



Schwingungstechnik und
Erschütterungen im
Bauwesen

baudyn.de

Messung
Berechnung
Beratung
Gutachten

Gutachten

Projekt 2006496
Inhalt B-Plan Nr. 65 Bahnhof Kaltenkirchen Block 3
Schienenverkehrserschütterungen

Prognose der Einwirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf Grundlage von Schwingungsmessungen auf dem Trog der in diesem Bereich unterirdisch verlaufenden AKN-Schienenverkehrsanlage mit AKN-Personenzug- und Railon-Güterzugverkehr mit einer Parametervariation möglicher Deckeneigenfrequenzen

Auftraggeber SBL Immobilien Wentorf AG
Zollstraße 5
21465 Wentorf

Über Architekturbüro Gruppe 3
Friedrich-Ebert-Straße 146
42117 Wuppertal

Anmerkung Eine auszugsweise Zitierung ist mit uns abzustimmen
Das Gutachten umfasst 28 Seiten

Datum 04.09.2006

M.O. Rosenquist
Dipl.-Ing.

Ingenieurbüro
Dr. Kebe und
Dipl.-Ing. Rosenquist

Mühlenkamp 43
22303 Hamburg
Fon (040) 460 911 38
Fax (040) 460 911 39
Fon/Fax (0700) baudyn.de

www.baudyn.de

Vereins- und Westbank
BLZ 200 300 00
Konto 38 40 81



Dipl.-Ing. M.O. Rosenquist ist
von der Handelskammer
Hamburg öffentlich bestellt
und vereidigt als Sachverständiger
für Schwingungen und
Erschütterungen im Bauwesen

Inhaltsverzeichnis

1 Veranlassung und Aufgabenstellung.....	3
2 Planungsunterlagen.....	3
3 Regelwerke.....	4
4 Schwingungsmessungen.....	5
4.1 Messobjekt und Messpunkte.....	6
4.2 Verwendete Messgeräte.....	7
4.3 Ablauf der Messungen.....	8
5 Auswertung.....	9
5.1 Tabellarische Darstellung.....	10
5.2 Darstellung im Zeit- und Frequenzbereich.....	10
6 Prognose.....	11
6.1 Emissionsspektren.....	12
6.2 Übertragungsfunktionen.....	13
6.3 Prognose Erschütterungen.....	13
6.4 Prognose sekundärer Luftschall.....	15
7 Beurteilung der Einwirkung auf Menschen in Gebäuden.....	16
7.1 Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden.....	16
7.1.1 Wahrnehmung.....	16
7.1.2 Anforderungen.....	17
7.1.3 Vergleich der Ergebnisse mit den Anforderungen.....	20
7.2 Sekundärer Luftschall.....	24
7.2.1 Anforderungen.....	24
7.2.2 Vergleich der Ergebnisse mit den Anforderungen.....	25
8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	26

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

In der Ortsmitte Kaltenkirchen ist die AKN-Bahnstrecke mit dem Bahnhof Kaltenkirchen von der Geländeoberfläche in eine Troglage versetzt worden. Der Trog ist bis auf einen Teil des Bahnhofes in einem weiten Bereich gedeckelt. Die Bebauung des auf diese Weise entstandenen Platzes ist im Bebauungsplan Nr. 65 „Bahnhof“ aus dem Jahr 2003 geregelt.

Im Rahmen eines Änderungsantrages zum Bebauungsplan Nr. 65 sollen die zu erwartenden Einwirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall aus dem Schienenverkehr in Troglage auf die sich in der zukünftigen Bebauung von Block 3 aufhaltenden Menschen untersucht werden.

Zur Beurteilung der zukünftigen Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall ist die hiermit vorgelegte schwingungstechnische Untersuchung von der SBL Immobilien Wentorf AG, Zollstraße 5, 21465 Wentorf, beauftragt worden.

Für die schwingungstechnischen Untersuchungen sind zunächst Schwingungsmessungen bei Schienenverkehrserschütterungen durchgeführt worden. Anschließend ist auf Grundlage der gemessenen Schwingungssignale eine Prognose der Einwirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall mit einer Parametervariation möglicher Deckeneigenfrequenzen sowie Maßnahmen zum Erschütterungsschutz erfolgt.

Die Dokumentation der schwingungstechnischen Untersuchungen umfasst neben diesem Gutachten einen Band Mess- und Prognoseergebnisse, auf den nachfolgend verwiesen wird.

2 Planungsunterlagen

Zur Vorbereitung und Durchführung der schwingungstechnischen Untersuchungen sind uns über das Architekturbüro Gruppe 3 eine allgemeine Projektbeschreibung zur Erweiterung der Ortsmitte Kaltenkirchen im „Bahnhofsbereich“ und das

Konzept der zukünftigen Bebauung in Plänen 1:500 und 1:250 zur Verfügung gestellt worden. Diese Unterlagen sind mit September 2005 datiert.

Die Zugverkehrshäufigkeit in dem betreffenden Streckenabschnitt ist für die Personenbeförderung mit AKN-Zügen aus dem aktuellen Fahrplan entnommen worden. Die regelmäßigen Fahrten der Güterzüge der Firma Railion sind uns von der AKN angegeben worden. Die Angaben sind in einer Tabelle im Band Mess- und Prognoseergebnisse in Abschnitt 5 angegeben.

3 Regelwerke

Zur Konkretisierung der Ziele im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ist vom Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) die „Erschütterungs-Leitlinie“ beschlossen (Mai 2000) verabschiedet worden und in einigen Bundesländern als Verordnung eingeführt worden. Die „Erschütterungs-Leitlinie“ umfasst die Vorgehensweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen für genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen. Inhaltlich stimmt die „Erschütterungs-Leitlinie“ mit dem aktuellen Stand der Normen DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ und DIN 45669 „Messung von Schwingungsimmissionen“ im wesentlichen überein.

In der vorliegenden Untersuchung ist die DIN 4150 zu Grunde gelegt worden, da die Norm den aktuellen Stand der Technik darstellt und Ausgangspunkt für die Ausarbeitung der „Erschütterungs-Leitlinie“ war. Darüber hinaus sind in der DIN 4150 zusätzlich Angaben zur Vorermittlung von Schwingungsgrößen und – insbesondere für den Schienenverkehr – quellenspezifische Regelungen zur Beurteilung enthalten.

Schwingungsimmissionen sind hinsichtlich ihrer Einwirkungen auf Menschen und auf bauliche Anlagen bei temporären und regelmäßig wiederkehrenden Emissionen sowie bei Baumaßnahmen zu berücksichtigen. Darüber hinaus können unabhängig von diesen Regelwerken Erschütterungseinwirkungen auf technische Anlagen und erschütterungsempfindliche Geräte zu betrachten sein.

Neben der DIN 4150 und DIN 45669 zur Durchführung von Messungen an Schienenwegen ist die DIN 45672 „Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen, Messverfahren“ zu beachten.

Zur Berücksichtigung von Sekundäreffekten, wie dem Wackeln oder Klappern von Gegenständen, liegen derzeit keine normativen Anforderungen vor. Für die Beurteilung des infolge von Deckenschwingungen sekundär abgestrahlten Luftschalls kommen grundsätzlich folgende Regelwerke in Betracht:

- TA Lärm Abschnitt 6.2: Immissionsrichtwerte für maßgebliche Immissionsorte,
- VDI 4100 Schallschutz von Wohnungen: Kriterien für Planung und Beurteilung, Installationsgeräusche,
- Werte nach DIN 4109 für Schall aus haustechnischen Anlagen: Zulässige Schalldruckpegel (in fremden Wohnungen) in schutzbedürftigen Räumen,
- VDI 2719: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen, Innenschallpegel für von außen in Aufenthaltsräume eindringenden Schall (Orientierungswerte zur Ermittlung der Schalldämmung).

In der Praxis wird im Rahmen von Umweltverträglichkeitsuntersuchungen aktuell die TA-Lärm für die Beurteilung des sekundären Luftschalls zu Grunde gelegt. In der TA-Lärm wird ein auf die Beurteilungszeit bezogener Immissionsrichtwert und ein einzuhaltender maximaler Luftschallpegel angegeben.

4 Schwingungsmessungen

Zur Prognose der Einwirkungen von Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf das zukünftige Bauvorhaben sind die bei Schienenverkehr auftretenden Schwingungen messtechnisch registriert worden.

4.1 Messobjekt und Messpunkte

Der geplante Block 3 erstreckt sich von der Holstenstraße bzw. der Straße Am Bahnhof Richtung Süden bis zur Hamburger Straße und von der Parkpalette Richtung Osten bis zur geplanten Fußgängerzone.

Die geplante Bebauung befindet sich etwa parallel zur Hamburger Straße bis zur Fußgängerzone unmittelbar oberhalb des Trogbauwerkes mit dem AKN-Schienenverkehrsweg. Der Schienenverkehrsweg verläuft in diesem Bereich in einer Kurve.

Der Trog ist mit Bohrpfahlwänden sowie einem Deckel in Stahlbeton ausgeführt worden. Der AKN-Schienenverkehrsweg besteht aus einer zweigleisigen Bahnstrecke und einem dazwischen liegenden Abstellgleis. Die Weichenanlagen vom Abstellgleis zu den beiden durchgehenden Gleisen befinden sich unmittelbar hinter dem Bahnhof in Richtung Westen (Fahrtrichtung Neumünster) und enden etwa 40 m vor dem Block 3 in aktueller, 12 m Richtung Osten verschobener Lage.

Die Gleisanlagen sind mit Y-Stahlschwellen und Schotteroberbau ausgeführt. Es liegt keine elastische Lagerung der Bahnstrecke vor, da wegen der unterschiedlichen Achslasten der AKN-Personenzüge und der Railion-Güterzüge keine zweckmäßige Dimensionierung hätte vorgenommen werden können.

Die Messpunkte für die Schwingungsmessungen sind auf dem von der Geländeoberkannte zugänglichen Trog im Bereich der geplanten Überbauung mit Block 3 in zwei Messquerschnitten quer zur Bahnstrecke mit Schwingungsaufnehmern eingerichtet worden.

Im ersten Messquerschnitt sind zwei Messpunkte oberhalb der Trogwände mit vertikaler sowie mit horizontaler Komponente normal zu den Trogwänden und ein Messpunkt mit vertikaler Komponente in der Mitte der Trogdecke verwendet worden.

Im zweiten Messquerschnitt wurden zwei Messpunkte oberhalb der Trogwände mit vertikaler und ein Messpunkt ebenfalls mit vertikaler Komponente in der Mitte der Trogdecke verwendet.

Die Lage der beschriebenen Messpunkte ist dem Übersichtsplan des Konzeptes und in der Fotodokumentation im Band Mess- und Prognoseergebnisse in Abschnitt 1 dokumentiert. Die Zuordnung der Messkanäle ist in den Projekteingaben der Messungen dokumentiert und kann nachstehender Tabelle entnommen werden:

Messung B-Plan Nr. 65 Bahnhof Kaltenkirchen Block 3				
Messkanal	Messpunkt	Komponente	Bezeichnung	Beschreibung
1	MP1	Z (vertikal)	Trogwand	Messquerschnitt 1
2	MP1	X (horizontal)	Trogwand	Messquerschnitt 1
3	MP2	Z (vertikal)	Trogdecke	Messquerschnitt 1
4	MP3	Z (vertikal)	Trogwand	Messquerschnitt 1
5	MP3	X (horizontal)	Trogwand	Messquerschnitt 1
6	MP4	Z (vertikal)	Trogwand	Messquerschnitt 2
7	MP5	Z (vertikal)	Trogdecke	Messquerschnitt 2
8	MP6	Z (vertikal)	Trogwand	Messquerschnitt 2

Tabelle 1: Messpunkte und Kanalzuordnung

4.2 Verwendete Messgeräte

Für die Schwingungsmessungen ist entsprechend DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ ein Präzisions-Schwingungsmesser vom Typ SMK-801-C einschließlich elektrodynamischer Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer des Herstellers Dr. Kebe Scientific Instruments GmbH gemäß DIN 45669-A8HV315/1 Klasse 1 eingesetzt worden, welcher die gleichzeitige Messung von bis zu acht Kanälen ermöglicht; Band Mess- und Prognoseergebnisse Abschnitt 11.

Die Messsignale wurden über einen Analog-Digital-Wandler des Herstellers National Instruments von Typ PCI-6220 (Messungen 24.07.2006) bzw. PCI-6025 (Messungen 21.08.2006) mit einer Abtastrate von 2048 Hz mit dem Messpro-

programm Diadem 10.0 des Herstellers National Instruments erfasst und auf der Festplatte des Messcomputers VIA C3 (Messungen 24.07.2006) bzw. Dell D610 (Messungen 21.08.2006) gespeichert.

Das Messprogramm erlaubt die gleichzeitige Darstellung der Signalverläufe in den acht Messkanälen auf dem Farbdisplay des Messcomputers und kann für die optimale Verstärkungseinstellung des Schwingungsmessers und für das Monitoring verwendet werden.

Die Echtzeitdarstellung der Signalverläufe ermöglicht in Verbindung mit einer einstellbaren Pretriggerzeit insbesondere die sichere Erfassung von einmaligen Erschütterungsereignissen nach deren Erscheinen auf dem Registriergerät.

4.3 Ablauf der Messungen

Die Sensoren sind auf den im Einzelnen oben beschriebenen Messpunkten installiert worden. Der Messplatz und die Messapparatur wurden im Messfahrzeug aufgebaut und die Kabelverbindungen zu den jeweiligen Messpunkten verlegt. Vom Messplatz war eine Einsicht auf den Schienenverkehr ausserhalb des Troges in Richtung Neumünster gewährleistet, so dass die Messungen gezielt ausgelöst und die Fahrzeuge hinsichtlich Art, ggf. Fahrtrichtung und Gleis dokumentiert werden konnten. Die Züge in Richtung Neumünster konnten über die auf dem Monitor des Messcomputers sichtbaren Schwingungssignale ausgelöst werden.

Zur Festlegung des Zeitpunktes der Messungen wurden über die AKN Eisenbahn-AG die voraussichtlichen Güterzugfahrten angefragt. Die Durchführung der Schwingungsmessungen ist an den beiden Messtagen, dem 24.07.2006 und dem 21.08.2006 mit dem Aufbau am späten Nachmittag bzw. am frühen Abend begonnen und am späten Abend bis in der Nacht mit dem Abbau beendet worden. Neben den Erschütterungen aus AKN-Personenzugverkehr sowie dem Grundererschütterungspegel einschließlich Straßenverkehr konnten am zweiten Messtag in der Nacht zwei Güterzugvorbeifahrten messtechnisch registriert werden.

Zur Protokollierung der Ereignisse ist bei den Computeraufzeichnungen die Anfertigung handschriftlicher Messprotokolle insofern nicht erforderlich, da mit jedem Speichervorgang auf der Festplatte des Rechners sämtliche Geräteeinstellungen am Schwingungsmesser, einschließlich eventueller Übersteuerungen, zusammen mit den Projekteingaben (Messobjekt, Projektbeschreibung, Datum, Uhrzeit, Sensorposition, Lage der Messpunkte, Triggerart) abgespeichert werden.

Dennoch wurden zusätzlich manuell zu führende Protokollblätter eingerichtet, um hier für jede Messung Informationen über die Messereignisse und eventuell vorkommende Besonderheiten, z.B. Störungen wie Schritte, einzutragen. Während der Messungen sind sämtliche maßgeblichen Erschütterungseinwirkungen registriert worden. Die Messereignisse aus dem Messprotokoll sind für die einzelnen Messungen in der Ergebnistabelle im Band Messergebnisse in Abschnitt 2 und 3 dokumentiert. Mit Gleis 1 ist das Gleis zur Hamburger Straße und mit Gleis 2 das Gleis zur Straße Am Bahnhof bezeichnet worden.

5 Auswertung

Zur Auswertung der Messungen im Zeit- und Frequenzbereich, zur KB-Bewertung im Zeitbereich gemäß DIN 4150, DIN 45669 und DIN 45672 sowie zur Ermittlung der Terzschnellepegel mit digitalen Filtern gemäß DIN EN 61260 ist das Auswerteprogramm Diadem 10.0 des Herstellers National Instruments eingesetzt worden.

Sämtliche Messungen wurden mit einem Abgleich zum Messprotokoll im Zeitbereich hinsichtlich möglicher Störungen überprüft und für die bei den Fahrzeugvorbeifahrten auf den Messpunkten auftretenden Erschütterungen folgende Berechnungen durchgeführt:

- 1 Berechnung der maximalen Amplitude der bandbegrenzten (1 Hz bis 315 Hz) unbewerteten Schwinggeschwindigkeit v_{\max}
- 2 Berechnung der zugehörigen Spektren der Schnelle mittels FFT und Bestimmung der dominierenden Frequenzen

- 3 Berechnung der frequenzbewerteten Erschütterungssignale $KB(t)$ durch die Frequenzbewertung (Filterung) nach DIN 45669 Teil 1
- 4 Berechnung der Bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$ und der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} nach DIN 4150 Teil 2
- 5 Berechnung der Terzschnellepegel von 1 Hz bis 315 Hz mit als maximale (Max-Hold) und als energieäquivalente Pegel (Effektivwert, fast $\tau=125$ ms).

5.1 Tabellarische Darstellung

Die Ergebnisse für die Messungen der unter 5 beschriebenen Auswertung sind in einer Tabelle für die gemessenen maximalen Schwinggeschwindigkeiten und zugehörigen dominierenden Frequenzen zusammengefasst. Das zur jeweiligen Messung gehörige Ereignis ist ebenfalls in die Tabelle eingetragen.

Am Fuße der Tabelle ist eine statistische Auswertung für den Maximalwert mit der zugehörigen dominierenden Frequenz, den Minimalwert, den energetischen Mittelwert und die Standardabweichung angegeben. Die größten Werte der Schwinggeschwindigkeit einer Spalte sind zum besseren Auffinden zusätzlich fett gedruckt.

In gleicher Weise wie die maximalen Schwinggeschwindigkeiten sind die Werte der maximalen Bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} in einer Tabelle dargestellt. Die Bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} wird gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ zur Bewertung verwendet.

5.2 Darstellung im Zeit- und Frequenzbereich

Zur Veranschaulichung der registrierten Schwingungen sind ausgewählte Messungen repräsentativ für die Fahrzeugvorbeifahrten grafisch im Zeit- und Frequenzbereich dargestellt. Hierfür sind aus den in 5.1 beschriebenen Tabellen die Mes-

sungen mit den größten gemessenen Schwingungsamplituden in den Messkanälen sowie weitere Messungen ausgewählt worden.

Dabei sind auf einem Blatt von je acht Kanälen die Zeitverläufe und Spektren der unbewerteten Schwinggeschwindigkeit angeordnet. Die acht Signalspuren wurden untereinander angeordnet und in der Kopfleiste sind Projektangaben sowie die laufende Nummer der Messung enthalten.

Jede einzelne Signalspur der Schwinggeschwindigkeit enthält oben die Kanalbezeichnung, die Angabe des Messpunktes einschließlich der Informationen über die Position des Sensors und die Messrichtung (Z vertikal, X oder Y horizontal) sowie die maximale Schwingungsamplitude und den Zeitpunkt deren Auftretens.

In jeder Darstellung des Zeitverlaufs wurde der Maximalwert durch ein Quadrat gekennzeichnet, wobei der o.g. Zahlenwert oben rechts neben der Kanalbezeichnung diesen Maximalwert angibt.

Die zugehörigen Spektren rechts neben den Zeitverläufen wurden in gleicher Weise dargestellt wie die Zeitverläufe, wobei die maximale spektrale Amplitude durch ein Quadrat gekennzeichnet und die dominierende Frequenz oberhalb des Quadrates angegeben ist.

6 Prognose

Zur Durchführung von Prognosen werden derzeit lediglich Hinweise in der DIN/ISO 14837-1 „Erschütterungen durch unterirdische Schienenbahnen“ Teil 1 „Allgemeine Hinweise zu Prognosemodellen“ sowie Angaben zur grundsätzlichen Vorgehensweise in „Körperschall- und Erschütterungsschutz, Leitfaden für den Planer, Beweissicherung, Prognose, Beurteilung und Schutzmaßnahmen“ (berichtigte Ausgabe Februar 1999) der Deutschen Bahn AG gegeben.

Es wird nachfolgend die grundsätzliche Vorgehensweise gemäß des Leitfadens der Deutschen Bahn AG angewendet. Die Vorgehensweise beruht auf einem empirischen Prognosemodell, bei dem am zu untersuchenden Ort Schwingungs-

messungen angestellt und für die dynamischen Bauteileigenschaften des zukünftigen Gebäudes Übertragungsfunktionen angesetzt werden.

Die Prognose erfolgt ausgehend von den für jeden verwendeten Messpunkt energetisch gemittelten Terzschnellepegeln und unter Verwendung einer mittleren Übertragungsfunktion. Aufgrund der Streuung der gemessenen Terzschnellepegel und der aus dem Leitfaden der Deutschen Bahn bzw. dem Taschenbuch der Technischen Akustik¹ angesetzten mittleren Übertragungsfunktion entsprechen die Prognoseergebnisse einer durchschnittlichen Situation, die im konkreten Bauvorhaben nach oben und nach unten abweichen kann.

6.1 Emissionsspektren

Als Eingangsgröße für die Prognosen ist es üblich den Mittelwert von gemessenen Spektren zu verwenden.

Für die Prognose von Schwingungen wird von den maximalen Terzschnellepegeln ausgegangen, während für die Prognose des sekundären Luftschalls energieäquivalente Terzschnellepegel verwendet werden. Die Mittelung der Terzschnellepegel erfolgt energetisch für jeden Messpunkt und sofern vorhanden für jede Gruppe von Erschütterungsereignissen.

Die auf diese Weise ermittelten Terzschnellepegel sind im Band Mess- und Prognoseergebnisse in Abschnitt 4 einschließlich der Standardabweichung dargestellt. Für die Prognose wird ausschließlich der energetische Mittelwert verwendet.

Im vorliegenden Fall handelt es sich um die Erschütterungsereignisse der Vorbeifahrt von AKN-Personenzügen und durch Railion betriebene Güterzüge.

¹ Taschenbuch der Technischen Akustik, Hrsg. Müller, Möser, 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004

6.2 Übertragungsfunktionen

Ausgehend von den Emissionsspektren von den Messpunkten auf dem Trogdeckel werden Übertragungsfunktionen zur Beschreibung der Schwingungsübertragung vom Messpunkt auf die Stockwerksdecken, auf der die Erschütterungen auf die Menschen in dem zukünftigen Gebäude einwirken, angewendet.

Für die Beschreibung der Übertragung von Erschütterungen über die aufgehenden Stützen und Wände auf die Stockwerksdecken wird die mittlere Übertragungsfunktion aus dem Taschenbuch für Technische Akustik verwendet.

Darüber hinaus ist die Wirksamkeit einer elastischen Gebäudelagerung als Maßnahme zum Erschütterungsschutz untersucht worden. Eine elastische Gebäude Lagerung bedeutet die Aufstellung des Gebäudes oder eines Gebäudeteils auf elastischen Elementen und eine elastische Entkopplung aller Zu- und Ableitungen. Die Aufstellung eines Gebäudes auf elastische Elemente ist eine baulich aufwendige Maßnahme und stellt in vielen Fällen die einzige wirksame Möglichkeit dar, die Schwingungseinleitung deutlich zu vermindern.

Zur Ermittlung der im vorliegenden Fall beim Einsatz einer elastischen Gebäudelagerung als Maßnahme zum Erschütterungsschutz zu erwartenden Schwingungsamplituden sind ausgehend von dem Modell aus dem Leitfaden der DB AG Stahlfeder-Dämpfer-Elemente mit einer Abstimmfrequenz von 5 Hz und $D=0.125$ sowie Elastomer-Zwischenlagen mit einer sehr tiefen Abstimmfrequenz von 8 Hz und $D=0.07$ verwendet worden.

Die Übertragungsfunktionen sind im Band Mess- und Prognoseergebnisse in Abschnitt 6 dargestellt.

6.3 Prognose Erschütterungen

Die Beurteilung der auf Menschen einwirkenden Erschütterungen erfolgt auf Grundlage der Schwingungen von Stockwerksdecken, auf denen sich die Menschen aufhalten.

Bei der Übertragung der Erschütterungen von der Quelle auf die Stockwerksdecken weisen die dynamischen Deckeneigenschaften einen maßgeblichen Einfluss auf. Die dynamischen Deckeneigenschaften werden durch die geometrischen Abmaße (Spannweiten und Dicke), das Material (E-Modul Beton und Bewehrungsstahl, sowie deren Anteil) sowie den auftretenden Lasten bestimmt.

In dieser Untersuchung werden die möglichen Deckeneigenfrequenzen im Rahmen einer Parametervariation berücksichtigt, so dass eine Ermittlung der konkreten Deckeneigenfrequenzen für das Bauvorhaben zunächst nicht erforderlich ist.

Die Parametervariation für die Deckeneigenfrequenz erfolgt ausgehend von den Übertragungsfunktionen aus dem vorherigen Abschnitt.

Die Prognose der Fußbodenschwingungen erfolgt, indem die Emissionspegel auf die Übertragungsfunktionen angewendet werden. Ausgehend von den Emissionspegeln für die zu berücksichtigenden Emittentengruppen ergeben sich für jeden der berücksichtigten Messpunkte auf dem Trogdeckel als Ergebnis prognostizierte Terzschnellepegel.

Ein Vergleich der prognostizierten Erschütterungseinwirkungen mit den Anforderungen erfolgt gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ anhand der Maximalwertgröße maximale Bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ sowie der auf die Beurteilungszeit tags bzw. nachts bezogenen Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$.

Zur Ermittlung der maximalen Bewerteten Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ werden die prognostizierten Terz-Schnellespegel einer Frequenzbewertung unterzogen und über die Terzen von 1 Hz bis 80 Hz summiert.

Die auf die Beurteilungszeit tags oder nachts bezogene Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ wird für die Tageszeit 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr sowie die Nachtzeit von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr auf Grundlage der Ereignishäufigkeit tags bzw. nachts ermittelt.

Die Ergebnisse sind im Band Mess- und Prognoseergebnisse Abschnitt 5 in Diagrammen über die variierte Deckeneigenfrequenz dargestellt.

6.4 Prognose sekundärer Luftschall

Die Prognose des sekundären Luftschalls erfolgte ausgehend von den für Stockwerksdecken prognostizierten Terzschnellepegeln gemäß der aktuellen Veröffentlichung „Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr“¹ und ist eine verbesserte Vorgehensweise zu der aus „Körperschall- und Erschütterungsschutz, Leitfaden für den Planer, Beweissicherung, Prognose, Beurteilung und Schutzmaßnahmen“ (berichtigte Ausgabe Februar 1999) der Deutschen Bahn AG.

Hierzu wird eine Prognoseprozedur angewendet, die auf umfangreichen Untersuchungen mit Messergebnissen einer sehr großen Zahl von Messpunkten in Wohngebäuden, im wesentlichen Einzelhäuser und niedrige Mehrfamilienhäuser, bei Schienenverkehr mit S- und Fernbahnen beruht.

Als Eingangssignal der Prognose werden, anders als bei den Erschütterungen, energetisch gemittelte energieäquivalente Emissions-Terzschnellepegel verwendet.

Zur Prognose des sekundären Luftschalls gemäß der Einzalmethode aus o.g. Veröffentlichung werden die ermittelten Fußbodenschwingungen zur Berücksichtigung der geringen Hörempfindlichkeit des Menschen bei niedrigen Frequenzen mit der A-Kurve bewertet und der Summenpegel gebildet. Aus dem Summenpegel wird eine in Holzbalkendecken und Betondecken unterschiedene Formel angewendet um den maximalen Vorbeifahrtspegel des sekundären Luftschalls abzuschätzen. Zur Ermittlung des Summenpegels werden die Terzen von 25 Hz bis 100 Hz berücksichtigt.

Im vorliegenden Fall ist für die Beurteilung des sekundären Luftschalls aufgrund der begrenzten Zugverkehrshäufigkeit der maximale Vorbeifahrtspegel und nicht

¹ Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr, Said A., Grütz H.-P., Garburg R., Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Januar 2006

der Beurteilungspegel maßgeblich. Aus diesem Grund wird der Beurteilungspegel nicht weiter betrachtet.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt analog zu denen der Erschütterungseinwirkungen für den maximalen Luftschallpegel L_{AFmax} über die variierte Deckeneigenfrequenz. Die Ergebnisse sind im Band Mess- und Prognoseergebnisse Abschnitt 6 in Diagrammen über die variierte Deckeneigenfrequenz dargestellt.

7 Beurteilung der Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Zur Beurteilung der Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall auf die sich zukünftig in dem Bauvorhaben aufhaltenden Menschen werden die Prognoseergebnisse herangezogen.

7.1 Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden

7.1.1 Wahrnehmung

Die nachfolgende Beschreibung der Ergebnisse bezieht sich auf die bei Erschütterungsereignissen auf den zukünftigen Decken als Maximalwert zu erwartenden Erschütterungen in Form der maximalen Bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} . Diese Größe wird zur Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden verwendet.

Zur Erläuterung der maximalen Bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} ist in der DIN 4150 Teil 2 (Dezember 1992) eine Beschreibung des Zusammenhanges zwischen der Bewerteten Schwingstärke und der subjektiven Wahrnehmung angegeben:

Bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}	Beschreibung der subjektiven Wahrnehmung
kleiner 0.1	nicht spürbar
0.1 bis 0.4	gerade spürbar
0.4 bis 1.6	gut spürbar
1.6 bis 6.3	stark spürbar
6.3 bis größer 100	sehr stark spürbar

Tabelle 1: Schwingungswahrnehmung

In der aktuellen Ausgabe der DIN 4150 Teil 2 (Juni 1999) wird hierzu ausgeführt:

„Einen Hinweis auf die Fühlbarkeit der Erschütterungseinwirkung gibt die Größe KB_{Fmax} . Die Fühlschwelle liegt bei den meisten Menschen im Bereich zwischen $KB = 0.1$ und $KB = 0.2$. In der Umgebungssituation „Wohnung“ werden bereits gerade spürbare Erschütterungen als störend empfunden. Erschütterungseinwirkungen um $KB = 0.3$ werden beim ruhigen Aufenthalt in Wohnungen überwiegend bereits als gut spürbar und entsprechend stark störend wahrgenommen.“

7.1.2 Anforderungen

Für die Beurteilung, ob die bei Erschütterungsereignissen auftretenden Gebäudeerschütterungen für die sich in dem zukünftigen Gebäude aufhaltenden Menschen eine Belästigung darstellen, sind entsprechend DIN 4150 Teil 2 die prognostizierten maximalen Bewerteten Schwingstärken KB_{Fmax} heranzuziehen, welche während der einzelnen Passagen als Taktmaximalwert KB_{FTi} im ungünstigsten Fall auf den Gebäudedecken auftreten können.

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 $KB_{F_{max}}$ -Werte kleiner oder gleich dem unteren Anhaltswert A_u der Norm sind. Die Anforderungen der Norm sind nicht eingehalten, sofern der obere Anhaltswert A_o überschritten wird. Liegen die gemessenen $KB_{F_{max}}$ -Werte zwischen den Anhaltswerten A_u und A_o , so ist zusätzlich eine speziell gemittelte Beurteilungsgröße, die sogenannte Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$, zu ermitteln und mit 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 also nicht nur von der gegebenen oder geplanten Nutzung des Gebäudes selbst ab. Die Einordnung von Gebäuden wird gemäß der geltenden DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 vorgenommen:

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.

Tabelle 2: Anforderungen DIN 4150 Teil 2

Darüber hinaus gelten quellenspezifische Regelungen für selten auftretende Erschütterungen, Erschütterungen durch Straßenverkehr, Schienenverkehr sowie Baumaßnahmen.

„Für den Schienenverkehr hat der (obere) Anhaltswert A_o nachts nicht die Bedeutung, daß bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne KB_{FT} -Werte

- bei oberirdischen Strecken gebietsunabhängig über $A_o=0.6$,

- bei unterirdischen Strecken in Gebieten der Zeilen 3 bis 5 nach Tabelle 1 über $A_o=0.3$,

so ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit (z.B. Flachstellen an Rädern) zu suchen und diese möglichst rasch zu beheben.“

Die Anforderungen der Norm gelten für Wohnungen und vergleichbar genutzte Räume. Für hochwertige Wohnungen und hochwertige Büros wird empfohlen, die Anforderungen der Zeile 4 der Norm: „Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2)“ anzustreben.

Die Einstufung sollte im Einklang mit den schalltechnischen Anforderungen stehen, da bei einem hohen Schutz von direktem Schall oder Geräuschen aus dem Gebäude, wie Installationsgeräusche oder Trittschall andere Einwirkungen, wie Erschütterungen und sekundärer Luftschall besonders gut wahrzunehmen sind.

Sollten vom Bauherrn oder Nutzer andere als die o.g. Anforderungen an den Erschütterungsschutz gewünscht werden, so sind diese, abweichend von dem weiteren Vorgehen im Gutachten, anzumelden und zu berücksichtigen.

7.1.3 Vergleich der Ergebnisse mit den Anforderungen

Zum Vergleich der Prognoseergebnisse mit den Anforderungen der DIN 4150 Teil 2 werden die auf den Stockwerksdecken zu erwartenden Werte der maximalen Bewerteten Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ mit dem Anhaltswert A_o und Beurteilungsschwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ mit dem Anhaltswert A_r verglichen. Die Anforderungen der Norm sind eingehalten, wenn beide Anhaltswerte, A_o und A_r , unterschritten werden.

Der Vergleich erfolgt in der Anforderungstabelle, wobei die Einhaltung mit ● und die Überschreitung mit ○ gekennzeichnet ist. In Fällen, in denen die Einhaltung bzw. Überschreitung nur für bestimmte Deckeneigenfrequenzen gilt, sind diese angegeben. Darüber hinaus ist für praktische Fälle, ohne außergewöhnlich hohe oder niedrige Deckeneigenfrequenzen f_0 , Deckeneigenfrequenzen zwischen $12.5 \text{ Hz} \leq f_0 \leq 40 \text{ Hz}$ -Terz, die Einhaltung mit grün und die Überschreitung mit rot gekennzeichnet.

Ein Vergleich der Prognoseergebnisse mit dem Anhaltswert A_u ist lediglich bei geringen Werten der maximalen Bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} vorgesehen und erfolgt im vorliegenden Fall nicht, da die Einhaltung des Anhaltswert A_u nicht zwingend erforderlich ist.

Vergleich der Ergebnisse mit den Anforderungen Emittent: AKN-Personenzüge • Einhaltung, ○ Überschreitung für Deckeneigenfrequenzbereich f_0							
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 ● $f_0 \leq 50$ Hz	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 ● $f_0 \leq 63$ Hz	0.15	0.3 ● $f_0 \leq 50$ Hz	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 ● $f_0 \leq 63$ Hz	0.1	0.2 ● $f_0 \leq 40$ Hz	0.05 ● $f_0 \leq 50$ Hz
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0.1	3 ●	0.05 ● $f_0 \leq 50$ Hz	0.1	0.15 ● $f_0 \leq 40$ Hz	0.05 ● $f_0 \leq 50$ Hz

Kennzeichnung: grün (rot): Einhaltung (Überschreitung) der Anforderung für allgemeine praktische Fälle, für $12.5 \text{ Hz} < f_0, \text{Terz} < 40 \text{ Hz}$ ohne außergewöhnlich hohe oder niedrige Deckeneigenfrequenzen

Tabelle 3: Vergleich Prognose AKN-Personenzüge mit den Anforderungen

Vergleich der Ergebnisse mit den Anforderungen Emittent: Güterzüge • Einhaltung, ○ Überschreitung für Deckeneigenfrequenzbereich f_0							
Zeile	Einwirkungsort	Tags ¹			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 ● $f_0 \leq$ 31 Hz	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 ● $f_0 = 20 -$ 40 Hz	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 ● $f_0 = 25 -$ 31 Hz	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 ○ $f_0 \geq$ 12 Hz	0.05 ● $f_0 \leq$ 40 Hz
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 ● $f_0 \leq$ 40 Hz

Kennzeichnung: grün (rot): Einhaltung (Überschreitung) der Anforderung für allgemeine praktische Fälle, d.h. für $12.5 \text{ Hz} < f_{0, \text{Terz}} < 40 \text{ Hz}$ ohne außergewöhnlich hohe oder niedrige Deckeneigenfrequenzen

Tabelle 4: Vergleich Prognose Güterzüge mit den Anforderungen

¹ Tagsüber findet auf dem Streckenabschnitt kein regulärer Güterzugverkehr statt.

Im vorliegenden Fall ist eine Betrachtung der Summe aus beiden Emittenten nicht erforderlich, da diese zu keinen abweichenden Ergebnissen führen würde.

Für die im Block 3 geplante Nutzung mit Wohnen in einem Seniorenheim ist gemäß DIN 4150 Teil 2 die Zeile 3 für Kerngebiet/Mischgebiet/Dorfgebiet oder Zeile 4 für Wohngebiete/Kleinsiedlungsgebiet einzuhalten.

Die über die Tabelle 2 der DIN 4150 Teil 2 angegebene Sonderregelung wird nicht angewendet, da die dort noch zulässigen Erschütterungseinwirkungen einzelner Zugvorbeifahrten während der Nachtzeit Aufwachreaktionen führen können, eine erhebliche Belästigung bedeuten würde und diese Situation für einen Neubau bzw. eine Festsetzung in einem Bebauungsplan als nicht vereinbar bewertet wird.

Der Vergleich der Prognoseergebnissen mit den Anforderungen Tabelle 2 Zeile 3 und 4 zeigt, dass ohne Maßnahmen zum Erschütterungsschutz ausgehend von den Erschütterungseinwirkungen bei AKN-Personenzugverkehr die Einhaltung der Anforderungen zu erwarten ist, während bei Güterzugverkehr eine Einhaltung nicht zu erwarten ist.

Ausgehend von den Prognosen für Güterzugverkehr sind für praktische Fälle mit Deckeneigenfrequenzen $12.5 \text{ Hz} \leq f_{0, \text{Terz}} \leq 40 \text{ Hz}$ maximale Bewertete Schwingstärken $KB_{F_{\text{max}}}$ von 0.4 bis 0.6 zu erwarten.

Es handelt sich damit um Schwingungseinwirkungen, welche oberhalb von $KB_{F_{\text{max}}}=0.3$ liegen und gemäß dem Kommentar der DIN 4150 bei ruhigem Aufenthalt in Wohnungen bereits als gut spürbar und entsprechend stark störend beschrieben werden.

Weiter zeigen die Prognoseergebnisse, dass eine Einhaltung der erschütterungstechnischen Anforderungen gemäß Zeile 3 für Kerngebiet/Mischgebiet/Dorfgebiet unter Einsatz von Maßnahmen zur Verminderung der Erschütterungseinwirkungen mit einer elastischen Gebäudelagerung auf Stahlfeder-Dämpfer-Elementen oder Elastomer-Elementen möglich wäre.

7.2 Sekundärer Luftschall

7.2.1 Anforderungen

Zur Bewertung von sekundärem Luftschall liegen keine expliziten Anforderungen vor. In der Praxis werden in der Regel die Anforderungen gemäß TA Lärm Abschnitt 6.2: Immissionsrichtwerte für maßgebliche Immissionsorte angesetzt.

Die gemäß TA-Lärm angesetzten Anforderungen sind für Wohnnutzung als Mindestanforderungen zu verstehen. Ebenso wie bei den Einwirkungen aus Erschütterungen sind zur Festlegung der Kriterien bei der Einwirkung von sekundärem Luftschall die Anforderungen an den Schutz vor direktem Luftschall oder wohnfremde Geräuschen wie Installationsgeräusche zu beachten.

Aus diesem Grund werden bei neuen Bauvorhaben für Büros zum Teil niedrigere und für Wohnungen zum Teil höhere Anforderungen als gemäß TA-Lärm Abschnitt 6.2 angestrebt. Der Verweis auf andere Regelwerke ist unter Abschnitt 3 angegeben.

Für den vorliegenden Fall werden zunächst die Anforderungen gemäß TA-Lärm Abschnitt 6.2 betrachtet. Sollten für das vorliegende Bauvorhaben besondere, höhere Anforderungen an den Schutz den sekundären Luftschall angestrebt werden, so ist dies vom Bauherrn oder den Planungsbeteiligten, abweichend von dem weiteren Vorgehen im Gutachten, anzumelden und zu berücksichtigen.

In der TA-Lärm wird ein auf die Beurteilungszeit bezogener Immissionsrichtwert und ein einzuhaltender maximaler Luftschallpegel angegeben.

Gemäß TA-Lärm beträgt der Immissionsrichtwert bei Körperschallübertragungen für betriebsfremde schutzbedürftige Räume (Wohnungen) unabhängig von der Lage des Gebäudes tags 35 dB(A) und nachts 25 dB(A). Die bei Einzelereignissen, wie im vorliegenden Fall, auftretenden Geräuschspitzen dürfen die Immissionsrichtwerte um nicht mehr als 10 dB(A) überschreiten.

Die auf die Beurteilungszeiten bezogenen Immissionsrichtwerte von tags 35 dB(A) und nachts 25 dB(A) sind wegen der begrenzten Zughäufigkeit nicht maßgeblich und werden daher nicht weiter betrachtet.

Daher sind als Anforderungen, der bei Einzelereignissen auftretende Geräuschspitzen, also für den maximalen sekundären Luftschallpegel während der Vorbeifahrt, tags 45 dB(A) und nachts 35 dB(A) einzuhalten.

Darüber hinaus können Sekundäreffekte wie Klappern von Gegenständen auftreten, zur Beurteilung dieser Effekte liegen keine Anforderungen vor.

7.2.2 Vergleich der Ergebnisse mit den Anforderungen

Aufgrund der im vorliegenden Fall vorliegenden Verkehrshäufigkeit des AKN-Personen- und Güterzugverkehrs sind die bei Einzelereignissen auftretenden, maximalen sekundären Luftschallpegel für die Beurteilung maßgeblich. Eine Darstellung und Betrachtung des Beurteilungspegels bzw. des auf die Beurteilungszeit bezogenen Immissionsrichtwertes erfolgt daher nicht.

Zum Vergleich der Prognoseergebnisse der maximalen sekundären Luftschallpegel mit dem einzuhaltenden maximalen Luftschallpegel werden die Erschütterungsereignisse bzw. Quellen Personenzüge und Güterzüge getrennt betrachtet.

- **AKN-Personenzugverkehr**

Bei AKN-Personenzugverkehr werden die Anforderungen der TA-Lärm tags für Deckeneigenfrequenzen für bis $f_{0, \text{Terz}}=63$ Hz und nachts gerade für Deckeneigenfrequenzen für bis $f_{0, \text{Terz}}=31.5$ Hz erfüllt.

In Abhängigkeit der Deckeneigenfrequenz sind bis $f_{0, \text{Terz}}=31.5$ Hz bei AKN-Personenzugverkehr sekundäre maximale Luftschallpegel zwischen 32 dB(A) und 35 dB(A) zu erwarten.

- **Güterzugverkehr**

Bei Güterzugverkehr werden die Anforderungen der TA-Lärm tags für Deckeneigenfrequenzen bis $f_{0, \text{Terz}}=40$ Hz erfüllt, während die Anforderungen nachts für keine Deckeneigenfrequenz zu erwarten ist.

In Abhängigkeit der Deckeneigenfrequenz sind bis $f_{0, \text{Terz}}=40$ Hz bei Güterzugverkehr sekundäre maximale Luftschallpegel zwischen 36 dB(A) und 43 dB(A) zu erwarten.

Als Vergleich zu den genannten prognostizierten maximalen Luftschallpegeln wird z.B. in der VDI 4100 in Wohnhäusern bei Geräuschen aus Wasserinstalltionen nachts ein maximaler Luftschallpegel als Mindestanforderung von 30 dB(A) sowie als erhöhte Anforderung von 27 dB(A) bzw. 24 dB(A) vorgeschlagen.

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zur Prognose der zukünftig auf die Menschen im Block 3 in der Ortsmitte Kaltenkirchen einwirkenden Erschütterungen und sekundären Luftschall sind Schwingungsmessungen bei AKN-Personen- und Güterzugverkehr durchgeführt worden.

Ausgehend von den Schwingungsmessungen sind Prognosen zur Ermittlung von Deckenschwingungen angestellt worden. Die Prognosen sind auf Grundlage der Empfehlungen des Leitfadens der Deutschen Bahn AG durchgeführt worden. Dabei werden die möglichen dynamischen Eigenschaften des zukünftigen Gebäudes mit einer Parametervariation möglicher Deckeneigenfrequenzen berücksichtigt.

Aus den prognostizierten Deckenschwingungen werden die Größen zur Beurteilung gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ ermittelt. In einem weiteren Schritt wird die aus den Deckenschwingungen resultierende Schallabstrahlung als maximaler Luftschallpegel zur Beurteilung gemäß TA-Lärm Abschnitt 6.2 prognostiziert.

Aufgrund der stetig wachsenden Sensibilität der Menschen und der einer Erwartungshaltung mit hohem Schutz vor direktem Luftschall ist die Störung der Bewohner nur auszuschließen, sofern keine Erschütterungen bzw. kein sekundärer Luftschall wahrnehmbar ist.

Die Anforderungen ergeben sich bei Wohnnutzung für die Erschütterungen aus der DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 für weder vorwiegend Wohnen noch vorwiegend Gewerbe (Kerngebiet/Mischgebiet/Dorfgebiet) bzw. Zeile 4 für Wohngebiete (Wohngebiet/Kleinsiedlungsgebiet) und für den sekundären Luftschall aus der TA-Lärm für schutzbedürftige Räume. Für die Nachtzeit gelten besonders hohe Anforderungen.

Eine Überschreitung der Anforderungen gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 für weder vorwiegend Wohnen noch vorwiegend Gewerbe (Kerngebiet/Mischgebiet/Dorfgebiet) bzw. der TA-Lärm sollte unbedingt verhindert werden, da sich hier für Wohnnutzung die Schwelle zu erheblichen Belästigungen befindet. Die Anforderungen zum Schutz vor Erschütterungen gemäß DIN 4150 und sekundärem Luftschall gemäß TA-Lärm entsprechen dem Stand der Technik, sind in dieser Form seit längerer Zeit gültig sowie Grundlage von Entscheidungen in Planfeststellungsverfahren und gerichtlichen Auseinandersetzungen.

Ein Vergleich der Prognoseergebnisse mit den Anforderungen zeigt, dass bei ausschließlicher Betrachtung des AKN-Personenzugverkehrs unter der Voraussetzung von Deckeneigenfrequenzen bis 31.5 Hz eine Einhaltung der Anforderungen für den Schutz vor Erschütterungen und sekundärem Luftschall für die Wohnnutzung tags und nachts ohne weitere Maßnahmen zu erwarten ist. Gleichwohl wären die Zugvorbeifahrten in Abhängigkeit der tatsächlichen dynamischen Bauteileigenschaften gerade eben spürbar und deutlich hörbar.

Im Gegensatz dazu ist für den zweimalig nachts die Strecke passierenden Güterzugverkehr eine Einhaltung der Anforderungen lediglich mit einer elastischen Gebäudelagerung auf Stahlfeder-Dämpfer-Elementen oder Elastomer-Elementen zu erwarten; ohne diese Maßnahmen ergeben die Prognosen deutliche Überschreitungen der für Wohnnutzung nachts einzuhaltenden Werte.

Aufgrund der geringeren Anforderungen für reine Gewerbe- und Büronutzung und der ausschließlichen Nutzung tagsüber ist eine Einhaltung dieser Anforderungen auch bei Güterzugverkehr ohne Maßnahmen zu erwarten. Erschütterungsemp-

findliche Geräte mit besonderen Anforderungen an den Aufstellort sind i.a. nicht ohne weiteres zu betreiben und im Einzelfall zu betrachten.

Zur Auslegung des Schallschutzes durch den betreffenden Bauakustiker ist beim Trittschallschutz im Falle des Einsatzes eines schwimmendem Estrichs eine Abstimmfrequenz oberhalb des Anregungsspektrums seitens des Schienenverkehrs, oberhalb von 80 Hz, zu erzielen. Wegen der hohen Abstimmfrequenz des schwimmenden Estrichs ist zum Erreichen der Schallschutzziele ggf. eine größere Deckendicke erforderlich.

Die Ergebnisse sind nicht ohne weiteres auf benachbarte Bauvorhaben zu übertragen, da Fahrgeschwindigkeiten, Kurvenradien und ggf. Weichenüberfahrten einen maßgeblichen Einfluss auf die Erschütterungsemissionen aufweisen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für das Bauvorhaben Block 3 als Überbauung des Trogbauwerkes der AKN-Bahnstrecke eine reine Büro- und Gewerbenutzung tagsüber ohne Maßnahmen zum Erschütterungsschutz unter Einhaltung der Anforderungen möglich wäre. Für eine Wohnnutzung wäre zur Einhaltung der hohen Anforderungen für die Nachtzeit eine elastische Gebäudelagerung auf Stahlfeder-Dämpfer-Elementen oder Elastomer-Elementen erforderlich.