



Schwingungstechnik und
Erschütterungen im
Bauwesen

baudyn.de

Messung
Berechnung
Beratung
Gutachten

Gutachten

Projekt 2015320
Inhalt AKN-Strecke A1 / S21 Schleswig-Holstein
Elektrifizierung / Zweigleisiger Ausbau
Dokument 2016-05-20-2015320-N2-5-GA
B5 Gutachten Schwingungen / Erschütterung PFA 2
B5.1 Bericht Erschütterungen
Auftraggeber Sellhorn Ingenieurgesellschaft mbH
Teilfeld 5
20459 Hamburg
Für AKN Eisenbahn AG
Rudolf-Diesel-Straße 2
24568 Kaltenkirchen
Anmerkung Eine auszugsweise Zitierung ist mit uns abzustimmen
Das Gutachten umfasst 48 Seiten
Datum 20.05.2016

baudyn GmbH



Dipl.-Ing. Marc Oliver Rosenquist
- Geschäftsführer baudyn GmbH -

baudyn GmbH
Baudynamik &
Strukturmonitoring

Mühlenkamp 43
D-22303 Hamburg
Fon +49 40 460 911 38
Fax +49 40 460 911 39

www.baudyn.de

Geschäftsführer
Dipl.-Ing. M.O. Rosenquist
Dr.-Ing. K. Holtzendorff

Sitz der Gesellschaft
Hamburg HRB 110933

Inhaltsverzeichnis

1 Vorhaben und Veranlassung.....	3
2 Planungsunterlagen.....	5
3 Regelwerke.....	5
3.1 Einwirkungen aus Erschütterungen.....	5
3.1.1 Menschen in Gebäuden.....	7
3.1.2 Bauliche Anlagen.....	10
3.1.3 Technische Anlagen.....	15
3.2 Einwirkungen aus sekundärem Luftschall.....	16
4 Messtechnische Untersuchungen.....	17
4.1 Untersuchungsgebiet.....	17
4.2 Messobjekte.....	20
4.2.1 Bahnstraße 2.....	20
4.2.2 Schulweg 1, Quickborn.....	20
4.2.3 Hamburger Weg 10a, Ellerau.....	21
4.2.4 Hamburger Weg 26b, Ellerau.....	21
4.2.5 Hamburger Weg 34, Ellerau.....	21
4.2.6 Am Felde 70, Ellerau.....	22
4.3 Schwingungsmessungen.....	22
4.4 Auswertung und Dokumentation.....	22
5 Prognose.....	23
5.1 Vorgehensweise.....	23
5.2 Eingangsdaten.....	25
5.2.1 Emissionsspektren.....	25
5.2.2 Transmission im Boden.....	28
5.2.3 Transmission Gelände-Stockwerksdecke.....	29
5.3 Durchführung der Prognose.....	29
6 Ergebnisse.....	31
6.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden.....	31
6.1.1 Bahnstraße 2, Quickborn.....	32
6.1.2 Schulweg 1, Ellerau.....	34
6.1.3 Hamburger Weg 10a, Ellerau.....	36
6.1.4 Hamburger Weg 26b, Ellerau.....	38
6.1.5 Hamburger Weg 34, Ellerau.....	40
6.1.6 Am Felde 70, Ellerau.....	42
6.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen.....	45
7 Zusammenfassende Bewertung.....	46

1 Vorhaben und Veranlassung

Es ist eine Elektrifizierung sowie in Abschnitten ein zweigleisiger Ausbau der bestehenden Bahnstrecke AKN A1 Eidelstedt – Kaltenkirchen geplant. Derzeit verkehren diesel-elektrische Triebwagen VTA sowie diesel-mechanische Triebwagen Lint 54. Zukünftig sollen elektrisch betriebene S-Bahnwagen der Baureihe 490 als Zweistromfahrzeug verkehren.

Trägerin des Vorhabens ist die AKN Eisenbahn AG (AKN) im Auftrag der Bundesländer Hamburg und Schleswig-Holstein. Im Unterauftrag der Sellhorn Ingenieurgesellschaft mbH wurde die baudyn GmbH mit den erschütterungstechnischen Untersuchungen beauftragt. Die Ergebnisse der erschütterungstechnischen Untersuchungen werden als Anlage B5 Gutachten Schwingungen / Erschütterung, B5.1 Bericht Erschütterungen Bestandteil der Antragsunterlagen erstellt.

Das Vorhaben umfasst eine Elektrifizierung beginnend mit einem Übergangsbereich im Haltepunkt Eidelstedt mit einer Stromschiene und einer anschließenden Oberleitung sowie einen Ausbau von derzeit bestehenden eingleisigen Streckenbereiche auf zwei Gleise.

Die Gesamtmaßnahme wird in zwei Bereiche unterteilt:

- Planfeststellungsabschnitt 1 – PFA 1:
Hamburg Eidelstedt – Landesgrenze Hamburg/Schleswig-Holstein,
- Planfeststellungsabschnitt 2 – PFA 2:
Landesgrenze Hamburg/Schleswig-Holstein – Kaltenkirchen.

In diesem Gutachten wird der Planfeststellungsabschnitt 2 – PFA 2 betrachtet.

Im Rahmen der erschütterungstechnischen Untersuchung werden die Einwirkungen von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr auf Menschen und auf bauliche Anlagen betrachtet.

Zu den Schienenverkehrserschütterungen wurden Schwingungsmessungen in repräsentativen Wohngebäuden an der vorhandenen Bahnstrecke vorgenommen und für eine Ermittlung der derzeitigen Immissionen und für eine Prognose der zukünftigen Immissionen verwendet.

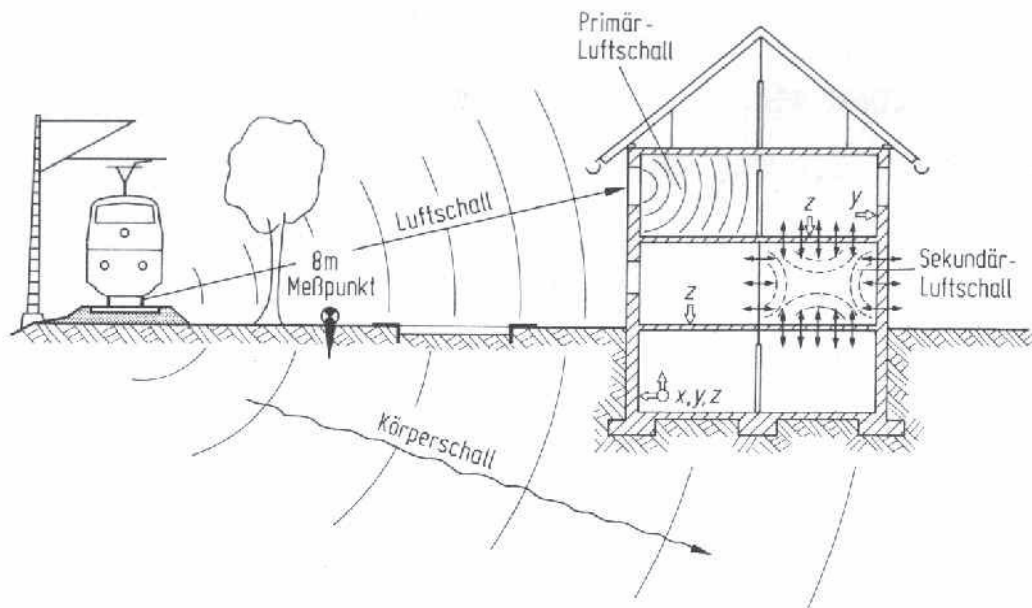


Abbildung 1: Erschütterungsübertragung Bahnstrecke – Gebäude (Taschenbuch der Technischen Akustik)

Bei den Erschütterungen handelt es sich um die in das Gebäude eingeleiteten und über den Fußboden auf den menschlichen Körper übertragenen, spürbaren mechanischen Schwingungen. Zusätzlich wird ausgehend von den Gebäudeschwingungen, also den Schwingungen der den betreffenden Raum begrenzenden Bauteile (Fußboden, Wände, Fassade, Decke), tieffrequenter hörbarer Luftschall abgestrahlt. Dieser so genannte strukturinduzierte sekundäre Luftschall (engl. structure born noise) ist zusätzlich zu den Erschütterungen als weitere Einwirkung auf den Menschen in Gebäuden zu bewerten.

Die Immissionen aus primärem Luftschall, welche unmittelbar am Schienenfahrzeug und Fahrweg verursacht werden, sind nicht Gegenstand dieser Untersuchungen und gesondert durch einen Fachgutachter Akustik und Schall in schalltechnischen Untersuchungen zu betrachten.

2 Planungsunterlagen

Von dem Auftraggeber sind für die erschütterungstechnische Untersuchung Übersichtspläne, Lagepläne, Angaben über den Zugverkehr einschließlich Zugverkehrshäufigkeiten zur Verfügung gestellt und zur Durchführung der Untersuchungen verwendet worden.

Die Bodeneigenschaften haben einen Einfluss auf die Wechselwirkung zwischen Schienenfahrweg und Schienenfahrzeug und damit auf die Erschütterungsemissionen, auf die im Boden stattfindende Ausbreitung von Erschütterungen und auf die Übertragung vom Boden in das betreffende Gebäude. Im vorliegenden Fall konzentrieren sich die Untersuchungsgebiete auf den Streckenabschnitt mit einem zweigleisigen Ausbau in denen Schwingungsmessungen bei Schienenverkehr mit Messpunkten im Gelände und in vorhandenen Wohngebäuden vorgenommen wurden und auf diese Weise die Einflüsse des Bodens messtechnisch erfasst wurden und hierüber keine weitergehenden Annahmen getroffen werden müssen.

3 Regelwerke

Die bei Betrieb der Bahnstrecke auftretenden Einwirkungen sind in Erschütterungen und sekundären Luftschall zu unterscheiden.

3.1 Einwirkungen aus Erschütterungen

Auf die grundsätzliche Fragestellung der Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen wird in der VDI-Richtlinie 2038 „Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik“¹ umfassend eingegangen und auf die unterschiedlichen, auch internationalen Richtlinien in Hinblick auf die Einwirkung von Schwingungen auf Menschen, bauliche und technische Anlagen verwiesen. Diese übergeordnete Richtlinie zur Baudynamik ist Ausgangspunkt für die

¹ Blatt 1 Grundlagen – Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen (Juni 2012), Blatt 2 Schwingungen und Erschütterungen – Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung (Januar 2013), Blatt 3 Sekundärer Luftschall – Grundlagen, Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung (November 2013)

einzelnen in der Erschütterungstechnischen Untersuchung verwiesenen Regelwerke.

Zur Konkretisierung der Ziele im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) wurde vom Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) die „Erschütterungs-Leitlinie“ beschlossen (Mai 2000) und ist zur Ermittlung und Beurteilung, ob Erschütterungen schädlich oder belästigend sind, heranzuziehen. Die „Erschütterungs-Leitlinie“ umfasst die Vorgehensweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen für genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen einschließlich Baustellen.

In der vorliegenden Untersuchung ist die DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“¹ 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 quellenspezifische Regelungen für Schienenverkehrserschütterungen enthalten und zur Beurteilung von Schienenverkehrserschütterungen gültig.

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 infolge von Schienenverkehr werden vom Emissionsort der Bahnstrecke über den Boden und über die Gebäudegründung (Fundamente, Sohle, Pfähle) in das Gebäude übertragen. Von der Gebäudegründung verläuft die Übertragung weiter über Stützen und Wände bis auf die Stockwerksdecken, von denen die Erschütterungen auf die Menschen einwirken.

Bei der Übertragung findet im Boden mit der Ausbreitung in den so genannten Bodenhalbraum eine Verteilung der Energie in den Raum und damit eine Verminderung der Erschütterungsamplitude mit der Entfernung von der Quelle statt.

¹ DIN 4150 Teil 1 Vorermittlung von Schwingungsgrößen (Juni 2001), Teil 2 Einwirkung auf Menschen in Gebäuden (Juni 1999), Teil 3 Einwirkung auf bauliche Anlagen (Februar 1999)

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

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

3.1.1 Menschen in Gebäuden

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 eine maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ als Maximalwertkriterium und eine Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ als Mittelwertkriterium verwendet.

Zur Beurteilung, ob die auftretenden Gebäudeerschütterungen für die sich dort aufhaltenden Menschen eine Belästigung darstellen, ist entsprechend DIN 4150 Teil 2 die gemessene maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} auf der Fußbo-denebene, auf der sich die Menschen aufhalten, heranzuziehen. Bei der Ermittlung der bewerteten Schwingstärke treten gemäß DIN 4150 Teil 2 erfahrungsbedingt messtechnisch bedingte Unsicherheiten von bis etwa 15 % auf. Diese Unsicherheiten sind zunächst nicht in den angegebenen Werten berücksichtigt.

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, sofern 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 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 1: DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Die Anforderungen der Norm gelten für Wohnungen und vergleichbar genutzte Räume mit Anhaltswerten für tags (6-22 Uhr) und für nachts (22-6 Uhr).

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

In der DIN 4150 Teil 2 werden in Abschnitt 6.5.3 quellenspezifische Regelungen zu Erschütterungen durch Schienenverkehr angegeben. Gemäß Abschnitt 6.5.3.5 wird dem oberen Anhaltswert A_o nachts nicht die Bedeutung gegeben, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm nicht eingehalten wären. Liegen jedoch bei oberirdischem Strecken gebietsunabhängig einzelne Er-

erschütterungsereignisse oberhalb eines Wertes von $KB_{Fmax} = 0.6$ vor, ist nach der Ursache bei der entsprechenden Zugeinheit zu forschen (z.B. Flachstellen).

Bei dem Ausbau bestehender Bahnstrecken ist im Fall einer Überschreitung der Anhaltswerte gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 die Vorbelastung durch Erschütterungen gemäß der geltenden Rechtsprechung schutzmindernd zu berücksichtigen. In Untersuchungen zur Wahrnehmung von Erschütterungen hat sich herausgestellt, dass eine Erhöhung der Häufigkeit der maßgeblichen Erschütterungsereignisse ab 25 % vom Menschen auch als eine Erhöhung in der Wahrnehmung der Erschütterungen differenzierbar ist. Aus diesem Grund werden bei Prognoseergebnissen Veränderungen der Erschütterungseinwirkungen um mehr als 25 % als eine wesentliche Erhöhung bewertet. Diese Bewertung ist unabhängig von der Höhe der Vorbelastung und wird auf die Beurteilungs-Schwingstärke angewendet.

Diese Vorgehensweise entspricht der aktuellen Rechtsprechung und wurde vom Bundesverwaltungsgericht für Planfeststellungsverfahren von oberirdischen Bahnstrecken bestätigt (BVerwG, Az 7 A 14/09, Urteil vom 21.12.2010).

3.1.2 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 „Erschütterungen, Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke“ zurückgegriffen, welche insbesondere im Hinblick auf die Einwirkungsdauer eine differenzierte Vorgehensweise ermöglicht. 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 3¹.

Im Weiteren wird die Vorgehensweise gemäß der DIN 4150 beschrieben.

¹ Prof. Wolfgang Haupt, 2008, Einwirkung von Erschütterungen auf Bauwerke, 8. Symposium Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessungen, EMPA 2008

Zur Vermeidung von Schäden werden Anforderungen in der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 3 „Einwirkung auf bauliche Anlagen“ mit Anhaltswerten der Schwinggeschwindigkeit für direkte Erschütterungseinwirkungen 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 Norm 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.“

Infolge von Erschütterungseinwirkungen kann es auch bei Einhaltung der Anhaltswerte der Norm, insbesondere bei spröden Materialien oder zwischen tragenden und nicht tragenden, leichten Bauteilen zu Haarrissen oder dem Wiederaufreißen von vorhandenen Rissen kommen. In diesen Fällen liegt in dem betreffenden Bereich bereits ein erhöhter statischer Spannungszustand vor, bei dem die Überlagerung i.d.R. geringer zusätzlicher dynamischer Spannungen die

vom Material aufnehmbaren Spannungen überschreitet. Die Erschütterungseinwirkungen sind hier – in Abgrenzung zur Ursache von Rissen bei deutlicher Überschreitung der Anhaltswerte der Norm – auslösender Anlass oder Vergrößerung von Rissen in einer zeitlichen Vorverschiebung ohnehin entstehender Risse.

In diesem Zusammenhang wird zur Erläuterung 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 Richtwerten 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 Zwängungsspannungen 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. ...“

Bei Schienenverkehrserschütterungen wie im vorliegenden Fall mit Personenzügen handelt es sich um 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 von Stockwerksdecken und Rohrleitungen angegeben.

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 Decken-ebene, 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.

Tabelle 2: DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 Anforderungen für kurzzeitige Einwirkungen auf das Gesamtgebäude

In der DIN 4150 Teil 3 werden Anhaltswerte für die maximale Schwinggeschwindigkeit bei Einwirkung kurzzeitiger Erschütterungen für die größte Komponente am Fundament (Tabelle 1), für die Horizontalbewegung in der obersten Deckenebene (Tabelle 1) und die vertikalen Deckenschwingungen in Feldmitte (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.

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

Tabelle 3: DIN 4150 Teil 3 Tabelle 2 Anforderungen für kurzzeitige Einwirkungen auf Rohrleitungen

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

3.1.3 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 der VDI-Richtlinie 2038 „Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik“ werden u.a. grundsätzliche Hinweise zur Einwirkung von Erschütterungen auf technische Anlagen gegeben.

Im Hinblick auf die Einwirkung von Erschütterungseinwirkungen aus dem Schienenverkehr auf technische Anlagen, sind ggf. Einwirkungen auf erschütterungsempfindliche Geräte von Aufsteller bzw. Betreiber zu berücksichtigen. Hierbei würde es sich um eine besondere Nutzung handeln, für die auch an anderen Aufstellorten die Umgebungsschwingungen z.B. aus Straßenverkehr oder dem Betrieb innerhalb eines Gebäudes zu berücksichtigen wäre¹.

¹ Einsatz und Vergleich aktiver Elemente (Aktuatoren) und passiver Elemente bei der Schwingungsisolierung empfindlicher Geräte in der Forschung, Dipl.-Ing. M.O. Rosenquist, VDI-Baudynamik-Tagung, Kassel, 2006

3.2 Einwirkungen aus sekundärem 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, den Raum begrenzende 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 mit Frequenzen ab der 50 Hz-Terz und höher, selten bei Baubetrieb, 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 über den Ausbreitungsweg über die Luft zum Immissionsort übertragen wird. Die Immissionen aus primärem Luftschall, welcher unmittelbar am Schienenfahrzeug und Fahrweg verursacht werden, sind nicht Gegenstand dieser Untersuchungen und gesondert durch einen Fachgutachter Akustik und Schall in schalltechnischen Untersuchungen zu betrachten.

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

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

Im Rahmen von Planfeststellungsverfahren von oberirdischen Bahnstrecken sind gemäß geltender Rechtsprechung zur Beurteilung des sekundären Luftschalls in Anlehnung an den primären Schienenverkehrslärm die aus der 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV abgeleiteten Immissionsrichtwerte i.S. eines Mittelungspegels für Schlafräume nachts von 30 dB(A) und für Wohnräume tags von 40 dB(A) zu Grunde zu legen.

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

Diese Vorgehensweise entspricht der aktuellen Rechtsprechung und wurde vom Bundesverwaltungsgericht für Planfeststellungsverfahren von oberirdischen Personen- und Güterfernbahnstrecken bestätigt (BVerwG, Az 7 A 14/09, Urteil vom 21.12.2010).

4 Messtechnische Untersuchungen

4.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ergibt sich im vorliegenden Fall aus den Streckenbereichen mit einem zweigleisigen Ausbau und Wohnbebauung im Einflussbereich, für welche eine Betrachtung der zu erwartenden Veränderungen der Immissionen erforderlich ist.

In diesem Gutachten wird der Abschnitt in Schleswig-Holstein mit dem geplanten zweigleisigen Ausbau zwischen Quickborn und Tanneneck betrachtet.

Vom im Bestand zweigleisigen Haltepunkt Quickborn erfolgt der Ausbau Richtung Norden ausgehend von dem bestehenden östlichen Gleis. Die Gleislage ändert sich in dem betreffenden Bereich von 13 m auf 11 m Abstand zum nächstgelegenen Wohngebäude Luise-Meitner-Weg 7 (Strecken-km 20,4+63). Die bestehende Weiche entfällt zukünftig.

Der zweigleisige Ausbau des Bahnübergangs Feldbehnsweg (km 21,6+92) sowie die Ersatzneubauten Durchlass Viehtrift (ca. km 21,9) und Eisenbahnüberführung Gronau (km 22,0+37) befinden sich nicht im Einflussbereich von Wohngebäuden.

Zwischen Strecken-km ca. 22,0 und 22,2 ist auf den beiden Gleisen der Einbau von vier Weichen geplant. In diesem Abschnitt befindet sich auf der westlichen Seite der Bahnstrecke ein Gewerbegebäude.

Die Wohnbebauung im südwestlichen Teil von Ellerau befindet sich nordwestlich der Ellerauer Straße, während die Bahnstrecke südöstlich der Straße verläuft und das zweite Gleis südöstlich zum bestehenden Gleis geplant ist. Für diese Wohngebäude ist im Zuge eines zweigleisigen Ausbaus von einer Verteilung des Schienenverkehrs ungefähr zur Hälfte auf das derzeitige und ein zukünftiges, weiter entferntes Gleis und damit von einer Verminderung der Erschütterungsimmissionen auszugehen.

Unmittelbar vor der höhengleichen Kreuzung der Trasse mit der Bahnstraße wird die Bahnstraße bei km 22,4+00 von einem Fußgänger- und Fahrradtunnel unterquert. In diesem Bereich verläuft die Bahnstrecke in einer Kurve Richtung Osten, wobei das zweite Gleis im Inneren der Kurve geplant ist. Das Gebäude Bahnstraße 2 hat einen Abstand zur bestehenden Gleisachse von 17 m und zum geplanten zweiten Gleis von 13 m. Dieses Wohn- und Gewerbegebäude wurde als ein Messobjekt ausgewählt und es konnten dort Schwingungsmessungen vorgenommen werden.

Das unmittelbar Richtung Osten benachbarte Wohngebäude Erleneck 1 ist weiter von der Trasse entfernt, der Gleisabstand verringert sich im Zuge des zweigleisigen Ausbaus von 28 m auf 25 m

Nördlich des Bahnübergangs befindet sich unmittelbar neben der Strecke ein Büro- und Geschäftshaus, in dem u.a. die Gemeindeverwaltung Ellerau sowie ein Hotel-Restaurant untergebracht sind. Die daneben befindlichen Wohngebäuden (Berliner Damm 4, Steindamm, Vor dem Bahnhof) weisen einen größeren Abstand zur Bahn auf. Im ehemaligen Empfangsgebäude des Bahnhofs Ellerau (Vor dem Bahnhof 10) ist ein Landmaschinenhandel untergebracht.

Östlich des Bahnübergangs, zum Bahnhof Ellerau hin (ca. km 22,5 bis 22,6+50) wird das Bestandsgleis um maximal 4 m Richtung Norden verschwenkt und an das nördliche Bahnhofsgleis angeschlossen. Das neue Gleis verläuft im konstanten Abstand von 4 m südlich davon und schließt an das südliche Bahnhofsgleis an. Die vorhandene Weiche entfällt im Zuge des zweigleisigen Ausbaus.

Im Bereich des Haltepunktes Ellerau ergeben sich wegen der bereits bestehenden Zweigleisigkeit nur geringe Abstandsänderungen zwischen der nächstgelegenen Gleisachse und den Wohngebäuden Vor dem Bahnhof 8 und 3. Für die Wohngebäude Richtweg 6-12, 14-20, 22-28 sowie die Wohngebäude auf der südlichen Seite der Bahnstraße, ab Hausnummer 12, ergeben sich keine Abstandsänderung zum nächstgelegenen Gleis.

Die östlich des Haltepunktes befindliche Weiche soll entfallen. Im Rahmen des Ausbaus verteilt sich der Zugverkehr für die Wohngebäude Bahnstraße, ab Hausnummer 48, zukünftig auf zwei Gleise, wobei das neue zweite Gleis einen größeren Abstand aufweist.

Östlich des Haltepunktes Ellerau ist es geplant, das zweite Gleis im Abstand von 4 m nördlich des bestehenden Gleises und damit um 4 m näher zu den nördlich der Bahnstrecke vorhandenen Wohngebäuden zu führen. Bei den Wohngebäuden handelt es sich ab ca. Strecken-km 23,2 um den Schulweg 2 und 1, Hamburger Weg mit den geraden Hausnummern 2 bis 54 sowie Am Felde 70 und 89 bei ca.

Strecken-km 23,9. Bei ca. Strecken-km 24,0+25 endet der zweigleisige Ausbau kurz vor dem Haltepunkt Tanneneck. Die hier vorhandene Weiche entfällt im Zuge des zweigleisigen Ausbaus.

Bei den o.g. Wohngebäuden im Schulweg, Hamburger Weg und Am Felde handelt es sich um 26 Wohngebäude, die sich in der ersten Bebauungsreihe von der Bahnstrecke befinden. Es wurden folgende Wohngebäude als repräsentative Messobjekte ausgewählt und dort Schwingungsmessungen durchgeführt: Schulweg 1, Hamburger Weg 10a, 26b, 34 und Am Felde 70. Die Abstände vom bestehenden Gleis betragen für die Messobjekte zwischen 13 m und 24 m, vom geplanten zweiten Gleis zwischen 9 m und 20 m.

4.2 Messobjekte

Als repräsentative Messobjekte wurden die Wohngebäude Bahnstraße 2, Schulweg 1, Hamburger Weg 10a, 26b, 34 und Am Felde 70 ausgewählt.

4.2.1 Bahnstraße 2

Bei dem Messobjekt 4 in der Bahnstraße 2 handelt es sich um ein zweigeschossiges Gebäude aus Mauerwerk ohne Kellergeschoss, mit einem Erdgeschoss und einem Obergeschoss. Die Stockwerksdecken sind aus Stahlbeton hergestellt. Das Gebäude wird im Erdgeschoss und Obergeschoss zum Wohnen sowie eine Teilfläche im Erdgeschoss gewerblich mit einem Restaurant genutzt. Der Abstand zur Gleisachse der derzeitigen eingleisigen Bahnstrecke beträgt 17 m. Unmittelbar vor dem Gebäude befindet sich der Bahnübergang Bahnstraße. Das geplante neue Gleis ist in einem Abstand der Gleisachse von 13 m zum Gebäude vorgesehen.

Das zweigeschossige Gebäude ist in Richtung Westen über einen überdachten Weg mit einem eingeschossigen Gewerbegebäude verbunden.

4.2.2 Schulweg 1, Quickborn

Bei dem Messobjekt 8 im Schulweg 1 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus Mauerwerk mit einem Kellergeschoss, einem Erdgeschoss und einem Oberge-

schoss im Dach sowie einem Spitzdach. Die Stockwerksdecken sind aus Stahlbeton hergestellt. Der Abstand zur Gleisachse der derzeitigen eingleisigen Bahnstrecke beträgt 24 m. Das geplante neue Gleis ist in einem Abstand der Gleisachse von 20 m zum Gebäude vorgesehen.

4.2.3 Hamburger Weg 10a, Ellerau

Bei dem Messobjekt 3 im Hamburger Weg 10a handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus Mauerwerk mit einer Teilunterkellerung, einem Erdgeschoss und einem ausgebauten Dachgeschoss. Die Stockwerksdecken sind aus Stahlbeton hergestellt. Der Abstand zur Gleisachse der derzeitigen eingleisigen Bahnstrecke beträgt 15 m. Das geplante neue Gleis ist in einem Abstand der Gleisachse von 11 m zum Gebäude vorgesehen.

4.2.4 Hamburger Weg 26b, Ellerau

Bei dem Messobjekt 1 im Hamburger Weg 26b handelt es sich um ein Einfamilienhaus mit Anliegerwohnung mit einer Teilunterkellerung, einem Erdgeschoss und einem ausgebauten Dachgeschoss. Das Gebäude ist aus Mauerwerk mit Stockwerksdecken aus Stahlbeton errichtet. Der Abstand zur Gleisachse der derzeitigen eingleisigen Bahnstrecke beträgt 13 m. Das geplante neue Gleis ist in einem Abstand der Gleisachse von 9 m zum Gebäude vorgesehen.

4.2.5 Hamburger Weg 34, Ellerau

Bei dem Messobjekt 6 im Hamburger Weg 34 handelt es sich um ein Einfamilienhaus ohne Unterkellerung, mit einem Erdgeschoss und einem ausgebauten Dachgeschoss. Das Gebäude ist aus Mauerwerk mit Stockwerksdecken aus Stahlbeton erbaut. Der Abstand zur Gleisachse der derzeitigen eingleisigen Bahnstrecke beträgt 18 m. Das geplante neue Gleis ist in einem Abstand der Gleisachse von 14 m zum Gebäude vorgesehen.

4.2.6 Am Felde 70, Ellerau

Bei dem Messobjekt 7 mit der Anschrift Am Felde 70 handelt es sich um ein Einfamilienhaus ohne Unterkellerung, mit einem Erdgeschoss, einem Obergeschoss im Dach sowie einem ausgebauten Spitzdach. Das Gebäude ist aus Mauerwerk mit Stockwerksdecken aus Stahlbeton. Der Abstand zur Gleisachse der derzeitigen eingleisigen Bahnstrecke beträgt 15 m. Das geplante neue Gleis ist in einem Abstand der Gleisachse von 11 m zum Gebäude vorgesehen.

4.3 Schwingungsmessungen

Die Messpunkte wurden in Anlehnung an die DIN 4150 Teil 2 bzw. die DB-Richtlinie Erschütterungen und sekundärer Luftschall mit einem Messpunkt am Fundament, also auf der Gebäudesohle bzw. an der aufgehenden Wand, sowie auf Deckenfeldern im Erdgeschoss und im Ober- bzw. Dachgeschoss vorgenommen.

Im Gelände der Grundstücke wurden Messpunkte unterhalb der Deckschicht auf Erdspießen in 8 m, 16 m und 32 m von der Gleisachse eingesetzt.

Die Schwingungsmessungen wurden durch Personal begleitet durchgeführt. Als Erschütterungsereignisse sind der Zugverkehr auf der Bahnstrecke mit Triebwagen VTA und Lint54 aufgetreten.

4.4 Auswertung und Dokumentation

Die Auswertung der Schwingungsmessungen wurde für die einzelnen Emissionsgruppen dargestellt. In Ergebnistabellen wurde die Schwinggeschwindigkeit v_{\max} und die maximale Bewertete Schwingstärke $KB_{F_{\max}}$ angegeben sowie eine Darstellung repräsentativer Messungen mit der Schwinggeschwindigkeit im Zeit- und Frequenzbereich vorgenommen.

In der Dokumentation der Mess- und Prognoseergebnisse sind darüber hinaus Lagepläne und eine Fotodokumentation enthalten.

Die Prognose gemäß DB-Richtlinie erfolgt im Frequenzbereich unter Verwendung von gemessenen Terzschnellepegeln. Die Terzschnellepegel werden durch Filterung in den einzelnen Frequenzterzen als maximale und als energieäquivalente Pegel mit einer Effektivwertbildung unter Verwendung der Zeitkonstante $\tau = 0.125 \text{ s}$ (engl. „fast“) ermittelt.

5 Prognose

5.1 Vorgehensweise

Zur Durchführung von erschütterungstechnischen Prognosen sind Hinweise in der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 1 „Vorermittlung“ sowie in der VDI-Richtlinie 2038 „Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik“ dokumentiert.

Im Rahmen von Planfeststellungsverfahren wird üblicherweise die grundsätzliche Vorgehensweise gemäß DB-Richtlinie angewendet.

Die Vorgehensweise beruht auf einem empirischen Prognosemodell, welches aus den Elementen der Erschütterungs-Emission an einem Messpunkt im Gelände in 8 m von der Gleisachse, der Erschütterungs-Transmission im Boden und der Übertragung vom Boden in das Gebäude auf die Erschütterungs-Immission auf der Stockwerksdecke besteht. In Abhängigkeit von der Fragestellung und den örtlichen Randbedingungen wird die Übertragung vom Boden in das Gebäude direkt auf die Stockwerksdecke oder zunächst auf das Fundament – Gebäudesohle oder aufgehende Kellerwand – und von dort auf die Stockwerksdecke beschrieben.

Die dynamischen Eigenschaften der einzelnen Elemente Emission, Transmission und die Übertragung in das Gebäude bis zur Immission werden entweder im Rahmen der konkreten Untersuchungen durch Schwingungsmessungen vor Ort messtechnisch ermittelt oder als empirische Angaben aus Richtlinien bzw. Veröffentli-

chungen verwendet, z.B. einer mittleren Übertragungsfunktion aus der DB-Richtlinie für die Transmission Gelände-Gebäude-Stockwerksdecke.

Zur Prognose des sekundären Luftschalls aus den prognostizierten Bauteilschwingungen sind darüber hinaus ausgehend von den prognostizierten Erschütterungen am Immissionsort, z.B. einem Wohn- oder Schlafzimmer, Annahmen zur Schallabstrahlung der raumbegrenzenden Bauteile zu treffen; hierzu wird auf empirische Angaben aus der DB-Richtlinie bzw. der Veröffentlichung Said, Grütz Garburg 2006 zurückgegriffen.

Aufgrund der Streuung der im Untersuchungsgebiet aus Messungen ermittelten bzw. aus Richtlinien bzw. Veröffentlichungen angesetzten mittleren Größen, i.d.R. Terzschnellespektren oder -differenzen, entsprechen die Prognoseergebnisse einer durchschnittlichen Situation mit Mittelwerten (Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} , Beurteilungspegel L_r) oder mittleren Maximalwerten (maximale Bewertete Schwingstärke $KB_{Fmax,m}$, Maximalpegel $L_{Fmax,m}$), die in der konkreten Situation deutlich nach oben und nach unten abweichen können. In diesem Zusammenhang wird darüber hinaus auf die große Streuung der gemäß DB-Richtlinie zur Prognose des sekundären Luftschall aus dem Schienenverkehr verwendeten empirischen Beziehung zwischen Schwingungen und abgestrahltem sekundären Luftschall hingewiesen.

In der VDI-Richtlinie 2038 wird die Prognoseunsicherheit für die Anregung aus Schienenverkehr ohne Messungen am Immissionsort als hoch bis sehr hoch bzw. zwischen 6 dB bis über 10 dB, die Systembeschreibung für die Ankopplung der Gebäudefundamente über den Boden als gering bis sehr hoch bzw. weniger 3 dB bis über 10 dB sowie die Systembeschreibung für die Schwingungsübertragung innerhalb der Gebäudestruktur als mittel bis sehr hoch bzw. 3 dB bis über 10 dB bewertet. Eine Eingrenzung der Prognoseunsicherheit ist durch Schwingungsmessungen möglich.

Im vorliegenden Fall wurden die maßgeblichen Größen – die Erschütterungs-Emissionen, die Transmission der Erschütterungen im Boden, vom Boden in das Gebäude sowie innerhalb des Gebäudes – im Untersuchungsgebiet messtechnisch

ermittelt. Aus diesem Grund ist von einer Einschränkung der Prognoseunsicherheit auf gering bis mittel bzw. weniger als 3 dB bis 6 dB auszugehen.

5.2 Eingangsdaten

5.2.1 Emissionsspektren

Als Eingangsgröße für die Prognosen werden im vorliegenden Fall gemessene Emissionsspektren verwendet. Gemäß der DB-Richtlinie wird für die Prognose von Schwingungen von den maximalen Terzschnellepegeln L_{vFmax} ausgegangen, während für die Prognose des sekundären Luftschalls energieäquivalente Terzschnellepegel L_{vFeq} verwendet werden.

Aus den durchgeführten Schwingungsmessungen liegen Emissionsspektren für Zugvorbeifahrten der diesel-elektrischen Triebwagen VTA und der diesel-mechanischen Triebwagen Lint54 vor.

In der Untersuchung zu betriebsbedingten Erschütterungsimmissionen für den Neubau der S-Bahnlinie S4 (Ost) Hamburg-Bad Oldesloe wurden zur Ermittlung von S-Bahn-Emissionen Vergleichsmessungen an der S-Bahnstrecke in Schleswig-Holstein bzw. nordwestlich von Hamburg zwischen Halstenbek und Pinneberg vorgenommen. Die betreffenden Emissionsspektren standen für das Projekt AKN-Strecke A1 / S21 Elektrifizierung / Zweigleisiger Ausbau zur Verfügung.

Im Rahmen des Vorhabens ist ein Betrieb der S-Bahn Baureihe 490 als Zweistromfahrzeug vorgesehen.

Die Masse und Achslasten der oben beschriebenen Schienenfahrzeuge sind unterschiedlich und nicht gleich über den Zug verteilt. Bei dem Triebwagen VTA verteilen sich 55 t auf sechs Achsen, bei dem Triebwagen Lint54 108 t auf acht Achsen, bei S-Bahn Baureihe 474 100 t auf zwölf Achsen sowie bei der S-Bahn Baureihe 490 als Zweistromfahrzeug 130 t auf ebenfalls zwölf Achsen. Demnach sind die Achslasten des Triebwagen Lint54 und der S-Bahn Baureihe 490 als Zweistromfahrzeug höher als bei den Triebwagen VTA und der S-Bahn Baureihe 474.

Die Erschütterungsemissionen¹ der unterschiedlichen Schienenfahrzeuge hängen u.a. von der Fahrgeschwindigkeit, dem Zustand der Radsätze, den dynamischen Eigenschaften der Fahrzeuge, der Massenverhältnisse von Achslasten zu unabgefederten Radsatzmassen, den Achs- und Drehgestellabständen, von der Beschaffenheit der Schienen sowie von der Wechselwirkung mit den dynamischen Eigenschaften des Ober- und Unterbaus bzw. des Bodens ab.

In der Gleis- und Schienenfahrzeugdynamik² werden unterschiedliche Anregungsmechanismen genauer beschrieben. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um Schienenirregularitäten, Radirregularitäten, Schwellenüberrollung und höherfrequente sinuslaufähnliche Bewegungsvorgänge, welche in Wechselwirkung mit den dynamischen Eigenschaften des Schienenfahrzeugs und des Bodens treten und letztlich auch Erschütterungen im Boden verursachen. Der Vorgang des Überrollens des Gleises durch einen Radsatz, ein Drehgestell, einen Wagen oder einen ganzen Zug, der zu zyklischen Beanspruchungen im Gleis führt, ist eine quasistatische Anregung, es treten dabei aber im Fahrzeug keine Reaktionen auf. Die Fahrzeugmasse ist als Achslast ein Parameter für die quasistatische Vorlast und die Verteilung der Fahrzeugmasse hat einen Einfluss auf die dynamischen Eigenschaften des Schienenfahrzeugs.

Es ergibt sich für die Fahrzeugmasse oder Achslast keine direkte Beziehung zur betreffenden Erschütterungsamplitude im Boden, so dass sich für den vorliegenden Fall keine unmittelbaren Schlussfolgerungen für die Erschütterungsemissionen ableiten lassen.

Aufgrund der unterschiedlichen zur Verfügung stehenden und für die Prognose verwendeten Emissionsspektren wird die Bandbreite der – im Untersuchungsgebiet durch den in der plangegebenen Situation betriebenen und im Planfall vorgesehenen Schienenverkehr – auftretenden Erschütterungsanregung abgedeckt.

¹ Entwurf DB Richtlinie 800.2501 Erschütterungen und sekundärer Luftschall

² Gleisdynamik, Knothe, Ernst & Sohn, Berlin, 2001; Schienenfahrzeugdynamik, Knothe, Stichel, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2003

Für die Prognosen sind die Terzschnellepegel von Messpunkten auf Erdspeießen im Gelände mit einem Abstand von 8 m zur Gleisachse zu verwenden. Die Terzschnellepegel von Messpunkten in einem anderen Abstand sind entsprechend auf einen Abstand von 8 m von der Gleisachse anzupassen. Darüber hinaus sind die Terzschnellepegel auf eine Fahrgeschwindigkeit zu beziehen, die im vorliegenden Fall 80 km/h beträgt.

Die Abhängigkeit der Emissionsspektren von der Fahrgeschwindigkeit ist sehr komplex und wird u.a. durch die quasistatische Einsenkung des Gleises unter der mit der Fahrgeschwindigkeit wandernden Radlast, über Rauigkeitserregung, Eigenfrequenzen des Fahrzeugs und des Fahrwegs bis zu Impulsfolgen mit eisenbahntypischer Periodizität bestimmt. Systematische Untersuchungen zum Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf Erschütterungen liegen nicht vor, so dass hierzu die in der Literatur angegebene Abschätzung verwendet wird.

In der Literatur wird für die Abhängigkeit des Schnellepegels¹ von der gemessenen Fahrgeschwindigkeit u als Pegelerhöhung bzw. Pegelminderung ausgehend von der Bezugsfahrgeschwindigkeit u_0 mit

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

angegeben.

Es handelt sich bei dieser Beziehung um eine grobe Näherung, die in der ÖNORM S 9012 „Beurteilung der Einwirkung von Schwingungsimmissionen des landgebundenen Verkehrs auf den Menschen in Gebäuden — Schwingungen und sekundärer Luftschall“ sowie Untersuchungsberichten² veröffentlicht wurde.

¹ Schwingungsgeschwindigkeitsamplitude in logarithmischer Pegeldarstellung

² „Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs“, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, 1995

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

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

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

5.2.2 Transmission im Boden

Zur Beschreibung der Erschütterungsausbreitung im Boden wird die Abhängigkeit der Erschütterungsamplitude vom Ausbreitungsabstand gemäß DIN 4150 Teil 1 bzw. den Empfehlungen des Arbeitskreises 1.4 „Baugrunddynamik“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik mit folgender Abschätzung vorgenommen:

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

A_0 Ausgangsamplitude im Abstand r_0

A zu ermittelnde Amplitude im Abstand r

n Exponent, der von Wellenart, Quellengeometrie und Art der Schwingung abhängt, für Schienenverkehr $n = -0.3 \dots -0.5$

α Abklingkoeffizient in m^{-1} , $\alpha = 2\pi D / \lambda$

D Dämpfungsgrad in Lockergestein $D = 0.01$

λ maßgebliche Wellenlänge in m, $\lambda = c / f$

c Wellenausbreitungsgeschwindigkeit, angesetzt $c_s = 200$ m/s

f Frequenz in Hz, angesetzt in Terzen

Für die betrachteten Messobjekte sieht das Vorhaben ein zusätzliches zweites Gleis in einem um 4 m geringeren Abstand vor, als das bisherige Gleis. Ausgehend von dem für Schienenverkehrserschütterungen angegebenen Wertebereich für den Ausbreitungskoeffizient $n = -0.3 \dots -0.5$ ergeben sich für eine Abstandsverringerung mit dem oberen Wert von $n = -0.5$ die größten Erschütterungsamplituden, so dass dieser Wert zu sicheren Seite verwendet wurde.

Ausgehend von den auf einem Geländepunkt in 8 m Abstand zur Gleisachse gemessenen Emissionsspektren sind die für die einzelnen Wohngebäude vorliegenden bzw. geplanten Abstände zur Gleisachse zu berücksichtigen.

In den Fällen einer an den Emissionsspektren erforderlichen Abstandskorrektur wurden die o.g. Parameter an die Messergebnisse im Gelände in unterschiedlichen Abständen zur Gleisachse angepasst.

Aufgrund der Lage und Nutzung des Grundstücks Messobjekt Bahnstraße 2 konnten dort Messpunkte mit Erdspießen im Boden lediglich in einem Abstand von 24 m und 33 m von der Gleisachse verwendet werden. Aufgrund der relativ geringen Abstandsdifferenz konnten aus den Messergebnissen keine belastbaren Werte für den Abstandsparameter n ermittelt werden. Aus diesem Grund wurde für das Messobjekt Bahnstraße 2 in der Prognose $n=-05$ verwendet.

5.2.3 Transmission Gelände-Stockwerksdecke

Die Übertragung der Erschütterungs-Emissionen von dem 8 m-Messpunkt im Gelände auf die Fußböden bzw. Stockwerksdecken wird aus den Schwingungsmessungen durch die Bildung von Terzdifferenzpegeln gebildet.

Für die Prognose des sekundären Luftschalls ist eine Übertragung von dem 8 m-Messpunkt im Gelände auf die in den Räumen schallabstrahlenden Bauteile zu verwenden. Diese Übertragung wird gemäß DB-Richtlinie mit der vom Geländemesspunkt auf den Fußboden bzw. die Stockwerksdecke des Raumes ermittelten Terzdifferenzpegel abgebildet.

5.3 Durchführung der Prognose

Für die Messobjekte erfolgt die Prognose für die plangegebene Situation (Prognose-Nullfall) mit der aktuellen Gleislage und der Verkehrsprognose für das Jahr 2025 sowie für den Planfall mit der Umsetzung des Vorhabens mit der geplanten Gleislage und der betreffenden Zughäufigkeit für das Jahr 2025.

Im Rahmen der Prognose ist ausgehend von dem derzeitigen Zugverkehr mit Triebwagen VTA und Lint54 in dem Prognose-Nullfall im Jahr 2025 ausschließlich Zugverkehr mit Triebwagen Lint54 vorgesehen. Für den Planfall 2025 sind ausschließlich S-Bahnzüge der Baureihe 490 als Zweistrom-Fahrzeug vorgesehen.

In der Prognose für den Prognose-Nullfall 2025 sind die gemessenen Emissionen bei Vorbeifahrten des Triebwagen Lint54 zu verwenden.

Während der Schwingungsmessungen im Messobjekt 1 Hamburger Weg 26b haben keine Vorbeifahrten mit dem Triebwagen Lint54 stattgefunden. Daher wurden die Unterschiede zwischen den Emissionsspektren VTA und Lint54 aus den Schwingungsmessungen der anderen Messobjekte im Hamburger Weg, Schulweg und Am Felde ermittelt und auf die Emissionsspektren VTA aus dem Hamburger Weg 26b in Form von Terzdifferenzpegeln angewendet, um für den Hamburger Weg 26b ersatzweise Emissionsspektren für den Triebwagen Lint54 zu erhalten.

Für den Prognose-Planfall 2025 stehen Emissionsspektren für die S-Bahn-Emissionen aus den o.g. Vergleichsmessungen auf der S-Bahnstrecke Halstenbek-Pinneberg zur Verfügung.

Die Zugverkehrshäufigkeiten sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben:

AKN-Strecke A1 / S21 Eidelstedt-Landesgrenze FHH/SH Elektrifizierung / Zweigleisiger Ausbau				
Angaben zum Schienenverkehr				
Zuggattung	Fahr- geschwindigkeit	Zuglänge	Anzahl	
			tags 6-22 Uhr	nachts 22-6 Uhr
Prognose-Nullfall 2025 ¹⁾				
Lint54	80 km/h	54 m	9	13
2x Lint54	80 km/h	108 m	108	13
Summe			117	26
Prognose-Planfall 2025 ¹⁾				
S-Bahn BR490	80 km/h	66 m	9	13
2x S-Bahn BR490	80 km/h	132 m	107	13
Summe			116	26
¹⁾ keine Leerfahren, keine Güterzugfahrten				

Tabelle 4: Angaben zum Schienenverkehr Prognose-Nullfall 2025 und Prognose-Planfall 2025

Für die Erschütterungsimmissionen ist gemäß DIN 4150 Teil 2 eine Betrachtung in 30 s-Takten erforderlich. Ausgehend von der Zuglänge und der Fahrgeschwindigkeit liegt eine Einwirkdauer vor, die kürzer ist als 30 s und somit in jedem Fall nur ein 30 s-Takt je Zugvorbeifahrt anzusetzen ist.

Für die Immissionen des sekundären Luftschalls ist eine Betrachtung der tatsächlich maßgeblichen Einwirkzeit erforderlich. Die maßgebliche Einwirkzeit wurde ausgehend von der jeweils größten Zuglänge je Zuggattung ermittelt.

Mit der oben beschriebenen Vorgehensweise zur Prognose werden zunächst für die einzelnen Zuggattungen die Maximalgrößen – die mittleren, maximalen bewerteten Schwingstärke $KB_{F_{max,m}}$ und dem mittleren Maximalpegel $L_{max,m}$ – ermittelt und dann über die Zugverkehrshäufigkeit die Mittelungsgrößen, die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ und der Mittelungspegel L_m , berechnet.

6 Ergebnisse

6.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Die Prognose der Immissionen aus Schienenverkehrserschütterungen aus dem Betrieb der AKN bzw. der S-Bahn sind insgesamt für folgende Situationen berücksichtigt worden:

- Prognose-Nullfall Emissionen Lint54,
- Prognose-Planfall Emissionen Lint54,
- Prognose-Planfall Emissionen S-Bahn.

Die Situation Prognose-Planfall Emissionen Lint54 wurde als eine weitere Variante aufgenommen, um zu zeigen, welchen Einfluss die Veränderung der Bahnstrecke bei gleichbleibenden Zugfahrzeugen aufweist.

Zur Beurteilung ist im Planfall für die Erschütterungsimmissionen für die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{F_{Tr}}$ tags (6-22 Uhr) und nachts (22-6 Uhr) eine Über-

schreitung Anhaltswerte A_r sowie im Vergleich zwischen plangegebener Situation (Nullfall) und umgesetzten Vorhaben (Planfall) eine Erhöhung um mehr als 25 % zu betrachten. Für den sekundären Luftschall ist für den Mittelungspegel aus dem sekundären Luftschall eine Überschreitung Immissionsrichtwerte sowie im Vergleich zwischen plangegebener Situation (Nullfall) und umgesetzten Vorhaben (Planfall) eine Erhöhung um 3 dB zu betrachten, wobei ein Aufrunden ab 1/10 – also ab 2.1 dB auf 3 dB – zu berücksichtigen ist.

Für einen Vergleich der Situation Prognose-Nullfall mit den zwei Prognose-Planfällen wurden Tabellen mit einer Angabe der Veränderung aufgestellt und in den nachstehenden Abschnitten für jedes Messobjekt dargestellt.

6.1.1 Bahnstraße 2, Quickborn

Die Ergebnisse zeigen für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall mit den Lint54-Emissionen auf zwei von vier Deckenmesspunkten eine Überschreitung der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 für tags 0.1 und nachts 0.07. Aufgrund der Erhöhung von weniger als 25 % liegt keine erhebliche Erhöhung der Erschütterungsimmissionen vor. Für den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen ergibt sich eine Einhaltung der betreffenden Anhaltswerte.

Die Veränderung der Erschütterungsimmissionen betragen für den Vergleich zwischen der Prognose ausschließlich mit dem Lint54-Emissionen bis zu +10 %, während für die S-Bahn-Emissionen eine deutliche Verminderung vom Prognose-Nullfall mit Lint54-Emissionen auf den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen festzustellen ist.

Messobjekt 04 Bahnstraße 2 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Wohnzimmer	Nullfall	0,049	0,033	19,8	19,1	16,3	15,6
	Planfall	0,054	0,036	20,5	19,6	17,0	16,1
	Δ	10%	9%	0,7	0,5	0,7	0,5
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0,130	0,087	14,7	15,1	11,1	11,5
	Planfall	0,142	0,095	15,3	15,5	11,8	12,0
	Δ	9%	9%	0,6	0,4	0,7	0,5
MP4 OG Küche	Nullfall	0,145	0,097	15,7	15,8	12,1	12,3
	Planfall	0,158	0,106	16,3	16,3	12,8	12,8
	Δ	9%	9%	0,6	0,5	0,7	0,5
MP5 OG Schlafzimmer	Nullfall	0,078	0,052	14,0	14,6	10,5	11,0
	Planfall	0,086	0,057	14,6	15,0	11,2	11,5
	Δ	10%	10%	0,6	0,4	0,7	0,5

Tabelle 5: Messobjekt 04 Bahnstraße 2 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54

Für den sekundären Luftschall ist im untersuchten Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfällen eine deutliche Einhaltung der Immissionsrichtwerte tags 40 dB(A) für Wohnräume und nachts 30 dB(A) für Schlafräume gemäß 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV festzustellen. Aufgrund der Einhaltung der Immissionsrichtwerte ist die Höhe der Veränderung unerheblich.

Messobjekt 04 Bahnstraße 2 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Wohnzimmer	Nullfall	0,049	0,033	19,8	19,1	16,3	15,6
	Planfall	0,000	0,000	14,5	15,1	11,0	11,6
	Δ	-100%	-100%	-5,3	-4,0	-5,3	-4,0
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0,130	0,087	14,7	15,1	11,1	11,5
	Planfall	0,025	0,016	9,5	11,2	6,0	7,7
	Δ	-81%	-82%	-5,2	-3,9	-5,1	-3,8
MP4 OG Küche	Nullfall	0,145	0,097	15,7	15,8	12,1	12,3
	Planfall	0,035	0,023	9,9	11,5	6,5	8,0
	Δ	-76%	-76%	-5,8	-4,3	-5,6	-4,3
MP5 OG Schlafzimmer	Nullfall	0,078	0,052	14,0	14,6	10,5	11,0
	Planfall	0,000	0,000	7,8	9,9	4,3	6,4
	Δ	-100%	-100%	-6,2	-4,7	-6,2	-4,6

Tabelle 6: Messobjekt 04 Bahnstraße 2 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn

6.1.2 Schulweg 1, Ellerau

Die Ergebnisse zeigen für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall mit den Lint54-Emissionen sowie den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen eine Einhaltung der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 für tags 0.07 und nachts 0.05. Aufgrund der Einhaltung der Anhaltswerte ist die Höhe der Veränderung unerheblich.

Messobjekt 08 Schulweg 1 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP2 OG Schrankzimmer	Nullfall	0,043	0,029	18,4	18,0	14,8	14,4
	Planfall	0,048	0,032	19,0	18,5	15,5	15,0
	Δ	12%	10%	0,6	0,5	0,7	0,6
MP3 OG großes Schlafzimmer	Nullfall	0,000	0,000	11,0	12,2	7,5	8,7
	Planfall	0,000	0,000	11,5	12,6	8,1	9,1
	Δ	-	-	0,5	0,4	0,6	0,4
MP4 OG kleines Schlafzimmer	Nullfall	0,046	0,030	15,4	15,7	11,9	12,1
	Planfall	0,050	0,034	16,0	16,1	12,5	12,6
	Δ	9%	13%	0,6	0,4	0,6	0,5
MP5 EG Wohnzimmer	Nullfall	0,063	0,042	20,0	19,2	16,5	15,7
	Planfall	0,069	0,046	20,6	19,7	17,1	16,2
	Δ	10%	10%	0,6	0,5	0,6	0,5
MP6 EG Esszimmer	Nullfall	0,059	0,039	14,9	15,3	11,4	11,8
	Planfall	0,063	0,042	15,5	15,7	12,0	12,2
	Δ	7%	8%	0,6	0,4	0,6	0,4

Tabelle 7: Messobjekt 08 Schulweg 1 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54

Für den sekundären Luftschall ist im untersuchten Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfällen eine deutliche Einhaltung der Immissionsrichtwerte tags 40 dB(A) für Wohnräume und nachts 30 dB(A) für Schlafräume gemäß 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV festzustellen. Aufgrund der Einhaltung der Immissionsrichtwerte ist die Höhe der Veränderung unerheblich.

Messobjekt 08 Schulweg 1 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP2 OG Schrankzimmer	Nullfall	0,043	0,029	18,4	18,0	14,8	14,4
	Planfall	0,000	0,000	16,8	16,9	13,3	13,5
	Δ	-100%	-100%	-1,6	-1,1	-1,5	-0,9
MP3 OG großes Schlafzimmer	Nullfall	0,000	0,000	11,0	12,2	7,5	8,7
	Planfall	0,000	0,000	8,5	10,4	5,0	6,9
	Δ	-	-	-2,5	-1,8	-2,5	-1,8
MP4 OG kleines Schlafzimmer	Nullfall	0,046	0,030	15,4	15,7	11,9	12,1
	Planfall	0,018	0,025	13,9	14,6	10,4	11,1
	Δ	-61%	-17%	-1,5	-1,1	-1,5	-1,0
MP5 EG Wohnzimmer	Nullfall	0,063	0,042	20,0	19,2	16,5	15,7
	Planfall	0,012	0,017	18,0	17,8	14,5	14,4
	Δ	-81%	-60%	-2,0	-1,4	-2,0	-1,3
MP6 EG Esszimmer	Nullfall	0,059	0,039	14,9	15,3	11,4	11,8
	Planfall	0,000	0,000	11,9	13,1	8,5	9,6
	Δ	-100%	-100%	-3,0	-2,2	-2,9	-2,2

Tabelle 8: Messobjekt 08 Schulweg 1 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn

6.1.3 Hamburger Weg 10a, Ellerau

Die Ergebnisse zeigen für den Prognose-Planfall mit den Lint54-Emissionen auf zwei von vier Deckenmesspunkten eine Überschreitung des Anhaltswertes A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 für tags 0,07 sowie für nachts 0,05. Aufgrund der Erhöhung von weniger als 25 % liegt keine erhebliche Erhöhung der Erschütterungsimmissionen vor. Auf den anderen beiden Deckenmesspunkten tags und für sämtliche Deckenmesspunkte nachts ergibt sich eine Einhaltung der betreffenden Anhaltswerte.

Messobjekt 03 Hamburger Weg 10a Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP2 EG Küche	Nullfall	0,032	0,021	18,8	18,3	15,3	14,8
	Planfall	0,037	0,025	19,5	18,9	16,0	15,4
	Δ	16%	19%	0,7	0,6	0,7	0,6
MP3 EG Wohnzimmer	Nullfall	0,074	0,049	24,0	22,4	20,5	18,9
	Planfall	0,084	0,057	24,7	22,9	21,2	19,4
	Δ	14%	16%	0,7	0,5	0,7	0,5
MP4 DG Arbeitszimmer	Nullfall	0,028	0,019	18,2	17,8	14,7	14,3
	Planfall	0,032	0,022	19,0	18,5	15,5	15,0
	Δ	14%	16%	0,8	0,7	0,8	0,7
MP5 DG Arbeitszimmer	Nullfall	0,078	0,052	18,0	17,7	14,5	14,2
	Planfall	0,092	0,061	18,8	18,3	15,3	14,8
	Δ	18%	17%	0,8	0,6	0,8	0,6

Tabelle 9: Messobjekt 03 Hamburger Weg 10a Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54

Für den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen ergibt sich eine Einhaltung der betreffenden Anhaltswerte. Aufgrund der Einhaltung der Anhaltswerte ist die Höhe der Veränderung unerheblich.

Für den sekundären Luftschall ist im dem untersuchten Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfällen eine deutliche Einhaltung der Immissionsrichtwerte tags 40 dB(A) für Wohnräume und nachts 30 dB(A) für Schlafräume gemäß 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV festzustellen. Aufgrund der Einhaltung der Immissionsrichtwerte ist die Höhe der Veränderung unerheblich.

Messobjekt 03 Hamburger Weg 10a Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP2 EG Küche	Nullfall	0,032	0,021	18,8	18,3	15,3	14,8
	Planfall	0,000	0,000	14,7	15,3	11,2	11,8
	Δ	-100%	-100%	-4,1	-3,0	-4,1	-3,0
MP3 EG Wohnzimmer	Nullfall	0,074	0,049	24,0	22,4	20,5	18,9
	Planfall	0,000	0,000	18,6	18,3	15,1	14,8
	Δ	-100%	-100%	-5,4	-4,1	-5,4	-4,1
MP4 DG Arbeitszimmer	Nullfall	0,028	0,019	18,2	17,8	14,7	14,3
	Planfall	0,000	0,000	13,3	14,2	9,8	10,7
	Δ	-100%	-100%	-4,9	-3,6	-4,9	-3,6
MP5 DG Arbeitszimmer	Nullfall	0,078	0,052	18,0	17,7	14,5	14,2
	Planfall	0,035	0,023	13,9	14,6	10,4	11,2
	Δ	-55%	-56%	-4,1	-3,1	-4,1	-3,0

Tabelle 10: Messobjekt 03 Hamburger Weg 10a Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn

6.1.4 Hamburger Weg 26b, Ellerau

Die Ergebnisse zeigen für den Prognose-Nullfall, den Prognose-Planfall mit den Lint54-Emissionen sowie den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen eine deutliche Einhaltung der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 für tags 0.07 und nachts 0.05. Aufgrund der Einhaltung der Anhaltswerte ist die Höhe der Veränderung unerheblich.

Für den sekundären Luftschall ist im dem untersuchten Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfällen eine deutliche Einhaltung der Immissionsrichtwerte tags 40 dB(A) für Wohnräume und nachts 30 dB(A) für Schlafräume gemäß 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV festzustellen. Aufgrund der Einhaltung der Immissionsrichtwerte ist die Höhe der Veränderung unerheblich.

Messobjekt 01 Hamburger Weg 26b Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP2 EG Wohnzimmer	Nullfall	0,045	0,030	20,2	19,4	16,7	15,9
	Planfall	0,049	0,033	20,9	19,9	17,4	16,4
	Δ	9%	10%	0,7	0,5	0,7	0,5
MP3 EG Küche	Nullfall	0,032	0,022	19,2	18,6	15,7	15,1
	Planfall	0,037	0,025	20,0	19,2	16,5	15,7
	Δ	16%	14%	0,8	0,6	0,8	0,6
MP4 EG Schlafzimmer	Nullfall	0,000	0,000	17,4	17,2	13,9	13,7
	Planfall	0,017	0,012	18,1	17,7	14,6	14,3
	Δ	-	-	0,7	0,5	0,7	0,6

Tabelle 11: Messobjekt 01 Hamburger Weg 26b Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54

Messobjekt 01 Hamburger Weg 26b Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP2 EG Wohnzimmer	Nullfall	0,045	0,030	20,2	19,4	16,7	15,9
	Planfall	0,027	0,018	22,4	21,3	18,9	17,8
	Δ	-40%	-40%	2,2	1,9	2,2	1,9
MP3 EG Küche	Nullfall	0,032	0,022	19,2	18,6	15,7	15,1
	Planfall	0,000	0,000	20,8	20,1	17,4	16,6
	Δ	-100%	-100%	1,6	1,5	1,7	1,5
MP4 EG Schlafzimmer	Nullfall	0,000	0,000	17,4	17,2	13,9	13,7
	Planfall	0,000	0,000	19,0	18,6	15,5	15,1
	Δ	-	-	1,6	1,4	1,6	1,4

Tabelle 12: Messobjekt 01 Hamburger Weg 26b Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn

6.1.5 Hamburger Weg 34, Ellerau

Die Ergebnisse zeigen für den Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfall mit den Lint54-Emissionen sowie den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen eine deutliche Einhaltung der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 für tags 0.07 und nachts 0.05. Aufgrund der Einhaltung der Anhaltswerte ist die Höhe der Veränderung unerheblich.

Messobjekt 06 Hamburger Weg 34 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP2 OG Arbeitszimmer	Nullfall	0,018	0,012	12,6	13,5	9,1	9,9
	Planfall	0,028	0,018	13,5	14,2	10,0	10,7
	Δ	56%	50%	0,9	0,7	0,9	0,8
MP3 OG Badezimmer	Nullfall	0,018	0,012	13,4	14,1	9,9	10,6
	Planfall	0,029	0,019	14,5	14,9	11,0	11,4
	Δ	61%	58%	1,1	0,8	1,1	0,8
MP4 OG Schlafzimmer	Nullfall	0,000	0,000	11,5	12,6	7,9	9,0
	Planfall	0,000	0,000	12,5	13,4	9,1	9,9
	Δ	-	-	1,0	0,8	1,2	0,9

Tabelle 13: Messobjekt 06 Hamburger Weg 34 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54

Für den sekundären Luftschall ist im dem untersuchten Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfällen eine deutliche Einhaltung der Immissionsrichtwerte tags 40 dB(A) für Wohnräume und nachts 30 dB(A) für Schlafräume gemäß 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV festzustellen. Aufgrund der Einhaltung der Immissionsrichtwerte ist die Höhe der Veränderung unerheblich.

Messobjekt 06 Hamburger Weg 34 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP2 OG Arbeitszimmer	Nullfall	0,018	0,012	12,6	13,5	9,1	9,9
	Planfall	0,000	0,000	6,0	8,5	2,5	5,0
	Δ	-100%	-100%	-6,6	-5,0	-6,6	-4,9
MP3 OG Badezimmer	Nullfall	0,018	0,012	13,4	14,1	9,9	10,6
	Planfall	0,000	0,000	6,9	9,2	3,4	5,7
	Δ	-100%	-100%	-6,5	-4,9	-6,5	-4,9
MP4 OG Schlafzimmer	Nullfall	0,000	0,000	11,5	12,6	7,9	9,0
	Planfall	0,000	0,000	5,2	7,8	1,7	4,3
	Δ	-	-	-6,3	-4,8	-6,2	-4,7

Tabelle 14: Messobjekt 06 Hamburger Weg 34 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn

6.1.6 Am Felde 70, Ellerau

Die Ergebnisse zeigen für den Prognose-Nullfall mit den Lint54-Emissionen für einen Deckenmesspunkt eine Überschreitung des Anhaltswertes A_r gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 4 für tags 0.07 und nachts 0.05. Für den Prognose-Planfall mit den Lint54-Emissionen ergeben sich für fünf Stockwerksdecken Überschreitungen des Anhaltswertes tags und für vier Stockwerksdecken Überschreitungen des Anhaltswertes nachts. Darüber hinaus liegt die Erhöhung zwischen 29 % und 35 % und damit oberhalb der Differenzierungsschwelle von 25 %.

Für den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen ergibt sich eine Einhaltung der betreffenden Anhaltswerte. Hier ist aufgrund der Einhaltung der Anhaltswerte die Höhe der Veränderung unerheblich.

Die Prognosen mit den Lint54-Emissionen dienen als eine Abschätzung zur sicheren Seite bzw. zu hohen Immissionen, so dass in der Praxis geringere, als die prognostizierten Immissionen zu erwarten sind.

Es wird empfohlen, nach der Realisierung des Vorhabens Schwingungsmessungen zum Nachweis der tatsächlichen Erschütterungen vorzunehmen.

Messobjekt 07 Am Felde 70 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0,038	0,025	20,8	19,8	17,3	16,3
	Planfall	0,049	0,033	22,3	21,0	18,8	17,5
	Δ	29%	32%	1,5	1,2	1,5	1,2
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0,062	0,042	17,5	17,3	14,0	13,8
	Planfall	0,081	0,054	18,9	18,3	15,5	14,9
	Δ	31%	29%	1,4	1,0	1,5	1,1
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0,092	0,061	20,5	19,7	17,0	16,1
	Planfall	0,120	0,080	21,9	20,7	18,4	17,2
	Δ	30%	31%	1,4	1,0	1,4	1,1
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0,066	0,044	19,9	19,2	16,4	15,7
	Planfall	0,085	0,057	21,4	20,7	18,4	17,2
	Δ	29%	30%	1,5	1,5	2,0	1,5
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0,070	0,046	22,4	21,2	18,9	17,6
	Planfall	0,093	0,062	23,8	22,2	20,3	18,7
	Δ	33%	35%	1,4	1,0	1,4	1,1
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0,049	0,033	18,3	17,9	14,7	14,4
	Planfall	0,064	0,043	19,6	18,9	16,2	15,4
	Δ	31%	30%	1,3	1,0	1,5	1,0

Tabelle 15: Messobjekt 07 Am Felde 70 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall Lint54

Für den sekundären Luftschall ist im dem untersuchten Prognose-Nullfall und den Prognose-Planfällen eine deutliche Einhaltung der Immissionsrichtwerte tags 40 dB(A) für Wohnräume und nachts 30 dB(A) für Schlafräume gemäß 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV festzustellen. Aufgrund der Einhaltung der Immissionsrichtwerte ist die Höhe der Veränderung unerheblich.

Messobjekt 07 Am Felde 70 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn							
		Erschütterungen		Sekundärer Luftschall			
		KB _{FTR}		L _m in dB(A)			
		tags	nachts	tags		nachts	
				Beton	Holz	Beton	Holz
MP1 EG Arbeitszimmer Feldrand	Nullfall	0,038	0,025	20,8	19,8	17,3	16,3
	Planfall	0,000	0,000	9,4	11,2	6,0	7,7
	Δ	-100%	-100%	-11,4	-8,6	-11,3	-8,6
MP2 OG Schlafzimmer	Nullfall	0,062	0,042	17,5	17,3	14,0	13,8
	Planfall	0,000	0,000	8,0	10,0	4,5	6,5
	Δ	-100%	-100%	-9,5	-7,3	-9,5	-7,3
MP3 OG Kinderzimmer	Nullfall	0,092	0,061	20,5	19,7	17,0	16,1
	Planfall	0,020	0,013	9,9	11,5	6,4	8,0
	Δ	-78%	-79%	-10,6	-8,2	-10,6	-8,1
MP4 DG Gästezimmer	Nullfall	0,066	0,044	19,9	19,2	16,4	15,7
	Planfall	0,000	0,000	9,5	11,2	6,0	7,7
	Δ	-100%	-100%	-10,4	-8,0	-10,4	-8,0
MP5 EG Arbeitszimmer Feldmitte	Nullfall	0,070	0,046	22,4	21,2	18,9	17,6
	Planfall	0,000	0,000	13,3	14,2	9,8	10,7
	Δ	-100%	-100%	-9,1	-7,0	-9,1	-6,9
MP6 EG Wohnzimmer Feldrand	Nullfall	0,049	0,033	18,3	17,9	14,7	14,4
	Planfall	0,000	0,000	9,8	11,4	6,3	7,9
	Δ	-100%	-100%	-8,5	-6,5	-8,4	-6,5

Tabelle 16: Messobjekt 07 Am Felde 70 Vergleich Nullfall Lint54 mit Planfall S-Bahn

6.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

Bei den Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen sind im vorliegenden Fall Erschütterungen aus Baubetrieb zur Umsetzung des Vorhabens und aus dem Schienenverkehr beim Betrieb zu unterscheiden.

Der Vorhabenträger hat entschieden, beim Baubetrieb auf den Einsatz von erschütterungsintensiven Bauverfahren zu verzichten, um die Erschütterungseinwirkungen zu minimieren. Im vorliegenden Fall bedeutet das, anstelle von erschütterungsintensiver Schlagrammen zum Einbringen von Pfählen Bohrpfähle einzusetzen sowie anstelle von Rüttelwalzen zum Verdichten des Unterbaus der Bahnstrecke Rüttelplatten mit geringerer Erschütterungseinleitung und höherer Frequenz einzusetzen.

Unter diesen Voraussetzungen ist davon auszugehen, dass keine neuen Schäden an den Gebäuden infolge von Erschütterungseinwirkungen auf baulichen Anlagen gemäß DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 zu erwarten sind.

Die bei Schienenverkehrserschütterungen in Gebäuden hervorgerufenen Erschütterungen liegen i.d.R. deutlich unterhalb der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 und daher ist davon auszugehen, dass keine neuen Schäden verursacht werden.

Maximale bei Schienenverkehr gemessene Schwinggeschwindigkeit			
Messobjekt	MO	Fundament	Stockwerksdecken
Bahnstraße 2	4	0.52 mm/s	0.37 mm/s
Schulweg 1	8	0.11 mm/s	0.69 mm/s
Hamburger Weg 10a	3	0.11 mm/s	0.60 mm/s
Hamburger Weg 26b	1	0.12 mm/s	0.37 mm/s
Hamburger Weg 34	6	0.13 mm/s	0.23 mm/s
Am Felde 70	7	0.41 mm/s	0.78 mm/s

Tabelle 17: Maximale bei Schienenverkehr gemessene Schwinggeschwindigkeit

Im vorliegenden Fall wurde in den untersuchten Messobjekten an den Fundamentmesspunkten eine maximale Schwinggeschwindigkeit von bis zu 0.52 mm/s und auf den Stockwerksdecken von bis zu 0.69 mm/s gemessen.

Diese Werte liegen deutlich unterhalb des geringsten Anhaltswertes gemäß DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 Zeile 3 für besonders erschütterungsempfindliche Gebäude für den Fundamentmesspunkt von 3 mm/s sowie gemäß Abschnitt 5.2 des geringsten Anhaltswertes Deckenschwingungen für Wohngebäude von 20 mm/s.

Aufgrund der deutlichen Unterschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 bei dem derzeit auftretenden Schienenverkehr und – auch bei einer Erhöhung durch den Schienenverkehr auf einem geplanten zweiten Gleis in einem um bis zu 4 m geringeren Abstand sind – keine neuen Schäden an den Gebäuden infolge von Schienenverkehrserschütterungen zu erwarten.

7 Zusammenfassende Bewertung

Im Rahmen der Planungen zur Elektrifizierung und des in Abschnitten zweigleisigen Ausbaus der bestehenden Bahnstrecke AKN A1 in Schleswig-Holstein im Planfeststellungsabschnitt 2 PFA2 Landesgrenze Hamburg/Schleswig-Holstein – Kaltenkirchen wurden erschütterungstechnische Untersuchungen zur Ermittlung der Immissionen von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden und bauliche Anlagen sowie die Einwirkung von sekundärem Luftschall auf Menschen in Gebäuden vorgenommen.

Es wurden Schwingungsmessungen in repräsentativen Wohngebäuden an der vorhandenen Bahnstrecke bei regulärem Betrieb der AKN mit diesel-elektrischen Triebwagen VTA sowie diesel-mechanischen Triebwagen Lint54 vorgenommen. Für den zukünftig geplanten Verkehr von S-Bahnzügen der Baureihe 490 als Zweistromfahrzeug standen Schwingungsmessungen bei Verkehr von S-Bahnzügen der Baureihe 474 zur Verfügung.

Die aus den Schwingungsmessungen ermittelten Emissionen sowie die, für die Messobjekte ermittelten Eigenschaften der Erschütterungsübertragung wurden für

eine Prognose der Immissionen für die plangegebene Situation im Jahr 2025 (Prognose-Nullfall) ohne die Umsetzung des Vorhabens sowie die Umsetzung des Vorhabens (Prognose-Planfall) vorgenommen.

Der zweigleisige Ausbau ist zwischen Quickborn und Tanneneck geplant. In diesem Gebiet befindet sich Wohnbebauung im Einflussbereich der Schienenverkehrserschütterungen zwischen dem Bahnübergang Bahnstraße in Ellerau sowie nördlich der Bahnstrecke im Schulweg, Hamburger Weg sowie Am Felde. Es wurden Schwingungsmessungen sowie darauf beruhende Prognosen in sechs Wohngebäuden durchgeführt. Für diese Wohnbebauung ist das zukünftige zweite Gleis in einem um 4 m geringeren Abstand geplant, als sich das bestehende Gleis befindet.

Für die repräsentativ untersuchten Wohngebäude konnte bis auf eine Ausnahme in den Prognoseergebnissen bzw. in dem Vergleich der plangegebenen Situation (Prognose-Nullfall) mit dem umgesetzten Vorhaben (Prognose-Planfall) eine Einhaltung der Anhaltswerte A_r gemäß DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ und bzw. oder eine Erhöhung von weniger als 25 % bzw. für den sekundären Luftschall eine Einhaltung der aus der 16. BImSchV in Verbindung mit der 24. BImSchV abgeleiteten Immissionsrichtwerte festgestellt werden.

Diese Ergebnisse bedeuten, dass für die Wohnbebauung im Einflussbereich des abschnittsweisen zweigleisigen Ausbaus entweder eine Einhaltung der Anforderungen oder eine Erhöhung der Immissionen unterhalb der Differenzierungsschwelle von 25 % bei den Erschütterungen bzw. 3 dB für den sekundären Luftschall und damit keine wesentliche Erhöhung der Immissionen zu erwarten ist.

In einem Wohngebäude wurde unter Verwendung der Lint54-Emissionen eine Überschreitung der Anhaltswerte und eine Erhöhung um 29 % bis 35 % und damit oberhalb der Differenzierungsschwelle von 25 % ermittelt. Für den Prognose-Planfall mit den S-Bahn-Emissionen ergibt sich eine Einhaltung der betreffenden Anhaltswerte. Die Prognosen mit den Lint54-Emissionen dienen als eine Abschätzung zur sicheren Seite bzw. zu hohen Immissionen, so dass in der Praxis geringe-

re, als die prognostizierten Immissionen zu erwarten sind. Es wird empfohlen, nach der Realisierung des Vorhabens in dem betreffenden Wohngebäude Schwingungsmessungen zum Nachweis der tatsächlichen Erschütterungen vorzunehmen.