4.2 Ausbreitung von Schwingungen Formel (2) mit n=0.3 verwendet.

Die Prognosegenauigkeit ist bei Schwingungsprognosen grundsätzlich eingeschränkt und wird in der VDI 2038 unter den vorliegenden Randbedingungen mit einer sehr hohen bis hohen Unsicherheit von 5 dB bis mehr als 10 dB angegeben.

5. Ergebnisse der Prognose

Die Ergebnisse der prognostischen Abschätzung sind für jeden Emittenten jeweils in einer Tabelle im Dokument zur Prognose dargestellt.

Für den Verkehr auf der Festen Fehmarnbeltquerung werden die Emittenten wie folgt unterschieden in

- Schienenverkehr - FBQ Güterzüge
- Schienenverkehr - FBQ Personenzüge
- Straßenverkehr - FBQ sowie

für den Baubetrieb zum Bau der Festen Fehmarnbeltquerung in

- Schlagramme,
- Rüttelwalze,
- Baustellenverkehr - LKW,
- Baustellenverkehr - Radlader.

Die Prognose umfasst für den Schienenverkehr zusätzlich zu den Erschütterungen die Einwirkungen aus sekundärem Luftschall.

5.1. Verkehr (Schiene / Straße)

Die Ergebnisse der Prognose sind nachfolgend sowie im Dokument zur Prognose im Abschnitt 4.1 für Güterzüge, Personenzüge und Straßenverkehr in einzelnen Tabellen dargestellt.

Tabelle 7: Prognoseergebnisse Schienenverkehr Güterzüge

baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung		Schienenverkehr – FBQ Güterzüge				
		Absenktunnel				
			KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts	L_{AFmax}
				Einwirktakte (Anzahl Güterzüge)		
				52	26	
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Zeile 4			0.200	0.070	0.050	-
Immissionspunkt		Entfernung				
1	Betriebsgebäude	193 m	0.159	0.026	0.026	<10 dB(A)
2	Puttgarden Nord	585 m	0.036	0	0	<10 dB(A)
3	Marienleuchte	550 m	0.070	0	0	<10 dB(A)
4	Puttgarden Süd	402 m	0.103	0.017	0.017	<10 dB(A)
5	Todendorf	1066 m	0.023	0	0	<10 dB(A)
6	Presen	1684 m	0.009	0	0	<10 dB(A)

Tabelle 8: Prognoseergebnisse Schienenverkehr Personenzüge

baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung		Schienenverkehr – FBQ Personenzüge				
		Absenktunnel				
			KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts		
		KB_{Fmax}	Einwirktakte (Anzahl Personenzüge)		L_{AFmax}	
			36	4		
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Zeile 4		0.200	0.070	0.050	-	
Immissionspunkt		Entfernung				
1	Betriebsgebäude	193 m	0.066	0	0	<10 dB(A)
2	Puttgarden Nord	585 m	0.019	0	0	<10 dB(A)
3	Marienleuchte	550 m	0.038	0	0	<10 dB(A)
4	Puttgarden Süd	402 m	0.060	0	0	<10 dB(A)
5	Todendorf	1066 m	0.009	0	0	<10 dB(A)
6	Presen	1684 m	0.001	0	0	<10 dB(A)

Tabelle 9: Prognoseergebnisse Straßenverkehr

baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung		Straßenverkehr-FBQ			
		Absenktunnel			
			KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts
				Einwirktakte (Anzahl LKW und Busse)	
				1562	343
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Zeile 4			0.200	0.070	0.050
Immissionspunkt		Entfernung			
1	Betriebsgebäude	148	0.051	0	0
2	Puttgarden Nord	539	0.008	0	0
3	Marienleuchte	578	0.012	0	0
4	Puttgarden Süd	256	0.050	0	0
5	Todendorf	1018	0.003	0	0
6	Presen	1864	0.001	0	0

Die Immissionen aus dem Verkehrsbetrieb auf den Schienen- und Straßenwegen der geplanten Festen Fehmarnbeltquerung werden aufgrund der großen Entfernung der Immissionsorte zu den Emissionsorten von mindestens 148 m als sehr gering erwartet.

Es ist von einer deutlichen Einhaltung der Anforderungen gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ Tabelle 1 Zeile 4 und Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“ Tabelle 1 Zeile 3 auszugehen (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 3).

Der sekundäre Luftschall wird in einem gegenüber den Hintergrundgeräuschpegel nicht wahrnehmbaren Bereich erwartet, so dass hier ebenfalls eine Einhaltung der diesbezüglichen Anforderungen zu erwarten ist.

Aufgrund der deutlichen Einhaltung der Anforderungen sind die Immissionen aus verkehrsbedingten Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf der Festen Fehmarnbeltquerung als nicht entscheidungsrelevant für das Vorhaben zu bewerten.

5.2. Baubetrieb

Die Ergebnisse der Prognose sind nachfolgend sowie im Dokument zur Prognose im Abschnitt 4.2 für Schlagramme, Rüttelwalze sowie Baustellenverkehr LKW und Radlader in einzelnen Tabellen dargestellt.

Tabelle 10: Prognoseergebnisse Baubetrieb Schlagramme

baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung		Schlagramme			
		Absenktunnel			
			KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts
				Einwirktakte (8 Stunden Betrieb)	
				960	0
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Tab. 2 Stufe II Spalte 8 und 9			5	0.400	-
Immissionspunkt		Entfernung			
1	Betriebsgebäude	123	0.268	0.190	0
2	Puttgarden Nord	928	0.009	0	0
3	Marienleuchte	319	0.131	0.093	0
4	Puttgarden Süd	311	0.136	0.096	0
5	Todendorf	1732	0.003	0	0
6	Presen	1858	0.002	0	0

Tabelle 11: Prognoseergebnisse Baubetrieb Rüttelwalze

baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung		Rüttelwalze			
		Absenktunnel			
			KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts
				Einwirktakte (8 Stunden Betrieb)	
				960	0
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Tab. 2 Stufe II Spalte 8 und 9			5	0.400	-
Immissionspunkt		Entfernung			
1	Betriebsgebäude	127	0.430	0.304	0
2	Puttgarden Nord	420	0.075	0	0
3	Marienleuchte	499	0.073	0	0
4	Puttgarden Süd	149	0.519	0.367	0
5	Todendorf	891	0.015	0	0
6	Presen	1636	0.001	0	0

Tabelle 12: Prognoseergebnisse Baubetrieb Baustellenverkehr LKW

baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung		Baustellenverkehr LKW			
		Absenktunnel			
			KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts
				Einwirktakte (Anzahl LKW 2x50)	
				100	0
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Tab. 2 Stufe II Spalte 8 und 9			5	0.400	-
Immissionspunkt		Entfernung			
1	Betriebsgebäude	64	0.103	0.024	0
2	Puttgarden Nord	339	0.019	0	0
3	Marienleuchte	259	0.049	0	0
4	Puttgarden Süd	159	0.086	0	0
5	Todendorf	1006	0.003	0	0
6	Presen	1639	0.001	0	0

Tabelle 13: Prognoseergebnisse Baubetrieb Baustellenverkehr Radlader

baudyn GmbH - Projekt 2011922 Feste Fehmarnbeltquerung - Erschütterungstechnische Untersuchung		Baustellenverkehr Radlader			
		Absenktunnel			
			KB_{Fmax}	KB_{FTr} tags	KB_{FTr} nachts
				Einwirktakte	
				1920	960
Anforderung DIN 4150 Teil 2 Tab. 2 Stufe II Spalte 8 und 9			5	0.400	-
Immissionspunkt		Entfernung			
1	Betriebsgebäude	64	0.075	0	0
2	Puttgarden Nord	339	0.021	0	0
3	Marienleuchte	259	0.049	0	0
4	Puttgarden Süd	159	0.073	0	0
5	Todendorf	1006	0.008	0	0
6	Presen	1639	0.002	0	0

In der zweiten Emissionsgruppe mit dem Baubetrieb für die Feste Fehmarnbeltquerung mit einem Absenktunnel beträgt die Entfernung der Immissionsorte zu den Emissionsorten mindestens 64 m. Aufgrund dieser Entfernung ist für den regulären, nicht erschütterungsintensiven Baubetrieb von sehr geringen Erschütterungs-Immissionen auszugehen.

Bei dem erschütterungsintensiven Baubetrieb mit dem Einsatz von Schlagrammen und Rüttelwalzen ergeben sich für die Immissionspunkte IP1 Betriebsgebäude Bahn- und Hafengelände Puttgarden und IP4 Hof und Wohngebäude Puttgarden Süd aus der Prognose gerade spürbare Erschütterungseinwirkungen.

Unter den getroffenen Annahmen der Intensität, der täglichen Dauer sowie einer Gesamtdauer für die betreffende Baumaßnahme ist eine Einhaltung der Anforderungen gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ Tabelle Tabelle 2 Stufe 2 zu erwarten (vgl. Tabelle 2). Darüber hinaus ist eine

deutliche Einhaltung der Anforderungen DIN 4150 Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen" Tabelle 1 Zeile 3 zu erwarten (vgl. Tabelle 3).

Für den geplanten Absenktunnel werden zwei Straßenwege neu gebaut, welche sich im Hinblick auf den erschütterungsintensiven Baubetrieb im Einflussbereich der benachbarten Wohngebäude befinden (Dokument zur Prognose Abschnitt 1.2.2).

Bei IP4 Hof und Wohngebäude Puttgarden Süd handelt es sich um die derzeitige Straße B 207, welche in Richtung Süden in der Lage etwas verändert werden würde und hierzu unter Einsatz von Rüttelwalzen mit den erforderlichen Tragschichten neu auf gebaut werden müsste.

Bei IP3 Wohngebäude Marienleuchte handelt es sich um eine neue Straßenverbindung in Nord-Süd-Richtung, für deren Bau ebenfalls von dem Einsatz von Rüttelwalzen auszugehen ist.

Insgesamt werden die Erschütterungs-Immissionen aus dem Baubetrieb aufgrund der zu erwartenden Einhaltung der Anforderungen DIN 4150 Teil 2 und 3 im Hinblick auf die Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden und auf bauliche Anlagen nicht als entscheidungsrelevant für das Vorhaben Feste Fehmarnbeltquerung mit einem Absenktunnel bewertet.

5.3. Ergänzende Hinweise

Es wird empfohlen, die aus der Erschütterungstechnischen Untersuchung erwartete Einhaltung der Anforderungen während des erschütterungsintensiven Baubetriebs, z.B. den Einsatz von Schlagrammen und Rüttelwalzen, durch eine Erschütterungsüberwachung messtechnisch zu überprüfen und nachzuweisen.

Als Messobjekte für eine Erschütterungsüberwachung kommen die Gebäude mit den geringsten Abständen zum erschütterungsintensiven Baubetrieb in Betracht. Hierzu wären geeignet:

- IP1 Betriebsgebäude Bahn- und Hafengelände Puttgarden bei Einsatz der Schlagramme und der Rüttelwalze,
- IP3 Wohngebäude Marienleuchte bei Einsatz der Rüttelwalze,
- IP4 Hof und Wohngebäude Puttgarden Süd bei Einsatz der Rüttelwalze sowie
- der Leuchtturm Marienleuchte bei Einsatz der Schlagramme.

Diese Feststellungen gelten ebenso für alternative oder weitere in diesem Planungsstadium noch nicht bekannte erschütterungsintensiven Baumaßnahmen.

6. Zusammenfassende Bewertung

Die Erschütterungstechnischen Untersuchungen haben ergeben, dass aufgrund der großen Entfernung zwischen dem Absenktunnel bzw. dem Schienen- und Straßenverkehr und den Immissionsorten in Gebäuden eine deutliche Einhaltung der Anforderungen an Erschütterungen und sekundären Luftschall zu erwarten ist.

Die Betrachtung der Erschütterungs-Immissionen aus dem Baubetrieb für die Errichtung des Absenktunnels hat ergeben, dass auch unter Berücksichtigung von erschütterungsintensivem Baubetrieb eine Einhaltung der Anforderungen an Erschütterungen zu erwarten ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die in der Erschütterungstechnischen Untersuchung betrachteten Immissionen nicht entscheidungsrelevant für das Vorhaben Feste Fehmarnbeltquerung in Form eines Absenktunnels sind.

7. Richtlinien, Literatur

[1] „Erschütterungs-Leitlinie“, Hinweise zur Messung, Beurteilung Leitlinie und Verminderung von Erschütterungsimmissionen, Länderausschuss für Immissionsschutz, 10.05.2000

[2] DIN 4150-1 „Erschütterungen im Bauwesen“
Teil 1 „Vorermittlung von Schwingungsgrößen“, Juni 2001

[3] DIN 4150-2 „Erschütterungen im Bauwesen“
Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“, Juni 1999

[4] DIN 4150-3 „Erschütterungen im Bauwesen“
Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“, Februar 1999

[5] VDI 2038-1 Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik, Blatt 1 Grundlagen - Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen, Juni 2012

[6] VDI 2038-2 Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik, Blatt 2 Schwingungen und Erschütterungen – Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung, Januar 2013

[7] DIN EN 61260: 2003-03 Elektroakustik; Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven

[8] Richtlinie 800.25-01 bis 05 Erschütterungen und sekundärer Luftschall, Deutsche Bahn AG, Entwurf 05.12.2006

[9] Möser Michael, Müller Gerhard: Taschenbuch der Technischen Akustik 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004

[10] Gordon Colin G.: Proceedings of International Society for Optical Engineering Vol. 1619, 1991

[11] M.O. Rosenquist: Messtechnik in der Baudynamik, Beratende Ingenieure, Springer-VDI-Verlag, pp. 41-44, Juli/August 1999.

[12] H. Kramer: Angewandte Baudynamik – Grundlagen und Beispiele für Studium und Weiterbildung, Ernst & Sohn Verlag GmbH Berlin, 2006

[13] Heiland Dieter, Beyer Karlheinz: DGEB Tagung
Aktuelle Themen des Erdbebeningenieurwesens und der Baudynamik, DGEB Aachen, 2005

[14] M.O. Rosenquist, Einsatz und Vergleich aktiver Elemente (Aktuatoren) und passiver Elemente bei der Schwingungsisolation empfindlicher Geräte in der Forschung, VDI-Baudynamik-Tagung, 2006

[15] M.O. Rosenquist, Erschütterungsgrenzwerte bei empfindlichen Maschinen und Geräten, 11. Symposium: Bauwerksdynamik und Erschütterungen 2008 an der EMPA Dübendorf

[16] Experimentelle Modalanalyse von Brücken als Basis für die Durchführung realistischer FE-Berechnungen, Messtechnik im Bauwesen, Ernst & Sohn, 2008

[17] M.O. Rosenquist, R. Cantieni, Experimentelle Modalanalyse einer Straßenbrücke im Rahmen einer Belastungsanalyse, 12. D-A-CH Tagung – Erdbeben und Baudynamik, 2011